

## H1 Inleiding

- Bodems bevinden zich op de interface tussen atmosfeer, hydrosfeer, biosfeer en lithosfeer  
= essentieel voor de meeste ecosystemsservices die het leven op aarde mogelijk maken
- Wat is een bodem?
  - Volgens geologen: mengsel van gefragmenteerde en verweerde korrels van mineralen en rotsen met variabele proporties water en lucht; het mengsel wordt gekenmerkt door een gelaagdheid en zijn ontwikkeling in de tijd wordt beïnvloed door het klimaat en door levende organismen
  - Volgens landbouwwetenschappers: bovenste, losse deel van de aardkorst tot op een diepte die van belang is voor de planten, medium voor mechanische steun en waarlangs planten vele van de levensnoodzakelijke resources moeten opnemen (goed/slecht voor plantengroei hangt af van verschillende factoren vb. water- en luchthuishouding, voedingstoestand, warmtehuishouding en zuurtegraad)
    - ! Hangt af van plaats tot plaats

## H2 Minerale bodemdeeltjes

### - Vaste delen bodem:

- Mineralen van verschillende grootte (ideaal: 50%)
- Fractie organisch materiaal in verschillende afbraakstadia
- Levende organismen
- Poriën gevuld met lucht (ideaal: 25%) en water (ideaal: 25%)

! Cruciaal voor functioneren van een bodem

! Verweringsgronden: onverweerde steenbrokken (gevormd uit vertering van gesteente)

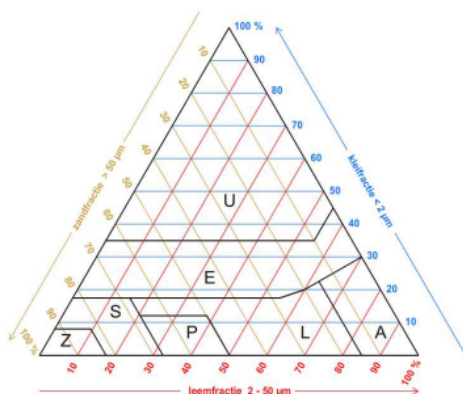
Afzettingbodems: fijnere korrels (gevormd uit materiaal dat van elders werd aangevoerd)

### - Korrelgroottefractie:

- |                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| - > 2mm: grove delen (grint, keien) |   |
| - 50µm-2mm: zandfractie             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 1000-2000µm: heel grof zand</li> <li>- 500-1000µm: grof zand</li> <li>- 200-500µm: middelmatig zand</li> <li>- 100-200µm: fijn zand</li> <li>- 50-100µm: zeer fijn zand</li> </ul> |
| - 2-50µm: leemfractie               | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 20-50µm: grof leem</li> <li>- 10-20µm: middelmatig leem</li> <li>- 2-10µm: fijn leem</li> </ul>  |
| - < 2µm: kleifracie                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 0,2-2µm: grove klei</li> <li>- &lt; 0,2µm: fijne kleine</li> </ul>   |
- } < 20µm: slibfractie

! pseudofracie: schijnbare groter fractie door het aaneenkitten van individuele korrels en ontstaan van partikels met grotere diameter (vb. door ijzeroxiden, carbonaten en organische stoffen)

### - Korrelgroottesamenstelling: grafisch weergeven in textuurdriehoek om type bodem te bepalen



#### Legende:

- Z: zand (voelt grof aan, geen balletje rollen)
- S: lemig zand (wel balletje, geen lint kneden)
- P: licht zandleem
- L: zandleem
- A: leem (meelachtig, linten < 5cm)
- E: klei (vettig of zeepachtig, linten > 5cm)
- U: zware klei

### - Activiteit bestanddelen:

- Actief: verweerbare mineralen die nutriënten kunnen vrijgeven tijdens vertering
- Inactief: geen nutriënten

! Hoe actiever bestanddelen, hoe sneller het overheerst in de bodem

- Z, S en P-gronden: gemakkelijk bewerkbaar, lage productiviteit (lichte gronden)

<> A,E en U-gronden: moeilijk bewerkbaar, dikwijls te nat (zware gronden)

! Middelzwaar vb. L-grond: optimale vocht- en nutriëntencondities

- Textuurdriehoek enkel hoofdfracties: deelfracties in cumulatieve curve (X-as: logaritmisch diameter van korrelgroottefractie/ Y-as: bijdrage van die fractie tot het totale gewicht van de bodem)

! - >15% boven 2mm: stenig-leemgrond (G)

- >30% organisch materiaal: veengrond (V)

### H3 Bodemvorming

- Processen belangrijk in bodemvorming:
  - Transformatie (afbraak en synthese van mineralen)
  - Translocatie van minerale en organische bestanddelen van boven naar beneden of omgekeerd
  - Additie van materiaal vb. bladeren die naar beneden vallen
  - Verliezen van materiaal door erosie van oppervlak of uitloging
    - Bodems zijn dynamische, natuurlijke entiteiten wiens eigenschappen bepaald worden door moedermateriaal, klimaat, vegetatie, topografie en tijd
    - ! Bepalen snelheid bodemvorming

#### 3.1 Moedermateriaal

- Elke type van gesteente wordt aan verwerking blootgesteld en zal uiteindelijk fysisch of chemisch afgebroken worden tot kleinere partikels die dikwijls uit individuele mineralen bestaan
  - ! Ook synthese van nieuwe mineralen
    - Deze twee processen bepalen de bodem (vb. Loessbodem)
- Types moedermateriaal:
  - Residueel moedergesteente (ontstaan ter plaatse)
  - Accumulatie van organisch materiaal (ontstaan ter plaatse)
  - Getransporteerd:
    - Colluvium (door graviteit)
    - Glaciaal (door ijs)
    - Eolisch (door wind)
    - Door water:
      - Alluvium (door rivieren)
      - Marien (in oceanen)
      - Lacustrien (in meren)

#### 3.2 Klimaat

= meest belangrijke bodemvormende factor

- Belangrijkste klimaatvariabelen die snelheid van verwerking bepaling:
  - Effectieve precipitatie: deel van de neerslag dat niet wordt opgenomen door planten of verdwijnt aan het oppervlak, maar wel degelijk de bodem binnendringt
    - ! Bepaald door:
      - Neerslagdistributie (verdeling neerslag over periode)
      - Topografische ligging (onderaan berg ook afstromend water)
      - Vegetatie (meer vegetatie, minder effectieve neerslag)
      - Textuur van de bodem (permeabiliteit)
  - Temperatuur: snelheid van biochemische reacties verdubbelt bij T-stijging van 10°C
    - ! MAAR: ook vorst (versnelt fysische erosie)

### 3.3 Biota of vegetatie

- Planten en dieren hebben een belangrijke invloed op bodenvormende processen  
vb. accumulatie van strooisel, vertering versnellen, bodemprofielen vermengen etc.
  - Ontwikkeling O- en A-horizonten:
    - O-horizont: organische laag bovenop minerale bodem (dikke laag in bossen door bladerval)
    - A-horizont: bovenste laag van de minerale bodem die vermengd is met een aanzienlijke hoeveelheid humus (dikke laag in weilanden door vervangen wortelstelsel)
  - Verzuring en kationencyclering: coniferen vervangen tijdens senescentieproces hun kationen door protonen (verzuring tijdens de microbiële afbraak)
- GEVOLGEN: ! Geen wormen (belangrijk voor bioturbatie): dikke O-horizont (O<sub>i</sub>, O<sub>f</sub> en O<sub>h</sub> van boven naar onder) = MOR humus
- <> MULL humus: dikke A-horizont (bomen zoals es en populier: geen zuur strooisel en dus wel wormen)
- ! Intermediaire vorm: MODER-humus
- ! Verarming van de bodem: basische kationen (bodenvruchtbaarheid) daalt enorm
- Vegetatie-eilandjes: bodem- en strooiseldeeltjes die door wind worden meegevoerd botsen tegen planten en vallen hier op de grond
- = rijke eilandjes met dikke A-horizont

### 3.4 Topografie

- Interageert met moedermateriaal, klimaat en vegetatie
- Helling van landschap: effect op effectieve precipitatie, op erosie en op temperatuur en dus vertering

### 3.5 Tijd

- Bodenvorming: traag proces
- Tijd of ouderdom: niet de leeftijd, maar de graad van vertering en profielontwikkeling  
vb. Tropen: meest verweerde bodems

### 3.6 Ontwikkeling van het bodemprofiel

- Bodems: gekarakteriseerd door bepaalde verticale sequentie van bodemlagen
  - O-horizont: (subdivisies: MOR, MODER, MULL)
  - A-horizont: donkere kleur
  - E-horizont: lichtere kleur, maximale uitloging van klei, ijzer- en Al-oxides (~A<sub>2</sub>-horizont)
  - B-horizont: klei en ijzer-en Al-oxides accumuleren hier die hoger uitspoelen, donkere kleur
  - C-horizont: deel van bodem waarin R-horizont aan het verteren is
  - R-horizont: onverweerde moedermateriaal

## H4 Bodemclassificatie

### 4.1 Het Belgisch systeem

- Basis: bodemserie bepaald door textuurklasse, natuurlijke drainering en horizontenopeenvolging
- Formule van drie letters:
  - Grondsoort (hoofdletter):
    - Z: zand
    - L: zandleem
    - A: leem
    - S: lemig zand
    - U: zware klei
    - V: veen
    - P: licht zandleem
    - E: klei
    - G: stenig leem
  - Natuurlijke draineringsklasse (kleine letter): (+)/(-): met/zonder reductiehorizont
    - a: zeer droog
    - b: droog
    - c: matig droog/zwak gleyig
    - d: matig nat/matig gleyig
    - e: nat/sterk gleyig (+)
    - f: zeer nat/zeer sterk gleyig (-)
    - g: uiterst nat/gereduceerd
    - h: nat/sterk gleyig (-)
    - i: zeer nat/zeer sterk gleyig (-)
  - Horizontenopvolging (kleine letter):
    - a: textuur-B
    - b: verwerings-B
    - c: verbrokkelde textuur-B
    - p: zonder B
    - f: zwakke humus- en/of Fe-B
    - g: duidelijke humus- en/of Fe-B
    - h: verbrokkelde humus- en/of Fe-B
    - m: dikke, anthropogene humushoudende A
- Indien substraat met andere textuur voorkomt tussen 20-120cm: extra kleine letter voor bodemserie
  - s: zandsubstraat
  - l: leemsubstraat
  - w: klei-zandsubstraat
  - i: lemsubstraat
  - v: veensubstraat
  - u: kleisubstraat
  - g: grintsubstraat

### 4.2 Het Amerikaans systeem

- In tegenstelling tot Belgisch systeem: universeel toepasbaar: 12 orden, 53 suborden, 230 groepen, ongeveer 1000 subgroepen, ongeveer 5000 families en 16000 series
- Orden:
  - Entisols: jonge, onderontwikkelde bodems met enkel dunne A-horizont (A-C/A-R) (overal)
  - Vertisols: zware kleibodems (>35%) met A-C profiel (overal waar klei moedermateriaal is en waar droge/natte seizoenen zijn; moeilijk te bewerken)
  - Inceptisols: jonge bodems, maar ouder dan entisols met A-B-C/R profiel (overal)
  - Histosols: organische bodems met O-C/R profiel met dikke O (overal)
  - Aridisols: weinig organisch materiaal met aanreikingshorizonten (droog + warm: woestijngebied)
  - Andisols: op vulkanische assen (warm+ droog)
  - Mollisols: dikke A en B + lage C/N ratio (gematigd+droog: steppes; gemakkelijk te bewerken maar vaak te droog)
  - Alfisols: klei-accumulatielaag in B (gematigd + vochtig: loofhoutbossen)
  - Ultisols: sterke klei-aanrijking met A-B-C/R profiel (warm+vochtig)
  - Oxisols: voedselarm met minder humus met A-B-C/R profiel (heel warm + nat)
  - Spodosols: op zuur moedergesteente met O-A-E-B-C/R profiel (vochtig+ koud)
  - Gelisols: permafrost
    - ! België: entisols (polder), spodosols (Kempen en Vlaanderen), histosols (Hoog-Beigië) en alfisols (zand-leemstreek)
- Subordes: benaming waarin laatste letters verwijzen naar de orde en het eerste deel verwijst naar de meest kenmerkende bodemvormende factor
- Groepen en subgroepen: benamingen die aanwezigheid van relevante horizonten benadrukken

## **H5 Organische bestanddelen van de bodem (niet super: kakhoofdstuk)**

### 5.1 Types van organische materie in de bodem

- Organisch materiaal in de bodem: levende biomassa, niet getransformeerde componenten (strooisel of detritus) en getransformeerde en nieuw gesynthetiseerde producten (humus)
  - Levende biomassa:
    - Plantenwortels (grootste aandeel van levende biomassa)
    - Microbiële biomassa (<5%): belangrijk voor nutriëntencycli; meestal heterotroof  
!  $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + E$  (sneller bij meer  $O_2$ )
    - Bodemfauna (kleinste aandeel)
  - Niet getransformeerde componenten (20 à 30%): nog herkenbare eigenschappen
  - Getransformeerde componenten (grootste aandeel): amorf, donkergekleurd, hydrofiel, zuur

### 5.2 Decompositie van organische materie en de rol van biota

- = dynamisch proces waarin dode organische componenten ofwel gereduceerd worden tot  $CO_2$  met vrijstelling van alle nutriënten ofwel geassimileerd worden in microbiële biomassa, ofwel in humus worden omgezet
- Decompositie: drie verschillende processen
  - Uitspoeling: uitloging van wateroplosbare moleculen in het plantenstrooisel
  - Fragmentatie: doorboren van de bescherm lagen van dierlijk of plantaardig weefsel (vb. cuticula) en het in kleinere stukken breken van grote stukken zodat microben het gemakkelijker kunnen binnendringen  
! Bodemdieren: belangrijkste fragmenteerders, wel vooral onrechtstreeks (mengsel strooisel en werken vaak samen met microben in hun ingewanden of in aparte ruimtes)
    - Microfauna (<0,1mm): nematoden, rotiferen en protozoa
    - Mesofauna (0,1 - 2mm): collembola en mijten (grootste effect op decompositie)
    - Macrofauna (>2mm): regenwormen (gematigd klimaat) en termieten (tropisch klimaat)  
! Alle bodemdieren hebben hoge energiebehoeftes doordat ze bewegen
  - Chemische modificatie van afbrekende strooisel door bacteriën en schimmels
    - Schimmels: netwerk van schimmeldraden (hyfen) waarmee ze actief in de richting van strooisel groeien ( voordeel tegenover bacteriën: leer enzymen, nutriënten hergebruiken + gebonden P vrijmaken)  
! Kunnen van elders N aanvoeren aangezien vers strooisel weinig N bevat
    - Bacteriën: kunnen zich niet verplaatsen waardoor de organische materia via waterfilms diffunderen naar de bacteriën; bevinden zich in biofilms  
! Meeste moleculen zijn niet oplosbaar: worden opgelost door exoenzymes  
! Wanneer bodem uitgeput is: inactieve staat aannemen
- Afbraak in minerale bodem: helemaal anders dan aan het oppervlak (complexeren met klei-mineralen en niet-enzymatische reacties ondergaan)
- Decompositie: niet als gunst voor C-cyclus, maar omdat bodemorganismen E en bouwstenen nodig hebben
- Heterotrofe respiratie: productie van  $CO_2$  tijdens decompositie

### 5.3 Tijdsverloop van decompositie van organische materie

- Decompositie start al lang voordat plantenorganen worden afgezet: bacteriën en schimmels worden via de lucht afgezet en beginnen al met de afbraak van cuticula, gekwetste plantendelen en wortels  
! Levende cellen kunnen zich nog verdedigen totdat de senescentie optreedt

- Gewichtsverlies van strooisel: negatief exponentieel verloop met dalende snelheid
- Gebieden met uitgesproken winterseizoen: decompositie piekt later in het jaar dan de plantengroei
  - Microben: bredere temperatuursresponscurve
  - Temperaturen in de bodem zijn meer gebufferd dan in de lucht
  - Herfst: piek van strooiselinputs

#### 5.4 Spatiale distributie van organische materie in de bodem

- Plaats waar plantenstrooisel de bodem inkomt hangt af van het landgebruik
  - Bossen: aan het oppervlak
  - Gras- en akkerlanden: ondegroonds (bovenste centimeters)
- Decompositie aan oppervlak verschilt van decompositie dieper in de bodem
  - Oppervlak: snelle afbraak door schimmels
  - Dieper in de bodem: trager doordat er geen vers, E-rijk strooisel is
  - Rhizosfeer (rondom wortels): aggregaten van minerale partikels
    - Verhogen waterretentie
    - Hoge microbiële activiteit en hoge productie van organische moleculen
    - Productie van belangrijke broeikasgassen

#### 5.5 Factoren die de decompositiesnelheid bepalen

##### 5.5.1 Kwaliteit van organische materie

- Soort moleculen: bepaalt of iets gemakkelijk/moeilijk kan worden afgebroken
  - Snel groeiende planten: gemakkelijk afbreekbare componenten
  - Traag groeiende planten: moeilijk afbreekbare componenten
- Hoeveelheid nutriënten: bepaalt of microben er van kunnen groeien of niet
- Immobilisatiefase: tijdens het groeien van microbiële populaties gaan ze vrijgekomen stikstof opnemen waardoor de stikstofbeschikbaarheid afneemt voor planten
  - ! Als er te weinig stikstof beschikbaar: sub-optimale groei
- Mineralisatie: wanneer voedselbron verteerd is, zal stikstof terug vrijkomen in de omgeving door de microbiële populatie daalt
- In een moestuin: niet bemesten met onverteerd plantenmateriaal (hoge C/N) want dan nemen de microben alle nutriënten weg van de planten
- Ouderdom en initiële samenstelling van het strooisel bepalen de afbraaksnelheid op een bepaald moment

##### 5.5.2 Decompositie wordt gestimuleerd in de rhizosfeer

- = bodem binnen een paar millimeter rond wortels of hyfen van symbiotische schimmels
- Wortels voorzien bacteriën in de rhizosfeer van C en E: stimulatie van de afbraak (exudatie)
- Belangrijk in graslanden (wortels dicht bij elkaar) en bossen (netwerken van mycorrhizamycelia)

##### 5.5.3 Activiteit en samenstelling van de microbiële gemeenschap

- Grootste fractie van microbiële biomassa is inactief: belangrijker als nutriëntenreservoir dan als bepaler van de decompositiesnelheid
- Microbiële populaties: aangepast aan de voedselbron die aanwezig is en belangrijk voor de productie van enzymen

#### 5.5.4 Fysische omgeving

- Bodemorganismen leven in waterfilm rond bodempartikels: functioneren beter bij lagere watergehaltes dan plante
- Veel enzymen: nood aan zuurstof
- Temperatuur: per toename van 10°C verdubbeldt de activiteit van de meeste enzymen
- Eigenschappen van bodem zelf zoals textuur en mineralogie: klei heeft groot water- en zuurstofgehalte + bindt zich gemakkelijk met organische materie (bescherming)
  - ! Komt door negatieve ladingen op klei en positieve op organische materie

#### 5.6 Klassieke theorie van de humusvorming

- Humificatie van organische materie: combinatie van biotische en abiotische processen
  - Selectieve preservatie: eerst afbraak van moeilijk afbreekbare moleculen waarbij moleculen worden geproduceerd met veel reactieve groepen voor andere humificatieprocessen
  - Microbiële transformatie: productie van wateroplosbare moleculen (vb. AZ en suikeramines)
  - Polyfenol formatie: belangrijke componenten van humus afkomstig van microbiële afbraak van plantenlignine, synthese door bodemmicroben uit andere precursoren en productie door planten als defensiemechanisme
  - Quinon formatie: hoogreactieve moleculen
  - Abiotische condensatiereacties
- Chemische structuur humus: verschilt tussen ecosystemen
  - Graslanden: minder fenolische, maar mengeling van humus- en fulvinezuren
  - Bossen: veel fenolische producten
- Fulvinezuren: lichtgeel - geelbruine bodem
- Huminezuren: donkerbruin - grijszwarte bodem
- Humine: zwarte bodem

#### 5.7 Welke factoren bepalen de koolstofinhoud van bodems

- Verschillende factoren kunnen de C-inhoud van de bodem beïnvloeden
  - Beheer: minder ploegen, meer C
  - Bodemtextuur: meer klei, meer chemische stabilisatie, meer C
  - Klimaat: hoe warmer, hoe meer C/ hoe natter, hoe meer C
  - Positie in het landschap: lager gelegen in het landschap, meer C
  - Vegetatie: hoe productiever, hoe meer strooisel, hoe meer C

#### 5.8 Eigenschappen en belang van organische materie in de bodem

- Structuur van de bodem verbetert door de vorming van aggregaten te stimuleren
  - Humusrijke gronden: minder vorstgevoelig
  - Humus: binden van pesticiden en zware metalen en ze onschadelijk maken
  - Organische materie is voeding voor bodemorganismen die zorgen voor goede water- en luchthuishouding
- Humus kan kationen elektrostatisch vasthouden zodat ze niet uitloggen (sorptievermogen)
  - ! Uitwisselingsvermogen: vermogen van de bodem om kationen te binden op een manier dat planten ze kunnen opnemen door andere kationen in de bodem te brengen
- Basenverzadiging: ratio basische kationen op de totale kationenpool
  - ! Kan enorm verlagen door het verarmen/verzuren van de bodem (meer Fe en Al)



## H6 Water in de bodem

- Water in de bodem: enorm belangrijk, maar een teveel kan ook schadelijk zijn
- Eigenschappen van water:
  - Regelt temperatuur van de bodem: verdamping van water gaat oververhitting van de bodem tegen + hoge warmtecapaciteit zorgt voor trage afkoeling
  - Bepaalt structuur van de bodem: associatie met vaste deeltjes
- Water: twee H-atomen asymmetrisch covalent gebonden aan O (polair)
  - ! Aantrekking van water door negatieve bodemcolloïden
- Waterstofbruggen: waterstof kan gedeeld worden tussen twee elektronegatieve atomen
  - Cohesie: binding tussen watermoleculen verder weg van bodemcolloïden
  - Adhesie: binding watermoleculen aan bodemcolloïden
    - ➔ Waterfilm rond bodempartikels
- Oppervlaktenspanning: watermoleculen zijn meer tot elkaar aangetrokken dan tot lucht, wat resulteert in een inwaartse kracht aan het oppervlak die de capillaire beweging van water mogelijk maakt (adhesie en cohesie)
  - ! Water kan opstijgen tot boven de grondwatertafel
- Capillaire stijging:  $h = 0,15/r$  met  $r$ : diameter van de porie
  - ! Capillaire stijging is groter in bodems met kleine poriën
- Waterverzadiging: grondlaag waarin alle poriën gevuld zijn met water (wanneer je in de bodem graaft en water tegenkomt: grondwater met als oppervlak grondwatertafel)
- Drainwater: water dat door zwaartekracht naar beneden beweegt in de grond
- Veldcapaciteit = maximaal watergehalte - drainwater
- Retentiewater: het water zelf dat een bodem vasthoudt bij veldcapaciteit
  - ! Krachten die hoeveelheid retentiewater verklaren
    - Capillair water
    - Hangwater: water dat na regenbui wordt vastgehouden door vb. adhesie
- Niet al het retentiewater is beschikbaar voor planten: enkel water dat gebonden is met een kracht minder dan 15 atm (verwelkingspunt: water dat boven 15 atm gebonden is)
  - ! Beschikbaar water voor planten = veldcapaciteit - verwelkingspunt (leem > klei > zandleem > zand)
  - ! Organische materie: verhoogt waterretentie (vooral water < 15atm)
- Hygroscopisch punt: hoeveelheid water die bodem bevat wanneer er een evenwicht is met dampspanning van de lucht (hygroscopisch water)
- Watergehalte nul: wanneer al het water uit de bodem is
  - ! Onbeschikbaar retentiewater = verwelkingspunt - watergehalte nul

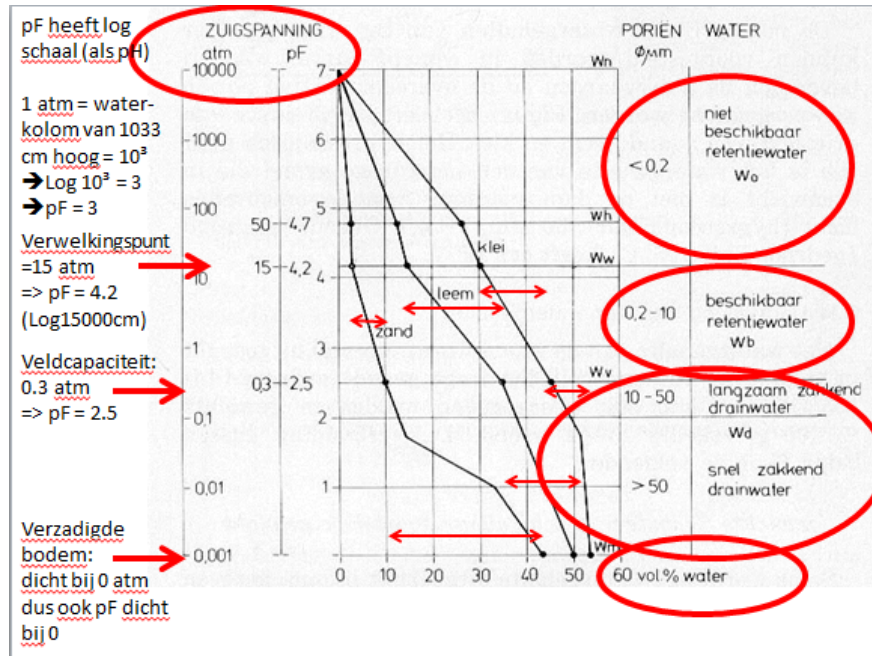
- Watergehalte bodem: volume water in 100 cm<sup>3</sup> volledig droge grond (vol%)

! Beschikbaarheid verschilt tussen bodemtypes

→ Waterspanning gebruiken

! Veel moeilijker te meten

→ Verband tussen waterspanning en watergehalte (vol%): pF curve



- Waterbeweging in de bodem gebeurt op drie verschillende wijzen: drijvende kracht is steeds het verschil in energietoestand van het water

- Gesatureerde stroming: wanneer alle poriën gevuld zijn met water (wordt bepaald door aantal macroporiën: hangt af van bodemtype)

! Ook via drainagekanalen met veel grotere diameters en dus grotere drainage  
 vb. afgestorven wortels (preferential flow paths)

- Ongesatureerde stroming

- Via waterdamp

## **H7 Rol van bodems in de balans van broeikasgassen**

- Broeikasgassen die het meest verantwoordelijk zijn voor opwarming van de aarde:
  - CO<sub>2</sub>: belangrijkste broeikasgas dat vooral vrijkomt bij verbranding van fossiele brandstoffen en bij ontbossing
    - ! Nabije toekomst: decompositie van organische materie ook een grote rol (vooral permafrost en veenbodems)
  - CH<sub>4</sub> (methaan): productie ervan in waterzieke bodems en wetlands (ook smeltende permafrosts)
  - N<sub>2</sub>O (lachgas): bij overbemesting in de landbouw (door (de)nitrificerende bacteriën wanneer bodems nat zijn en er toch veel nitraat is)
    - ! Enkel bemesting wanneer planten actief groeien (minder nitraat en N<sub>2</sub>O)