

H1 Ontstaan en inwendige structuur van de Aarde

1.1 Structuur van het heelal

- Zonnestelsel: het geheel van de Aarde en alle andere planeten die elliptische banen rond de zon beschrijven
- Sterrenstelsel/galaxie: meerdere zonnestelsels bij elkaar vb. Melkwegstelsel
- Galaxie cluster: meerdere sterrenstelsels bij elkaar vb. Melkwegstelsel + Andromeda Nevel ea.
- Galaxie superclusters: meerdere galaxie clusters bij elkaar (afmeting: honderden miljoenen lichtjaren)

1.2 Ontstaan van het heelal: Big Bang

1.2.1 Wetenschappelijke theorievorming

- Er was niemand bij: probleem van rechtstreekse waarneming oplossen door theorievorming
- Meest aanvaarde theorie: Big Bang of Oerknal theorie
 - ! biedt een verklaring voor de meeste kenmerken die we kunnen waarnemen, waardoor het algemeen aanvaard wordt als verklaringsmodel voor het ontstaan van het heelal

1.2.1.1 Roodverschuiving

- Alle sterren en sterrenstelsels zenden EM golven uit met bepaalde golflengtes: vastleggen in stralingspectrum
 - ! Men neemt waar dat hoe verder een sterrenstelsel van ons verwijderd is, hoe meer haar stralingsspectrum is opgeschoven naar een grotere golflengte (voor zichtbare deel van licht is dit een verschuiving naar rood)
- Verklaring via het Doppler-effect: voorwerpen die van ons weg bewegen, zenden een schijnbaar uitgerokken golflengte uit/voorwerpen die naar ons toe bewegen, zenden een schijnbaar verkorte golflengte uit
 - ➔ Hoe verder sterrenstelsel van ons weg beweegt, hoe meer roodverschuiving
- Sterrenstelsel bewegen zich wel degelijk van ons weg volgens de relatie: $v_r = H * R$ met v_r : radiale snelheid, R: afstand en H: constante van Hubble
 - ! Uitdijen van het heelal wordt overal op dezelfde manier waargenomen: deze beweging kunnen we extrapoleren naar het verleden en hieruit stellen we vast dat alles is ontstaan uit een 'punt'
 - Aan de hand hiervan: ouderdom van de oerknal: $T = R / v_r$ (ca. $15 * 10^9$ jaar)

1.2.1.2 Kosmische achtergrondstraling

- Vanuit overal in het heelal: isotrope (= even sterk vanuit alle richtingen) straling met golflengte in microgolgebied
 - ➔ Via fysische wetten: bepalen tijdstip en temperatuur van de oerknal (7000K)
- Kosmische achtergrondstraling is dus het 'nagloeien' van de oerknal

1.2.1.3 Kosmische abundantie

- = chemische samenstelling van het heelal
- Kwantitatieve verhoudingen van verschillende chemische elementen in het heelal mbv stralingspectra
 - Lichtste elementen (H en He) komen het meeste voor.
 - Volgende elementen met hoger atoomnummer (Li, Be, B) komen weinig voor
 - C, N en O komen vrij veel voor, maar toch nog minder dan H en He
 - ➔ Hoe hoger atoomnummer, hoe minder ze voorkomen
 - ! Toch een paar lokale pieken vb. Fe
- Verklaring via Big Bang: alle materie is ontstaan uit 1 punt: met toenemende expansie en afkoeling hebben zich elementaire deeltjes (eerst H en He) gevormd en na volledige afkoeling werden andere elementen gevormd via kernfusie

1.3 Ontstaan van het zonnestelsel en de Aarde

1.3.1 Ontstaan van het zonnestelsel: Nebula theorie

- Zonnestelsel is ontstaan uit roterende stofnevel afkomstig van vroegere supernova's, bestaande uit H, He, kristallen en gesteentegruis van zwaardere elementen
- Explosie van een nabije ster in supernova zorgde voor samentrekking door gravitatie, wat vervolgens zorgde voor snellere rotatie en zo een toename in middelpuntvliedende kracht
- Materie concentreerde zich tot een afgeplatte schijf loodrecht op de rotatie-as
 - ! Verdere contractie: vorming van de zon in het centrum van de nevel en in de afgeplatte schijf vorming van planeten, manen en planetoïden (± 4.7 miljard jaar geleden)
- Observaties die de Nebula theorie ondersteunen:
 1. 99% van de massa in het zonnestelsel zit in de zon (samentrekking)
 2. Alle planeten roteren rond de zon in dezelfde zin (roterende stofnevel)
 3. Ellipsvormige banen van de planeten liggen ongeveer in hetzelfde vlak (middelpuntvliedende kracht)
 4. Patroon in de chemische samenstelling en omvang van de hemellichamen
 - Zon: voornamelijk H en He (grote massa onttrok deze elementen het gemakkelijkst)
 - Mercurius, Venus, Aarde en Mars: zwaardere elementen + kleine planeten (dichtbij de zon, maar zware elementen werden niet zo hard aangetrokken)
 - = binnenplaneten = Aardse planeten
 - Jupiter, Saturnus, Uranus en Neptunus: lichtere elementen + grote planeten (ver weg van de zon, waardoor minder gravitatie werd ondervonden)
 - = buitenplaneten = Jupiter planeten

1.3.2 Ontstaan van de Aarde en Aardse planeten

- Samenstelling van de binnenplaneten:
 - Kern: zware elementen zoals Fe en Ni
 - Dikke schil: relatief zware metalen voornamelijk silicaatmineralen (Si, O, Al, Fe en Mg)
 - Korst
- Gelaagdheid wordt verklaard door ontstaan van deze planeten in verschillende fases:
 - Accretie: planetesimalen (grote brokstukken) werden naar de vormende aarde getrokken
 - ! botsen op de aarde (kinetische E) + door gravitatie en contractie (potentiële E): ontstaan van warmte die aardse planeten en accretemateriaal doet smelten
 - Differentiatie: zwaardere elementen migreren naar de kern + lichtere naar buiten toe die zich combineren tot silicaatmineralen (gelaagdheid)
 - ! Afkoeling zorgde voor een primaire korst = lithosfeer van basalt MAAR deze korst remde de afkoeling waardoor inwendige gesmolten bleef (verantwoordelijk voor platentektoniek)
 - ! Niet op alle Aardse planeten: afkoeling ging sneller en dus geen platentektoniek
- Lichtere elementen kwamen vrij als gassen bij het opsmelten van de planeten: primaire atmosfeer
 - ! deze verdween vrij snel doordat H en He naar de zon werden getrokken
 - ➔ Zwaardere elementen kwamen vrij als gassen: de secundaire atmosfeer
 - ! Enkel behouden op de grotere binnenplaneten: meteorieten kunnen ongehinderd inslaan door het ontbreken van een atmosfeer vb. Mercurius, de Maan
- Aarde kreeg een gemiddelde temperatuur gelegen tussen smelt- en kookpunt van water door de afstand tot de zon en het gehalte aan CO₂: hydrosfeer
- Door verschillende fysicochemische processen ontstaan van leven: biosfeer
- Samenstelling van de buitenplaneten:
 - Kern: klein en zwaar bestaande uit metalen en silicaten
 - Mantel: vloeibaar H en He
 - Buitenste laag: gasvormige H en He

1.4 Inwendige structuur van de aarde

1.4.1 Informatie uit boringen en ontsluitingen

- Ontsluitingen: plaatsen waar lokale, verticale doorsneden van de aarde te bekijken zijn
- Boringen: diepere observaties van de aarde

1.4.2 Informatie uit seismische golven

- Bestuderen van de diepe, inwendige structuur van de aarde: voortplanting en reflectie van golven door een voorwerp nl. natuurlijk golven die zich voortplanten doorheen de hele aarde
 - = aardbevings- of seismische golven (trillingen/kleine verplaatsingen van gesteentemateriaal opgewekt door een aardbeving)
- Plaats waar seismische golf ontstaat (=focus) ligt vrij diep: trillingen bereiken aardoppervlak en worden geregistreerd door seismograaf. Deze registreert 3 trillingen van 3 types van seismische golven:
 - P-golven (primaire golven; 5km/s): compressie golven door inwendige van de aarde
 - = planten voort door samendrukken en weer uitrekken van materiaal
 - S-golven (secundaire golven ; 2,5km/s): schuif golven door inwendige van de aarde
 - = bewegen materiaal op en neer loodrecht op voortplantingsrichting
 - Oppervlakte golven (2km/s): komen voor aan het oppervlak (verantwoordelijk voor de schade)
- Hoe aarde observeren? Voortplantingssnelheid afhankelijk van de dichtheid van het materiaal waarin golven zich voortplanten
 - ! Op grensvlak tussen 2 materialen wordt gedeelte van de golf weerkaatst (reflectie), gedeelte wordt doorgelaten, maar onder andere hoek (refractie) en deel wordt geabsorbeerd.

1.4.3 Gelaagde opbouw

- P en S golven bewegen volgens gebogen lijnen door de aarde: refractie door toename in dichtheid met toenemende diepte in het aardoppervlak
- Schaduwzones: zones op aarde waarin bij bepaalde aardbeving geen P en S golven waar te nemen zijn.
 - Geen P onder hoekafstand van 105° tot 142° tov de focus: kern met lagere dichtheid als de buitenste schil: als P hier binnentreedt treedt refractie op en bij terug buitengaan ook
 - Geen S onder hoekafstand $> 105^\circ$: kern is vloeibaar want S kan zich hier niet in voortplanten
- Ook reflectie van P en S golven op sommige contactvlakken tussen aardlagen: gelaagde opbouw
- Snelheid van de golven in functie van de diepte onder het aardoppervlak: op bepaalde dieptes verandert de snelheid zeer drastisch
 - ! Discontinuïteiten: door plotse veranderingen in de samenstelling van het inwendige van de aarde
 - Mohorovic discontinuïteit: snelheid van P neemt toe van 6-7 km/s naar 8 km/s op een diepte van 5-65 km = grens tussen korst en mantel
 - Gutenberg discontinuïteit: snelheid P van 13-14 km/s naar 8 km/s en S golven dringen niet meer door op diepte van 2950 km = grens tussen mantel en kern
 - ➔ Aarde heeft 3 zones: korst, mantel en kern

1.4.4 Kern

- Bestaat voornamelijk uit ijzer: buitenkern vloeibare Fe, binnenkern vast Fe
 - Wet van Newton: totale dichtheid van de aarde: $mg = \frac{cmM}{r^2} \rightarrow M = \frac{gr^2}{c}$
 gemiddelde dichtheid van de aarde: $\frac{M}{V} = \frac{gr^2}{c4\pi r^2} = \frac{g}{c4\pi} = 5.52 \frac{g}{cm^3}$
 ! Deze waarde is vrij groot in vergelijking met dichtheid van de gesteenten van de korst (2.7 g/cm³). Kern heeft dus een grotere dichtheid van ongeveer 10 g/cm³ (= Fe bij de heersende drukomstandigheden in de kern)
 - Ahv snelheid van P en S: buitenkern en binnenkern (buitenkeren is vloeibaar want daar kan S niet door + vanaf 5100 km diepte stijgt de snelheid van P dus daar is de binnenkern vast)
 - Temperatuur in boorgaten neemt toe met de diepte: geothermische gradiënt
 = temperatuurtoename in functie van de diepte onder het aardoppervlak (veroorzaakt door gravitatie)
 ! Buitenkeren: 3000 tot 4000°C + 1.3 miljoen atmosfeer (Fe is vloeibaar)
 Binnenkeren: 5000 tot 6000°C + 3.5 miljoen atmosfeer (Fe is vast)
 - Aardmagnetisme ~ dipoolstaafmagneet in de kern van de aarde
 ! Ontstaat door afvoer van warmte in de kern door kurkentrekker-vormige convectiestromingen van gesmolten ijzerionen in de vloeibare buitenkeren

1.4.5 Mantel

- Verschillende lagen van de mantel
 - Buitenmantel (70km diep): snelheid S stijgt, ultramafisch gesteente, samen met de korst vormt deze de lithosfeer
 - Asthenosfeer (70 tot 150 à 200km): snelheid S daalt, partieel gesmolten, belangrijk voor platentektoniek
 - Olivijnzone (150 à 200 tot 400km): snelheid S stijgt, olivijnmineralen
 - Spinelzone (400 tot 650km): dichtere rangschikking van silicium en zuurstof door toename druk en temperatuur (olivijn in spinelstructuur)
 - Perovskietzone (vanaf 650km): olivijn in de perovskietstructuur
- Gutenberg discontinuïteitsvlak is niet overal even warm: transport van warmte doorheen de mantel is mogelijk (convectie)

1.4.6 Korst

- = buitenste harde schil van de aarde
- Oceanische korst (5-10km dik): zware gesteenten met grote dichtheid verzonken in plastische asthenosfeer (vormt oceanische bekkens)
- Continentale korst (65km dik): lichtere gesteenten met lagere dichtheid die bijna niet verzonken zijn, maar soms uitsteekt en hogere gedeelten van de aarde vormt (continenten)
 ! aan gebergten: dikste korst en meeste verzonken als 'wortel' van het gebergte (= isostasie)

H2 Platen tektoniek

2.1 Revolutie in de aardwetenschappen

- Platen tektoniek: lithosfeer is opgebroken in aantal platen die langs elkaar glijden, botsen of uit elkaar wijken naarmate zij bewegen over de plastische asthenosfeer
= algemeen verklaringsmodel voor de geologie

2.2 Van controversiële hypothese tot algemeen aanvaarde theorie

2.2.1 Geografische indicaties

- 1620: Francis Bacon: kustlijnen van Amerika, Europa en Afrika passen in elkaar
- Eduard Suess: alle huidige continenten zijn ontstaan uit één groot supercontinent

2.2.2 Continentendrift

- 1915: Alfred Wegener: supercontinent Pangaea is opgebroken door continentendrift
 - Geografische argument: kustlijnen van continenten passen in elkaar
 - Geologisch argument: aan deze kustlijnen komen geologische lagen voor met dezelfde gesteentetypes en structuren als aan de overkant van de Atlantische oceaan
 - Paleontologisch argument: fossielen aan beide kanten van de Atlantische oceaan komen overeen
 - Paleo-klimatologische gegevens: glaciële afzettingen uit Perm komen voor in zowel Zuid-Amerika, Afrika, Indië en Australië
- 1928: Arthur Holmes: mechanisme van convectiestromingen die lijden tot continentendrift
! Hij kon dit niet bewijzen waardoor zijn theorie niet aanvaard werd

2.2.3 Oceaan spreiding

- 1950-70: Oceanografisch onderzoek: nieuwe gegevens
 - Bathymetrie (reliëf van de onderwaterbodems): adhv een Echo Sounder stuurde men geluidsgolven uit en kon men verschillende lagen vaststellen (reflectie en verandering in voortplantingsnelheid). Men maakte gedetailleerde kaarten en kon zo de locatie van de Mid-oceanische ruggen waarnemen (in Atlantische, Indische en Stille oceaan)
 - Magnetische anomalieën (waarnemen magnetische signalen uitgezonden door oceaanbodem): magnetisch veld gelegen dicht tegen de oceaanbodem heeft ofwel dezelfde polariteit als het huidige aardmagnetisch veld ofwel omgekeerde polariteit (afwisselend in banden die evenwijdig lopen met MOR)

HOE? Sedimenten en gesteenten sturen een zwak magnetisch veld uit. De magnetische mineralen in het gesteente zullen zich bij vorming van het gesteente oriënteren volgens het heersend aardmagnetisch veld = magnetisatie van het gesteente.

! Sedimentair gesteente: afzettingsremanente magnetisatie (bij afzetten op bodem)

Magmatisch gesteente: thermoremanente magnetisatie (bij stollen)

! Omkeringen in aardmagnetisch veld = ompolingen (oorzaak onbekend)

→ Gesteente dichtbij MOR: normale polariteit heeft en dus jonger als het verder gelegen gesteente met omgekeerde polariteit

→ aan MOR ontstaat nieuwe oceanische korst: oceanen worden steeds breder en continenten worden vooruit geduwd

- Ouderdom bepalen door diepzeeboringen: jongere gesteenten aan MOR en ouder verder weg (oceaanspreiding of sea floor spreading)

MECHANISME: door convectie van warmte komt heet materiaal uit asthenosfeer naar boven aan MOR als magma en lava aan oppervlak, wat stolt tot nieuwe oceanische korst

2.2.4 Platen tektoniek

- Continue vorming van oceanische korst aan de MOR's
! Deze moet dus ook ergens opnieuw verdwijnen
- Langs bepaalde randen van continenten en eilanden: diepzeetroggen waar oceanische korst in de asthenosfeer verdwijnt, opsmelt door de hoge temperatuur en vermengd met mantelmateriaal
= subductie <> duwt continentale korst deels naar boven (gebergten langs de kust)

2.3 Types plaatranden

2.3.1 Divergente - Constructieve plaatranden

- Divergente plaatranden: platen bewegen uit elkaar
 - ! Opening waar gedeeltelijk gesmolten materiaal aan oppervlakte komt, stolt en zo nieuwe lithosfeer vormt (constructieve plaatranden)
 - vb. In de Rode zee: Golf van Aden
- Op de oceaanbodem: gekenmerkt door aanwezigheid van MOR met basisch vulkanisme plaats
 - = Lava komt naar boven en zal in contact met koud oceaanwater zeer snel stollen tot kussenvormige formaties van basaltgesteente (kussenlava) Men neemt aan de MOR hydrothermale activiteit waar: oceaanwater zal in het basalt insijpelen, opwarmen en sommige mineralen oplossen. Het water wordt opgewarmd en zal opstijgen. Mineralen in contact met koude zeewater slaan terug neer tot schouwvormige formaties
- MOR's: algemene rugvorm die ontstaat door het afkoelen van de nieuw gevormde, oceanische basaltkorst
 - ➔ Afkoeling doet dichtheid basalt toenemen: oceanische lithosfeer zakt dieper in plastische asthenosfeer naarmate ze verder geraakt van MOR (= subsidentie)
- Slenk of riftvallei bovenop de MOR: ontstaat door rekspanning
- Loodrecht op de centrale riftvallei: lange smalle groeven ontstaan door transform breuken waarlangs gedeeltes van de oceanische lithosfeer langs elkaar schuiven (ondiepe aardbeving)
- Basalt-plateau tot boven wateroppervlak door hevige opstijging mantelmateriaal onder MOR
 - vb. IJsland
- Opbreken van continentale plaat volgens een stervormig patroon waar een zeer krachtige opwelling van heet materiaal plaatsvindt = hot spot
 - ! Door hoge rekspanning op de lithosfeer zal deze openbreken: ontstaan nieuwe oceanbekken

2.3.3 Convergente – Destructieve plaatranden

- Convergente plaatranden: platen bewegen naar elkaar toe
- Oceanisch – Continentaal
 - Wanneer deze convergeren: subductie = oceanische plaat duikt onder continentale
 - Op diepte van 700km (Benioffzone) smelt de oceanische plaat: gesmolten materiaal is zeer licht en stijgt op als zuur vulkanisme
 - Hierdoor ontstaan:
 - Diepzeetroggen langs subductiezones
 - Plooiing van de continentale plaat door drukspanningen: ° vulkanische gebergtes of Cordilleras
 - Diepe aardbevingen door wrijving en spanning
 - Typische gesteenten: zure tot intermediaire intrusieve en extrusieve, sedimentaire en dynamisch (contact) metamorfe gesteenten
- Oceanisch – Oceanisch
 - Ook subductie afhankelijk van kleine verschillen in dikte en dichtheid
 - Op diepte van 700km (Benioffzone) smelt de onderduikende oceanische plaat: gesmolten materiaal is zeer licht en stijgt op als zuur vulkanisme
 - Hierdoor ontstaan:
 - Diepzeetroggen
 - Eilandbogen (oceanische plaats die niet onderduikt zal plooiën, vulkanisch)
 - Diepe aardbevingen
 - Typische gesteenten: intermediaire tot basische intrusieve en extrusieve en sedimentaire gesteenten
- Continentaal – Continentaal
 - Collisie: botsing van de twee platen
 - Hierdoor ontstaan:
 - Tektonische vervormingen: tektonische dekbladen schuiven over elkaar
 - Diepe aardbevingen
 - Gebergtes zoals vb. Himalaya en Alpen
 - Typische gesteenten (ophiolieten en hoog-metamorf)

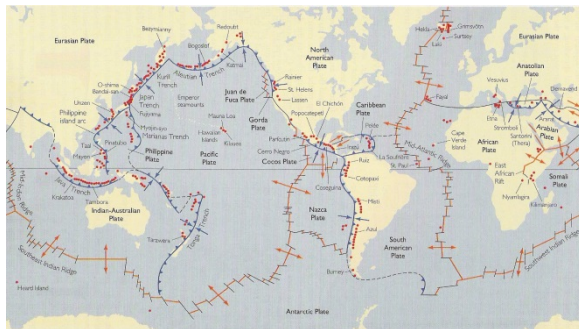
2.3.3 Transforme plaatranden

- Transforme plaatranden: bewegen lateraal langs elkaar heen (komen ook veel voor in MOR's)
 - Indien rechtlijnige plaatranden: aardbevingen maar geen vulkanisme of gebergtevorming
 - Indien kronkelend: opeenvolgende segmenten met afwisselende rek- en drukspanningen
 - Rekzones: vulkanisch
 - Drukzones: heuvels

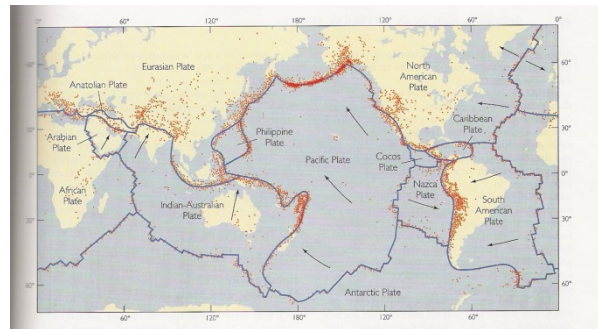
2.3.4 Relaties vulkanisme en aardbevingen

- Vulkanen: sterk geconcentreerd langs subductiezones en belangrijke hotspots
- Aardbevingen: langs subductiezones en continent-continent collisies voor diepere aardbevingen, ondiepe aardbevingen zijn langs transforme plaatranden, MOR's en langs breuklijnen midden op continentale en oceanische platen

VULKANEN



AARDBEVINGEN



2.4 Snelheid en geometrie van plaatbewegingen

- Reconstructie van plaatbewegingen om andere geologische processen beter te begrijpen:
 - Adhv magnetische afwijkingen: bepalen en in kaart brengen vd ouderdom van de oceaانبodem: hiermee snelheid van de oceaanspreiding aan MOR's berekenen (snelheid waarmee continenten worden voortgeduwd).
 - Bepalen ouderdom bodemsedimenten
 - Aseismische ruggen bv Hawaii: verlengde van onderzeese bergen (seamounts)
 - ! Ontstaan door hot spot vulkanisme waarbij oceanische plaat over hot spot schuift, er een vulkaan ontstaat en de oudere vulkaan uitdooft en opschuift: door ouderdomsbepaling, bepaling bewegingssnelheid
 - ! Bij opschuiven: subsidentie van de vulkaan (° guyot)
 - Rechtstreekse meting aan de hand van GPS systeem
- Op basis van deze informatie: snelheid van de platen bepalen
 - ! Men neemt waar dat er een variatie is in de snelheid van de plaatbewegingen: Snel bewegende platen zijn oceanische die subductie ondergaan (worden snel naar beneden getrokken) <> traag bewegende platen zijn eerder grote continenten (worden voortgeduwd)

2.5 Grote reconstructie

- Reconstructie adhv snelheid en geometrie huidige plaatbewegingen, Polar wandering (veranderen van magnetisch noorden en zuiden en paleoklimaat bepalen van afzettingen)
 - ➔ supercontinent Pangeae: opgebroken en tussen nieuwe continenten ontstonden de MOR's
- Reconstructie plaatbewegingen: Wilson cyclus (opbreken en weer samenkomen van de continenten over periode van ongeveer 500-600 miljoen jaar)

2.6 Levensloop oceanische en continentale platen

- Oceanische platen zijn veel jonger: ontstaan aan MOR's door stollen van opstijgend magma tot basalt en verdwijnen aan subductiezone waar ze opsmelten. Dit opgesmolten materiaal wordt horizontaal verplaatst door convectiestromingen en aan een hot spot opgewarmd en terug naar boven geduwd waardoor een nieuwe oceanische plaat ontstaat = endogene cyclus
- Continentale platen zijn zeer oud: ze groeien stelselmatig aan door aanmeren van terranen (materiaal van de oceaانبodem dat bij subductie wordt afgeschraapt van de duikende oceanische plaat tegen de rand van de continentale)
 - ! Oudste gesteente vinden we dan centraal op het continent: kratons (schilden die door erosie en verwerking sterk zijn) Naar de randen vinden we jongere orogenen.
 - ! Continenten kunnen door botsingen, verwerking en erosie plooien of ingekort worden tot gebergten (verwerken en zetten zich af via rivieren tot terranen, ook een soort cyclus)

H3 Mineralen

3.1 Vooraf

- Gesteenten: niet-homogeen mengsel van mineralen
 - = Homogene anorganische bestanddelen die natuurlijk voorkomen in de aardkorst, bouwstenen van gesteenten die voorkomen als onderkoelde vloeistoffen nl. amorf of als lichamen begrensd door platte vlakken nl. kristallen
 - = Homogene anisotrope lichamen (bestaan uit 1 enkele vaste fase die niet gescheiden kan worden + fysische eigenschappen van het kristal zijn niet in alle richtingen hetzelfde)
- Kristalgeometrie: beschrijving van de uitwendige vorm van kristallen
- Kristalchemie: studie van kristallen op atomaire structuur

3.2 Kristalgeometrie

3.2.1 Idiomorfie en allotriomorfie

- Kristallen ontstaan door afkoelen en uitkristalliseren van gesmolten gesteente (magma of lava)
 - ! gebeurt vanuit verschillende centra tegelijk
 - Als beschikbare ruimte groot genoeg is: ontwikkelende kristallen botsen niet = grote kristallen nl. idiomorf vb. kristalsuiker
 - Wanneer ze bij verdere groei toch botsen: onregelmatig begrensde kristallen = allotriomorf vb. klontjesuiker
 - gelijke chemische structuur maar verschillende vorm en grootte

3.2.2 Kristalsymmetrie

- Kristalvlakken zijn symmetrisch gerangschikt. Beschrijven mate van symmetrie:
 - Symmetrie-operaties: bewerking uitgevoerd op voorwerp A zodat het volledig samenvalt met B A en B zijn dan symmetrisch
 - ! 3 soorten: inversie, spiegeling en rotatie
 - Symmetrie-element: centrum van de symmetrie-operatie
 - Inversiecentrum (C): puntvormig gelegen in middelpunt van kristal
 - ! voor elk kristalvlak bestaat er een tweede vlak evenwijdig met het eerste
 - Spiegelvlak (m): deelt kristal in 2 gelijke delen die elkaars spiegelbeeld zijn
 - Rotatie-as: door punt A te roteren rond deze as over hoek ϕ krijgt men B gelegen in een ander kristalvlak van hetzelfde kristal
 - ! met $n = 360^\circ / \phi$ = talligheid van de rotatie-as
(4 soorten: 2-, 3-, 4- en 6-tallige rotatie-assen)
 - ! Deze elementen kunnen ook samengesteld zijn zoals bv. draai-inversie-as, schroefas, glijspiegelvlak, ...
 - Beperkt aantal mogelijke combinaties van symmetrie- elementen, gebonden aan enkele wetmatigheden:

<u>Wetmatigheden:</u>	(illustratie kubus)
1. Snijlijn van 2 m met hoek Φ = rotatie-as met $n = 360^\circ / 2 \Phi$	
2. Als m een rotatie-as n bevat, dan maakt n deel uit van n m-en	
3. Als van 2 van de 3 symm-elementen 2, c of m bestaan, dan bestaat ook het 3de	
4. Als 2 2-tallige rotatie-assen een hoek vormen, dan is de normale in hun snijpunt een 4-tallige rotatie-as	
5. Alleen kubus, tetraëder en dodikaëder hebben 3, 4 of 6	

→ in natuurlijke kristallen zijn er slechts 32 mogelijke combinaties van symmetrie-elementen mogelijk

3.2.3 Kristalsystemen

- De natuurlijke kristalvormen: opdelen in 7 kristalsystemen
- Regulaire kristallen:
 - Minstens vier 3-tallige en drie 4-tallige rotatie-assen
 - ! eventueel ook rotatie-assen met lager n , spiegelvlakken en inversiecentrum
 - Regulaire assenstelsel waarbij de hoeken tussen de 3 assen $\alpha, \beta, \gamma = 90^\circ$ en de assen dezelfde lengte-eenheid a, b, c hebben
 - Voorbeelden: kubus, hexaëder, octaëder
- Tetragonale kristallen:
 - Minstens een 4-tallige rotatie-as
 - ! eventueel ook rotatie-assen met lager n , spiegelvlakken en inversiecentrum
 - Tetragonaal assenstelsel met $\alpha, \beta, \gamma = 90^\circ$ en waarbij de lengte-eenheid van de assen $a = b \neq c$
 - Voorbeelden: rechthoekig prisma, piramide, bipiramide
- Trigonale kristallen:
 - Minstens een 3-tallige rotatie-as =
 - ! eventueel ook rotatie-assen met lager n , spiegelvlakken en inversiecentrum
 - Trigonaal-hexagonaal assenstelsel vier assen met hoeken tussen a, b en $d = 120^\circ$ en hoek met $c = 90^\circ$ en de lengte-eenheid van de assen $a = b = d \neq c$
 - Voorbeelden: driehoekig prisma, tetraëder en rhomboëder
- Hexagonale kristallen:
 - Minstens een 6-tallige rotatie-as
 - ! eventueel ook rotatie-assen met lager n , spiegelvlakken en inversiecentrum
 - Trigonaal-hexagonaal assenstelsel vier assen met hoeken tussen a, b en $d = 120^\circ$ en hoek met $c = 90^\circ$ en de lengte-eenheid van de assen $a = b = d \neq c$
 - Voorbeelden: hexagonaal prisma, piramide, bipiramide
- Rhombische kristallen:
 - Minstens drie 2-tallige rotatie-as
 - ! eventueel ook rotatie-assen met lager n , spiegelvlakken en inversiecentrum
 - Rhombisch assenstelsel met $\alpha, \beta, \gamma = 90^\circ$ en de lengte-eenheid van de assen $a \neq b \neq c$
 - Voorbeelden: rhombisch prisma
- Monokliene kristallen:
 - Minstens een 2-tallige rotatie-as
 - ! eventueel ook rotatie-assen met lager n , spiegelvlakken en inversiecentrum
 - Monoklien assenstelsel met $\alpha, \gamma = 90^\circ$ en $\beta > 90^\circ$ en de lengte-eenheid van de assen $a \neq b \neq c$
 - Voorbeelden: monoklien prisma
- Trikliene kristallen:
 - Geen rotatie-assen
 - Triklen assenstelsel met $\alpha, \beta, \gamma > 90^\circ$ en de lengte-eenheid van de assen $a \neq b \neq c$
 - Voorbeelden: triklen prisma

3.2.4 Kristalvorm en habitus

- Kristallen komen bijna nooit in ideale vorm voor:
 - Meestal bestaat natuurlijk kristal uit een combinatie van kristalvormen: enkel mogelijk als de kristalvormen behoren tot hetzelfde kristalsysteem
 - ! Best ontwikkelde vorm: habitus.
 - Wet van Steno: kristalvlakken hebben een verschillende groeisnelheid en zullen dus verschillende afmetingen hebben, maar hoeken zijn constant
 - Tweelingen en veelingen: vergroeiingen van individuele kristallen van dezelfde vorm die onderling in een symmetrische verhouding staan
 - Contacttweelingen: lijken elkaar te raken in een plat vlak (spiegelvlak)
 - Doorkruisingstweelingen: door elkaar heen gegroeid en inspringende hoeken vormen
 - Doordringingstweelingen: door elkaar heen gegroeid zonder inspringende hoeken

3.3 Kristalchemie

3.3.1 Eenheidscel

- Eind 19^{de} eeuw: wetmatigheden in de uitwendige vorm van kristallen wordt veroorzaakt door de atomaire structuur van de kristallen. Atomen of ionen waaruit de mineralen opgebouwd zijn geordend in kristal- of ionenrooster, dat de vorm heeft van een ruimtetralies

! Kleinste motief hiervan: eenheidscel (herhaalt zich in alle richtingen en zo ° kristalrooster)

-Structuur van een eenheidscel: beschrijven mbv celparameters nl. afstanden a,b en c tussen aangrenzende ionen en de hoeken α, β en γ tussen verbindinglijnen

3.3.2 Tralies van Bravais

- Bravais: in natuurlijke kristallen slechts 14 soorten eenheidscellen mogelijk, deze zijn varianten van 7 primitieve (P) eenheidscellen die overeenkomen met de 7 kristalsystemen:

- Regulaire P-cel: kubus met elke hoekpunt bezet door ion
 - Varianten:
 - regulaire I-cel: extra ion in het middelpunt
 - regulaire F-cel: extra ionen in het middelpunt van elk vlak
- Tetragonale P-cel: balkvormig
 - Varianten:
 - tetragonale I-cel
- Hexagonale P-cel
- Trigonale P-cel
- Rhombische P-cel
 - Varianten:
 - rhombische I-cel
 - rhombische F-cel
 - rhombische C-cel: extra ion in middelpunt van 2 overstaande vlakken
- Monokliene P-cel
 - Varianten:
 - monokliene C-cel
- Trikliene P-cel

3.3.3 Bindingen in kristalroosters

- Ionen zijn aan elkaar gebonden door 4 soorten bindingen
 - elektrostatische aantrekking tussen positieve en negatieve ionen (ionenbindingen)
 - twee negatieve ionen delen enkele elektronen (covalente bindingen)
 - veel positieve ionen met veel vrije elektronen (metaalbindingen)
 - zwakke Van der Waals krachten
 - Chemische samenstelling: ook bepaald door afmetingen van de ionen
 - Kationen staan een elektron af en hebben een kleinere ionenstraal
 - Anionen nemen een elektron op en hebben een grotere ionenstraal
 - Ionen zijn bolvormig en in een rooster doen ze dus aan bolstapeling
 - ! Streven naar een zo compact mogelijke bolstapeling door de kleine kationen in de holten tussen de grote anionen te plaatsen
 - De structuur van de kristalroosters wordt dus bepaald door de verhouding van de stralen van kationen (r) en anionen (R)
 - Minimumverhouding: 1 kation omgeven door 3 anionen (driehoeksverband): $\frac{r}{R} = 0.155$
 - Wanneer tetraëderverband: 1 kation omgeven door 4 anionen: $\frac{r}{R} = 0.225$
 - Octaëderverband: 1 kation omgeven door 6 anionen: $\frac{r}{R} = 0.414$
 - Hexaëderverband: 1 kation omgeven door 8 anionen: $\frac{r}{R} = 0.732$
- ! Bij deze verbanden wordt valentie van het kation gelijk verdeeld over de omgevende anionen (regel van Pauling: potentiële energie zo laag mogelijk houden)

3.3.4 Iso-, poly- en pseudomorfie

- Ionen die ongeveer dezelfde afmetingen hebben nemen in kristalstructuren dezelfde plaats in
! Mineralen met verschillende chemische samenstelling toch kristalliseren volgens dezelfde kristalstructuur: isomorfie vb. calciet en magnesiet
- Polymorfie: wanneer eenzelfde stof kristalliseert tot verschillende kristalstructuren (chemische samenstelling blijft dezelfde) vb. grafiet en diamant
! Afhankelijk van druk en temperatuur
- Pseudomorfie: wanneer in een kristal de minerale elementen door oplossing verdwijnen en vervangen worden door een andere mineraal waarbij de kristalvorm behouden blijft vb. gips naar kwarts

3.4 Fysische kenmerken van mineralen

3.4.1 Kleur

- Idiochromatisch: mineralen die altijd in dezelfde kleur voorkomen (nooit wit of kleurloos)
- Allochromatisch: mineralen die in verschillende kleurvormen kunnen voorkomen, wanneer absoluut zuiver zijn ze wit of kleurloos en onzuiverheden of onregelmatigheden in de kristalstructuur zorgen voor een variabele kleur
! Geen betrouwbaar kenmerk: het oppervlak van sommige mineralen een andere kleur kan krijgen door oxidatie + sommige mineralen kunnen in verschillende kleurvormen voorkomen

3.4.2 Streep

- Bij verpulveren van mineralen: poeder met een stabiele kleur (door excitatietoestand van de elektronen)
! Op een stukje porselein: mineraal laat een streep na
 - Allochromatische mineralen: stabiele streep in vergelijking met verschillende kleurvormen
 - Idiochromatische mineralen: kleur streep anders zijn als hun oorspronkelijke kleur.

3.4.3 Glans

- Ontstaat door breking en reflectie van invallend licht aan het oppervlak van het mineraal: mate van glans bepaalt men adhv de brekingsindex en reflecterend vermogen
! Geen objectieve eigenschap en is enkel mogelijk als het kristalvlak volledig glad is.

3.4.4 Transparantie

- Transparantie : mate waarin mineraal in staat is om licht door te laten is gelijk aan het quotiënt van het uitdrendend licht en het invallend licht nl. $a = \frac{I_0}{I}$
 - $a = 1$: transparant of doorzichtig
 - $a = 0$: opaak
! Sommige mineralen onder verschillende varianten kunnen voorkomen met een verschillende mate van transparantie.

3.4.5 Kristalvorm

- Ontstaat wanneer magma of lava stolt en de mineralen uitkristalliseren tot een welbepaalde vorm uniek voor dat mineraal

3.4.6 Dichtheid

- Dichtheid: bepaald door atomaire gewichten van de chemische elementen waaruit het is opgebouwd
! Wanneer zware ionen of compact kristalrooster: hoge dichtheid
- Bepalen dichtheid: hydrostatische balans, pycnometer etc.

3.4.7 Hardheid

- Hardheid: weerstand die mineraal biedt tegen het indringen van een spits voorwerp
- Bepalen: men drukt een spitse kegel met zeer grote hardheid met een gekende kracht op het oppervlak van het mineraal en de diameter van het kuiltje is een maat voor de hardheid
- Hardheidsschaal van Mohs: 10 punten die overeenkomen met de hardheid van een aantal goed gekozen mineralen
 - ! Mineraal met bepaalde hardheid is in staat alle zachtere mineralen te krassen
- Opletten: hardheid is niet dezelfde in alle richtingen van het mineraal (anisotroop) + sommige mineralen hebben verweringslaag met verschillende hardheid

3.4.8 Spleijting

- Wanneer mineralen in stukken worden geklopt: spleijen volgens platte vlakken (spleijvlakken)
 - ! Altijd in dezelfde richting zijn voor dat type van mineraal (doordat in de atomaire kristalstructuur sommige bindingen zwakker zijn als andere)

3.4.9 Elasticiteit, broosheid, smeedbaarheid

- Elasticiteit: vermogen om terug naar de oorspronkelijke vorm te gaan na het verdwijnen van de drukspanning
- Broos: wanneer mineraal onder invloed van de drukspanning makkelijk verpulvert
- Smeedbaar: binnen bepaalde grenzen is het vervormen van het mineraal plastisch

3.4.10 Radioactiviteit, magnetisme, smaak

- Radioactief: uitzenden van radio-actieve straling doordat elementen onder verschillende isotopen voorkomen
- Magnetisme: mineralen met een eigen magneetveld of die beïnvloed worden door een magneetveld
- Smaak: sommige mineralen kunnen we herkennen aan hun typische smaak

3.5 Systematische mineralogie

- H. Strunz: 10 mineraalklassen - Elementen
 - Oxyden en Hydroxyden
 - Carbonaten, nitraten en boraten
 - Wolframaten en molybdenaten
 - Silikaten
 - Sulfiden
 - Haloiden
 - Sulfaten en chromaten
 - Fosfaten, arsenaten en vanadaten
 - Organische substanties
- Silicaten: chemische kristalstructuur met bepaalde combinatie aan anionen Si-O of Si-Al-O en kationen Fe^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} en Ca^{2+}
 - ! meer dan 75% van de gesteenten op Aarde zijn opgebouwd uit silikaten

3.5.1 Nesosilicaten

- Basisstructuur: SiO_4 – tetraëders (4x negatief, komen geïsoleerd voor, alle O-ionen zijn gebonden aan 2x of 3x positief geladen kationen)
- Twee soorten - olivijngroep ($\text{X}^{2+}_2\text{SiO}_4$ isomorfen)
 - granaat groep ($\text{X}^{2+}_3\text{Y}^{3+}_2\text{SiO}_4$ isomorfen)

3.5.2 Sorosilicaten

- Basisstructuur (Si_2O_7)⁶⁻: 2 aan elkaar gebonden SiO_4 – tetraëders (1 gemeenschappelijke O, alle andere O-ionen opgevuld met kationen)

3.5.3 Cyclosilicaten

- Basisstructuur: 2 aan 2 hoekpunten geschakelde SiO_4 – tetraëders tot gesloten ringen
 - 3 Si-ionen: $(\text{Si}_3\text{O}_9)^{6-}$
 - 4 Si-ionen: $(\text{Si}_4\text{O}_{12})^{8-}$
 - 6 Si-ionen: $(\text{Si}_6\text{O}_{18})^{12-}$

3.5.4 Inosilicaten

- Basisstructuur: aaneensnoering van SiO_4 – tetraëders
 - Enkelvoudige snoeren: pyroxenen met $(\text{SiO}_3)^{2-}$
 - Dubbele snoeren: amfibolen met $(\text{Si}_4\text{O}_{11})^{6-}$

3.5.5 Fyllosilicaten

- Basisstructuur: aaneenschakeling van SiO_4 – tetraëders tot bladen met $(\text{Si}_2\text{O}_5)^{2-}$
 - 1:1 structuur: metaal-oktaëderlaag is gebonden aan 1 SiO_4 – tetraëderlaag
 - 2:1 structuur: metaal-oktaëderlaag zit gevat tussen 2 SiO_4 – tetraëderlagen met de vrije zuurstof-ionen naar elkaar toe gericht
- ! Ook onderscheid tussen dioktaëdrische fyllosilicaten (twee 3-waardige metaalionen per Si_2O_5 -groep) en trioktaëdrische fyllosilicaten (drie 2-waardige metaalionen per Si_2O_5 -groep)

3.5.6 Tektosilicaten

- Basisstructuur: SiO_4 – tetraëders zijn onderling verbonden tot 3D structuren met elk zuurstofion gemeenschappelijk
 - SiO_2 in chemisch evenwicht zonder metaalionen: zuivere SiO_2
 - Si^{4+} vervangen door Al^{3+} met negatieve valenties: veldspaten
 - Indien meer als de helft van Si^{4+} vervangen is: veldspatoïden

H4 Magmatische gesteenten

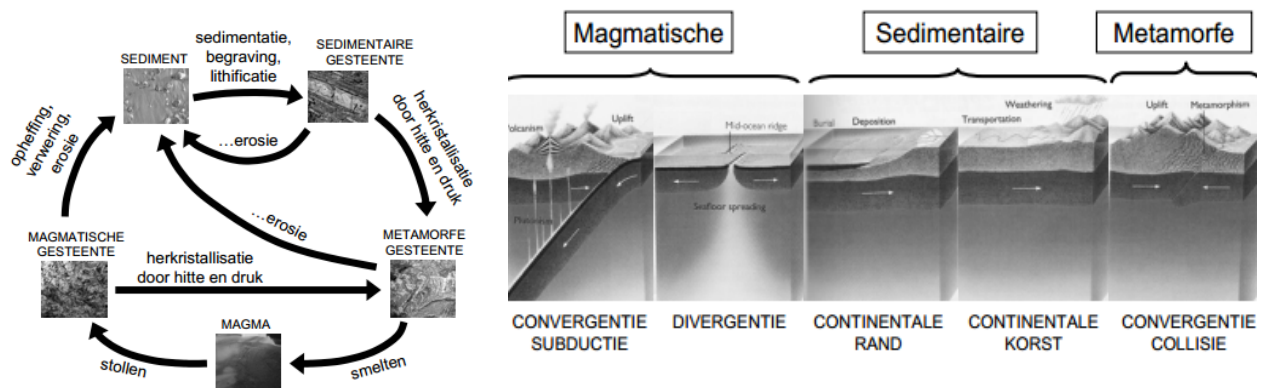
4.1 Kringloop der gesteenten

- Kenmerken van gesteenten hangen af van in welke omstandigheden die verschillende gesteenten gevormd zijn: geologische oorsprong

- Drie grote groepen van verschillende oorsprong:

- Magmatische gesteenten: vrij homogene structuur, geen duidelijke lagen of vanden, ontstaan door stollen van magma of lava
- Sedimentaire gesteenten: duidelijke regelmatige opeenvolging van lagen, ontstaan door sedimentatie, begraving of verharding van sedimenten (lithificatie), bronmateriaal zijn sedimenten ontstaan door vertering en erosie
- Metamorfe gesteenten: aanwezigheid van mica's (soort mineralen), fijne sterk geplooiden banden van afwisselend lichte en donkere mineralen, ontstaan door herkristallisatie van andere gesteenten onder hoge druk en temperatuur in de diepe korst en bovenmantel

! Staan niet los van elkaar, maar zijn gelinkt via de kringloop der gesteenten + vorming is gelinkt aan de platentektoniek



4.2 Indeling van magmatische gesteenten

4.2.1 Op basis van textuur en mineralogie

- Textuur: grootte en vorm van de minerale korrels

- Gesteenten met fijne structuur ontstaan door vloeibare lava die snel afkoelt en stolt (geen tijd voor uitkristalliseren van mineralen tot grote kristallen)

vb. Basalt: ° door snel stollen aan het oppervlak

= uitvloeiinggesteenten = extrusieve gesteenten = vulkanische gesteenten

! - Sommige hebben geen kristalstructuur, maar zijn amorf: obsidiaan of vulkanisch glas

- Vele grote poriën: vesiculaire structuur nl. puimsteen ontstaan door snelle afkoeling van viskeuze lava waardoor gassen geen tijd meer hadden om te ontsnappen

- Gesteenten met grove of granulaire structuur ontstaan door traag afkoelen en stollen (vorming van grote kristallen)

vb. Graniet: ° door traag stollen van magmakamer diep in de aardkorst

= dieptegesteenten = intrusieve gesteenten = plutonische gesteenten

- Ganggesteenten ontstaan door stollen van magma in de kraterpijpen van vulkanen waarbij stollen sneller gebeurt dan in de magmakamers maar trager als uitvloeiend lava: porfierische textuur (matrix van fijne textuur waarin paar grote kristallen voorkomen nl. fenokristallen)

- Mineralogie: kleur van de mineralen

- Licht gekleurde mineralen: felsische mineralen vb. kwarts en tektosilicaten

! Kwarts kan nooit met veldspatoïden voorkomen want dat zou betekenen dat magma uit evenveel Al als Si zou bestaan en dan hebben we veldspaten

- Donker gekleurde mineralen: mafische mineralen vb. olivijnen, pyroxenen, ...

4.2.2 Classificatie van Streckeisen

= Opdeling in intrusieve en extrusieve gesteenten en dan nog eens op basis van onderlinge verhouding van felsische mineralen

- Verhouding tussen de 4 groepen van felsische mineralen:

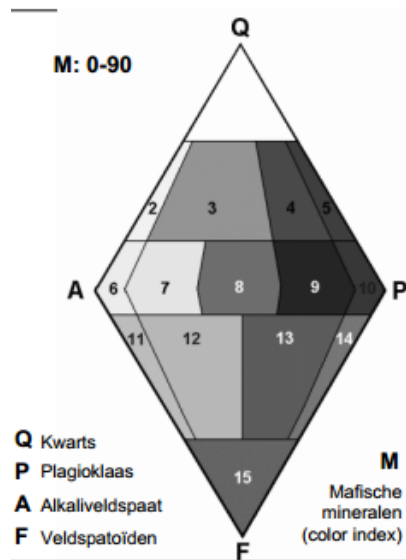
- SiO₂ mineralen (Q)
- alkaliveldspaten (A)
- plagioklazen (P)
- veldspatoïden (F)

! Met andere mafische mineralen (M) wordt geen rekening gehouden = color index

→ Ultramafisch = wanneer M > 90% (valt buiten Streckeisen)

- Streckeisen diagram: combinatie van twee driehoeksdigrammen apart voor intrusieve en extrusieve gesteenten

- Eén voor kwarthoudende (Q, A en P)
- Eén voor veldspatoïden (F, A en P)



4.2.3 Pyroklastische gesteenten

- Pyroklastische gesteenten (efflata of tephra): soort vulkanisch gesteenten ontstaan door explosie tijdens vulkaanuitbarsting waardoor gesteenten gefragmenteerd en weggeslingerd werden (gelijkaardig aan sedimentair gesteente)

- Oorsprong:

- Autigeen: materiaal dat tijdens uitbarsting als vloeibaar lava is weggegooid (druppelvormig)
- Allogeen: esteentefragmenten die tijdens uitbarsting zijn losgerukt en weggegooid

- Naar korrelgrootte:

- > 32 mm: vulkanische bommen (= als vloeibaar lava weggegooid) of vulkanische blokken (= als gesteente weggegooid)
- 4 – 32 mm = lapili
- < 4 mm = vulkanisch as

4.3 Vorming van magma

4.3.1 Hoe smelten gesteenten?

- Magma: °door het smelten van gesteente diep in de aardkorst en bovenmantel (T > 1000°C)

! Afhankelijk van temperatuur ontstaat smelt met verschillende samenstelling: partieel smelten
 OORZAAK: verschillende mineralen hebben verschillende smelttemperatuur. Hierdoor kunnen verschillende magmatypes ontstaan uit hetzelfde gesteente.

4.3.2 Waar smelten gesteenten?

- MOR's en hot spots: basische (= arm aan felsische bestanddelen en rijk aan mafische) magma en lava komt uit de diepe mantel naar boven en stolt tot mafische gesteenten.
- Subductiezones: zure (=rijk aan felsische bestanddelen) magma en lava naar boven en stolt tot felsische gesteenten

! Magma ontstaat vanuit mafische oceanische korst: bij opsmelten smelten enkel de felsische mineralen en niet de mafische (hierdoor toch zure lava)

4.3.3 Vorming van magmakamers

- Partieel opsmelten zorgt voor de vorming van magmakamers: smelt bestaande uit druppels gesmolten gesteente die diffuus voorkomen in de poriën van vaste restanten

! Magmadruppels migreren door hun lagere dichtheid doorheen ontstane poriën en gaan zich concentreren: partieel opsmelten van omringend gesteente, gevolgd door opnieuw migratie + concentratie (positieve terugkoppeling)

= Magmakamers

4.4 Kristallisatie van magma

- Mineralen die het eerste uitkristalliseren zijn ook degene die laatste smelten bij hoge temperaturen
- Bij uitkristallisatie vindt depletie van chemische elementen uit de magma plaats, waardoor de samenstelling van de achterblijvende magma verandert
- Utkristalliseren volgens twee verschillende patronen: continue en discontinue reactiereeks.

4.4.1 Continue reactiereeks

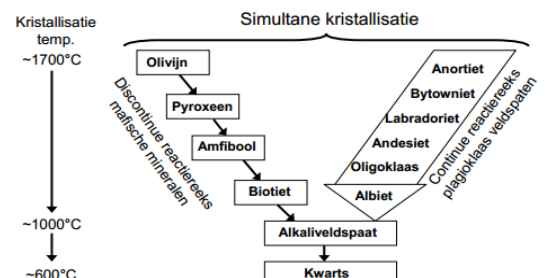
- Felsische mineralen: er vindt voortdurend herkristallisatie plaats van de mineralen
- Voorwaarden: magma bestaat uit mengsel van isomorfe mineralen tijdens het afkoelen blijven de gevormde kristallen in contact met de restsmeelt

4.4.2 Discontinue reactiereeks

- Mafische mineralen: alle eerder gevormde kristallen gaan ineens herkristalliseren tot een welbepaald ander mineraal (silicaten gevormd met toenemende complexiteit)
- Voorwaarden: tijdens het afkoelen blijven de gevormde kristallen in contact met de restsmeelt

4.4.3 Reactiereeks van Bowen

- Magma: mengsel van mafische en felsische mineralen
- Reactiereeks van Bowen: natuurlijke magma's kristalliseren uit volgens een combinatie van continue en discontinue reactiereeksen



4.4.4 Magmatische differentiatie

- Volgens Bowen natuurlijke magma's uiteindelijk uitkristalliseren tot albiet, biotiet, alkaliveldspaten en kwarts

! Toch is er meer variatie als dit (bv rijker aan olivijn), een deel van de mineralen zal dus niet geherkristalliseerd zijn.

- Observaties:

- Gelaagdheid in magmatische gesteenten door fractionele kristallisatie: bij het afkoelen en uitkristalliseren van de magmakamer kunnen de eerst gevormde mineralen kristallen vormen met hogere dichtheid dan omringend magma

! Zinken in de magma en zetten zich af op de bodem van de magmakamer

→ Samenstelling van de restsmeelt wordt voortdurende gewijzigd

- Wanneer magma ineens verdwijnt uit magmakamer door bv tektonische vervormingen dan ontstaan er magmatypes met verschillende chemische samenstelling: magmatische differentiatie

H5 Sedimentaire gesteenten

5.1 Inleiding

5.1.1 Sedimenten en sedimentaire gesteenten

- Sedimenten : losse structuur die wordt afgezet door stromend medium (vb. zand en leem)
! Accumuleren deze samen tot zeer dikke pakketten en kunnen door toenemende druk verhard
= sedimentaire gesteenten
- Processen die optreden bij het ontstaan van sedimentaire gesteenten: diagenese

5.1.2 Indeling op basis van textuur en mineralogie

5.1.2.1 Mineralogie

- Twee grote groepen naargelang oplosbaarheid: verschil in oplosbaarheid houdt verband met hun geologische oorsprong
- Sedimentaire gesteenten worden gevormd door verwerking van andere gesteenten
! In plaats van op te lossen zullen sedimenten verbrossen tot kleinere partikels die meegevoerd kunnen worden in vaste toestand en zullen elders bezinken (sedimentatie)
= ° van klastische sedimenten en sedimentair gesteente
- Wanneer de mineralen makkelijk oplossen zullen ze in opgeloste toestand worden meegevoerd en elders neerslaan (precipitatie)
= ° van (bio)chemische sedimenten en sedimentaire gesteenten.
- Sedimentaire gesteenten die bestaan uit organische koolstof: kaustobiolieten vb. steenkool

5.1.2.2 Textuur

- Variatie van erg fijn (nauwelijks onderscheid tussen minerale korrels) tot zeer grof afhankelijk van de geologische oorsprong:
 - Zeer fijne klastische sedimenten worden afgezet in een laag energetisch milieu.
 - Grove klastische sedimenten worden afgezet in een hoog energetisch milieu

5.1.3 Klastische sedimentaire gesteenten

- Indeling op basis van de grootte van de sedimentkorrels: korrelgroottefracties:
 - < 4 µm: klei (bestaat uit kleimineralen)
 - 4 – 63 µm: silt (bestaat uit kwarts + kleimineralen)
 - 63 µm – 2 mm: zand (bestaat uit kwarts)
 - > 2 mm: grind (afgerond) en puin (hoekig) (bestaan uit kwarts)
- ! Wanneer deze door diagenese aan elkaar klitten en verharden dan ontstaat:
 - schalie of leisteen (uit klei en silt)
 - zandsteen (uit zand)
 - conglomeraat (uit grind)
 - breccia (uit puin)
- Sedimenten in de natuur zijn eerder een mengeling van de bovenstaande vier
→ procentuele verhouding voorstellen in de textuurdriehoek van Shepard
~ analoog afgelezen als Streickeisen (evenwijdig met nul-as)

5.1.4 (Bio)chemische sedimentaire gesteenten

- Overzicht:

mineralogie	los sediment	vast gesteente
Calciet/Aragoniet (CaCO ₃)	Kalkslik	Kalksteen
Dolomiet ((Ca,Mg)(CO ₃))	Kalkslik	Dolomiet
Opaal, Chalcedoon, kwarts (SiO ₂)	Kiezelislik	Chert
Gips, Haliet, Sylviet	Evaporiet	Evaporiet
Hematiet, Limoniet, Sideriet	Hematiet, Limoniet, Sideriet	Hematiet, Limoniet, Sideriet

5.1.5 Kaustobiolieten

- Verschillende types naargelang de mate van diagenese
- Ontstaan allemaal oorspronkelijk door de afzetting van organisch materiaal in de vorm van veen: plantenresten worden afgebroken door bodemmicroben tot CO₂, humus en nutriënten, maar bij gebrek aan zuurstof of koude zal dit zeer traag verlopen: ° veen
 - ! Wanneer dit veen begraven wordt onder andere sedimenten en de druk sterk verhoogt zal deze worden omgezet tot: turf, bruinkool, steenkool en uiteindelijk aardolie en aardgas.

5.2 Verwerking

- Verschillende processen voor ontstaan van sedimentaire gesteenten:
 - Verwerking : uiteenvallen en verbrokkelen in kleinere bestanddelen (grind, zand, silt of klei).
 - Fysische verwerking: mechanische verbrokkelen oiv fysische processen waarbij chemische samenstelling hetzelfde blijft
 - Chemische verwerking: chemische veranderingen oiv neerslag en oxidatie
 - Erosie, transport en sedimentatie
 - Diagenese

5.2.1 Fysische verwerking

- Aantal vormen:
 - Water in barsten van gesteenten (diaklazen; indien er geen verplaatsing van gesteentemateriaal plaatsvindt) gaat bevriezen: toename in volume en druk zorgt voor breken steen
 - = Vorstverwerking
 - Water in barsten van gesteenten gaat verdampen: zouten in het gesteente die kunnen uitkristalliseren en zo de steen doen barsten
 - = Zoutverwerking
 - Bij extreem wisselende temperaturen: oppervlak gaat uitzetten en barsten. Als de temperaturen blijven stijgen en dalen, zal het gesteente in lagen afschilferen
 - = Exfoliatie
 - Biologische verwerking door bv wortels of regenwormen die bodem omwoelen (bioturbatie)

5.2.2 Chemische verwerking

- Regenwater gedraagt zich als een zwak zuur: wanneer deze indringt in de diaklazen zal chemische verwerking ontstaan.
- Chemische verwerking van mineraal A:

$$\text{Mineraal A} + \text{H}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Mineraal B} + \text{opgeloste ionen}$$
- Bij silicaten:

$$\text{Silicaat} + \text{H}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Kleimineraal} + \text{opgeloste ionen}$$
- Chemische verwerking ontstaat ook door oxidatie
 - ! Sommige gesteenten: hoge resistentie tegen chemische verwerking vb. kwarts
 - ➔ Mineralen angschikken naargelang hun verweringsgevoeligheid
 - ! overeenkomst met reactiereeks van Bowen aangezien mineralen die eerst uitkristalliseren uit magma zijn ook het minst resistent aan chemische verwerking.

5.2.3 Invloed van het klimaat

- Vorstverwerking: in gematigde klimaten
- Zoutverwerking en exfoliatie: in (semi)ariede woestijnklimaten
- Chemische verwerking: in streken met veel neerslag.
 - ! Diepte waarover gesteenten verwerken is ook afhankelijk van het klimaat:
 - Tundra- en woestijnklimaten: slechts oppervlakkige en trage verwerking
 - Gematigde en tropische klimaten: diepe verwerking

5.2.4 Relatie verwerking en sedimentair gesteente

- Fysische verwerking: bronmateriaal voor klastische sedimenten en sedimentaire gesteenten
- Chemische verwerking: bronmateriaal voor (bio)chemische sedimenten en sedimentaire gesteenten

5.3 Erosie, transport en sedimentatie

- Erosie: wegvoeren van verweerde gesteentepartikels door stromend medium (wind, water of ijs)
- Eenmaal geërodeerd: sediment wordt afgevoerd door stromend medium (sediment transport)
 - Voor vaste, groffe partikels gaat dit via springen (saltatie), rollen en glijden (bodemtransport)
 - Fijne sedimenten via wind en water in suspensie ('zwevend' transport)
 - Opgeloste ionen in oplossing
- Sedimentatie: afzetten van de sedimenten

5.3.1 Sedimentatie van klastische sedimenten

- Selectief proces: met afnemende stroomsnelheid worden eerst puin en grind afgezet, daarna zand, dan silt en tenslotte klei
- Mate van afronding en sortering zijn dan een indicatie voor type en tijdsduur van transport
- Door afzetting door een stromende medium vertonen sedimentaire gesteenten een typische gelaagdheid: eigenschappen van sedimenten kunnen veranderen in de tijd
 - ! Deze opeenvolging van verschillende types van sedimenten zorgt voor gelaagdheid.
- Complexe structuren zoals kruisgelaagdheid (duinafzettingen), golfribbels (strandafzetting), stroomribbels (duin- of rivierafzetting)

5.3.2 Sedimentaire faciës

- Sedimentaire faciës: milieucondities waarin bepaald sediment oorspronkelijk werd afgezet
 - ! Bepalen op basis van kenmerken van de gesteenten of door fossielen
 - Vb. glaciaal, strand, koraalrif of diepzee faciës
- Diepzee faciës: zeer belangrijk aangezien oceanen de belangrijkste sedimentaire bekkens op aarde zijn
 - ! Aan de MOR een dunne laag kalkslik sediment <> dieper in de oceaan wordt de laag dikker en vindt men voornamelijk klei
 - ! Koude en diepe oceanen hebben kiezel ipv kalkslik omdat CaCO_3 opnieuw oplost door hoge CO_2
 - ! Randen van continenten: meeste en zwaarste klastische sediment (vb. zand) <> klei en (bio)chemische sedimenten worden naar diepe oceaan gevoerd
 - ! Polaire oceanen: tilloïden van gletsjerijs (grove klastische sedimenten)

5.4 Diagenese

Diagenese: elke fysische en chemische verandering die optreedt na sedimentatie

- Gevolg van begravingen onder jongere sedimenten (druk en temperatuur)
- Aan elkaar klitten en verharden (lithificatie) en wanneer druk en temperatuur blijven toenemen zullen drastische fysische en chemische veranderingen optreden (metamorfose; 200°C en 2kbar)

5.4.1 Fysische veranderingen

- Belangrijkste fysische verandering: afname in volume van het sediment (inklinken)
 - Door compactie: samendrukken van sediment (moeilijk: zand en grind/makkelijk: silt en klei)
 - ! belangrijk bij veen
 - Door oplossen van minerale bestanddelen door toename in druk en temperatuur
 - ! bij goed oplosbare sedimentair gesteenten bv. kalksteen (°stylolieten: gekartelde, donkere lijnen in kalksteen na oplossen van calciet)

5.4.2 Chemische (mineralogische) verwerking

- Cementering of autigenese: wanneer bepaalde mineralen oplossen en weer neerslaan in poriën tot individuele korrels, kunnen deze aan elkaar klitten (lithificatie)
- Bij toenemende druk en temperatuur kunnen bepaalde mineralen herkristalliseren of er worden concreties gevormd (oplossen en weer geconcentreerd neerslaan van bepaalde mineralen)

H6 Metamorfe gesteenten

6.1 Begrip metamorfose

- Type van gesteente dat men niet kon verklaren door sedimentaire processen of door het stollen van magma: veldobservaties:
 - Metamorfe gesteenten in sterk geplooid bergmassieven (hoge druk)
 - Metamorfe gesteenten grenzend aan magmatische intrusieve gesteenten (hoge T)
- Labo-experimenten: magmatische en sedimentaire gesteenten onder hoge druk en temperatuur veranderen in mineralogie en textuur (metamorfose) tot metamorfe gesteenten

6.2 Indeling van metamorfe gesteenten

6.2.1 Op basis van plaattektonische context

- Types van metamorfose:
 - Dynamisch: onder hoge druk en lage temperatuur (aan convergentiezones tijdens gebergtevorming dicht bij aardoppervlak)
 - Contact: hoge temperatuur en lage druk (aan subductiezones bij vorming van magmakamers)
 - Regionaal: hoge druk en temperatuur (in diepe sedimentaire bekken door begraving van gesteente en subsidentie of aan convergentiezones tijdens gebergtevorming diep onder het gebergte)
- Nog enkele zeldzame vormen:
 - Hydrothermaal: oiv water dat in gesteente sijpelt en opwarmt in de buurt van magmakamers en verder migreert door het gesteente (bv. divergentie aan MOR)
 - Kataklastisch: in convergentiezones waar gesteentemateriaal langs breukvlakken langs elkaar wordt geschuurd (toename temperatuur en druk)

6.2.2 Op basis van metamorfe faciës

- Metamorfe faciës: druk en temperatuur condities waaronder metamorfe gesteente gevormd is
- Druk-temperatuurdiagram
 - Bij $T < 200^{\circ}\text{C}$ en/of $P < 2$ kbar: diagenese (ondergrens van metamorfose)
 - Bij $T = 600-700^{\circ}\text{C}$: partieel smelten (bovengrens)
- Soorten metamorfe faciës:
 - Hoornrots faciës -> contact
 - Blauwschist faciës -> dynamisch
 - Zeoliet faciës -> regionaal
 - Groenschist faciës -> regionaal
 - Amphiboliet faciës -> regionaal
 - Granuliet faciës -> regionaal
 - Eclogiet faciës

6.2.3 Op basis van oorspronkelijk gesteente

- Benaming is gebaseerd op oorspronkelijk sedimentair of magmatisch gesteente waaruit ze zijn ontstaan en naargelang ze regionale, contact of dynamische metamorfose hebben ondergaan
- ! Bij de regionale wordt er dan nog verder onderscheid gemaakt tussen welke faciës

	zand	klei	kalkslib	Basalt
Diagenese	zandsteen	argilliet	kalksteen	Basalt
Regionaal				
zeoliet-fac.	zandsteen	argilliet	kalksteen	Basalt
groenschist-f.	kwartsiet	leiste	marmer	Groenschist
amfiboliet-f.	kwartsiet	micaschist	marmer	Amfiboliet
granuliet-f.	kwartsiet	gneis	marmer	Granuliet
Contact	kwartsiet	hoornrots	skarn	Basalt
Dynamo	ogengneis	ogengneis	marmer	Ogengneis

6.3 Mineralogische wijzigingen tijdens metamorfose

6.3.1 Polymorfe modificaties

- Enkel bij bepaalde temperatuur en druk: vb. grafiet (C, hexagonaal) tot diamant (C, regulair)
SiO₂ tot kwarts

6.3.2 Isochemische metamorfose

- = toenemende druk en/of temperatuur herkristalliseren mineralen tot totaal andere mineralen zonder dat daarbij de globale chemische samenstelling van het gesteente verandert
Vb. albit tot pyroxeen en kwarts

6.3.3 Allochemische metamorfose of metasomatose

- = mineralen kunnen herkristalliseren waarbij globale chemische samenstelling wel verandert
! als water/CO₂ vrijkomt: dehydratie / decarbonatie

6.4 Textuurwijzigingen tijdens metamorfose

6.4.1 Druksplijting, foliatie, lineatie

- Foliatie: banden van felsische en mafische mineralen in metamorf gesteente
 - Door hoge druk: minerale korrels worden platgedrukt
 - Plaatvormige fillosilikaten heroriënteren zich zodat ze evenwijdig liggen en loodrecht op de drukrichting (druksplijting)
- Lineatie: evenwijdig oriëntatie van naaldvormige lineatie

6.4.2 Nucleatie en blastese

- Nucleatie: bij toenemende druk en/of temperatuur het herkristalliseren van bepaalde mineralen tot andere mineralen vanuit bepaalde centra
 - ! diffuus transport van minerale bestanddelen die leidt tot toenemende metamorfose
→ Steeds verder aangroeien van het mineraal en vorming grote kristallen (blastese)
- Aangezien sommige mineralen sneller groeien als andere: ° porfyroblasten
- Toenemende regionale metamorfose: toenemende mate van foliatie en porfyroblasten in metamorfe gesteenten

H7 Vulkanisme en Plutonisme

7.1 Plaattektonische context

- Plutonisme: door partieel opsmelten van oceanische korst die zorgt voor opstijgende magma die stolt in magmakamers
- Vulkanisme: opgestegen magma dat het aardoppervlak bereikt
- Basische vulkanen: magma en lava zijn arm aan silicium en rijk aan mafische mineralen, komen diep uit de mantel en wanneer ze aan oppervlakte komt stolt ze tot magmatische, mafische extrusieve gesteenten vb. basalt (MOR + hotspots)
- Intermediair tot zuur vulkanisme: rijk aan felsische mineralen, ontstaat door partieel opsmelten van basalt (subductiezones)

7.2 Vulkanisch materiaal

7.2.1 Lava

- Twee soorten door verschil in viscositeit:
 - Basische lava: stroomt kalm uit vulkanen, weinig viskeus en vrij vloeibaar, ontsnapping van gassen, lava vloeit ver, arm aan silicium (mantelmateriaal), bij stolling ontstaat basalt
 - ! Soorten basalt:
 - Basaltzuilen: polygonaal netwerk van krimpscheuren ontstaan door krimpen van afkoelende lava (dichtheid neemt toe en volume daalt) die uiteindelijk omvormen tot polygonale basaltzuilen
 - Pahoe hoe of touwlava: evenwijdige plooien van basalt ontstaan door dunne vloeibare lava die langzaam stolt en aan het oppervlak steeds taaier en viskeuzer wordt
 - Aa of bloklava: opeenstapeling van ruwe, hoekige basaltblokken ontstaan door gedeeltelijk uitgekristalliseerde lavastromen
 - Kussenlava = kussenvormige formaties ontstaan aan MOR's door het plots in contact komen met koud zeewater van uitvloeiende lava
 - Zure lava: spuit met explosieve kracht uit vulkaan, gassen ontsnappen niet waardoor grote druk ontstaat en lava ineens uiteen kan spatten, rijk aan silicium (korstmateriaal), bij stolling vormt rhyoliet, aan jonge subductiezones

7.2.2 Tephra

! Zie Pyroklastische gesteenten

7.2.3 Exhalaties

- Bij vulkaanuitbarstingen komen vele gassen (CO₂, H₂O, N₂, ...) en fijn stof (aerosolen) vrij
 - ! Hebben veel invloed op het klimaat en opwarming van de aarde

7.3 Vulkaantypes

7.3.1 Lavavulkanen of schildvulkanen

- Eigenschappen:
 - Zeer vlakke, uitgestrekte vorm
 - Aan MOR's (lineaire eruptie) en hot spots (centrale eruptie)
 - Basisch magma: geen tephra want niet explosief
- ! Speciale vorm: tuya of subglaciale vulkaan

7.3.2 Tephra vulkanen

- Eigenschappen:
 - Kegelvorm
 - Langs jonge subductiezones
 - Intermediaire tot zure tephra (geen zure lava: stolt reeds in kraterpijp)
- ! Speciale vorm: maar: meer ontstaan in kraterpijp wanneer vulkaan uitdooft doordat subductie stopt door plaattektonische bewegingen

7.3.3 Stratovulkanen

- Eigenschappen:
 - Zowel intermediaire tephra als lava
 - Kegelvormig
 - Aan oudere subductiezones (evolueren van tephra-vulkanen)
- ! Speciale vorm:
 - Stromboli-type: wanneer in ver gevorderd stadium van subductie de intermediaire lava traag stolt en dus doorlopend actief is zal in de magmakamer een lage gasdruk heersen.
 - ! barsten zeer zwak uit met tussenpozen van enkele minuten, uren of dagen.
 - Bij zeer zure lava geraakt de kraterpijp meer verstopt: hoge gasdruk
 - ! Plotselinge explosieve eruptie
 - Vulcano-type: zwakkere eruptie met rustperioden van enkele jaren
 - Vesuvius-type: krachtige eruptie, rustperioden van enkele eeuwen
 - Pliniaanse-type: krachtigste eruptie, rustperioden van 1000den jaren
- Gevolgen van een Pliniaanse uitbarsting
 - Pyroclastische stromen: golven van vaste of halfvloeibare lava, gas, rotsen en as
 - Caldeira: grote cirkelvormige depressie, gevormd door instorten van een vulkaankegel
 - Lahars: modderstromen ontstaan door grote massa's ijs die plots smelten
 - Grote stof- en gaswolk

7.4 Plutonische intrusies

- Plutonisme: vorming intrusieve of plutonische gesteenten, magma stolt zonder oppervlak te bereiken
- Soorten:
 - Batholieten: grote plutonische intrusie ontstaan door stollen van magmakamer
 - Sills: intrusies gevormd tussen gesteentelagen
 - Dikes: intrusies gevormd dwars door gesteentelagen
 - Pipe of neck: gevormd door stollen van magma in de kraterpijp

H8 Tektoniek

8.1 Hoe vervormen gesteenten?

- Labexperimenten: Op gesteentemonsters wordt een kracht uitgeoefend: veroorzaakt een inwendige kracht en toestand van stress

! Kan vervolgens strain of vervorming ondergaan (afhankelijk van temperatuur en druk)

- Tektoniek: grootschalige vervormingen in de aardkorst

! Drijvende kracht: platentektoniek: druk en rekspanningen waardoor gesteenten worden:

- Geplooid: plooitektoniek of ductiele vervorming onder hoge omgevingsdruk en temperatuur diep in de aardkorst, trage vervorming (incompetente gesteenten)
- Gebroken: breuktektoniek of broze vervorming onder lage omgevingsdruk en temperatuur ondiep in de aardkorst, snelle vervormingen (competente gesteenten)

8.2 Plooitektoniek

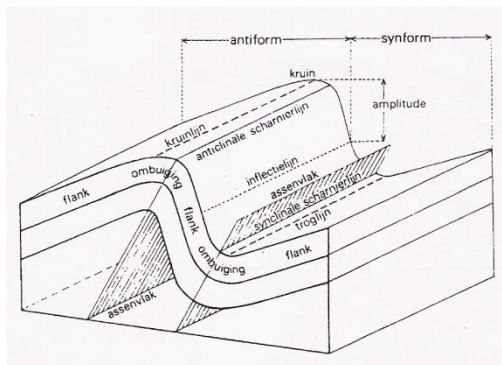
8.2.1 Veldobservatie van plooivormen

- Bepalen helling en strekking van lagen aan het aardoppervlak om de lagen in de ondergrond te observeren
 - Streckings X: hoek tussen de horizontale lijn op dat laagvlak en het noorden, gemeten in tegenwijzerzin
 - Helling Y: hoek tussen normale loodrecht op strekkingslijn en met verticale projectie in horizontaal vlak
- Geologische kaarten: plooioing van kagen in de ondergrond reconstrueren

8.2.2 Terminologie: onderdelen van een plooï

- Anticline: plooioing waarbij geplooide lagen een bult vormen
- Syncline: plooioing vormt een dal

! Anticlinorium: complex van plooïen heeft globaal een koepelvorm <-> Synclinorium



- Flanken: beide zijden van een anticline of syncline
- Axiaal vlak of assenvlak: vlak dat syncline of anticline middendoor deelt
- Aslijn: snijlijn van axiaal vlak met laagvlak (valt samen met de plaats met sterkste kromming)
- Scharnierlijn: lijn die punten van de sterkte kromming verbindt
- Kruinlijn: lijn die hoogst gelegen punten van anticline verbindt
- Troglijn: lijn die laagste punten in syncline verbindt
- Inflexie: plaats waar anticline overgaat in syncline
- Inflexiële lijn: lijn die inflexiepunten verbindt
- Amplitude: hoogteverschil tussen inflexiële lijn en kruin- of troglijn

8.2.3 Plooivormen

- Symmetrische of rechtopstaande plooï: axiaal vlak staat vertikaal waardoor scharnierlijn, aslijn en kruinlijn samenvallen + beide flanken hebben gelijke helling maar verschillende strekking
- Asymmetrische of schuine plooï: axiaal vlak staat niet vertikaal: verschillende hellingen
 - Overhangende plooï: 1 van de flanken heeft een helling $> 90^\circ$
 - Liggende plooï: axiaal vlak is horizontaal
- Horizontale plooï: aslijn loopt horizontaal (dagzomende lagen lopen evenwijdig)
- Duikende plooï: aslijn loopt niet horizontaal (dagzomende lagen vertonen een wigvormige structuur)

8.3 Breuktektoniek

8.3.1 Diaklazen

- Diaklazen: barsten in gesteente waarlang geen verplaatsing van gesteentemateriaal optreedt
- Ontstaan door
 - Drukontlasting vb. intrusieve magmatische gesteenten ontstaan door stollen van magmakamers op zeer grote diepte en komen dus enkel aan het oppervlak terecht door tektonische opheffing en erosie van de bovenliggende aardlagen
 - ! doordat druk aan het oppervlak veel lager is: gesteenten uitzetten en barsten
 - Krimpscheuren vb. bij het stollen van basische lava kunnen tijdens de afkoeling polygonale krimpscheuren en basaltzuilen ontstaan of vb. in kleirijke sedimenten kunnen scheuren ontstaan door afwisselend nat en droog worden van het klei

8.3.2 Breuken s.s.

- Breuken s.s.: barsten waarlangs wel verplaatsing optreedt (vertikaal, horizontaal of schuin)
 - Verticale verschuiving: gevolg van een horizontale verkorting of uitrekking van de aardkorst
 - Bij uitrekking ontstaat een afschuiving: normaal breuk
 - ! combinatie van 2 afschuivingbreuken: slenk of riftvallei
 - Bij verkorting ontstaat een opschuiving: reverse breuk
 - ! combinatie van 2 opschuivingsbreuken: horst
 - Extreme samendrukking: gedeelten van de korst over andere korstgedeelten heen schuiven (tektonische dekbladen)
 - Horizontale verschuiving: langs transforme breuken
 - Schuine verschuiving of oblique breuk: combinatie horizontale en verticale verschuiving

8.4 Plaattektonische context

- Plaattektonische bewegingen zijn de drijvende kracht achter plooï- en breuktektoniek en het in kaart brengen van het geologisch verleden
- Plooi tektoniek
 - Collisie van continentale platen in convergentiezone (ofwel recent ofwel heel lang geleden)
 - Convergentiezones waar subductie van oceanische plaat onder een continentale plaatsvindt
 - ! Aan de hand van de plooivorm: drukrichting reconstrueren die verantwoordelijk is voor de vorming van de plooïing en dus richting van de plaatbeweging
- Breuktektoniek: langs alle types van plaatranden
 - Afschuivingsbreuken of slenken: divergente plaatranden
 - Opschuivingsbreuken, horsten en dekbladen: convergerende plaatranden
 - Transforme breuken: transforme plaatranden die lateraal langs elkaar heen bewegen

H9 Stratigrafie en Geochronologie

9.1 Tijdsbegrip in Geologie

- Geologische tijdsindeling: belangrijke gebeurtenissen in de aardgeschiedenis vastgelegd door aardlagen en hun inhoud

! Rangschikking van geologische processen om zo het ontstaan en de evolutie van de aarde beter te begrijpen

- Stratigrafie: relatieve tijdsindeling van aardlagen op basis van hun kenmerken
- Geochronologie: absolute tijdsindeling van aardlagen op basis van hun datering

9.2 Stratigrafie

9.2.1 Basisprincipes

- Horizontaliteit: aanname dat gesteentelagen ooit als horizontale lagen werden afgezet
- Superpositie: aanname dat gesteentelagen ouder zijn als lagen bovenop en jonger als de lagen eronder
- Lithostratigrafie
- Lithofaciës: paleo-milieu waarin het gesteente gevormd werd afgeleid op basis van lithologische kenmerken van het gesteente (textuur en mineralogie)
- Lithostratigrafie: relatieve tijdsindeling van aardlagen op basis van lithofaciës
 - ! Indeling gebeurt hiërarchisch: gesteenten met gelijkaardige lithologische kenmerken en positie ingedeeld zijn in leden en deze leden vervolgens gegroepeerd zijn tot formaties die dan gegroepeerd zijn tot groep
- Moeilijkheden bij opstellen van een relatieve tijdsindeling:
 - Er zijn verschillende formaties met dezelfde ouderdom aangezien in eenzelfde tijdsperiode verschillende lithofaciës naast elkaar kunnen voorkomen
 - Voorkomen van diachrone formaties: formaties die niet over de ganse lengte dezelfde ouderdom hebben.

9.2.2 Biostratigrafie

- Biofaciës: paleo-milieu gebruik makend van fossielen in de aardlagen.
- Biostratigrafie: relatieve tijdsindeling van aardlagen op basis van biofaciës
 - ! gebaseerd op principe van organische evolutie
- Paleontologie: studie van evolutionaire aspecten van fossiele organismen
- Moeilijkheden:
 - Zeer veel fossielen zijn gebonden aan welbepaald paleo-milieu: verschillende biofaciës met dezelfde ouderdom kunnen naast elkaar voorkomen
 - ! Oplossing: aardlagen opdelen in biozones op basis van gidsfossielen (fossielen die bijna niet gebonden zijn aan bepaald milieu en die een groot verspreidingsgebied hebben)
 - Biozones kunnen diachronisch zijn door migraties en extincties van soorten.

9.2.3 Hiaten en diskordanties

- Probleem: afzetting van gesteenten gebeurt niet altijd en overall continu
 - Hiaten: tijdsonderbrekingen in de afzetting van aardlagen
 - Diskordantie: laagvlak waarin aardlagen ontbreken in bepaalde ontsluiting (ruimte-aanduiding)
- Oorzaken:
 - Onderbreking in sedimentatie: periode waarin geen gesteenten werden afgezet
 - Tektonische opheffing, verwering en erosie hebben de afgezette gesteenten afgebroken
 - Tektonische scheefstelling: ontstaan van hoekdiskordanties doordat na verwering en erosie nieuwe lagen werden afgezet daarna terug lagen worden afgezet = hoekdiskordantie

9.2.4 Ordenen van geologische processen in de tijd

= Adhv gesteentetypes, fossiele inhoud en onderlinge positie afleiden welke geologische processen geleid hebben tot geologische ontsluiting en zo deze in chronologische volgorde te ordenen.

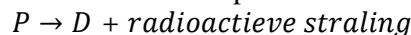
9.3 Chronostratigrafie

- Chronostratigrafische tijdsindeling: indeling van aardlagen op basis van relatieve ouderdom, op basis van combinatie van litho- en biostratigrafische gegevens
 - Aardgeschiedenis in geologische tijdsvakken: relatieve geologische tijdsschaal
 - Precambrium (eon)
 - Phanerozoïcum (eon):
 - Paleozoïcum (era): Cambrium - Ordovicium - Siluur - Devoon - Carboon - Perm (systemen)
 - Mesozoïcum (era): Trias - Jura - Krijt (systemen)
 - Cenozoïcum (era): Tertiair - Kwartair (systemen)
- ! systemen bestaan uit series en series uit etages

9.4 Geochronologie

9.4.1 Basisprincipe

- Radioactieve desintegratie: radioactief verval van isotopen naar dochterisotopen



! Snelheid waarmee moederisotopen vervallen gebeurt met een constante halveringstijd waarvan men de afname kan voorstellen door een exponentiële curve

9.4.2 Radiometrische dateringsmethoden

- Rutherford: exacte ouderdom van gesteenten te bepalen
 - ➔ Wanneer mineralen uitkristalliseren worden radioactieve isotopen ingesloten in het kristalrooster en vanaf dat moment beginnen ze ook aan hun verval

$$t = \frac{T}{\ln 2} * \ln \left(1 + \frac{D}{P} \right)$$

met T = halveringstijd, D = aantal dochterisotopen en P = aantal moederisotopen

- Radiometrische datering van de ouderdom van het mineraal (soms ≠ ouderdom van het gesteente)
 - Sedimentaire klastische sedimenten: mineralen ouder dan gesteente
 - Metasomatose: mineralen jonger dan het gesteente
 - Metamorfe gesteenten: herkristallisatie van mineralen zorgt voor moeilijkheden
- ! Magmatische gesteenten: best geschikt voor radiometrische datering

9.4.3 Splitsingssporen methode

- Bij spontane splijting van ^{238}U spat de kern uiteen in kernen van Kr, Xe, ...
 - ! Laten beschadigen na in het kristalrooster die zichtbaar zijn onder de microscoop

9.4.4 ^{14}C methode

- ^{14}C wordt met constante verhouding opgenomen door planten onder de vorm van CO_2 en gehalte aan ^{14}C in planten is nauwkeurig gekend
 - ! Wanneer plant afsterft: ^{14}C beginnen aan zijn radioactief verval naar ^{14}N . Men bepaalt de ouderdom van het koolstofhoudend fossiel adhv de oorspronkelijke hoeveelheid ^{14}C en de nog overblijvende ^{14}C -kernen
 - ! Methode werkt niet voor materiaal ouder als 70 000 jaar

9.4.5 Niet-radiometrische dateringsmethoden

- Dendrochronologie: bomen hebben een jaarlijkse groeicyclus waarbij goede en slechte jaren weerspiegeld zijn in het houtweefsel (dikkere en dunnere jaarringen)
 - ! Tellen van deze ringen in recente en fossiele houtmonsters heeft men een dendrochronologische schaal opgebouwd.
 - Varven-afzettingen: meerafzettingen met gelaagdheid van zomer en winterlagen
- Universele geologische tijdsschaal
- Relatieve geologische tijdsschaal gekoppeld aan absolute geologische tijdsschaal, uitgedrukt in exacte ouderdom op basis van radiometrische dateringsmethoden zodat men op eons, eras, .. een absolute ouderdom kon plakken
 - ! Belangrijk sleutelement in de koppeling: paleomagnetisme en de ompoling

H11 Vorming van landschappen

11.1 Geomorfologie, landvormen en landschappen

- Geomorfologie: studie van ontstaan en evolutie van landvormen aan aardoppervlak
- Reliëf of topografie: vorm van aardoppervlak
- Landvorm: 1 functionele reliëfeenheid die deel uitmaakt van algemene topografie van aardoppervlak en die ontstaat en evolueert onder invloed van 1 set van geomorfologische processen vb. zandduin
- Landschap: aggregatie van landvormen (hetzelfde of verschillende types) vb. woestijnlandschap

11.2 Resultaat van inwendige en uitwendige processen

- Grote variëteit aan landvormen en landschappen: resultaat van inwendige en uitwendige processen
- Inwendige processen: oorsprong in inwendige van de aarde en zorgen doorgaans voor opbouw van reliëf
 - ! Belangrijkste: tektoniek en vulkanisme
 - ➔ Ontstaan van primaire landvormen (minder voorkomend: worden vaak meteen omgezet tot secundaire landvormen)
- Uitwendige processen: aan aardoppervlak en zorgen voor afbraak, verplaatsing en afzetting van aardmateriaal, degradatie- en aggradatieprocessen:
 - ➔ Ontstaan secundaire landvormen (vinden samen met inwendige processen plaats waardoor primaire meteen omvormen tot secundaire)
 - Verwerking: afbraak en transformatie van gesteenten zonder verplaatsing van gesteentemateriaal
 - ! Fysisch – chemisch – biologisch
 - Massabewegingen: spontane, hellingafwaartse bewegingen onder invloed van zwaartekracht, afstand beperkt
 - Erosie en sedimentatie: bodempartikels losgemaakt door verwerking en/of door massabewegingen die onder invloed van een fluïdum verplaatst worden en elders afgezet
 - ! Water – wind – ijs
- Aard en de intensiteit van degradatie- en aggradatieprocessen bepaald door 5 factoren: aardmateriaal, klimaat, vegetatie, topografie en mens

11.3 Interacties met organismen en ecosystemen

- Alle organismen leven op de een of andere manier in wederzijdse interactie met de geomorfologische processen die het aardoppervlak vorm geven
 - ! Wisselwerking tussen organismen en landvormen is zeer sterk

H12 Sterkte van aardmaterialen

12.1 Gesteenten, bodems en sedimenten

- Aardmateriaal: materiaal waaruit aardoppervlak is opgebouwd
 - Bodems (aan aardoppervlak): mengeling van minerale en organische bestanddelen die in meerdere of mindere mate aan elkaar kleven tot bodemaggregaten
 - ! Ontstaan door verwerking van gesteenten
 - Gesteenten (aan aardoppervlak of op zeer grote diepte): uitsluitend minerale bestanddelen in de vorm van vaste, massieve lichamen
 - Sedimenten (aan aardoppervlak of op zeer grote diepte): uitsluitend uit minerale bestanddelen in de vorm van losse gesteenten

12.2 Stress, strain en strength

- Stress: toestand waarin lichaam zich verkeert wanneer er een actie kracht op wordt uitgeoefend die een inwendige reactie veroorzaakt: $\sigma = \frac{F}{A}$ (N/m²)
- Strain (vervorming): verhouding van de dimensies van het lichaam onder stress tot originele dimensies van het lichaam: $\varepsilon = \frac{\delta l}{l}$ (%)
- Strength: stress die nodig is om een lichaam te breken OF weerstand die het materiaal biedt tegen strain (van elastische naar ductiele vervorming)
- Drie types van stress, strain en strength:
 - Compressive (drukspanning)
 - Tensile (rekspanning)
 - Shear (schuifspanning)
- ! Massabewegingen, erosie en sedimentatie: shearstress
 - <> Plooi- en breuktektoniek: compressive of tensile stress

12.3 Shear strength

- Verschillende aardmaterialen bieden in verschillende mate weerstand tegen verplaatsing door massabewegingen en erosie: hebben een verschillende shear strength
- Coulomb vergelijking: $\tau_f = c + \sigma_n * \tan \phi$
 - met τ_f = shear strength (N/m²), c = cohesie (N/m²), σ_n = normaal stress (N/m²) en ϕ = interne hoek
 - ! afhankelijk van:
 - Cohesie: ontstaat door sterkte van de bindingen tussen de partikels waaruit het materiaal is samengesteld
 - Wrijving: ontstaat door de normaal stress als gevolg van de zwaartekracht door de interne wrijvingshoek

12.3.1 Cohesie

- Cohesie: ontstaat door bindingen tussen partikels en niet door de druk die de deeltjes bij elkaar houdt
- Vaste gesteenten: bepaald door chemische bindingen en de elektrische aantrekking tussen de atomen die de kristalroosters van minerale bestanddelen van gesteenten opbouwen
- Los bodemmateriaal en sediment: bepaald door elektrostatische bindingen tussen individuele bodem- en sedimentpartikels of door capillariteit (= schijnbare cohesie)
 - ! Elektrostatische bindingen zijn veel zwakker dan chemische bindingen (water verzwakt de elektrostatische bindingen ook)

12.3.2 Wrijving

- Zwaartekracht uitgeoefend op object in rust (normaal stress): R biedt tegen reactie aan normaal stress en heffen elkaar op: object blijft in rust

! Wanneer extra shear stress blok niet beweegt: R heft shears stress én normaal stress op

! Shear stress wanneer blok verschuift (shear stress = shear strength): R maakt hoek met loodrechte op contactoppervlak (interne wrijvingshoek)

- Vaste natuurlijke gesteenten vertonen barsten: verzwakken shear strength van het gesteente

! Cohesie heeft bijna geen invloed in deze barsten

- Diaklazen

- Breuken

- Gelaagdheidvlakken (als gevolg van afzetting van verschillende sedimenttypes)

- Druksplijtingsvlakken (laag-metamorf gesteente)

- Foliatie (hoog-metamorf gesteente)

- Los bodemmateriaal en sediment: wrijving tussen individuele bodem- en sedimentpartikels waarbij de interne wrijvingshoek bepaald wordt door het aantal contactpunten (afhankelijk van grootte, vorm, ruwheid, stapeling, ...).

! Normaal stress wordt bepaald door gewicht van het sediment, afhankelijk van de dichtheid of porositeit van het organisch materiaalgehalte.

12.3.3 Effect van water

- Niet-lineaire invloed van het poriënwatergehalte op shear strength.

- Poriënwaterdruk u verandert in functie van het poriënwatergehalte. $\tau_f = c + (\sigma_n - u) * \tan \phi$

! Negatieve poriënwaterdruk (slecht weinig water; capillair effect) zorgt voor grotere shear strength, positieve poriënwaterdruk (waterverzadigd; capillariteit verdwijnt) zorgt voor kleinere shear strength

12.3.4 Meten van shear strength

- Verschillende methodes om de shear strength van verschillende soorten aardmateriaal te meten en om het aandeel van cohesie en wrijving te bepalen.

Vb. Shear box test

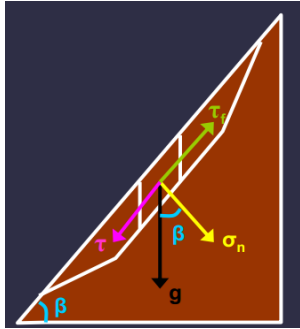
= Reeks van gesteente-, bodem- of sedimentmonsters in een shear box gebracht en worden onderworpen aan reeks verschillende normaal drukken door aanbrengen van telkens een ander gewicht. Vervolgens wordt voor iedere normaal stress een toenemende shear stress uitgeoefend tot het monster breekt en verschuiving optreedt. De kritische shear stress geeft de shear strength.

H13 Massabewegingen

13.1 Catastrofale voorbeelden

- Massabeweging: grote massa aardmateriaal die spontaan in beweging komt en hellingsafwaarts wordt getrokken door de zwaartekracht
 - Rechstreekse schade: vernieling van infrastructuur en dodelijke slachtoffers
 - Onrechtstreekse schade: bv. aardmassa in watermassa met als gevolg een vloedgolf (tsunami)

13.2 Wat doet massa's bewegen?



- Factor of safety: maat voor stabiliteit van een helling: $F = \frac{R}{D}$
 met R = weerstandbiedende kracht en D = drijvende kracht
 ! voorspelt waar en wanneer massabewegingen zullen optreden:
 - als $F > 1$ -> stabiele helling
 - als $F < 1$ -> onstabiele helling
- Drijvende kracht: shear stress die wordt veroorzaakt door de hellingafwaartse component van de zwaartekracht:
 $D = \tau = g * \sin \beta$ met β : hellingshoek
- Weerstandbiedende kracht: shear strength uit de Coulomb vergelijking:
 $R = \tau_f = c + (g * \cos \beta - u) * \tan \phi$

- Factor of safety:

$$F = \frac{c + (g * \cos \beta - u) * \tan \phi}{g * \sin \beta}$$

13.2.1 Hellingshoek

- Drijvende kracht neemt toe en de weerstandbiedende kracht neemt af met toenemende hellingshoek
 ! Hoe steiler de helling, hoe onstabiel ze is.

13.2.2 Aardmateriaal

- Type aardmateriaal is bepalend voor het al dan niet optreden van massabewegingen
 ! Kleine cohesie en/of kleine interne wrijvingshoek: gevoelig aan massabewegingen
 Verwering: c en ϕ nog verder afnemen
- Los en droog materiaal: maximale hellingshoek/valhelling/rusthoek waaronder het materiaal stabiel kan blijven: ($c = 0$ en $u = 0$): $F = \frac{g * \cos \beta * \tan \phi}{g * \sin \beta} \rightarrow \frac{\sin \beta}{\cos \beta} = \tan \phi = \tan \beta \rightarrow \beta = \phi$
 vb. Zandduinen en puinhelling

13.2.3 Poriënwaterdruk

- Na langdurige regen: bodem volledig verzadigd met water zodanig dat de poriënwaterdruk sterk oploopt en de shear strength sterk vermindert
 ! Helling wordt onstabiel

13.2.4 Vegetatie

- Vegetatie heeft verschillende, complexe invloeden vb. bosvegetatie:
 1. Verhoogt zwaartekracht uitgeoefend op bepaald bodemoppervlak: een zwakke helling wordt stabiel door het gewicht van de vegetatie en een steile helling wordt onstabiel
 2. Verhoogt de cohesie doordat de wortels de bodem bijeenhouden
 3. Door wind: vegetatie doorbuigen wat zorgt voor extra shear stress en de stabiliteit afneemt
 4. Verlaagt de poriënwaterdruk doordat de planten een groot deel van het water opnemen en verhoogt de hellingsstabiliteit.
 ➔ Over het algemeen: helling onstabiel na ontbossing.

13.2.5 Aardbevingen

- Trilling of aardbeving: op- en neergaande beweging van het aardoppervlak waardoor zwaartekracht tijdelijk kleiner

! Zwakke hellingen worden onstabiel

- Liquefactie van bodems en sedimenten met hoog poriënwatergehalte: door trilling kan stapeling van de korrels compacter worden waardoor plots de bodem verzadigd geraakt met water

! Poriënwaterdruk stijgt enorm waardoor de stabiliteit sterk vermindert.

13.3 Types van massabewegingen

- Creep: traag hellingafwaartse beweging van los oppervlakkig bodemmateriaal, ontstaan door cyclisch uitzetten (horizontaal) en krimpen (verticale) van bodem door afwisseling van vorst-dooi of nat-droog in kleirijke bodems.

- Slump (verschuiving): massa bodemmateriaal of sediment (cohesief en kleirijk) dat als 1 blok zich traag verplaatst volgens een rotatiebeweging.

- Debris flow (puinstroom): snellere beweging waarbij de inwendige structuur van de massa grondig door elkaar wordt gemengd, het afgezet puin is meestal slecht gesorteerd hoekig grof materiaal

- Mud flow (modderstroom): snellere beweging van slecht gesorteerd waterverzadigd fijn materiaal, meer fijn materiaal dan bij debris flow

- Landslide (verglijding): snelle verplaatsing van bodemmateriaal (slechts weinig vermengd)

- Rock slide: gelijkaardig aan landslide maar dan in gesteente, het komt voornamelijk voor langs vlakken met zwakkere shear strength

- Rock fall: vallen van gesteente door geleidelijke verwerking waardoor gesteenten afbrokken

- Rock avalanche (steenlawine): plotse verplaatsing van grote massa gesteentemateriaal aan een zeer grote snelheid, meestal het gevolg van trillingen

H14 Werking van water

14.1 Hydrologische cyclus, erosie en sedimentatie

- Hydrologische cyclus: continue circulatie van water op aarde die het ontstaan van landschappen beïnvloed, met als grootste reservoir de oceanen

- Hellingen: gevormd als gevolg van erosie door neerslag en afstroming van water
- Rivieren: accumulatie van afstromend water dat diepe valleien eroderen en materiaal afzetten
- Zee: erodeert en bouwt kusten op onder invloed van getijdenwerking

14.2 Hoe stroomt water?

14.2.1 Laminaire en turbulente stroming

- Laminaire stroming: stroomlijnen lopen parallel in één richting zonder elkaar te kruisen en op bepaalde plek in de stroming zal de stroomsnelheid constant zijn vb. siroop (traag+ondiep)
- Turbulente stroming: chaotische stroming, waterdeeltjes bewegen in alle richtingen en stroomlijnen kruisen elkaar wel vb. water in spoelbak (snel+diep)

! Reynolds-getal: bepalen of een stroming turbulent of laminair is: $Re = u * \frac{R}{\nu}$

met R (hydraulische straal): oppervlakte van een dwarssectie van de stroming gedeeld door de lengte van het bodemoppervlak waarmee de dwarssectie contact maakt (m)

ν (viscositeit): maat voor de weerstand van een fluïdum tot beweging (m²/s)

u: gemiddelde stroomsnelheid (m/s)

Wanneer $Re < 600$: laminair
 $600 < Re < 2000$: overgangszone
 $Re > 2000$: turbulent

! Froude-getal: bepalen of stroming vloeiend of schietend is: $Fr = \frac{u}{(g * R)^{0.5}}$

Wanneer $Fr > 1$: super-kritisch of vloeiend (snel+diep)
 $Fr < 1$: sub-kritisch of schietend (traag+ondiep)

14.2.2 Stroomsnelheid

- Stroomsnelheid: varieert met de diepte van de stroom of hoogte boven bodemoppervlak

! Verticale snelheidsgradiënt: veroorzaakt door wrijving tussen watermoleculen

- Laminaire stroming: logaritmische functie (wrijving bepaald door viscositeit)
- Turbulente stroming: toename veel sneller (wrijving bepaald door vermenging van vloeistofmoleculen)
- Gemiddelde stroomsnelheid u: $u \sim S * \frac{R}{F}$

met S = helling of verhang van het wateroppervlak, R = hydraulische straal en F = ruwheid

! Voorbeelden van eenvoudige vergelijkingen voor turbulente stromingen:

$$1. \text{ Manning vergelijking: } u = \frac{R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}}{n}$$

$$2. \text{ Chezy vergelijking: } u = C * R^{\frac{1}{2}} * S^{\frac{1}{2}}$$

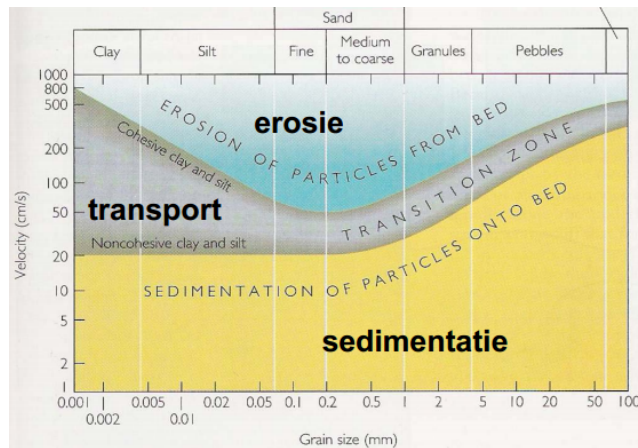
$$3. \text{ Darcy-Weisbach vergelijking: } u = \left[\left(\frac{8g}{f} \right) * R * S \right]^{0.5} \text{ (ook voor laminaire)}$$

➔ Water zal sneller stromen naarmate het verhang en de hydraulische straal van de stroming groter zijn en naarmate de ruwheid van de bodem (combinatie van korrelruwheid, vormruwheid en vegetatie) kleiner is

14.3 Hoe kan stromend water materiaal eroderen, transporteren en weer afzetten?

14.3.1 Erosie

- Erosie: balans tussen drijvende en weerstandbiedende krachten
- Water over bodemoppervlak: shear stress op de bodem door verticale snelheidsgradiënt van het water
! Groot genoeg: erosie in de richting van de stroming
- Shear stress aan bodemoppervlak: $\tau = \mu * \frac{\partial u}{\partial y}$
! Voor water: viscositeit relatief constant dus vooral de stroomsnelheid bepalend $\tau \sim S * \frac{R}{F}$
- Kracht die weerstand biedt tegen de shear stress: shear strength.
! Als deze kleiner is als de shear stress: erosie
- Samenvatting in het Hjulström diagram



14.3.2 Sediment transport

- Sedimenttransport: zolang de stroomsnelheid en shear stress hoog genoeg zijn
 - Bodemtransport van vaste sedimentpartikels: al rollend en glijdend of al springend (= saltatie)
 - Fijne sedimentdeeltjes: in suspensie
 - Ionen: in oplossing.

14.3.3 Sedimentatie

- Sedimentatie: afzetten van meegevoerde sedimentpartikels
- Drijvende kracht voor sedimentatie: zwaartekracht (afhankelijk van korrelgrootte)
! Als die groter is als de shear stress (afhankelijk van de stroomsnelheid): sedimentatie

15. Water op hellingen

15.1 Erosiemechanismen op hellingen

- Regen die invalt op een helling zal op twee manieren erosie veroorzaken:
 - Spaterosie: het losmaken en wegslingeren van bodemdeeltje bij impact van de regendruppels, ontstaan mini inslagkaters
 - Door oppervlakkige afstroming ontstaat:
 - Intergeulerosie: losmaken en wegvoeren van bodemmateriaal oiv oppervlakkige, laagsgewijze afstroming van water
 - Geulerosie: wanneer afstromend water zich concentreert in kleine geultjes
 - Ravijnerosie: erosie van diepe ravijnen (kunnen niet meer verwijderd worden, geulen wel)

15.1.1 Spaterosie door neerslag

- Regendruppel valt op aardoppervlak: twee types van stress:
 - Compressive stress: impact regendruppel op het oppervlak
! zorgt voor compactie en verslapping van het bodemoppervlak
 - Shear stress: door het uiteenspatten en wegspatten van de druppel
! ontstaan van spaterosie:
- Hoeveelheid bodemmateriaal die wordt losgemaakt (E): evenredig met de verhouding tussen de drijvende en de weerstandbiedende krachten: $E \sim \frac{\tau}{\tau_f}$ met $\tau \sim n * E_k$
 - met n = aantal druppelinslagen (afhankelijk van neerslagintensiteit, neerslaghoek, hellingshoek, aan of afwezigheid van vegetatie of strooisellaag en neerslagduur)
 - E_k = kinetische energie ($(mv^2)/2$)
 - ! Niet alle druppels hebben dezelfde grootte MAAR verband tussen neerslagintensiteit en de druppeldiameter (motregen: kleine druppels/onweersbui: grote druppels)
- Afstand waarover bodemmateriaal verplaatst: afhankelijk van kinetische energie, druppeldiameter, neerslagintensiteit, hellingshoek en neerslaghoek
! Netto verplaatsing van bodemmateriaal in hellingafwaartse richting
- Spaterosie heeft vooral invloed op het losmaken van deeltjes en afstroming van regenwater vooral op het verplaatsen van bodemdeeltjes.

15.1.2 Ontstaan van oppervlakkige afstroming

- Gedeelte van de neerslag bereikt nooit de bodem maar wordt opgevangen en geabsorbeerd door vegetatie: interceptie van water (adsorptie of afsijpelen van de planten)
- Regen die bodem bereikt: bodem indringen via de poriën (infiltratie)
 - ! De snelheid waarmee dit gebeurt is: infiltratiecapaciteit (mm/u): afhankelijk van de bodemtextuur, al dan niet aanwezigheid van een bodemkorst, verzadigheidsgraad en de vegetatie
- Het water dat de bodem niet insijpelt: plassen vormen en uiteindelijk helling afstromen (oppervlakkige afstroming)
 - = neerslag – interceptie – infiltratie
 - ! Kan verschillende manieren ontstaan:
 - Infiltration-excess overland flow: infiltratiesnelheid < neerslagintensiteit (dunne, weinig permeabele bodems)
 - Through flow : water infiltreert en gaat ondergronds, lateraal wegstromen
! Hellingafwaartse richting: bodemwatergehalte zal stijgen
 - Saturation-excess overland flow: bodem is verzadigd met water (eerst onderaan helling, vervolgens naar hoger gelegen delen van hellingen, dikke permeabele bodems)
- In beken en rivieren: mechanismen van afstroming herkennen adhv hydrograaf
= grafiek die de waterstand of debiet in een waterloop beschrijft in functie van de tijd tijdens een regenbui

15.1.3 Erosie door oppervlakkige afstroming

- Erosie: afhankelijk van de stroomsnelheid die bepaald wordt door verhang, hydraulische straal en de ruwheid van de bodem (negatief effect op stroomsnelheid)
 - ! Voor ondiepe oppervlakkige afstroming is verhang = hellingshoek en de hydraulische straal = waterdiepte
- Waar en wanneer zal er erosie optreden?
 - Wanneer de hellingshoek S voldoende groot is zodat $\text{shear stress} > \text{shear strength}$
 - ! Steile hellingen gevoeliger aan erosie
 - Als de waterdikte R toeneemt doordat de neerslagintensiteit toeneemt: de hellingslengte wordt groter of wanneer afstromend water zich concentreert
 - Erosie daalt wanneer ruwheid van bodem toeneemt (vegetatie)
 - Bij overgang van bodemmateriaal met grote shear strength naar bodemmateriaal met lage shear strength

15.2 Sedimentatiemechanismen op hellingen

- Sedimentatie: opnieuw afzetten van sediment
 - ! Kan nadelige gevolgen hebben

15.2.1 Hellingshoek

- Sedimentatie: wanneer hellingshoek afneemt
 - ! Afstromend water dat hogerop helling sediment erodeert en meevoert zal onderaan de helling een afnemende stroomsnelheid en shear stress ondervinden tot op een bepaald moment sedimentatie optreedt
 - = colluvium (steeds fijnere korrelgrootte in hellingsafwaartse richting door selectieve afzetting)

15.2.2 Dikte van afstroming

- Sedimentatie: wanneer dikte van de stroming afneemt
 - vb. overgang van geconcentreerde afstroming in laagsgewijze afstroming
 - ! Shear stress neemt af en het sediment wordt afgezet
 - = alluviale puinwaaier (minder steil en fijnste materiaal ligt aan de buitenste rand)

15.2.3 Bodemruwheid

- Sedimentatie: wanneer bodemruwheid drastisch toeneemt
 - ! Vegetatie zal dit effect nog versterken.

15.3 Hellingsvormen en hellingsevolutie

15.3.1 Hellingseenheden

- Elke helling op aarde is de combinatie van enkele van de 9 functionele hellingseenheden. Elke hellingseenheid heeft zijn eigen kenmerkende vorm en geomorfologische processen:
 - (slide 183)

15.3.2 Ruggen en valleien

- Hellingsprocessen die leiden tot de ontwikkeling van verschillende hellingsvormen:
 - Diffusieve processen: vb. creep en spaterosie
 - Optredende bodem- en sedimentfluxen: $q_s = K * S$
met K = diffusiecoëfficiënt en S = hellingsgraad
! Hoe steiler de helling, hoe groter de hellingafwaartse sedimentfluxen: vlakke hellingen worden convex + onregelmatigheden zullen worden weggewerkt
 - Advectieve processen: vb. erosie en sedimentatie
 - Optredende sedimentfluxen: $q_s = c * A^m * S^n$
met A = toestroomgebied en c, m en n = empirische c^{te}
! Vlakke hellingen worden concaaf + onregelmatigheden worden vertsterkt
- Verhouding tussen intensiteit van deze twee processen is bepalend voor de vorm van de hellingen, de dichtheid en dimensies aan valleien en ruggen in een landschap
! Diffusieve processen belangrijker aan de top: convex, onderaan advectieve processen belangrijker: concaaf
! Convexe ruggen en concave valleien

15.3.3 Hellingsvormen afhankelijk van geologie, klimaat en vegetatie

- Hellingsvormen worden beïnvloed door:
 - Geologie
 - Klimaat
 - Vegetatie
- Geologie:
 - Differentiële verwerking en erosie: verschillende intensiteit van verwerking en erosie als gevolg van een afwisseling van harde en zachte lagen vb. Grand Canyon
 - Structurele geomorfologie: geomorfologische vormen die in sterke mate worden bepaald door de geologische structuur van de ondergrond
 - Soorten:
 - Tafelbergen of mesa's: monumentale zuilvormige rotsformaties (horizontaal gelaagd)
 - Cuesta's: asymmetrische heuvelruggen waarbij korte, steile hellingen (cuestafront) worden gevormd in harde gesteente terwijl de lange zachte helling (cuestarug) overeenkomt met de helling van lagen (monoclinaal gelaagd)
 - Hogback: monoclinaal hellende lagen symmetrisch en sterker afhellen
 - Flat irons: scherpe pieken in harde gesteentelagen in steil hellende monoclinale lagen
 - Ruggen en valleien: ontstaan uit synclines en anticlines
! reliëfinversie: synclines kunnen ook rug worden en anticline ook vallei

H16 Water in rivieren

16.1 Stroomsnelheid en debiet van rivieren

16.1.1 Definities

- Stroomsnelheid: maat voor eroderend vermogen, bepalend voor welk type sediment zal eroderen, vervoerd en afgezet worden
- Debiet: volume water dat per tijdseenheid doorheen dwarssectie van een rivier passeert: $Q = u * A$
met u : stroomsnelheid (m/s) en A : natte dwarssectie van een rivier (m²)
! Afhankelijk van stroomsnelheid en waterpeil.

16.1.2 Ruimtelijke variaties

- Stroomsnelheid en debiet kunnen variëren op aantal schaalniveaus:
 - Stroombekken/ drainagebekken/toestroomgebied: landoppervlak dat draineert naar bepaald punt langs rivier
! Waterscheiding/interfluvium: grenslijn tussen 2 aan elkaar grenzende stroombekkens
! Rivieren georganiseerd volgens dendritisch patroon: kleine beekjes en rivieren zullen zich stroomafwaarts samenvoegen tot steeds grotere rivieren als gevolg van terugkoppeling tussen reliëf en waterstroming: omdat breedte en diepte van rivier toeneemt zal debiet ook toenemen
 - Riviersectie: loop van beek of rivier over relatief korte afstand (lokale variaties in verhang)
! Debiet varieert weinig door korte afstand, stroomsnelheid varieert wel
! Kronkelende riviersecties: sneller in buitenbocht dan in binnenbocht
 - Dwarssectie: stroomsnelheid varieert (grootste vlak onder wateroppervlak en in het midden)

16.1.3 Variaties in de tijd

- Variaties in debiet of waterpeil in functie van de tijd: hydrograaf
- Fluctuaties:
 - Kortstondige met grote magnitude: surface flow/run off (door oppervlakkige afstroming na regenbui)
 - Langer durende met kleine magnitude: base flow (grondwaterstroming na regenbui; veel trager)
 - Seizoensale variaties: gerelateerd aan het klimaat
 - Langere tijdschaal:
 - Overschrijdingskans: statische kans waarbij een bepaald piekdebiet wordt overschreden
 - Terugkeerperiode/recurrentie-interval: periode waarbinnen het terugkeert
- Voorbeeld van een vloedgolf:
 - Lag time: tijdsverschil tussen centre of mass of precipitation (CMP) en centre of mass of runoff (CMR)
 - Hoogte van de vloedgolf
 - Duur van de vloedgolf
! Hangen af van: duur en intensiteit neerslagbui, bodemgebruik, bodemdikte en bodempermeabiliteit, locatie in het stroombekken

16.2 Sediment transport door rivieren

16.2.1 Erosie-, transport- en sedimentatiemechanismen

- Rivieren: beeldhouwers die het landschap boetsen
- Indeling van erosiemechanismen:
 - Shear stress uitgeoefend door stromend water: zie Hjulström diagram
 - ! Groot verhang S en hydraulische straal R: eroderen en vervoeren van grove sedimenten
 - Insnijding in hard gesteente door schurende werking van sedimentdeeltjes die worden meegevoerd
 - = Abrasie
 - Oplossing van bepaalde minerale bestanddelen in bodems, sedimenten en harde gesteenten
 - = Corrosie vb. kalksteen
 - Massabewegingen in samenwerking met watererosie
- Transportmechanismen: in oplossing, suspensie, saltatie of rollen en glijden afhankelijk van het sediment
- Sedimentatiemechanismen: bij afnemende stroomsnelheid worden eerst de grofste sedimentpartikel afgezet
- Drie mechanismen doen zich vaak episodisch voor

16.2.2 Sedimentconcentratie, -lading en yield

- Mate waarin rivier sediment transporteert kan worden gemeten op verschillende manieren:
 - Sedimentconcentratie (kg/m³ of g/l)
 - Sedimentlading/sedimentafvoer/sedimentdebiet: droogmassa aan sediment die per tijdseenheid passeert doorheen dwarssectie van rivier: $Q_s = Q * C$ (kg/s of ton/jaar)
 - ! Kunnen allebei sterk variëren in tijd en ruimte
 - Temporele variaties door bv. vloedgolf
 - Jaarlijkse variaties door debietvariaties vb. seizoenaal
 - Ruimtelijke variaties: grootte van het stroombekken en andere kenmerken van het stroombekken
 - Sediment yield: maat voor de hoeveelheid sediment die in het stroombekken wordt geërodeerd
 $SY = Q_s * A$ (kg/s/m² of ton/jaar/km²)

16.3 Riviervormen en rivierevolutie

16.3.1 Drainagebekken, drainagepatroon

- Drainagepatroon: riviernetwerk vanuit kleine beekjes naar steeds grotere rivieren
- Dendritisch drainagepatroon: riviernetwerk met een willekeurig vertakt patroon
- Confluentie: samenvloeiën van nabije rivieren naar het diepste punt in het landschap
 - ! Koppeling tussen waterstroming en reliëf resulteert in vertakte patroon van riviernetwerken
 - Naast dendritisch ook nog andere afhankelijk van geologische ondergrond
 - Rechthoekig: insnijding volgens breuksysteem van onderliggende gesteente
 - Tralievormig: ondergrond regelmatig geplooid, afwisselende harde/zachte lagen
 - Radiale: bepaald door topografie
 - ! Ook patronen onafhankelijk van ondergrond
 - Antecedente rivier: dwars door vormende anticlinale/synclinale plooing
 - Superimposed: dwars door oudere anticlinale/synclinale plooing
- Diffluentie: opsplitsen van rivieren in stroomafwaartse richting
 - ! gebeurt niet TENZIJ bij rivieren met zwak verhang en grote puinlading

16.3.2 Lengteprofiel

- Lengteprofiel: verandering in hoogteligging van de rivier in functie van de afstand gemeten langs de lengte van de rivier
 - ! Meestal: concaaf en onregelmatig profiel wordt regelmatig gemaakt (advectioneel)
- Rivieren die geen concaaf profiel kunnen bereiken omwille van harde drempels die uitsteken
 - = erosiebasis: laagste niveau tot waar een rivier zich kan insnijden
 - Regionale erosiebasis: zeeniveau
 - Lokale erosiebasis: vb meer
 - Tijdelijke erosiebasis: gesteentebanken
- Rivieren zijn gevoelig aan menselijke ingrepen en zullen hun lengteprofiel hieraan aanpassen

16.3.3 Dwarsprofiel

- Op korte afstand: weinig variatie
- Op grotere schaal: verband tussen debiet en dwarssectie
 - ! Hoe groter debiet, hoe groter dwarssectie
- Voorbeeld riviervalleien:
 - Smalle en diepe kloven :snelle insnijding van rivier in verhouding tot de hellingsprocessen
 - V-vormig: intermediaire situatie
 - Breed komvormig: traag insnijden van rivier in verhouding tot hellingsprocessen

16.3.4 Alluviale rivierpatronen (extra info in slides)

- = valleien van rivier opgevuld met sedimenten door het periodieke overstromen van de riviervallei tijdens piekdebieten (floodplain river)
- Alluviale rivieren: typische rivierpatronen en reliëfvormen
 - Overstromingsvlakte: vlak
 - ! Lagere piekdebieten komen vaker voor, waardoor lager gelegen delen meer overstromen dan hogere delen en door ophoping van sediment dus vlak worden
 - Oeverwallen: reliëf langs de oevers die enkele 10-tallen cm hoger zijn
 - ! Vooral voor bij vegetatie: vegetatie remt stroomsnelheid en zorgt voor sedimentatie
 - Meander: één stroomkanaal dat kronkelt doorheen de vlakte
 - ! Ontstaat doordat stroming in buitenbocht groter is (erosie) en binnenbocht kleiner (sedimentatie tot point bars/kronkelwaarden) waardoor kronkels meer uitgesproken worden tot oxbow lakes (afgesneden U-vormige bocht)
 - Vlechtend: meerdere stroomkanalen die doorheen elkaar stromen (groot debiet door gebrek aan vegetatie)
 - Rivierterassen: delen van hoger gelegen alluviale vlakte
 - Ingesneden meander: meander snijdt zich dieper in dan alluviale vlakte
 - !Kronkelbergen: steken dan uit tussen de meanders

16.3.5 Delta's

- = daar waar rivieren uitmonden in zee of in een meer: verhang is erg klein, waardoor sedimentlading wordt afgezet
 - ! Kan rivierloop blokkeren: nieuwe weg banen omheen delta-afzettingen
- Ontstaan vooral op plaatsen met weinig of geen getijdenwerking
 - ! Anders kunnen riviersedimenten wel getransporteerd worden: °estuaria

H17 Water langs kusten

17.1 Waterbeweging langs kusten

17.1.1 Windgolven

- Golven kunnen ontstaan op twee manieren:
 - Blazen van de wind
 - Bewegend lichaam dat in contact is met water
 - ! Aardbevingen op de zeebodem: tsunami's
- Wind-gegenereerde golven: wind oefent shear stress uit op wateroppervlak en tracht waterdeeltjes aan te trekken
 - ! Wanneer snelheid/tijd/afstand van wind toeneemt, neemt de golfhoogte toe
- Deining: op en neer bewegen van de oceaan volgens een ingewikkeld golvenpatroon
 - ! Ontstaat door interferentie van golven die ontstaan in verschillende brongebieden en van hieruit uitdijen
- Branding: zone waar golven breken, hier worden golven vervormd
- Water maakt draaiende orbitaalbeweging (op- en neer, voor- en achteruit) met de golf meer.
 - ! Hoe dieper het deeltje zich bevindt, hoe kleiner de diameter (golfbasis: diepte tot waar golfbeweging merkbaar is, is gelijk aan golflengte/2)
 - ! Draaiende beweging is cirkelvormig: sinusoidale vorm met golflengte L, amplitude A, periode T, snelheid v (snelheid tov vast punt) en celeriteit c (snelheid tov vloeistofdeeltjes):

$$c = L/T \quad v = c + u$$
 - ! Wanneer golf kust nadert: water wordt ondieper dan de golfbasis: golfbeweging wordt ellipsvormig, wrijving doet c afnemen en hierdoor dus ook L
 - Stijgende amplitude A, golflengte wordt korter dus golfhoogte hoger
 - Achterwaartse beweging in golfrog wordt vertraagd en voorwaartse beweging in golfkam versneld
 - = asymmetrische golf
 - ! Wanneer snelheid golfkammen celeriteit overschrijdt: golven breken
- Aan waterlijn: enkel nog oplopende en aftrekkende waterbeweging (swash en backwash)
- Golfkammen: lopen evenwijdig met de kustlijn door refractie van golven

17.1.2 Tsunami's

- Tsunami: ontstaat door plotse waterverplaatsing op zee door een aardbeving op de zeebodem, door massabewegingen of door uitbarstingen van vulkanische eilanden
 - ! Op volle oceaan: lage amplitude, grote golflengte (200-500km), periode (15-120min) en celeriteit van 600-900km/u MAAR bij naderen van de kust zal de golfhoogte enorm toenemen door bovenstaand proces en diepe golfbasis

17.1.3 Getijden

- Getijdenwerking: afwisseling tussen hoog- en laagwater (vloed en eb)
- Getijverschil: hoogteverschil tussen hoog- en laagwater
- Principe getijdenwerking: zwaartekrachtwet van Newton
 - Twee lichamen trekken elkaar aan met een aantrekkingskracht die evenredig is met de massa van elk lichaam en omgekeerd evenredig met de afstand tussen de twee lichamen: watermassa op aarde wordt aangetrokken door de maan
 - Aan kant waar maan staat (sublunaire punt) is aantrekking het grootst en weggericht van aardoppervlak (hoogwater)
 - Aan kant weg van maan (antipodisch punt) is aantrekking het kleinste en gericht naar binnenste van de aarde (laagwater)
 - Als twee lichamen rond elkaar draaien, draaien ze rond 1 gemeenschappelijk zwaartepunt: maan draait rond aarde en aarde-maan draait rond gemeenschappelijke zwaartepunt dicht bij de maan
 - ! Centrifugaalkracht door deze rotatie is groter langs de kant weggericht van de maan (hoogwater)

- Elke 24u en 50min tweemaal hoog- en tweemaal laagwater: elke omwenteling van aarde (24u) draait maan ook nog eens rond aarde (28dagen) DUS 24/28: 50min verder draaien
- Niveau van hoog- en laagwater is niet elke keer hetzelfde maar varieert (aantrekking aarde-zon)
 - Springtij: verschil tussen hoog- en laagwater het grootste (volle en nieuwe maan)
 - ! krachten maan en zon versterken elkaar
 - Doodtij: verschil tussen hoog- en laagwater het kleinste (eerste en laatste kwartier maan)
 - ! krachten maan en zon werken elkaar tegen
- Getijdenwerking ontstaat op oceanen: moeilijk waar te nemen
 - ~ golfwerking
- Stormvloed: verhoging van het waterpeil door lage luchtdruk, wind en golven
 - ! Door klimaatsveranderingen meer intense stormen
- Zeespiegelstijging: ° door smelten van ijskappen/gletsjers en thermische expansie van het oceanewater

17.2 Kusten gevormd door golven

- Onderscheid maken tussen kusten gevormd door getijdenwerking en kusten gevormd door golfwerking
 - ! In praktijk: invloed van beiden
- Golven oefenen twee types van stress uit:
 - Shear stress: gevolg van orbitaalbeweging van water, breken van golven en swash en backwash
 - ! Speelt een rol in ondiepe kustwateren vb. strandkusten
 - Compressive stress : gevolg van impact golven op aardmaterialen
 - ! Speelt een rol bij vorming van klifkusten

17.2.1 Klifkusten

- Klifkusten worden gevormd waar de ondergrond bestaat uit harde aardmaterialen en waar landmassa's onderhevig zijn (geweest) aan tektonische opheffing of daling
- Compressive stress: klifgesteente aan basis eroderen
 - ! Bovenliggende gesteente verliest steun en stort af (afgestorte brokken worden door golfwerking verder afgebroken)
- Klifkusten schuiven door deze terugschrijdende kliferosie voortdurend landinwaarts
 - ! Seastacks: restanten van terugschrijdende klif boven water
 - Wave-cut terraces: restanten van terugschrijdende klif onder water die intact blijven doordat golferosie geconcentreerd is aan het oppervlak
 - ! Marien terras: wave-cut terrace dat door tektonische opheffing of door daling van zeespiegel boven water komt

17.2.2 Evolutie van grillig gevormde kustlijnen

- Hoe ontstaat het patroon van kliferosie op kapen en strandafzetting in de baaien? Golven die kustlijn naderen ondergaan refractie. Bij grillige kustlijn: concentratie van golfenergie op de kapen en afname in de baaien (grillige kustlijn wordt zo omgevormd tot en rechte kustlijn)

17.2.3 Strandkusten

- Ontstaan door afzetting van sedimenten onder invloed van de swash en backwash van golven
- Stranden: resultaat van dynamisch evenwicht tussen erosie en sedimentatie
 - Swash van golven: aanvoer van zand/grind dat afgezet kan worden
 - Backwash: afvoer van zand of grind
 - ! Sediment is voortdurend in beweging
 - ! Shear stress bepaald of er netto erosie/sedimentatie is en dit kan veranderen in de tijd
- Longshore drift: golven komen ondanks refractie toch enigszins schuin aan op het strand
 - ! Backwash volgt steilst helling: loodrecht op de kustlijn
 - Sediment: door swash en backwash netto verplaatst in de richting waarin golven het strand oplopen
- Strandwallen: resultaat van aanvoer van strandmateriaal via longshore drift
 - ! Wanneer strandwal een riviermonding afdamt: sand pit/barrière-eilanden
- Pieren of golfbrekers: horen stranden beschermen
 - ! Verstoren evenwicht van de longshore drift: ophoping van strandmateriaal tegen de pier en aan andere kant erodeert het strand weg zonder nieuwe aanvoer

17.3 Kusten gevormd door getijden

17.3.1 Waar ontstaan ze?

- Waar golfwerking beperkt is: reliëfvormen specifiek voor getijdenwerking
 - Lagunes achter barrière-eilanden: zeegaten of tidal-inlets tussen barrière-eilanden remmen golfwerking af
 - ! Getijdenwerking wordt ook afgeremd MAAR bekken moet tijdens vloed wel gevuld worden en tijdens eb leeggemaakt: sterke stromingen die zorgen voor erosie en ontstaan getijdengeulen
 - Riviermonding: getijdenwerking kan doordringen tot op rivier (estuarium)
 - ! Opnieuw sterke stromingen die zorgen voor getijdengeulen
 - Baaien

17.3.2 Specifieke landvormen en landschappen

- Hoe ontstaan getijdenlandschappen?
 - Meer sedimentatie dan erosie door tidal pumping: door wrijving wordt de getijdengolf asymmetrisch (vloed wordt korter en sterker dan eb) en wordt materiaal aangevoerd
 - Hoogwater: kentering (stroomsnelheid neemt af en valt stil)
 - ! Sedimentatie van alles wat met de vloed is meegenomen
 - Zwakkere ebstroom en kan slechts deel opnieuw eroderen
- Op deze manier zullen lagunes, estuaria en baaien ophogen: verlanding
 - Uithoeken hogen het snelste op: schorren waarop planten kunnen groeien met daarrond getijdengeulen en oeverwallen (in tropische gebieden: mangroves)
 - ! Staan enkel bij hoogste hoogtij nog onder water
 - Lagere delen: slikken die onbegroeid zijn en bij elk hoogwater onder water
 - Diepste getijdengeulen staan altijd onder water (onderscheid vloed- en ebgeulen)

17.4 Kusten gevormd door riffen

- Korallen: sterven af en laten skelet van CaCO_3 achter waarop nieuwe korallen zich kunnen vestigen
- Verschillende types van riffen:
 - Franjeriffen: breedte van enkele tot paar honderden meter en zijn doorlopend verbonden met het land
 - Barrièreriffen: van de kust gescheiden door een ondiepe laguna van tientallen km breed
 - Atols: ringvormige koraalriffen midden in tropische oceanen
- Hoe ontstaan verschillende vormen? Door een verhoging van de zeespiegel door de langzame en geleidelijke subsidentie van een vulkanisch eiland (Franjerif -> barrièrerif -> atol)
 - ! Bij het wegzakken gaat koraal reageren en omhoog groeien omdat het voldoende licht nodig heeft en dus vlak onder wateroppervlak moet blijven

H18 Werking van wind

18.1 Stroming van lucht

- Stroomrichting en -snelheid van luchtstroming: nauwelijks beïnvloed door reliëf
 - ➔ Luchtstroming is quasi onbegrensd in de hoogte (kan overal gemakkelijk over)
 - ! Wordt bepaald door drukgradiënten
- Lucht: veel lagere dichtheid en viscositeit: altijd turbulent

18.2 Erosie en sedimentatie door wind

- Dezelfde erosie- en sedimentatiemechanismen als bij water:
 - Lucht oefent kleine shear stress uit op bodemoppervlak
 - ! Enkel fijn materiaal eroderen: ondanks de hoge snelheden, toch lage viscositeit die de shear stress beperkt + lage dichtheid zorgt voor hoge bezinkingssnelheid (Wet van Stokes)
 - Abrasie

18.3 Eolische landvormen

- Eolisch: geomorfologische processen onder invloed van wind en de resulterende landvormen
- Gebieden waar fijn, droog en schaars begroeid bodemmateriaal voorkomt: gevoelig voor eolische processen

18.3.1 Erosieve landvormen

- Paddestoelrotsen: ontstaan door schurende werking van transport van zand door de wind in saltatie
 - ! Springen niet hogere dan enkele meters, waardoor abrasie beperkt wordt tot enkele meters boven het oppervlak
- Desert-pavement: ontstaat op stenige ondergrond waar onder invloed van wind de fijnere deeltjes eroderen en enkel de grovere keien overblijven
 - ! Keien: hoekig en slecht gesorteerd doordat ze niet selectief werden afgezet
- Deflatie: landvormen die ontstaan door winderosie van een fijnkorrelige ondergrond

18.3.2 Erosief-sedimentaire landvormen

- Duinen: gevolg van zowel erosieve als sedimentaire eolische processen in gebieden waar zanddrift actief is
 - ! Daar waar een klein obstakel is vb vegetatie, remt de windsnelheid af en wordt er zand afgezet op de lijzijde van het obstakel (zijde weggekeerd van de wind)
 - = zandophopingen
 - ! Wanneer deze veel groter worden dan obstakel wordt de loefzijde (zijde gekeerd naar de wind) onderhevig aan winderosie: zand wordt via saltatie aan de lijzijde weer gesedimenteerd (dalende windsnelheid)
 - ➔ lijzijde: steil (35°/40°: valhelling van zand)/ loefzijde: zwak
 - Actieve duinen: continu in beweging door saltatie aan loefzijde en massabewegingen aan lijzijde en verplaatsen zich met de windrichting mee (fossiel duin: migratie van duin valt stil door vegetatie)
 - Duintypes:
 - Barchaan: duinlichaam heeft een sikkelvormige vorm met de zwakke loefzijde aan de buitenkant van de sikkel (gebieden met weinig zandtransport, weinig variatie van windrichting en geen vegetatie)
 - Transversaal duinen: langgerekte duinen die loodrecht op de windrichting staan (gebieden met veel zand: aaneenschakeling van barchanen)
 - Parabool duinen: sikkelvormige duinen maar zwakke loefzijde aan de binnenkant van de sikkel (gebieden met vegetatie)
 - Longitudinale duinen: kruinlijnen lopen evenwijdig met overheersende windrichting met aan beide zijden een steile helling (gebieden met veel zand, sterke windsnelheden en wisselende richtingen)

18.3.3 Sedimentaire landvormen

- Dekzand: mantel van zand die varieert in dikte over het gehele bodemoppervlak (afgezet in de koudste fasen van de laatste ijstijd; noorden van Vlaanderen)
- Loess: laag van lichtere, fijnere stof dat verder getransporteerd werd (Laag-Midden België)

H19 Werking van ijs

19.1 Gletsjertypes

- Dalgletsjer: langgerekte, relatief smalle ijsmassa's in de dalen van hooggebergtes vb. Alpen, Himalaya
- Continentale gletsjers/ijskappen: uitgestrekte ijsvlaktes die grote delen van het land met ijs bedekken in polaire gebieden vb. Antarctica, Canada

19.2 Gletsjers: ontstaan, stroming en vergaan van ijs

19.2.1 Gletsjer budget

- Gletsjer: ontstaan door accumulatie van sneeuw in accumulatiezone
! Vervolgens: gletsjerijis stroomt van accumulatie- naar lager gelegen ablatiezone
- Gletsjer budget: netto balans tussen accumulatie en ablatie door stroming
 - Ablatie < accumulatie: gletsjer wordt groter en kan vooruitschreiden
 - Ablatie > accumulatie: gletsjer wordt kleiner en kan achteruitschreiden

19.2.2 Accumulatie

- Accumulatiezone: sneeuw met pas op grotere diepte gletsjerijis
! Oppervlakteneeuw: stervormige sneeuw kristallen met veel open ruimte (lage dichtheid), maar wanneer sneeuw begraven wordt onder jongere laag worden deze poriën toegedrukt
! Granulair ijs (poriënvolume 50%) - Firn (poriënvolume 20-30%) - Gletsjerijis (poriënvolume < 20%)

19.2.3 Stroming van ijs

- Gletsjer: traag stromende ijsrivier en geen statische ijsmassa
- Stroming van gletsjer: zwaartekracht (drijvende kracht) en wrijving (weerstandbiedende kracht)
! Twee mechanismen:
 - Natte gletsjers in warme omstandigheden: smeltwater dat via spleten naar de basis van de gletsjer migreert, dient als glijmiddel dat de wrijving met de bodem vermindert (smeltwatertunnels)
 - Droge gletsjers in koude omstandigheden: ijs is vastgevroren aan de bodem en verplaatst zich onder invloed van zwaartekracht door het afbreken van brokstukken
! Ijs ondergaat plastische vervorming, maar bij oppervlak is de druk te laag waardoor er scheuren en spleten in het gletsjerijis komen:
 - crevasses (° door rekspanningen)
 - seracs: (° door plotse drempel)
- Viscositeit van ijs >>> water:
 - Altijd laminaire stroming (bewijs: lijnvormige morenen in dalgletsjers)
 - Oefenen zeer grote shear stress uit: sterk eroderend vermogen
- Stroomsnelheid en stroombanen
 - Dalgletsjers: stroomsnelheid neemt exponentieel af vanaf het midden naar de zijkanalen en vanaf het oppervlak naar de basis (hoge stroomsnelheid doordat het vaak natte gletsjers zijn: smeltwater); stroombanen zijn gebogen: recent afgezet ijs gaat eerst smelten en ijs dat gletsjerfront bereikt zal het laatste smelten
 - Continentale gletsjer: stroomsnelheid: gering (koude, droge gletsjer); stroombanen bepaald door drukgradiënten (koepelvormig: accumulatie van ijsmassa zorgt voor enorme druk waardoor ijs als pudding in elkaar zakt): ijs stroomt langs de koepel naar beneden

19.2.4 Ablatie

- Smelten: voornaamste bij natte dalgletsjers (° subglaciale smeltwater rivier die gletsjer verlaat via gletsjerpoort)
- Sublimatie: felle zonneschijn, droge luchtvochtigheid (vooral bij uitgestrekte ijskappen)
- Afkalven: gletsjers die in zee/meer uitmonden en zo afbrokkelen in het water tot ijsbergen
! Ice shelf: drijvend ijsplateau dat verbonden blijft met de continentale ijskap
! Zeeijs: geen ijsberg (ontstaat door geleidelijk aan bevriezen van zeewater, geen grillige vormen)

19.3 Glaciale landvormen

- Glaciaal: geomorfologische processen en landvormen die ontstaan door de werking van gletsjers

19.3.1 Erosieve glaciale landvormen

- Gletsjernis, cirque of kaar: gletsjerdalen die gevormd zijn door de eroderende werking van dalgletsjers met een amfiteatervormig dalhoofd
 - ! U-vormig dwarsprofiel: erosieve werking is ongeveer gelijkmatig verdeeld over gehele contactoppervlak (valleiflank/-bodem zijn in dezelfde mate onderhevig aan verticale en laterale erosie)
- Hangend dal: steile overgang daar waar twee gletsjerdalen samenkomen (kleinere gletsjer blijft liggen op de grote gletsjer en na afsmelten blijft dit over)
- Fjorden: zeearmen die ontstaan doordat gletsjerdalen overspoeld worden door de zee
 - ! Tijdens ijstijd (zeeniveau lager) konden gletsjerdalen zich uitschuren tot beneden huidige niveau, maar na ijstijd is het zeewater binnengedrongen in deze gletsjerdalen
- Drempels: ontstaan door het bergopwaarts verplaatsen van gletsjerijs
 - ! Gletsjermere: ontstaan vaak achter deze drempels
- Gletsjerkrassen/striaties: abrasie van het onderliggende gesteente doordat de gletsjer puin materiaal transporteert aan de basis van de gletsjer
- Bultrotsen/roches moutonnées: continentale werking van gletsjer op hard substraat (zwakke gepolijste loefzijde en steile ruwere lijzijde)
- Drumlins: continentale werking van gletsjer in los gesteente (gestroomlijnde, elliptische vorm)

19.3.2 Sedimentaire glaciale landvormen

- Morene: verzameling van geërodeerd en getransporteerd materiaal dicht tegen basis en rand van gletsjer
 - Grondmorene: materiaal aan de basis
 - Zijmorene: materiaal aan de valleiwand
 - ! Middenmorene: wanneer twee gletsjer samenvloeien en dus de zijmorene mengen
- Morenemateriaal: allerlei materiaal met een zeer slechte sortering en erg hoekig
 - ! Fijn en grof materiaal wordt allemaal op dezelfde manier en snelheid getransporteerd
- Eindmorene: morene aan gletsjerfront wanneer al het gletsjerijs gesmolten is
- Stuwmorene: wanneer oude eindmorene van terugschrijdende gletsjer opgestuwd wordt wanneer de gletsjer opnieuw vooruitschrijdt
- Zwerfkeien/erratica: grote rotsblokken waarbij de minerale samenstelling niet overeenkomt met de samenstelling van de ondergrond omdat het blok elders geërodeerd werd en door de gletsjer over een grote afstand getransporteerd werd

19.3.3 Sedimentaire fluvio-glaciale landvormen

- Fluvio-glaciaal: fijnere materiaal dat via smeltwater wordt meegenomen en afgezet
- Smeltwaterbeken gevoed door gletsjers: seizoenale schommelingen in debiet en sedimentlading
 - Winter: accumulatie van sneeuw (laag debiet, weinig sediment)
 - Lente: afsmelten van sneeuw (hoog debiet, veel sediment)
 - ! Vlechtend karakter: verleggen hun loop doordat ze telkens een nieuwe weg zoeken doorheen hun eigen sediment na de schommelingen
 - = sandur/spoelzandwaaier/outwash plain (vlakte zonder vegetatie)
- Esker: lage, kronkelende heuvelruggen die bestaan uit ongelaaagd zand en grond afgezet door een sub-glaciale smeltwaterbeek die achterblijven na het afsmelten van de ijskap

19.4 Periglaciale verschijnselen

- = geomorfologische verschijnselen onder de invloed van vorst en de vorming van bodemijs

19.4.1 Permafrost

= aardlagen die lange tijd bevroren blijven

- Continue permafrost: dikten van enkele honderden meters die nooit ontdooit (koude streken)
- Discontinue permafrost: permafrost die bedekt wordt met een laag die in de zomer dooit en in de winter bevroert

! Laag die periodiek ontdooit/bevroert: actieve laag

- Gebieden met discontinue permafrost: gevoelig aan creep en solifluctie (glijden van de bodem door positieve waterdruk die ontstaat doordat ontdooide actieve laag niet kan indringen in de diepere bodem)

19.4.2 Pingo's

- Vorstheuvels/Pingo's: ontstaan door vorming van een ijslens, die het bovenliggende bodemmateriaal omhoogduwt tot een heuvel

! Ijslens (onder <10m onder bodem): water afkomstig uit onbevroren ruimte omheen permafrost of toegestroomd door een barst gaat bevroren

- Wanneer pingo blijft groeien: bedekkende laag aarde gaat scheuren en schuift van de heuvel af

! Ijslens die blootgesteld wordt aan de zon gaat smelten: ° cirkelvormige depressie omgeven door een aarden wal (pingoruïne)

19.4.3 Vorstwiggen

- Bevriezing van klei-/siltrijke bodems: vorstscheuren

! Hierin kan sneeuw of smeltwater inlopen dat bij volgende vorst bevroert (volumetoename)
= vorstwig

- Vorstwig: ontstaat door opeenvolging van vorst-dooi-cycli

19.4.4 Gesorteerde bodems of polygoonbodems

- Gesorteerde of polygoonbodems: patroon van cirkels/polygonen en waarbij grove stenen geconcentreerd zijn in de randen en fijn materiaal in de kernen door de sortering van het materiaal
- Oorzaak: niet volledig duidelijk

19.5 Ijstijden en klimaatverandering

- (Peri)glaciale landvormen: niet enkel in de nabijheid van huidige ijskappen en gletsjers

! Wijzen erop dat in vroegere geologische perioden er belangrijke klimaatveranderingen hebben plaatsgevonden (in bepaalde perioden: grote ijskappen op Noord-Amerikaans en Euraziatische continent)

- Informatie over vroegere klimaatveranderingen: in resterende ijskappen (ijsboorkernen)

- Temperatuurschommelingen mbv ^{16}O en ^{18}O : ^{18}O condenseert sneller dan ^{16}O : landijs is rijker aan ^{18}O dan zeewater

! $\delta^{18}\text{O}$: verschil tussen ijsmonster en zeewater (bij lagere T, hogere $\delta^{18}\text{O}$)

➔ Verticale verloop van $\delta^{18}\text{O}$ zorgde voor temperatuurverloop doorheen ijs

! Vroeger: afwisseling van ijstijden (glacialen) en tussenijstijden (interglacialen)

- Samenstelling vroegere atmosfeer: bij vorming gletsjerijs worden zeer kleine luchtbelletjes ingesloten in het ijs van de toenmalige atmosfeer

! Gebruiken om veranderingen in samenstelling van de atmosfeer te onderzoeken
vb. CO_2 en CH_4