

Grip op je Grond

Onderzoek het effect van organische toevoegingen op de droogteweerstand van grond.



Samenvatting

Lange droge zomers en hevige stortbuien, het klimaat verandert en de noodzaak om regenwater in de grond vast te houden wordt steeds groter. Niet alleen in je eigen tuin is dit van belang, maar ook voor stadsontwerp, landschapsinrichting en de agrarische sector. Bovendien is een te droge grond een probleem dat in vele landen speelt. Hoe goed de grond met water om kan gaan, hangt vooral af van de grondsoort, de organische verbindingen, het bodemleven en de bedekking van de bodem. Wetsus doet onderzoek naar de toepassing van een bijzondere organische verbinding: Extra Polymeric Substances (EPS).

Deze toolkit is geschikt om te gebruiken voor een profielwerkstuk of een lesmodule in de klas. In de toolkit vind je uitleg en materiaal om zelf mee te experimenteren. Op deze manier kun je zelf onderzoeken wat voor effect verschillende grond-samenstellingen hebben op de opname en afgifte van water.

De experimenten zijn in de volgende modules verdeeld:

Module 1: Effect van de bodemsamenstelling op de waterretentie

Module 2: Effect van de bodemsamenstelling op de infiltratiesnelheid

Module 3: Effect van de bodemsamenstelling op de verdamping

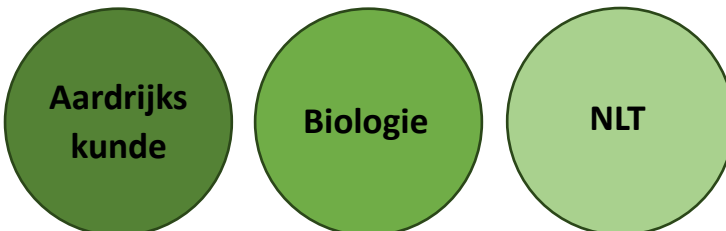
Module 4: Effect van de bodemsamenstelling op waterafstoting

Module 5: Effect van de bodemsamenstelling op de capillaire hoogte

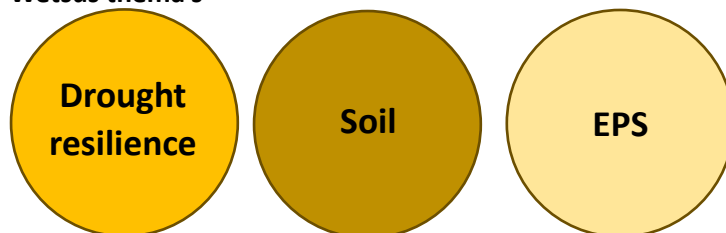
(Extra) Module 6: Effect van de bodemsamenstelling op de wortelontwikkeling

(Extra) Module 7: Effect van een strooisellaag op het uitspoelen van voedingsstoffen

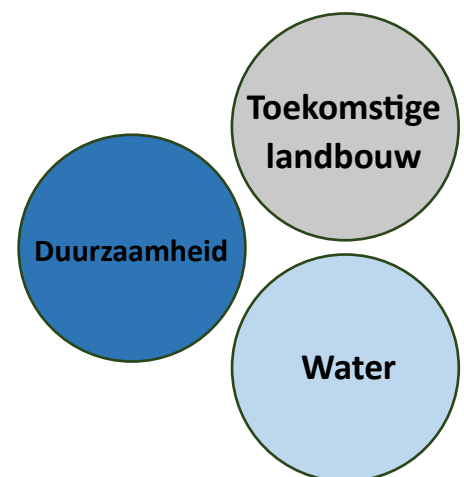
Geschikte vakken



Wetsus thema's



Interesse gebieden



Voorbeelden van onderzoeksvragen zijn;

- Wat voor bodem neemt grote hoeveelheden water snel op tijdens de stortbuien?
- Hoe zorg ik dat ik de aardbeien in mijn tuin deze zomer zo min mogelijk water hoeft te geven?
- Kan een bosbodem meer water opnemen dan de bodem van een voetbalveld?
- Wat doet verzilting met het bodemvochtgehalte?
- Wat is het effect van een hoog organisch stofgehalte en EPS in de bodem op de wortelgroei van kiemplantjes?
- Helpt de toevoeging van EPS in de bodem de effecten van verzilting tegengaan?
- Welke bodemsamenstelling is het meest toekomstbestendig?

Tijdspad

Voor een succesvol onderzoek heb je genoeg tijd nodig. Hieronder vind je een voorbeeld van een planning om je onderzoek binnen 8 weken af te kunnen ronden. De experimentele modules zijn dubbel ingepland, zodat je ruimte hebt om het experiment te herhalen of om verbeteringen door te voeren. Deze planning is slechts een leidraad.

Week	1	2	3	4	5	6	7	8
Verslag	Introductie en informatie		Materiaal & methode		Resultaten	Discussie	Resultaten	Discussie & conclusie
	Hypothese	Experimenteel ontwerp						
Experiment	Controle experiment	Experimenteel ontwerp		Module 1-5	Materiaal drogen	Module 1-5		
		Materiaal verzamelen	Materiaal drogen	Module 6 + 7			Module 6 + 7	

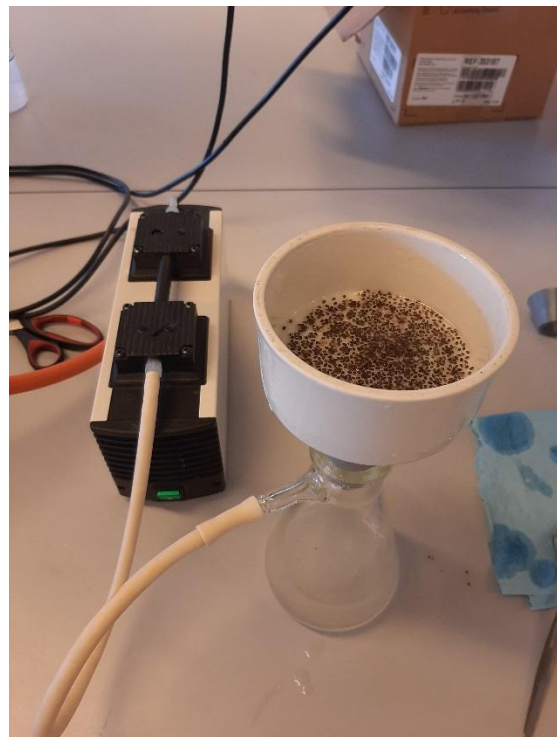
Module 6 en 7 zijn extra modules. Wanneer je deze module wilt toevoegen, zul je hier ook een hypothese en een apart ontwerp voor moeten maken.

Inhoud

Samenvatting	1
Tijdspad	2
Wat zit er in de toolkit?	4
Achtergrondinformatie	5
Bodemsamenstelling	5
Minerale delen: grondsoorten	5
Organische stof	5
Bodemvochtgehalte	6
Watergehalte	7
Onderzoek bij Wetsus	7
EPS	7
Een onderzoek opzetten, hoe doe je dat?	9
Experimenteel ontwerp	10
Resultaat analyse	11
De toolkit gebruiken	12
Module 0: verzamelen en voorbereiden van je grondmonsters	12
Module 1: Effect van de bodemsamenstelling op de waterretentie	14
Module 2: Effect van de bodemsamenstelling op de infiltratiesnelheid	15
Module 3: Effect van de bodemsamenstelling op de verdamping	16
Module 4: Effect van de bodemsamenstelling op waterafstoting	17
Module 5: Effect van de bodemsamenstelling op de capillaire hoogte	18
(Extra) Module 6: Effect van de bodemsamenstelling op de wortelontwikkeling	19
(Extra) Module 7: Effect van een strooisellaag op het uitspoelen van nutriënten	21
Bronnen	22

Wat zit er in de toolkit?

Onderdelen



1. 6x trechter
2. 6x petrischaal
3. 1x 100ml maatcilinder
4. 3x glazen 50ml bekglas
5. 6x plastic bekglas
6. 6x droogtray
7. 1x vijzel
8. 6x gaasje
9. Tape
10. Pipetten
11. 6x cilinder met statief
12. Spuitflesje
13. PVC ring
14. Meetlint
15. Chiazaad
16. Vacuümpomp
17. Aansluitslangen
18. Erlenmeyer
19. Buchnertrechter
20. Filters 2mm en 5mm

Niet inbegrepen

Grondmonsters die je wilt onderzoeken
Lepel
Weegschaal in milligrammen
Maatcilinders 100ml
Emmertje
Timer
Camera met filmfunctie
Schip
Rubber hamer

Extra module 6

Kweekbak
Zaden
Een steriel mesje of schaar
Agar

Extra module 7

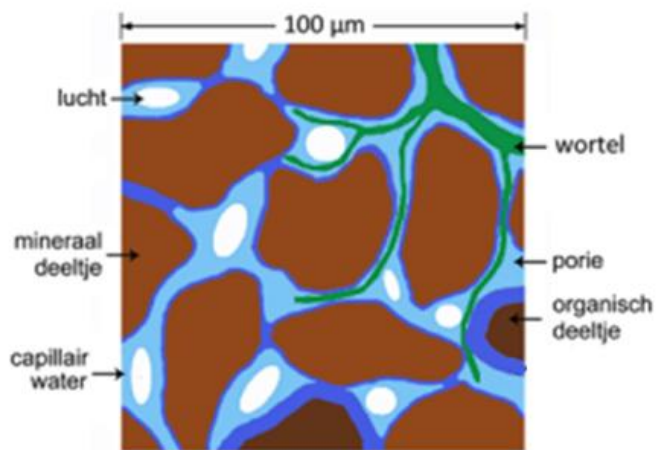
Plastic flessen

Achtergrondinformatie

Lange droge zomers en hevige stortbuien, het klimaat verandert en de noodzaak om regenwater in de grond vast te houden wordt steeds groter. Maar hoe doe je dat nou? Hoe goed de grond met water om kan gaan, hangt vooral af van de bodemsamenstelling.

Bodemsamenstelling

In de bodem zijn drie bestanddelen te onderscheiden: vaste delen, lucht, en water. De vaste



Afbeelding 1: de bodem bestaat uit minerale delen, organische delen, lucht en water.

bestanddelen van de bodem bestaan uit minerale delen en organisch materiaal. Door verwerking van gesteenten ontstaan de minerale delen. Met organisch materiaal worden afgebroken en dode planten en dieren bedoeld. Zie afbeelding 1.

De lucht en het water bevinden zich in de poriën tussen de vaste delen. De bodemdeeltjes zijn in staat om door adsorptie (hechting aan het oppervlak), tegen de werking van de zwaartekracht in, een bepaalde hoeveelheid water vast te houden. De maximale hoeveelheid water is afhankelijk van het aantal en het volume

van de poriën en dus van de grondsoort. Klei en veen houden bijvoorbeeld veel meer water vast dan zand. Wanneer poriën met elkaar in verbinding staan worden dit capillairen genoemd. Via capillairen kan het water zich door de grond verplaatsen.

Minerale delen: grondsoorten

Grondsoorten gedragen zich verschillend ten opzichte van water. Grof zand laat bijvoorbeeld water door als een zeef. Naarmate zandgrond meer en kleinere minerale deeltjes bevat, is die beter in staat om het water vast te houden. Kleigrond heeft zoveel kleine bodemdeeltjes dat het water wel héél goed vasthoudt en droogt daarom ook langzaam op. Eenmaal opgedroogd, wordt het keihard en neemt maar weer langzaam water op. Het toevoegen van organisch materiaal, zoals compost, verbetert beide grondsoorten. Zand kan dan beter vocht vasthouden en klei wordt beter bewerkbaar. Niet alleen de bodem zelf, maar ook de bedekking van de bodem heeft invloed op de waterhuishouding. Hoe beter de grond bedekt is, hoe minder water er verdampt en hoe minder voedingsstoffen er wegspoelen.

Organische stof

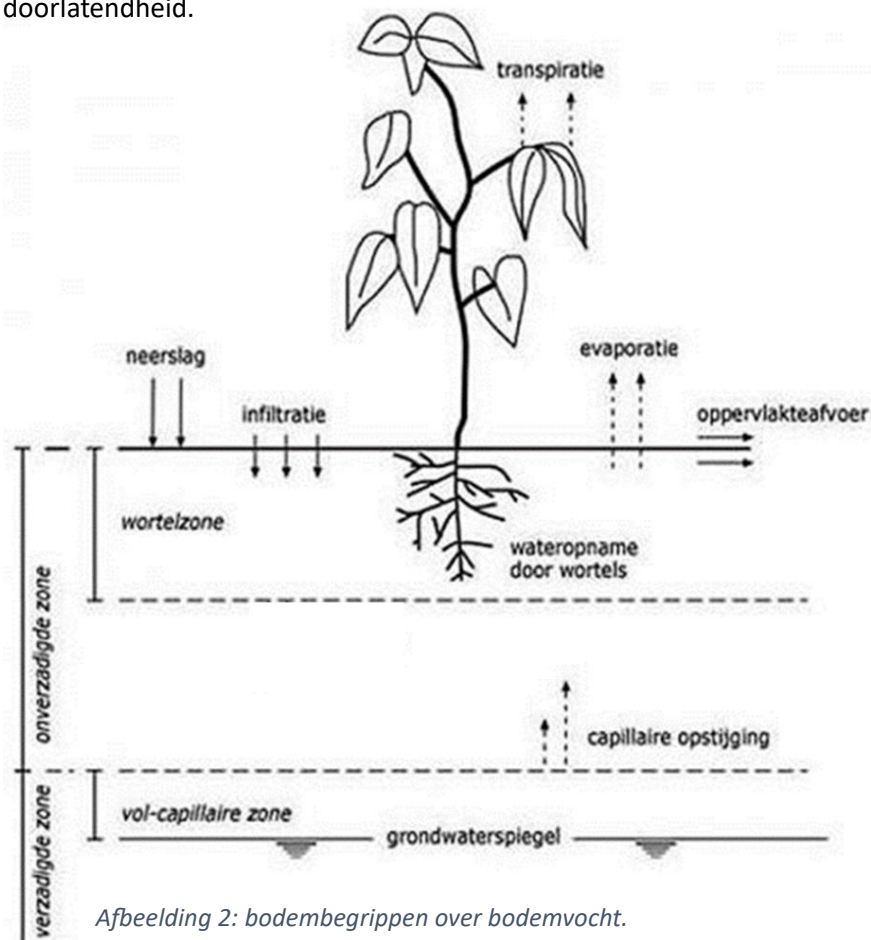
Organisch materiaal zorgt dat water veel beter kan worden vastgehouden in de grond. Als je het organische stofgehalte op 1 m² met 1% verhoogt, dan kan er 17 liter extra water in de bodem worden vastgehouden. Organisch materiaal is een grote groep van stoffen, bijvoorbeeld humus, compost, hooi of mest. Ook schimmeldraden, slijm (mucilage) afkomstig van plantenwortels en polymeren gemaakt door bacteriën (EPS) behoren tot de organische verbindingen. Het bodemleven heeft dus ook grote invloed op hoe de bodem water vasthoudt en afgeeft.

Bodemvochtgehalte

De term bodemvochtgehalte wordt gebruikt voor het percentage water in de bodem. Het bodemvochtgehalte is optimaal wanneer een plant kan beschikken over zowel voldoende water als voldoende zuurstof in de wortelzone. Het bodemvochtgehalte varieert voortdurend onder invloed van neerslag en verdamping.

Voor het lezen van informatie over bodemvocht zijn een aantal begrippen van belang (afbeelding 2);

- **Verzadigde zone:** Wanneer de poriënruimten helemaal met water zijn opgevuld dan spreken we van waterverzadiging en de verzadigde zone.
- **Onverzadigde zone:** In de onverzadigde zone bevatten de poriën zowel lucht als water.
- **Capillaire zone:** Laag boven de grondwaterspiegel waarin door de capillaire (vocht aanzuigende) werking van de poriën een opwaartse waterbeweging is. De vol-capillaire zone bevindt zich direct boven de grondwaterspiegel en hier is sprake van verzadiging.
- **Wortelzone:** de zone tot in waar de wortels doordringen en water gebruiken.
- **Grondwaterspiegel:** het vlak in de verzadigde zone waar de waterdruk gelijk is aan de atmosferische luchtdruk.
- **Infiltratie:** het indringen van water in de bodem. Hoeveel water er infiltreert is afhankelijk van de waterdoorlatendheid. Dit wordt bepaald door de grondsoort en de grootte van de poriën maar ook door de hoeveelheid water die al in de bodem aanwezig is. Hoe meer water in de poriën zit, en hoe meer dit poriënwater met elkaar in contact staat, hoe hoger de doorlatendheid.



Afbeelding 2: bodembegrippen over bodemvocht.

Watergehalte

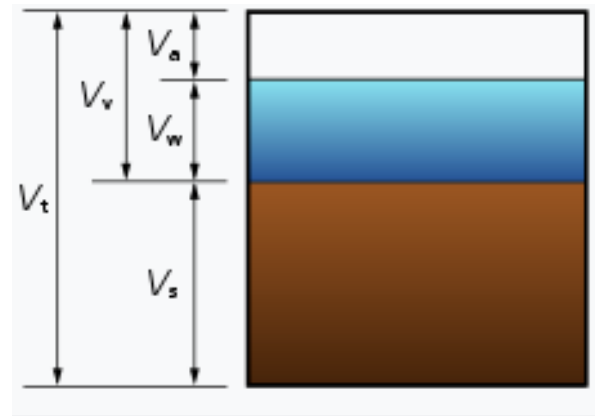
Het volumetrisch watergehalte (Engels: volumetric water content (VWC)) geeft aan hoeveel water er in een bodemmonster aanwezig is. Dit kan in procenten, maar meestal wordt er een ratio tussen de 0 en 1 gegeven. Het VWC wordt aangeduid met het symbool θ

$$\theta = \frac{V_w}{V_t}$$

Waarin;

V_w = volume water

V_t = totaal volume ($V_a + V_w + V_s$)



Afbeelding 3: Volume verdeling in grond. V_t = totaal volume; V_v = void volume; V_a = air volume; V_w = water volume; V_s = soil volume.

Het volumetrisch watergehalte is een maat om iets over de hoeveelheid vocht in een bodemsoort te kunnen zeggen. Het meten van het volumetrisch watergehalte is belangrijk voor milieuonderzoek naar verzuring en vervuiling, maar ook voor boeren om optimaal hun gewassen te kunnen bewateren.

Onderzoek bij Wetsus

Wetsus is een onderzoeksinstituut naar duurzame watertechnologie. Wetsus is op zoek naar duurzame oplossingen en innovaties voor bestaande waterproblemen in de wereld. Denk hierbij aan (nano)filtersystemen voor vervuild water (medicatie, PFAS, afvalwater), het maken van schoon drinkwater, hergebruik van afval(water)stromen, terugwinnen van grondstoffen als stikstof en fosfaat, energieopwekking en energieopslag met behulp van water, het bouwen van slimme sensoren, toepassingen van algen en onderzoek naar droogteresistentie van de bodem. Wetsus heeft een grote onderzoeksruiimte en een laboratorium waar ruim 70 onderzoekers al hun experimenten uitvoeren.

Droogte is een wereldwijd groeiend probleem. Door klimaatverandering wordt het steeds warmer, en zijn er vaker lange droge periodes afgewisseld met hevige regenval waarin bodem nutriënten wegspoelen uit de grond. Op dit moment wordt er vooral geprobeerd om gewassen beter bestand te maken tegen het veranderende klimaat en wordt er veel kunstmest en water gebruikt om gewassen goed te laten groeien. De toevoeging van organisch materiaal helpt de grond ook om meer water vast te houden. Wetsus onderzoekt een aantal praktische bronnen van organisch materiaal als toevoeging in de grond: Mest, industrieel afval (van bijvoorbeeld een bierbrouwer, patatfabriek of voedselverwerker), compost, voedselresten en hooi.

Planten hebben echter ook een eigen systeem om zich te wapenen tegen stress zoals droogte, hitte, zout of ziektes: ze communiceren met bacteriën in de grond. Deze bacteriën produceren op hun beurt beschermende stoffen: Extra Polymeric Substances (EPS). Wetsus doet op dit moment onderzoek naar de toepassing van deze organische verbinding. We proberen te achterhalen hoe EPS precies werkt en hoe we de EPS-productie in de grond kunnen verhogen of toevoegen.

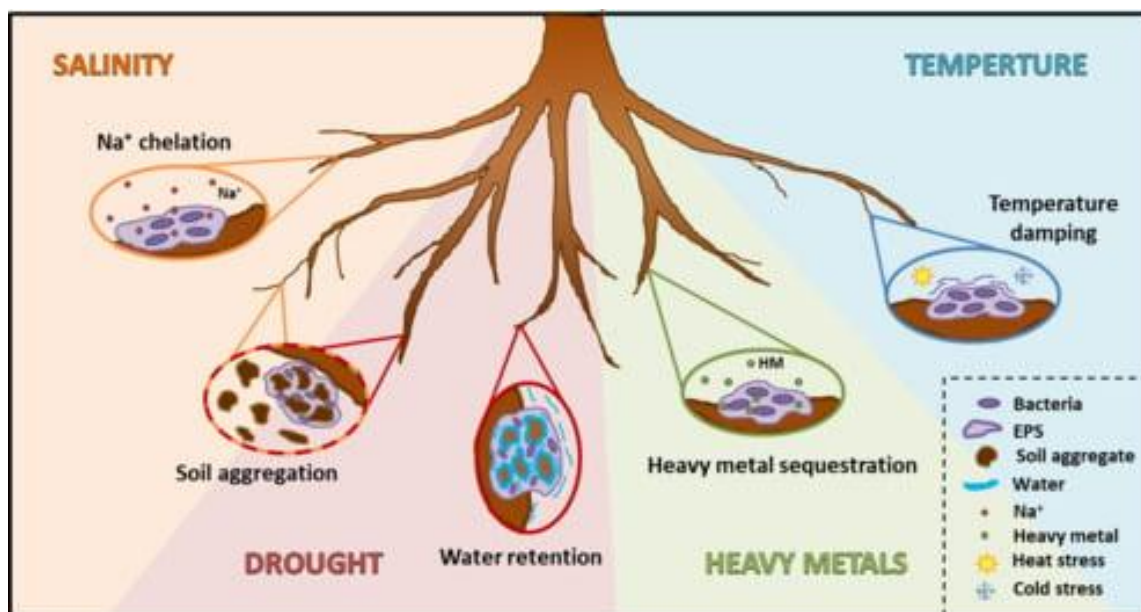
EPS

EPS is een grote groep van extracellulaire (extra=buiten cellulair=de cel) polymeren die door bacteriën in de bodem worden gemaakt als reactie op veranderende vochtgehalten in de bodem. De polymeren vormen een netwerk van suikers, eiwitten, DNA en vetten. EPS heeft niet altijd dezelfde samenstelling, dit is afhankelijk van het soort bacterie en de omstandigheden waar deze in leeft.

Wetsus onderzoekt verschillende toepassingen van EPS. Er loopt een onderzoek naar de schimmelwerende eigenschappen van EPS en de mogelijkheid om pesticiden te kunnen vervangen door specifieke EPS. Daarnaast start er een nieuw onderzoek naar de toevoeging van EPS in de bodem om deze resistenter te maken tegen droogte.

Bacteriële EPS lijkt erg op wortelslijm (Engels: mucilage), een soort slijm dat door plantenwortels wordt gemaakt. Zowel EPS als wortelslijm hebben een effect op de waterdynamiek in de bodem en beschermen de plant tegen stress. Zie afbeelding 4. Effecten EPS en wortelslijm:

- Vormen een netwerk van polymeren dat water absorbeert. Hierdoor vertraagt de verdamping van water en blijft de bodem langer vochtig.
- De polymeren maken de bodem meer visceus.
- De oppervlaktespanning van het water wordt verlaagd.

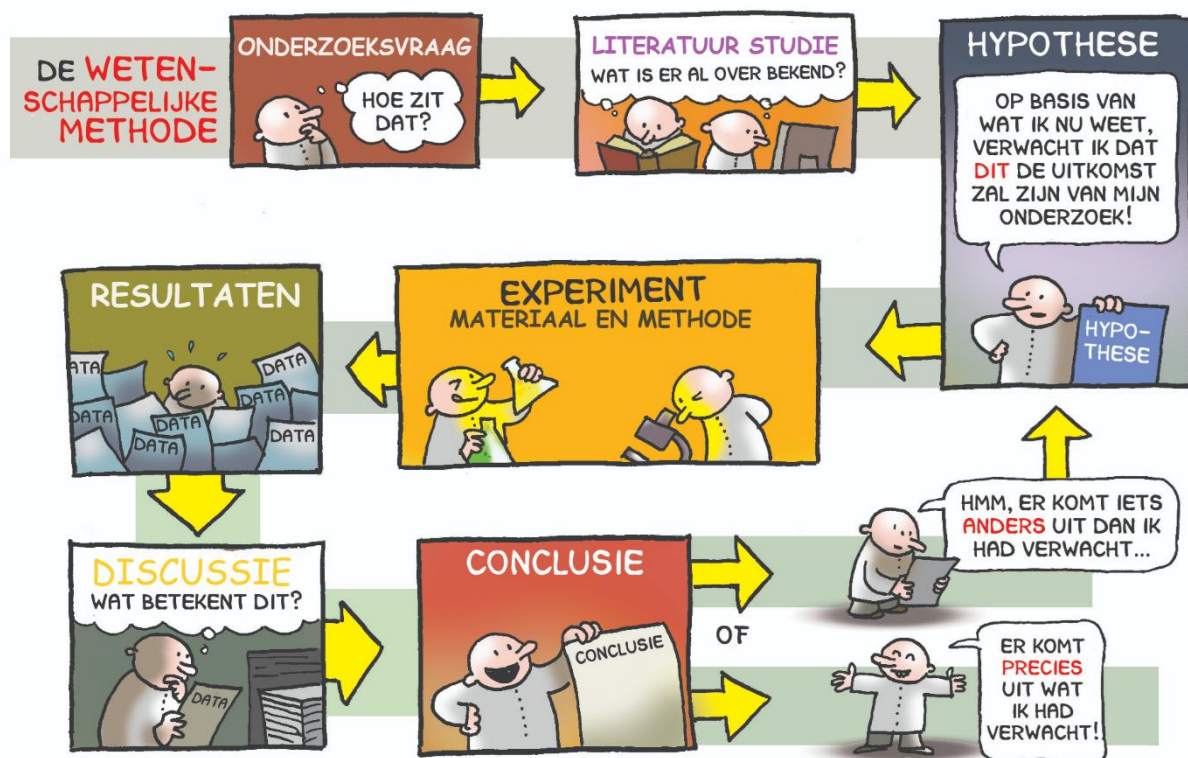


Afbeelding 4: Verschillende stressfactoren voor de plant (salinity=zout; drought=droogte; heavy metals=zware metalen; temperature=temperatuur) zorgen voor beschermende EPS productie door bacteriën. (Bron: Morcillo R.J.L, Manzanera M. (2021))

Een onderzoek opzetten, hoe doe je dat?

Tijdens het opzetten van je onderzoek, bedenk je zo precies mogelijk hoe je elke stap gaat aanpakken. Een natuurwetenschappelijk onderzoek bestaat uit verschillende onderdelen:

- Literatuurstudie: Inleidende informatie over het onderwerp.
- Onderzoeksvraag en hypothese: Een probleembeschrijving met een vraagstelling en een verwacht antwoord.
- Materiaal en methode: Een precieze omschrijving van alle materialen en gebruikte onderzoeksmethode.
- Resultaten: Alle resultaten verwerkt in grafieken/tabellen/afbeeldingen.
- Conclusie/discussie: een uitleg van wat de resultaten betekenen en een (kritisch) antwoord op je onderzoeksvragen. Er volgt een discussie over je conclusies, hoe representatief je experiment is voor de "echte wereld" en over mogelijke vervolgonderzoeken.



Bij het uitvoeren van wetenschappelijk onderzoek begin je vaak met een herhaling van een onderzoek dat al eens uitgevoerd is, een controle experiment. Door experimenten te herhalen waarvan de resultaten al bekend zijn kan je testen of je opstelling werkt zoals je bedacht had. Het is een handige stap om je opstelling, werkplaats en standaardprocedures te leren kennen. In deze toolkit zou je de verschillende experimenten eens met alleen zand kunnen uitvoeren. Op deze manier leer je hoe de toolkit werkt, en maak je minder snel fouten bij je echte experiment. Ook helpt het je een experimenteel ontwerp te maken.

Experimenteel ontwerp

Tijdens deze stap ontwerp je jouw eigen experiment. Wat wil je te weten komen? Wat is er allemaal mogelijk (met tijd, geld en benodigheden)? En op welke manier ga je dit onderzoeken?

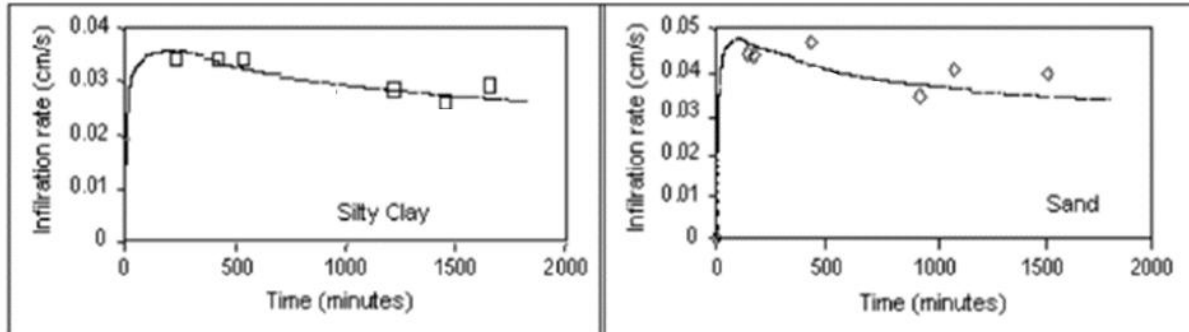
Met een experiment meet je de oorzaak-gevolg relatie tussen een variabele (verschillende grondsamenstellingen) en een effect (wateropname). Je ontwerpt de testopstellingen waarmee je je hypothese (wat denk je dat er gaat gebeuren?) kunt onderzoeken en het effect kunt meten van de verschillende variabelen die je hebt gekozen.

Er zijn een aantal belangrijke stappen die je moet doorlopen om een goed experiment te kunnen ontwerpen:

1. Welke variabelen zijn er en waar hebben ze effect op?
 - Verschillende samenstellingen van bodemsoorten en organische toevoegingen
 - Verschillend zoutgehalte van grondwater (verzilting)
Die een effect hebben op:
 - Infiltratiesnelheid, bodemverzadiging, capillaire hoogte en verdamping
2. Beschrijf een hypothese. Deze moet specifiek en uitvoerbaar zijn. Bijvoorbeeld:
 - De infiltratiesnelheid neemt toe, en de verdamping neemt af naarmate er meer EPS in de bodem aanwezig is.
 - Door verzilting van de bodem neemt de waterafgifte af.
3. Plan de methode van je experiment. Beschrijf hoeveelheden, incubatietijden, materialen, etc. Zorg ervoor dat elke stap vooraf bepaald en duidelijk is. Bijvoorbeeld:
 - Werk je op basis van gewicht of van volume bij het samenstellen van je bodem?
 - Om de hoeveel tijd meet je je capillaire hoogte?
4. Zorg ervoor dat de variabelen die je wilt testen de enige variabelen zijn in de opstelling. Randvoorwaarden kunnen zijn:
 - Alle verdampingsexperimenten vinden tegelijkertijd plaats, zodat de buitentemperatuur, luchtvochtigheid en windkracht bij elke bak hetzelfde is.
5. Ontwerp je testopstelling. Hoeveel verschillende grondsamenstellingen / variabelen wil je testen? Hoe vaak wil je een experiment herhalen om een betrouwbaar resultaat te krijgen? Welke controles of referentiewaarden neem je tijdens elke stap mee?
 - Wanneer je het effect van zout water op de capillaire hoogte wil meten, zul je ook zoet water als controle moeten testen om mee te kunnen vergelijken.
 - Wanneer je het effect van verschillende percentages EPS in tuinaarde wilt testen, zul je ook tuinaarde zonder EPS als controle moeten testen om mee te kunnen vergelijken.
6. Bepaal hoe je je resultaten gaat analyseren. Wat vertelt een meetresultaat je over je onderzoeksvraag? Infiltratie van water in de bodem kun je meten in snelheid. Maar misschien is de snelheid in het begin wel hoger dan later. Neem je dan een gemiddelde? Zet je de snelheid uit in een grafiek? Het is belangrijk hier van tevoren over na te denken, zodat je kunt bepalen hoe vaak je een meting moet noteren.

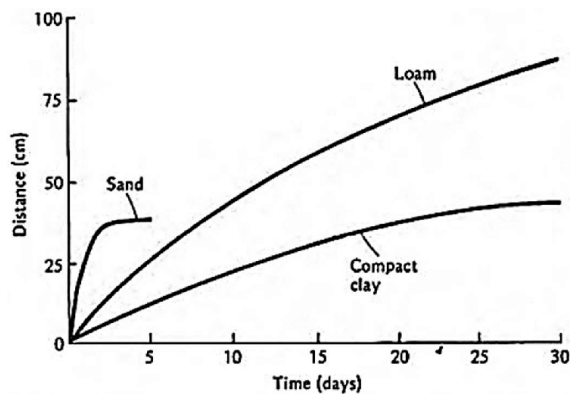
Resultaat analyse

Om je resultaten te analyseren ga je de gekozen variabelen met elkaar vergelijken. Voor een overzichtelijk resultaat zet je je resultaten in grafieken of tabellen. Hieronder vind je een aantal voorbeelden met een korte uitleg.



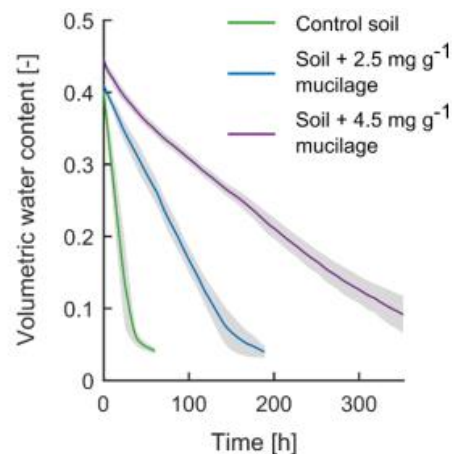
Afbeelding 3: Infiltratiesnelheid in zoute klei en zand. (Bron: Setiawan (2009))

Uitleg afbeelding 3: Infiltratiesnelheid van water in zoute klei ten opzichte van zandgrond. In deze twee grafieken wordt de infiltratiesnelheid (in cm per seconde) van zoute klei en zandgrond met elkaar vergeleken. Op de x-as staat de tijd in minuten aangegeven. De vierkantjes geven gemeten waarden aan, de lijn een berekende "trend". In de grafieken kun je zien dat de infiltratiesnelheid in zandgrond hoger is dan in de zoute klei. Let op: de waardes op de Y-as zijn per grafiek verschillend. Het was mooier geweest als de onderzoekers de twee curves in één grafiek hadden gezet, zodat de verschillen duidelijker te zien waren geweest.



Afbeelding 4: Capillaire hoogte (cm) van verschillende grondsoorten over tijd. (Bron: Gholamibidkhani (2018))

Uitleg afbeelding 4: Capillaire hoogte (cm) van verschillende grondsoorten over tijd. In deze grafiek is te zien dat de capillaire snelheid in zand het groter is (steilste lijn) dan leem of klei. De grootste capillaire hoogte wordt bereikt in leem.



Afbeelding 5: Volumetrisch watergehalte tijdens een verdampingsexperiment in grond verrijkt met slijm. (Bron: Benard, P. (2019))

Uitleg afbeelding 5: Volumetrisch watergehalte tijdens een verdampingsexperiment. Er wordt grond getest waaraan verschillende concentraties Chia-zaad slijm zijn toegevoegd, en een controle meting zonder slijm. De lijn is het gemiddelde van drie metingen, en het grijze gebied het betrouwbaarheidsinterval van het experiment.

De toolkit gebruiken

In dit hoofdstuk wordt in elke module een experiment omschreven waarmee je een bepaald effect van de bodemsamenstelling kunt testen. In de toolkit zitten voldoende materialen om 6 verschillende grondsamenstellingen te kunnen testen.

Module 0: verzamelen en voorbereiden van je grondmonsters

Voordat je met experimenten kunt beginnen, moet je je grondmonsters verzamelen. De bodemsamenstellingen maak en bedenk je zelf. Je kunt hiervoor losse grondsoorten zoals zand, klei of tuinaarde gebruiken met zelf-verzamelde organische toevoegingen. Je kunt ook zelf bodemonderzoek doen en “veld-monsters” nemen. In dat geval steek je een stuk grond uit op de plek van interesse, bijvoorbeeld landbouwgrond, een stukje gemeentegrond in de stad, je eigen tuin of in het bos.

Materiaal verzamelen en voorbereiden:

Voor de experimenten heb je voor elk monster aan 250ml droge grond genoeg. Verzamel of maak je van elk monster 500ml, dan kun je verschillende experimenten tegelijkertijd inzetten of grond drogen tijdens een ander experiment.



Het drogen van de grond kan in de zwarte vierkante bakken. Zet ze op een warme plek, zoals in de zon of boven de verwarming. Heb je haast? Door gebruik te maken van een ventilator of föhn gaat het drogen nog sneller.

Na het drogen kan je grond gaan klonteren. Maak de grond met de vijzel los voor gebruik.



EPS

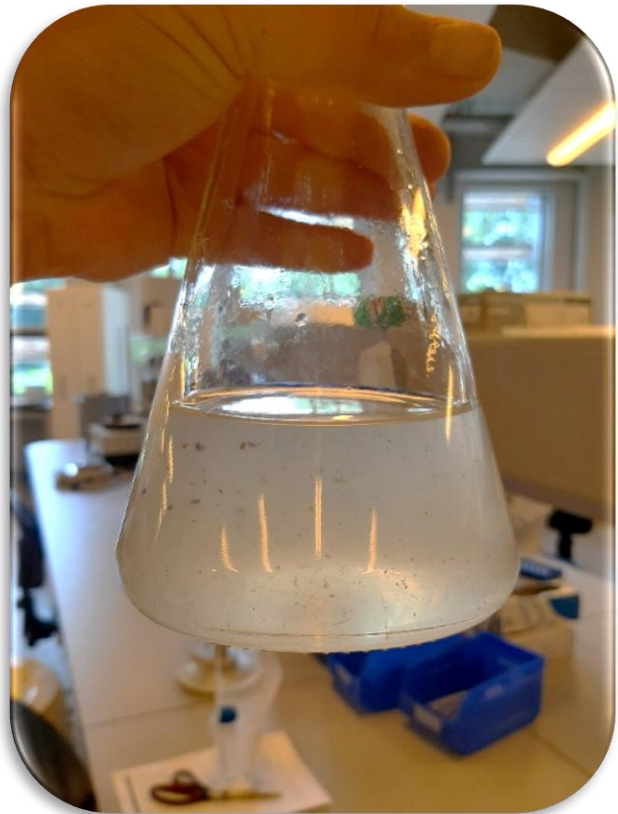
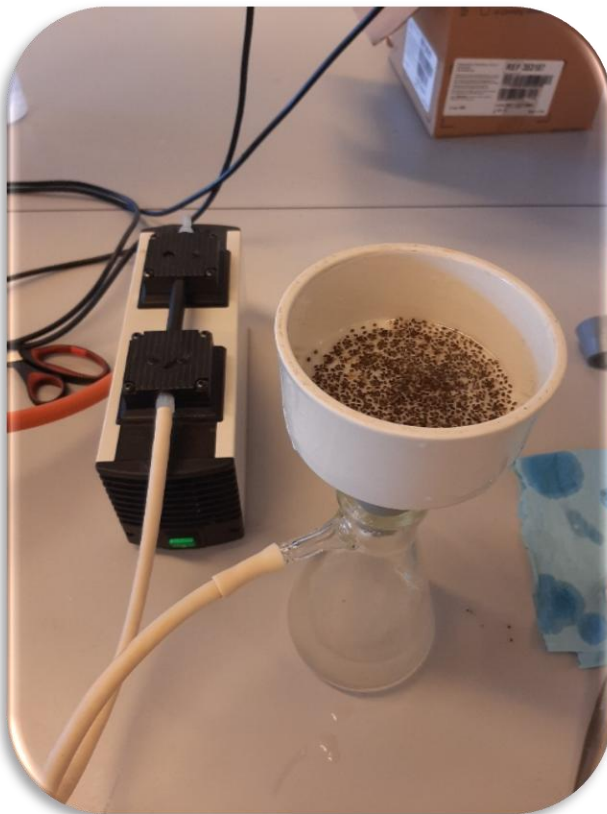
Het effect van wortelmucilage en EPS kan tijdens je onderzoek worden nagebootst met Chiazaad (*Salvia hispanica*) vanwege de vergelijkbare eigenschappen.

Materiaal:

- Buchnertrechter
- erlenmeyer met slanguitgang
- Gaas met 0,5mm en 0,2mm poriegrootte
- Vacuümpomp
- Chiazaad
- Bekerglas
- Lepel
- Water
- Weegschaal

Methode:

1. Meng het chiazaad met water in een 1:10 verhouding. Dus voor elke gram chiazaad voeg je 10ml water toe.
2. Roer goed en laat minimaal 2 uur staan om slijm te vormen
3. Zet de Buchner trechter op de erlenmeyer en leg het 0,5mm gaasje erin
4. Sluit de vacuümpomp aan
5. Giet het chiazaadmengsel in de trechter, niet te veel in een keer
6. Zet de vacuümpomp aan
7. Schraap met de lepel steeds het gaas vrij van de zaadjes, beetje bij beetje komt het slijm er zo doorheen.
8. Wanneer er veel zaadjes zijn meegekomen, filter je het slijm nogmaals met het 0,2 mm gaas in de trechter.
9. Het slijm kun je nu mengen met je grond en vervolgens laten drogen. Weeg je monster voor en na het toevoegen van het slijm en na het drogen. Bereken vervolgens het percentage slijm in je monster.



Module 1: Effect van de bodemsamenstelling op de waterretentie

Hoeveel water een bodem vast kan houden en op kan nemen tegen de zwaartekracht in, noemen we de waterretentie of veldcapaciteit (Engels: water holding capacity). Valt er meer regen dan de grond kan opnemen, dan loopt het water ondergronds weg naar het grondwater. Waterretentie in de bodem is afhankelijk van de bodemsamenstelling.

Materiaal:

- 50ml droge bodemmonsters
- Watten
- Trechters
- Maatcilinders 100ml
- Maatbekers 50ml
- Water
- Weegschaal in milligrammen

Methode:

1. Duw een watje in de trechters om het pijpje te verstoppen
2. Zet de trechters op de maatcilinders
3. Meet 50ml droog bodemmonster af, weeg dit en giet dit in de trechter.
4. Giet 100ml water op de bodemmonsters, zorg dat de bodemmonsters onder water staan en er geen droog materiaal gaat drijven.
5. Het water zal door de bodemmonsters lopen en deels worden vastgehouden.
6. Meet de hoeveelheid water die in de maatcilinder zit nadat er geen water meer drupt. Dit heeft tijd nodig en kan zeker een half uur duren. Je grondmonster is nu op veldcapaciteit.
7. Bereken het opgenomen gewichtspercentage water en het volumetrisch watergehalte op veldcapaciteit.



Module 2: Effect van de bodemsamenstelling op de infiltratiesnelheid

Infiltratie is het indringen van water in de bodem. De infiltratiesnelheid (in mm/uur) is afhankelijk van de waterdoorlatendheid van de bodem. Dit wordt bepaald door de grondsoort en de grootte van de poriën maar ook door de hoeveelheid water die al in de bodem aanwezig is. Hoe vochtiger de grond al is en hoe meer water in de poriën zit, hoe meer het poriënwater met elkaar in contact staat en hoe hoger de doorlatendheid.

Je kunt de infiltratiesnelheid meten in eigengemaakte grondmonsters, maar ook in de bodem buiten. Beide experimenten worden hieronder uitgelegd.

Experiment voor binnen

Materiaal:

- Cilinders
- Gaasjes
- Tape
- Bodemmonsters 150 ml
- Spuitflesjes
- Timer of camera
- Meetlinten



Methode:

1. Vul de bekgelazen met 150ml grond.
2. Breng je grondmonsters in de juiste vochtigheidsgraad.
3. Sluit de cilinders aan een kant af met een gaasje en tape.
4. Vul de cilinders met 150ml bodemmonsters.
5. Plak het meetlint langs de cilinder en zet hem in het statief.
6. Bouw een camera opstelling en film de infiltratie, of gebruik een timer en schrijf steeds de infiltratiediepte op.
7. Druppel voorzichtig water op je bodem met het spuitflesje, en zorg dat er steeds een dun laagje water (1-5mm) op de bodem staat.
8. Blijf meten totdat het water onder de cilinder begint te druppelen.
9. Meet al je bodemmonsters en zet je resultaten in een tabel en/of grafiek.



Experiment voor buiten

Materiaal:

- Kleine schep
- Plastic bakje
- PVC ring
- Rubber hamer
- Fles met een liter water
- Timer of camera



Methode:

1. Schep een beetje aarde in een bakje. Schep op ongeveer 5cm diepte door wat aarde aan de kant te schrapen.
2. Sla de PVC ring ongeveer 5cm in de grond met een rubber hamer.
3. Vul de PVC ring met een liter water
4. Meet hoe lang het duurt voordat al het water in de grond is geïnfiltreerd. Meet tenminste 3x in dezelfde omgeving.
5. Zet je resultaten in een grafiek of tabel.
6. De aarde die hebt meegenomen heb je nodig om de vochtigheid van de grond te bepalen. Weeg de hoeveelheid aarde en laat deze dan volledig uitdrogen. Meet de aarde dan opnieuw. Uit het verschil in gewicht kun je het gewichtspercentage water uitrekenen. Als je verschillende typen grond met elkaar wilt vergelijken, is het nodig dat deze allemaal ongeveer dezelfde vochtigheid hadden tijdens het meten.

Module 3: Effect van de bodemsamenstelling op de verdamping

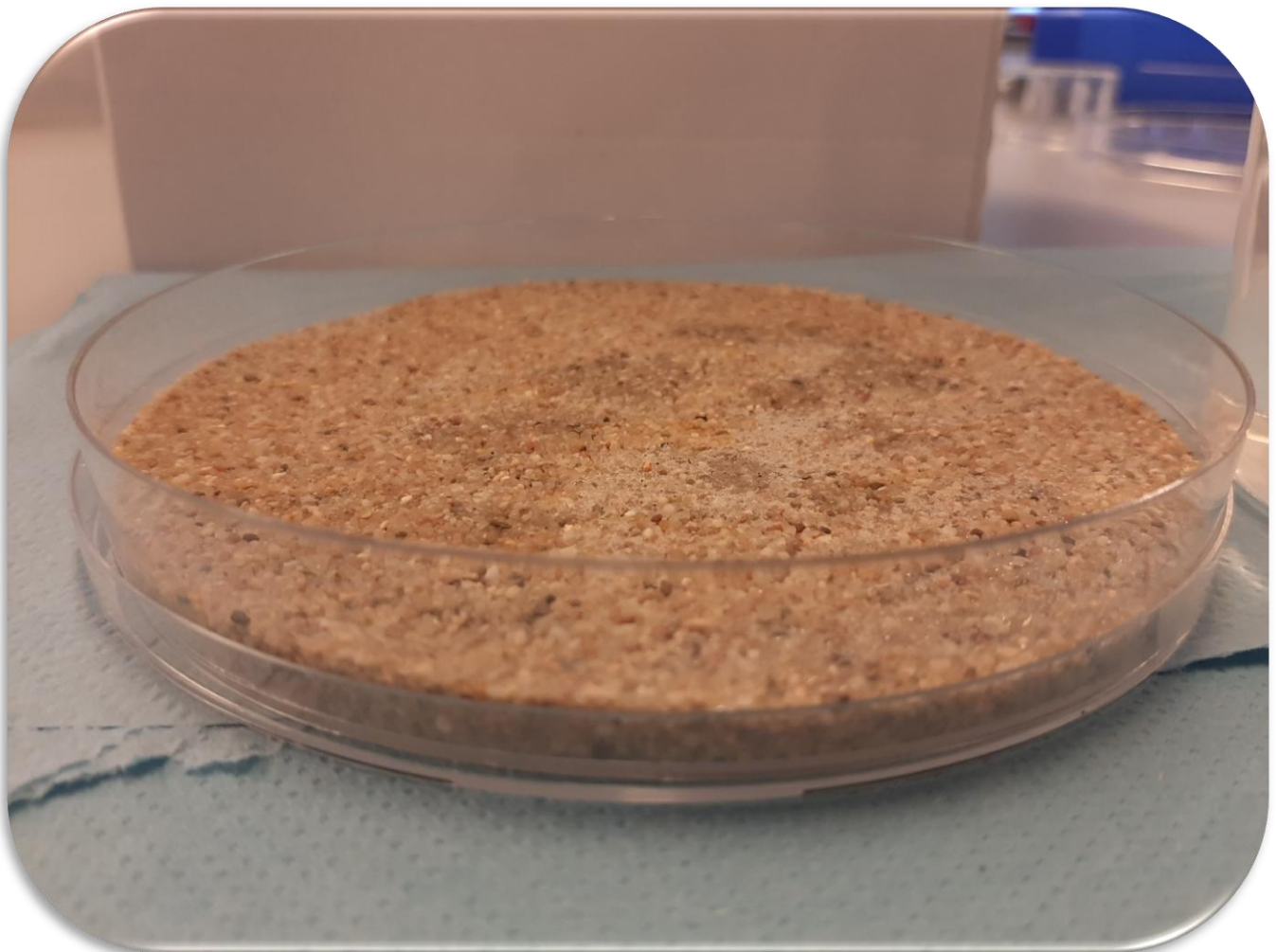
Door klimaatverandering is het steeds vaker langer droog en warm. De bodem raakt hierdoor uitgedroogd, en planten en gewassen kunnen niet optimaal groeien. Hoe snel en hoe veel water er verdampt, hangt af van de temperatuur, de luchtvochtigheid, de wind maar ook van de bodemsamenstelling en de begroeiing.

Materiaal:

- Bodemonsters op veldcapaciteit (zie module 1) (en optioneel verschillende strooissellagen)
- Grote petrischalen
- Een warmtebron: buiten in de zon, binnen boven een kachel, eventueel met een ventilator of föhn voor versnelde verdamping.
- Weegschaal in milligrammen
- Tijdswaarneming

Methode:

1. Zet de petrischalen leeg op de weegschaal en noteer het gewicht of druk op "tare".
2. Vul de petrischalen met 200ml grond op veldcapaciteit. Dit is natte grond dat niet meer drupt. Noteer het gewicht.
3. Zet de schalen in de warmtebron.
4. Meet het gewicht per tijdsinterval, en bereken het volumetrisch watergehalte op dit tijdstip.
5. Zet de verdampingssnelheid uit in een grafiek.
6. Bewaar de petrischalen met ingedroogde grond voor module 4.



Module 4: Effect van de bodemsamenstelling op waterafstoting

Bodem waterafstoting (Engels: Soil water repellency (SWR)) is het onvermogen van droge grond om water op te nemen. De waterafstotendheid heeft grote invloed op de infiltratie van water en daarmee op het watergehalte van de bodem. Waterafstotendheid wordt gemeten met een WDPT score (tabel 1) door middel van de "water drop penetration time" ofwel WDPT test. Tijdens deze test leg je een druppel water op de uitgedroogde grond, en meet je hoe lang het duurt voordat deze volledig is opgenomen.

WDPT score:		Infiltratietijd
0	non-repellent	5 sec
1	slightly water repellent	5–60 s
2	strongly water repellent	60–600 s
3	severely water repellent	600–3600 s
4	extremely water repellent	1–3 h
5	extremely water repellent	3–6 h
6	extremely water repellent	> 6 h

Tabel 1: WDPT scores

Material:

- Bodemonsters, volledig ingedroogd en verhard
Deze proef kan goed na het verdampingsexperiment gedaan worden, je kunt dan dezelfde bodem gebruiken. Wanneer je dit niet wilt doen, of wanneer je een bodemonster van buiten neemt, moet je de grond eerst drogen voordat je aan dit experiment begint. Verwijder eventuele planten bij een veld-monster.
- Een pipet
- Water
- Een (timelaps) camera



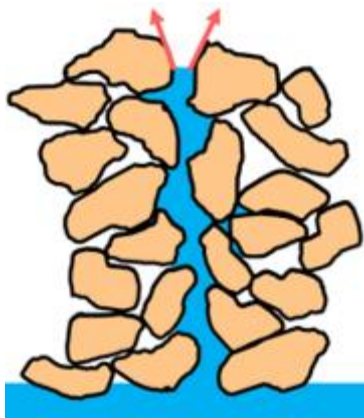
Methode:

1. Plaats de grondmonsters voor de camera.
2. Pipetteer tenminste 6 druppels water op verschillende plekken op de bodem.
3. Noteer voor elke druppel hoe lang de volledige infiltratie in de grond duurde.
4. Neem de mediaan van de infiltratietijden per bodemonster en zet je resultaten in een grafiek of tabel.

Let op: De mediaan is iets anders dan een gemiddelde. De mediaan is het middelste getal van een reeks getallen, en hierdoor hebben grote uitschieters in een kleine reeks resultaten minder invloed op je uitkomst.



Module 5: Effect van de bodemsamenstelling op de capillaire hoogte

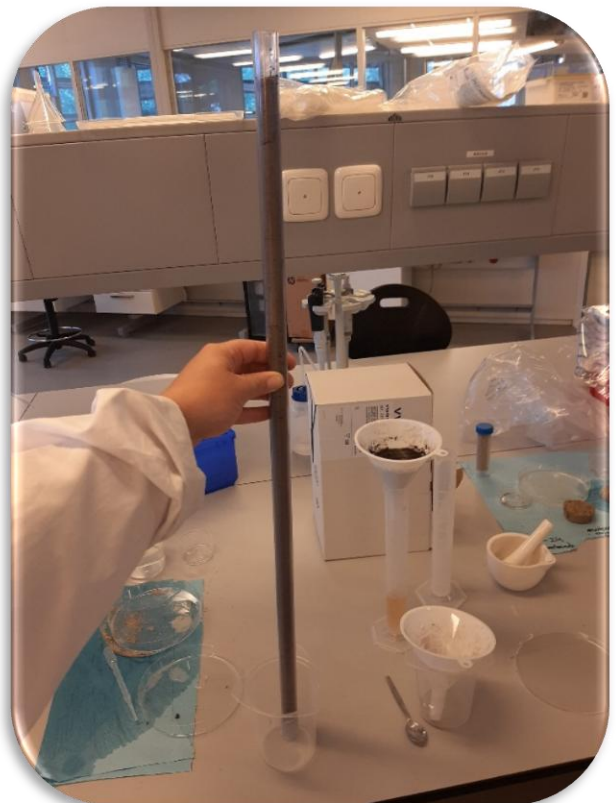


Grond kan door middel van capillaire werking water vanuit het grondwater omhoog zuigen tegen de zwaartekracht in. Deze stijgende waterbeweging ontstaat door de vocht aanzuigende werking van de holle ruimten (capillairen) tussen de bodemdeeltjes door adsorptiekrachten. Dit proces wordt **capillaire werking** genoemd en is cruciaal voor het ontstaan van waterverzadiging boven de grondwaterspiegel. Zie afbeelding 6. De capillaire hoogte is erg afhankelijk van de grondsamenstelling; de capillaire hoogte reikt bij grof zand maar enkele centimeters boven het grondwater. Bij klei kan capillair bodemwater meerdere meters boven het grondwater terechtkomen.

Afbeelding 6: Capillaire werking in de grond.

Materiaal:

- Cilinders
- Cilinder statief
- Emmertje
- Bekerglas
- Gaasjes
- Tape
- Bodemonsters
- Meetlint
- Optioneel: tijdswaarneming

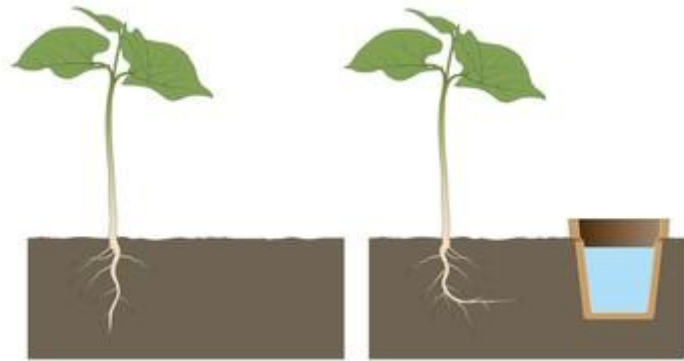


Methode:

1. Sluit de cilinders aan een kant af met een gaasje en tape.
2. Vul de cilinders met je droge bodemonsters.
3. Zet de cilinders in het statief in een emmertje.
4. Vul het emmertje met een laag water.
5. Plak het meetlint langs de cilinder, met het waterniveau op 0.
6. Het water zal in de cilinders worden aangezogen door de capillaire kracht. Vul de bak steeds bij tot de 0 op je meetlint. Wanneer het water niet langer stijgt, is de capillaire hoogte bereikt. Je kunt ervoor kiezen de capillaire hoogte ook per tijdsinterval op te schrijven en de snelheid te berekenen.
7. Meet al je bodemonsters en zet je resultaten in een tabel en/of grafiek.

(Extra) Module 6: Effect van de bodemsamenstelling op de wortelontwikkeling

Een bodem kan nog zo goed water opnemen en vasthouden, maar als een plant niet goed in de bodem kan wortelen, dan kan de plant ook niet goed groeien. De wortels van planten reageren op water in de grond en groeien hiernaartoe, dit heet hydrotropisme. Zie afbeelding 7. Maar de groei van wortels is naast water ook afhankelijk van de grondsamenstelling en de doordringbaarheid ervan.



Afbeelding 7: Hydrotropisme

Materiaal:

- Transparante kweekbak (niet inbegrepen!)
- Bodemmonsters
- Zaden (bijvoorbeeld bonen (*Phaseolus vulgaris*))
- Water
- Camera
- Weegschaal
- Optioneel voor een experiment met gesplitste wortel
- Een steriel mesje of schaar
- Agar

Methode:

1. Vul de kweekbakken met je bodemmonsters.
2. Zorg dat de bodem vochtig is en bepaal hoeveel, hoe vaak en vanaf waar (bovenaf of onderaf) je water wilt geven.
3. Plant de zaden op de diepte zoals aangegeven op de verpakking. Bepaal hoeveel zaden je wilt planten, of hoe vaak je het experiment wilt herhalen, voor een betrouwbaar resultaat.
4. Bestudeer de ontkieming en wortelontwikkeling. Bepaal wanneer je je experiment wilt beëindigen (hoeveelheid dagen na planten, na ontkieming of bij een bepaalde wortellengte).
5. Fotografeer de wortelontwikkeling. Je kunt dit doen door de wortels te fotograferen in de kweekbak, of uit de grond te halen en te fotograferen.
6. Je kunt de wortelontwikkeling ook meetbaar maken door de diepte te noteren, de lengte van de wortel te meten of door de wortel schoon te wegen. Neem gemiddeldes van je planten.

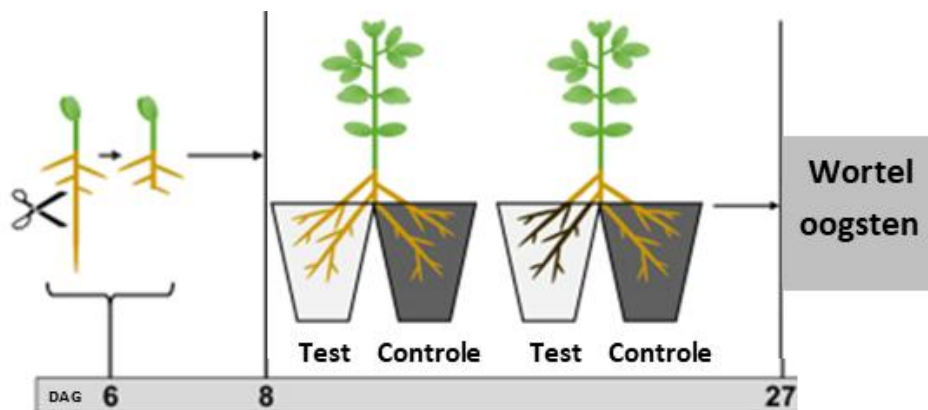


Figuur moet vervangen worden door eigen foto

Optioneel: methode met gesplitste wortel

Bij deze methode verdeel je de wortel van de plant over twee verschillende kweekbakken. Zie afbeelding 8. Hierdoor kun je verschillen in wortelontwikkeling beter zien en heb je geen last van variaties tussen plantjes onderling. Een nadeel is infectiegevaar van de wortel na het afknippen, je plant kan dan doodgaan.

1. Laat zaden ontkiemen in een klein laagje water of agar.
2. Zet de kiemingen na 2 dagen in een waterkweek.
3. Na 4 dagen snij je de hoofdwortel op ongeveer 2cm af met een steriel mesje of schaar. Je kunt een scherp mes of schaar ontsmetten met alcohol of boven een vlam.
4. Zet de plantjes in gekookt en afgekoeld water, om de infectiekans van de snijwond te verkleinen.
5. Zet de plantjes na 2 dagen in twee verschillende bodemonsters.
6. Bestudeer de wortelontwikkeling. Bepaal wanneer je je experiment wilt beëindigen (hoeveelheid dagen na planten, na ontkieming of bij een bepaalde wortellengte).
7. Fotografeer de wortelontwikkeling. Je kunt dit doen door de wortels te fotograferen in de kweekbak, of uit de grond te halen en te fotograferen.
8. Je kunt de wortelontwikkeling ook meetbaar maken door de diepte te noteren, de lengte van de wortel te meten of door de wortel schoon te wegen. Neem gemiddeldes van je planten.



Afbeelding 8: schematische weergave van het gesplitste wortel experiment. Afbeelding aangepast van Schaarschmidt, S.(2013).

(Extra) Module 7: Effect van een strooisellaag op het uitspoelen van nutriënten

Een strooisellaag op de grond breekt de val van regen en voorkomt zo wegspoelen van belangrijke voedingsstoffen van de bodem. Via sloten en rivieren spoelen veel waardevolle stoffen weg, die beter in de grond zouden kunnen blijven.

Materiaal

- Plastic flessen
- Opvangbekers
- Bodemonster
- Verschillende strooisellagen
- Water

Methode

1. Knip de plastic flessen open.
2. Vul de flessen met vochtige grond. Omdat je bij dit experiment het effect van de strooisellaag wilt meten, gebruik je overal dezelfde grond.
3. Bedek de grond met je strooisellaag. Als je nog plantjes wilt kweken (bv tuinkers of gras) doe dit dan op tijd. Je kunt ook veldmonsters gebruiken.
4. Hang transparante bekens op aan de flessen, of zet ze eronder.
5. Giet dezelfde hoeveelheid water in alle flessen.
6. Bekijk de verschillende kleuren van het uitgespoelde water. Wat zegt dit over de hoeveelheid nutriënten die uitspoelt?



Bronnen

Websites:

<https://www.rtlnieuws.nl/nieuws/video/video/5327359/getest-zo-slecht-neemt-gortdroge-grond-regenwater-op>
https://www.bo-akkerbouw.nl/files/Pdfs-Kennis-en-Innovatie/ProductiviteitAardappelWaterEnTemperatuur_190301_Literatuurstudie_BOAkkerbouw.pdf
<https://elementaryengineeringlibrary.com/civil-engineering/soil-mechanics/capillary-rise-in-soils>
<https://climexhandbook.w.uib.no/2019/11/05/soil-wetability-or-water-repellency/>
<https://www.healthylakehuron.com/post/?ID=529>

Wetenschappelijke artikelen: (op aanvraag meegestuurd door Wetsus)

Benard, P., Zarebanadkouki, M., Brax, M., Kaltenbach, R., Jerjen, I., Marone, F., Couradeau, E., Felde, V.J.M.N.L., Kaestner, A. and Carminati, A. (2019), Microhydrological Niches in Soils: How Mucilage and EPS Alter the Biophysical Properties of the Rhizosphere and Other Biological Hotspots. *Vadose Zone Journal*, 18: 1-10 180211.

<https://doi.org/10.2136/vzj2018.12.0211>

Saha, I., Datta, S. & Biswas, D. (2020), Exploring the Role of Bacterial Extracellular Polymeric Substances for Sustainable Development in Agriculture. *Curr Microbiol* 77, 3224–3239

<https://doi.org/10.1007/s00284-020-02169-y>

Nazari, Meisam & Bickel, Samuel & Benard, Pascal & Mason-Jones, Kyle & Carminati, Andrea & Dippold, Michaela. (2022). Biogels in Soils: Plant Mucilage as a Biofilm Matrix That Shapes the Rhizosphere Microbial Habitat. *Frontiers in Plant Science*. 12.

<https://doi.org/10.3389/fpls.2021.798992>

Morcillo RJL, Manzanera M. (2021). The Effects of Plant-Associated Bacterial Exopolysaccharides on Plant Abiotic Stress Tolerance. *Metabolites*. 11(6):337.

<https://doi.org/10.3390/metabo11060337>

Gul, Malik Urfa, Anand Paul, Manimurugan S, and Abdellah Chehri. (2023). "Hydrotropism: Understanding the Impact of Water on Plant Movement and Adaptation" *Water* 15, no. 3: 567.

<https://doi.org/10.3390/w15030567>

Afbeeldingen:

<https://geografie.nl/artikel/de-bodem-als-rijke-leeromgeving>
<https://www.stowa.nl/deltafacts/zoetwatervoorziening/droogte/bodemvocht-gestuurd-beregenen>
https://maken.wikiwijs.nl/133342/De_wetenschappelijke_methode

Setiawan, Budi & Saleh, Edward & Sastrohartono, Hermantoro. (2009). SMALL SCALE SUSTAINABLE AGRICULTURE WITH THE APPLICATION OF PITCHER IRRIGATION.

Gholamibidkhani, Nabi & Mobasheri, Mohammadreza. (2018). Influence of soil texture on the estimation of bare soil moisture content using MODIS images. *European Journal of Remote Sensing*. 51. 911-920. <https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1514986>

Schaarschmidt, S., Gresshoff, P.M. & Hause, B. (2013). Analyzing the soybean transcriptome during autoregulation of mycorrhization identifies the transcription factors GmNF-YA1a/b as positive regulators of arbuscular mycorrhization. *Genome Biol* 14, R62.

<https://doi.org/10.1186/gb-2013-14-6-r62>