

Hydrofobie op veengrond: oorzaken en maatregelen

Rapportage van lab-experimenten in Project Integrale Bodemverbetering Feangreide

Nyncke Hoekstra, Joost Sleiderink, Joachim Deru, Maaïke van Agtmaal, Nick van Eekeren



© 2020 Louis Bolk Instituut

Hydrofobie op veengrond: oorzaken en maatregelen -
Rapportage van lab-experimenten in Project Integrale
Bodemverbetering Feangreide

Nyncke J. Hoekstra, Joost W.M. Sleiderink, Joachim G.C. Deru,
Maaïke van Agtmaal, Nick van Eekeren

Publicatienummer 2020-047 LbD

39 pagina's

Deze publicatie is beschikbaar via
www.louisbolk.nl/publicaties

www.louisbolk.nl

info@louisbolk.nl

T 0343 523 860

Kosterijland 3-5

3981 AJ Bunnik

 @LouisBolk

Louis Bolk Instituut: Onderzoek en advies ter bevordering van
duurzame landbouw, voeding en gezondheid

Voorwoord

Zes melkveehouders in het Friese veenweidegebied, boerend op schalterveen, verenigden zich ruim een anderhalf jaar geleden rondom hun 'bodemproblemen'. Wat speelt er bij hen in de bodem?

De veehouders signaleerden onder andere dat bij droogte (in combinatie met muizen-schade) de bovenlaag van de bodem droog en stoffig werd en maar heel moeizaam weer op gang kwam na regenval. Het fenomeen bodemhydrofobie in het veenweidegebied wordt al in de oude literatuur beschreven, maar krijgt pas recentelijk meer aandacht, nu langere periodes van droogte in de zomer vaker voorkomen.

In het project "Integrale bodemverbetering Feangreiden" in opdracht van Veenweide Fryslân en gefinancierd door de Provincie Fryslân, gaan we samen met de zes deelnemers aan de slag om oplossingen te vinden voor verschillende zaken in relatie tot bodem, waaronder bodem-hydrofobie. In dit rapport doen we verslag van een eerste labstudie waarin we de mate van hydrofobie op verschillende percelen van de deelnemers in kaart brengen en we een aantal maatregelen testen om de hydrofobie te verminderen.

We bedanken de deelnemers Gosse de Vries, Freddy de Vries, Frans Schotanus, Popke Dijkstra, Sicco Hylkema en Willem van Os voor hun inzet en betrokkenheid. Daarnaast danken we ook de stuurgroep van het project voor hun input: Nicolette Hartong, Bouwe Bakker, Niek Bosma en Margit Gosen

Inhoud

Samenvatting	7
1 Inleiding	9
1.1 Aanleiding	9
1.2 Achtergrond	9
1.3 Doelstelling en hypothesen	9
1.4 Leeswijzer	10
2 Literatuuronderzoek bodemhydrofobie op veengrond	11
2.1 Oorzaken	11
2.2 Maatregelen	13
3 Materiaal en methode lab-experiment	16
3.1 Bodem en bedrijfsgegevens	16
3.2 Bodemonsters	16
3.3 Meten van waterafstotendheid met druppeltest	17
3.4 Testen van maatregelen	17
4 Resultaten	20
4.1 Meten waterafstotendheid met druppeltest	20
4.2 Testen maatregelen	24
5 Discussie	26
5.1 Mate van hydrofobie en omslagpunt	26
5.2 Effect maatregelen	28
5.3 Methodologie	30
5.4 Conclusies en aanbevelingen	31
Referenties	33
Bijlage 1 Gemiddelde hydrofobie en bodemparameters van 12 percelen	35
Bijlage 2: Correlatietabel van hydrofobie in veldvochtige grond met bodemparameters	38
Bijlage 3: Mate van hydrofobie en bodemvochtgehalte tijdens meetrondes	39

Samenvatting

Veehouders in het veenweidegebied van Friesland ondervinden de laatste jaren veel problemen met een korrelige, stuifgevoelige bodem die geen vocht meer absorbeert en waar het gras slecht groeit tijdens droge periodes. De bodem herstelt zich langzaam in de winter, maar alleen als er voldoende neerslag valt. Dit fenomeen van irreversibele hydrofobie in ontwaterde veengronden wordt al sinds minstens 80 jaar gerapporteerd, maar wordt door de droge en hete zomers, kenmerkend van de afgelopen jaren, versterkt.

Uit een literatuurstudie blijkt dat het hoge organische stofgehalte in veengronden een belangrijke factor is in de hydrofobie. Deze begint op te treden als de grond uitdroogt voorbij een kantelpunt, het zogenaamde kritische bodemvochtgehalte.

In de huidige lab studie hebben we de mate van hydrofobie in veldvochtige bodems van twaalf percelen gemeten met behulp van een druppeltest met oplopend percentage alcohol. Bij een hoger percentage alcohol infiltreert de druppel eerder in de grond. Het percentage alcohol waarbij een druppel snel infiltreert is dus een maat voor de mate van hydrofobie van de bodem. Deze mate van hydrofobie hebben we vervolgens gerelateerd aan de chemische, fysische en biologische eigenschappen van de onderzochte bodems. Daarnaast zijn een aantal maatregelen om hydrofobie te verminderen getest op drie bodems in het lab.

De mate van hydrofobie in veldvochtige grond voor de twaalf bodems varieerde van 0 (niet hydrofoob) tot 40 (maximale % alcohol). Dit was sterk gecorreleerd aan het lutum- en siltgehalte (-), het organische stofgehalte (+), het actuele bodemvochtgehalte (-) en de pH (-).

De belangrijkste maatregel om hydrofobie van veen te voorkomen is het niet te ver laten uitdrogen, zodat het bodemvochtgehalte niet onder het kritische niveau zakt. Uitdroging van de bodem kan worden voorkomen of worden vertraagd door beregening, bevoeiing en verhoging van grond/slootwaterpeil in drogere periodes.

Het toevoegen van surfactant was een zeer effectieve maatregel om de hydrofobie te verlagen of zelfs te elimineren in het lab-experiment. Echter, door de hoge kosten en onzekerheden m.b.t. duurzaamheid van dit product en de duur van werkzaamheid, lijkt toepassing op grote schaal niet direct haalbaar. Daarnaast resulteerden het toevoegen van klei en in mindere mate gips en kalk in een verlaging van het kritische bodemvochtgehalte en de mate van hydrofobie. Deze maatregelen worden verder uitgetest in lab- en veldproeven om hun effectiviteit in de praktijk en op de langere termijn te testen. Bevriezen had in deze studie geen positief effect op de hydrofobie.

Door middel van een meer uitgebreide screening met een groter aantal bodemmonsters kunnen mogelijk robuuste relaties worden ontwikkeld, waarmee het kritische vochtgehalte en mate van waterafstotendheid kan worden voorspeld o.b.v. chemische bodemeigen-

schappen (bv, lutum, silt, OS, pH). Dit zou betekenen dat de mate van hydrofobie en het kritische bodemvochtgehalte op perceelsniveau te bepalen is en dat dit twee parameters zijn die opgenomen zouden kunnen worden in de bodemanalyses van laboratoria.

In combinatie met monitoring van het bodemvochtgehalte, zouden deze getallen veehouders kunnen ondersteunen bij hun beslissing om op een bepaald moment (voor het kritische vochtgehalte bereikt is) het land te beregenen of te bevoeien.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Veehouders in het veenweidegebied van Friesland ondervinden de laatste jaren veel problemen met een korrelige, stuifgevoelige bodem die geen vocht meer absorbeert en waarin meststoffen niet worden opgenomen door het gras. De bodem herstelt zich langzaam in de winter, maar alleen als er voldoende neerslag valt.

1.2 Achtergrond

In ontwaterde veenweides treedt het probleem op dat de veenbodem irreversibel droog kan worden. Dit fenomeen wordt al sinds minstens 80 jaar gerapporteerd (Hudig en Redlich, 1940; Hooghoudt et al., 1960), maar wordt door de droge en hete zomers, kenmerkend van de afgelopen jaren, versterkt (Goebel et al., 2011). Irreversibele uitdroging betekent dat deze bodems uitdrogen en daarna door regen of irrigatie niet meer nat worden. Met 120000 hectare aan waterafstotende veengronden in Nederland kan dit grote ecologische en economische gevolgen hebben (Dekker en Ritsema, 1996). Een waterafstotende bodem neemt geen water meer op en verliest daardoor aan efficiëntie van water gebruik, ervaart een hogere mate van bodemerosie en verliest daarmee nutriënten door afspoeling en is dus veel minder productief en winstgevend (Doerr et al., 2000; Müller et al, 2010, 2018). Zie voor verdere achtergronden het literatuuronderzoek in Hoofdstuk 2.

1.3 Doelstelling en hypothesen

De doelstellingen van dit onderzoek zijn om in een lab studie te onderzoeken:

1. wat de mate van waterafstotendheid op de goede en slechte percelen van de zes deelnemers aan project Integrale Bodemverbetering Feangreide is in relatie tot bodemtype.
2. welke maatregelen waterafstotendheid kunnen voorkomen of verminderen en potentieel toepasbaar zijn in de veehouderijpraktijk.

Op basis van het literatuuronderzoek (Hoofdstuk 2) hebben we de onderstaande hypothesen geformuleerd:

1. Mate van waterafstotendheid neemt toe bij
 - lager bodemvochtgehalte
 - hoger organische stofgehalte en lager kleigehalte van de bodem
2. Mate van waterafstotendheid kan worden verminderd door middel van
 - Bodem vochtig te houden
 - Toevoegen van zogenaamde surfactanten
 - Bekalking met gips of kalk
 - Toevoegen van klei
 - Vorst

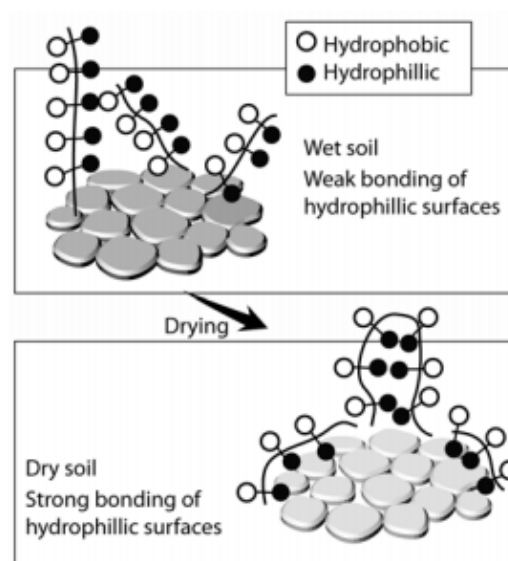
1.4 Leeswijzer

- Literatuuronderzoek over achtergrond hydrofobie en mogelijke maatregelen
- Materiaal en methoden
- Resultaten
- Discussie en implicaties

2 Literatuuronderzoek bodemhydrofobie op veengrond

2.1 Oorzaken

Het fenomeen van bodemhydrofobie is veel onderzocht op zandgronden waarbij het hydrofobe materiaal een coating om zandkorrels vormt (Bisdom en Dekker, 1993). Op veengronden is dit fenomeen veel minder goed bestudeerd, maar er is wel onderzoek naar verricht. Veengronden kunnen extreem water afstotend worden doordat deze een erg hoog gehalte aan organisch materiaal bevatten; het meeste organische materiaal kan waterafstotend worden door uitdroging (Bisdom en Dekker, 1993). Hydrofobie komt voornamelijk voor wanneer een bodem een grote fractie hydrofobe verbindingen in de organische stof bevat. Door indroging richten deze hydrofobe groepen zich naar buiten en vormen een waterafstotende laag om bodemdeeltjes (zie Figuur 1; Hooghoudt, 1960; Doerr et al, 2000; Hallet, 2008; Mao et al., 2019). Doordat veengronden een hoog organisch stofgehalte bevatten met een grote hydrofobe fractie, die is ontstaan onder invloed van decompositie, kunnen deze bodems extreem hydrofoob worden door indroging; een druppel water kan er wel meer dan een uur over doen om te infiltreren (Dekker en Ritsema, 1996).



Figuur 1. Verloop van waterafstotendheid veroorzaakt door de hydrofiele-hydrofiele en hydrofiele-opervlakte hechting tijdens drogen. Bron: Hallet et al. (2008)

Dekker en Ritsema (1996) brachten het probleem in kaart in verschillende veenweidegebieden in Nederland. Ze namen extreem waterafstotende bodems waar, maar ook een hoge mate van variatie op korte afstand. Extreem hydrofobe plekken werden afgewisseld met plekken die voor langere tijd gedurende het groeiseizoen nat bleven. Deze plekken worden ook wel vingers genoemd; deze verticale vingers blijven nat en zijn niet waterafstotend (Ritsema en Dekker, 1994). De droge, waterafstotende toplaag van de bodem, in combinatie met deze vingers, zorgen ervoor dat regen of irrigatie water van het land afspoelen en bij

de vingers direct naar het grondwater doorspoelen, zonder daarbij door de bodem opgenomen te worden, met eerder genoemde gevolgen voor uit- en afspoeling en productiviteit.

Uitdroging en hydrofobie

De irreversibiliteit van de uitdroging wordt veroorzaakt door hydrofobie. Veen kan best droger worden, maar zolang deze uitdroging boven een bepaald bodemvochtgehalte blijft, het zogenaamde kritische vochtgehalte, is het 'normale' uitdroging: de bodem neemt regenwater nog gewoon op en zo kan deze 'normale' uitdroging verholpen worden.

Als de uitdroging voorbij het kritische vochtgehalte komt, krijg je wat in Figuur 1 te zien is. Sommige organische moleculen steken dan hun hydrofobe staarten naar buiten. Water wordt dan afgestoten en niet opgenomen. Deze uitdroging wordt dus niet meer zomaar door een regenbui opgeheven en wordt daarom irreversibel genoemd.

Hydrofobie en irreversibele uitdroging zijn dus aan elkaar gelinkt en zullen altijd samen optreden. Oftewel: er kan uitdroging plaatsvinden zonder dat er hydrofobie optreedt als je een gunstige bodem hebt. Maar er kan geen irreversibele uitdroging plaatsvinden zonder dat er hydrofobie optreedt.

Bodemvocht en grondwaterpeil

De mate van hydrofobie wordt voor een groot gedeelte bepaald door het vochtgehalte van de bodem. Dekker en Ritsema (1996) namen daarom ook een kantelpunt waar in het vochtgehalte van veenbodems waaronder deze bodems water afstotend werden, namelijk bij 34-38,5 volume% vocht. Bij bodemvochtgehalte boven deze waarde waren de bodems niet waterafstotend. Dit is een groot contrast met zandbodems in Nederland die uit kunnen drogen tot 5 volume% vocht voordat ze hydrofoob worden (Dekker en Ritsema, 1994). Een belangrijk middel om water afstoting van veen tegen te gaan is dus om te voorkomen dat het vochtgehalte dit kantelpunt bereikt. Dit kan door preventieve irrigatie of bevoeien voordat het veen te droog wordt. Doe je dit te laat, dan zal het veen irreversibel droog zijn geworden en de irrigatie niet meer opnemen, maar simpelweg afspoelen (Berglund en Person, 1996). Verhoging van het grondwaterpeil kan er ook voor zorgen dat als de bovenste bodemlagen droog en hydrofoob worden, het gras toch nog toegang heeft tot water en daardoor productief kan blijven (Berglund en Person, 1996). Hooghoudt et al., (1960) noemen dat een verhoging tot 20-30 centimeter onder het oppervlak effectief was en de productie met 2-2,5 ton per hectare kon verhogen.

Organische stof

Verder blijkt in veengronden dat hoe hoger het organisch stofgehalte is, hoe extremer de hydrofobie is bij uitdroging (Berglund en Persson, 1996; Lachasz et al., 2009). Tegenovergesteld blijkt dat hoe hoger het leem of klei gehalte, hoe lager de hydrofobie van veengronden (Berglund en Persson, 1996; Orzechowski et al., 2013). Verder heeft de mate van decompositie invloed op de kwaliteit van het organische materiaal: veen dat in hogere mate afgebroken of verteerd is, vertoont een hogere mate van hydrofobie (Orzechowski et al., 2013). Door het grondwaterpeil niet te verlagen tot onder de 50cm, kan de decompositie

van veengronden worden voorkomen en zou daarmee wellicht het optreden van hydrofobie kunnen worden tegengegaan (Kalisz et al., 2015).

Korreligheid

Coatings van hydrofoob organisch materiaal om aggregaten heen, dragen waarschijnlijk bij aan de hydrofobie van de bodem als geheel (Bisdom en Dekker, 1993; Urbanek et al., 2007). Dit vermoeden wordt ondersteund doordat het optreden van bodem hydrofobie gepaard gaat met een hoge mate van fijne korreligheid van de bodem (Persoonlijke waarnemingen; Hudig en Redlich, 1940). Hudig en Redlich (1940) merkten op dat veenbodems die anders veel water vast kunnen houden en zeer productief kunnen zijn, door deze korrelvorming en uitdroging, zich gaan gedragen als een zandbodem.

2.2 Maatregelen

De uitdroging van veen, hoewel irreversibel genoemd, is niet compleet irreversibel (Zie ook kader). Gedurende de winter, na vele centimeters regenval, weet de bodem toch weer nat te worden en lost het probleem zich doorgaans weer op. Maar wanneer een veenweide al te ver uitgedroogd is kan een boer niet op de winter wachten voordat zijn of haar veenweide weer nat wordt. Naast preventie zullen er dus oplossingen gezocht moeten worden. Wij hebben daarom in de literatuur naar oplossingen gezocht, die voornamelijk op zandgronden onderzocht zijn en/of toegepast worden en getest of deze maatregelen ook de hydrofobie van veenbodems op kunnen heffen.

Toevoegen van “wetting agents” of “surfactanten”

Bij het aanleggen van golfbanen wordt vaak wit zand gebruik om reliëf te creëren. Deze zandgrond heeft een hoog risico op het optreden van hydrofobie. Hierdoor ontstaan droge, bruine vlekken in de grasmat die ongewild zijn. Golfbanen worden daarom doorgaans behandeld met wetting agents of surfactanten: stoffen die lijken op zeep maar een veel sterkere werking hebben. Een veel genoemde stof is Revolution (Aquatrols® Corp of America, Paulsboro, New Jersey, VS). Deze stof kan hydrofobie voor lange tijd opheffen, werkt ook tot op diepte door en kan er dus voor zorgen dat een uitgedroogde en hydrofobe bodem weer egaal nat en productief kan worden en vermindert daardoor afspoeling en bevordert de nitraat bevoorrading aan het gras (Kostka, 2000; Oostindie et al., 2006, 2008; Dekker et al., 2019). Alterra heeft ook onderzoek verricht naar werking van deze stof op het opheffen van uitdroging van veendijken en kwam daar goed uit de test (Oostindie et al., 2005). De stof en vergelijkbare stoffen zijn echter prijzig. Met een prijs van ongeveer 25 euro per liter en een aanbevolen applicatie van 18,5 liter per hectare, komt de prijs van Revolution op zo'n 460 euro per hectare uit. Het is ook niet duidelijk hoe vaak deze stof op veen toegepast zou moeten worden om een positief effect op de bodemhydrofobie te behouden. Daarnaast is het onbekend hoe groot het risico is dat deze stof uitspoelt naar grond en oppervlaktewater

en wat de gevolgen hiervan zijn op bodem- en sloot leven om gebruik van deze stof op landbouwgrond direct aan te bevelen.

Bekalken

Kalk verhoogt ook het hydrofiele oppervlak van een bodem en mindert daarmee direct de waterafstoting, maar kalk toevoegen heeft ook een meer geleidelijk effect via het verhogen van de pH (Roper, 2005). Hooghoudt (1940) nam al waar dat een lage pH van een veenbodem leidt tot een hoge mate van irreversibele uitdroging. Een verhoging in calcium ion concentratie en de verhoging van de pH die daarmee gepaard gaat, leidt meestal tot een afname van water afstoting in de bodem (Wallis & Horne 1992). Berglund en Person (1996) laten effectiviteit van bekalken zien op een veengrond in Zweden, waarbij de WDPT (Water Druppel Penetratie Tijd) van 3 minuten afneemt tot 30 seconden, na applicatie van 10 ton CaO per hectare, maar wijzen er ook op dat dit leidde tot verdere inklinking door een afname van 2,6% organische stof waarbij CO₂ uitgestoten wordt. Bekalking zorgt door een toename in pH namelijk geleidelijk voor een verhoogde microbiële activiteit. Dit zorgt voor de afbraak van (hydrofoob) organisch materiaal waardoor de bodem minder waterafstotend kan worden, maar het zorgt daardoor ook voor een afname in het organische stofgehalte (Müller en Deurer, 2011). Op een zandgrond in Australië verminderde kalk toevoeging van tussen de 3 en 15 ton per hectare de bodem hydrofobie significant en bleef effectief voor ten minste 4 jaar (Roper, 2006). We testen zowel kalk als gips omdat beide uit kleine deeltjes bestaan waarmee het hydrofiele oppervlak in de bodem verhoogd kan worden. Echter verhoogt kalk de pH van een bodem en bevordert daarmee de decompositie van organisch materiaal, maar gips heeft geen effect op de pH. Daarnaast is gips veel beter oplosbaar in water, dringt daardoor dieper in de bodem door en heeft een positief effect op bodemstructuur en daardoor misschien op de korreligheid van de droge veenbodems. Het kan zijn dat het verhogen van de pH een cruciaal proces is ter verbetering van het hydrofobe karakter van de veenbodems, maar wellicht is dit niet zo en zou gips mogelijk ook de bodem hydrofobie op kunnen heffen zonder te leiden tot het ongewenste bijeffect van versnelde afbraak van de veenbodems.

Klei toevoegen

In Australië hebben veehouders op zandgrond op grote oppervlaktes last van bodem hydrofobie. Onder een grote fractie van deze zandgronden ligt echter een kleilaag. Ze hebben daarom in Australië veel onderzoek gedaan naar het effect van het vermengen van klei met hun hydrofobe zandgronden. In een review van al dit onderzoek blijkt dat de toevoeging van 1-2% klei, water afstoting kan voorkomen (McKissock et al., 2000). Het klei en leem gehalte van de toegevoegde klei en de fractie van het kleimineraal kaoliniet bleken de belangrijkste factoren te zijn die de effectiviteit van deze ingreep bepaalden. Het mechanisme waarmee klei toevoegen werkt is door het verhogen van het hydrofiele oppervlak van de bodem. Kleideeltjes zijn klein met gezamenlijk een erg groot oppervlak. Er is erg veel

hydrofoob organisch materiaal nodig om al deze deeltjes te bedekken. Daarnaast is klei polair en daarom van nature hydrofiel. Koalinit werkt het beste omdat dit kleimineraal niet plat is en niet een te hoge lading heeft, waardoor voorkomen wordt dat alle kleideeltjes te sterk met elkaar binden en je aan effectief oppervlak verliest (Ma'shum et al., 1989). Kaolinit werkt ook het beste als het een hoog gehalte aan calciumionen bevat (Wars en Oades, 1993). Echter kan de effectiviteit per type kleimineraal verschillen per bodem (Lichner et al., 2002) en is het toevoegen van klei en het effect daarvan op het opheffen van bodem hydrofobie niet onderzocht voor veenbodems. De toevoeging van klei aan op veen gebaseerde potgrond verlaagde de hydrofobie wel (Michel, 2009).

Bevriezen

Hooghoudt (1960) neemt waar dat bevriezen de resistentie tegen irreversibel indrogen verhoogt, doordat het de verbindingen tussen deeltjes verbreekt en de bodem poreuzer blijft bij indroging. Na een periode van vorst zou water daarom dus nog gemakkelijk opgenomen moeten kunnen worden. Hoe hoger het organisch stofgehalte en hoe lager de pH, hoe effectiever bevriezen zou moeten zijn voor het tegengaan van hydrofobie (Hooghoudt, 1960). Rakhmatulina en Thompson (2020) laten zien dat het bevriezen van een natte (door bosbrand hydrofoob geworden) bodem de hydrofobie bij indroging verminderen kan en hoe vaker de bodem bevroest en weer dooit, hoe groter dit effect is.

3 Materiaal en methode lab-experiment

Het experiment is opgedeeld in twee delen:

A: Het effect van bodemsoort op de mate van waterafstotendheid van de twaalf monitoringspercelen van de zes bedrijven

B: Testen van maatregelen op een selectie van drie bodems

3.1 Bodem en bedrijfsgegevens

Op zes bedrijven in het Friese Feangreidegebied die deelnemen aan het project Integrale Bodemverbetering Feangreide zijn in maart 2020 monitoringsplots bodemkwaliteit en grasproductie aangelegd op een 'goed' en een 'slecht' perceel. Perceelskeuze vond plaats o.b.v. de beoordeling door de veehouder. Op het onbemeste deel van deze twaalf plots zijn in mei 2020 bodemmonsters genomen op 0-10 cm (NIRS Eurofins analyse en bepaling bodemvochtgehalte) en 0-20 cm (Soiltech Solutions). Daarnaast is de bodemstructuur, beworteling en bodemleven op 0-25 en 25-50 cm beoordeeld door een expert.

Ook is de indringingsweerstand bepaald m.b.v. een penetrologger (Eykelkamp, conus 1 cm²) en de bulkdichtheid op 5-10 cm diepte. Het grondwaterpeil op de 12 plots werd vanaf mei continu gemonitord.

3.2 Bodemmonsters

A: Op 21 september 2020 zijn op alle twaalf monitorplots zes bulkdichtheidsmonsters gestoken op 5-10 cm diepte (diameter 5,5 cm, volume 100 ml). De ringen werden afgedekt met plastic eindkappen en meegenomen naar het lab voor verdere behandeling.

B: Daarnaast werd op drie plots FS-g, GV-g en PD-s een bodemmonster genomen met een graslandboor (0-10 cm) van tenminste 3 kg (minimaal 40 steken)



Figuur 2. Bulkdichtheidsringen met bodemmonsters. a) bovenaanzicht, b) als druppels langer dan 10 seconden blijven liggen is dat een teken dat de grond hydrofoob is.

3.3 Meten van waterafstotendheid met druppeltest

Voor aanvang van de druppeltest werden de plastic eindkappen verwijderd en de intacte bulkringen in aluminium bakjes gezet en de monsters gewogen (Figuur 2). Voor de druppeltest (methode obv Doerr, 1998) werd een oplossingsreeks gemaakt met oplopend alcohol percentage: 0%, 2,9%, 4,8%, 7,8%, 12%, 19%, 27%, 32%, 40%. Op ieder monster werd met behulp van een pipet een druppel gelegd. Dit proces werd herhaald met oplopend alcoholpercentage, totdat de druppel binnen 10 seconden in de grond werd opgenomen. Dit % alcohol werd genoteerd.

Indien de monsters zelfs bij 0% en 2,9% alcohol nog niet waterafstotend waren, werd er een droogstap toegevoegd, waarna de monsters opnieuw werden gewogen en de druppeltest werd herhaald. Vervolgens werden de monsters uit de ringen gedrukt en werd het bodem drogestofgehalte bepaald na 48 uur drogen bij 105°C. Het volumetrisch bodemvochtgehalte werd bepaald als (totaal gewicht natte grond – gewicht droge grond) / gewicht droge grond x bulkdichtheid.

3.4 Testen van maatregelen

De bulk bodemmonsters genomen bij FS-G, GV-G en PD-S werden gehomogeniseerd en grote stukken wortel en gras werden verwijderd. Daarna werd op basis van de eerder bepaalde bulkdichtheid, grond in de ringen ingewogen (80% van het totale gewicht) en aangedrukt.

Daarna werden de volgende zes behandelingen toegepast in drie herhalingen (18 ringen per grondsoort) (Figuur 3):

1. **Controle**
2. **Surfactant / "wetting agent"**: In deze test is de non-ionische surfactant Revolution gebruikt (Modified Methyl Capped Block Co-Polymer, Aquatrols® Corp of America, Paulsboro, New Jersey, VS). Er is een oplossing gemaakt van 0,3 ml surfactant in 100 ml water. Deze verdunning was bijna 7 maal sterker dan de aanbevolen verdunning voor toediening in het veld (185 ml surfactant / 8 l water voor 100m²). Dit werd gedaan omdat het niet mogelijk was een kleinere hoeveelheid oplossing gelijkmatig over de oppervlakte van de ring te verdelen. In elke ring werd met behulp van een spuitje 1 ml oplossing gelijkmatig op de oppervlakte gedruppeld.
3. **Bekalking met kalk**: Op elke ring werd 0,15 g fijngemalen dologran korrelkalk op de oppervlakte aangebracht (equivalent aan 1 t kalk per ha)
4. **Bekalking met gips**: Op elke ring werd 0,15 g biogips aangebracht (32%CaO + 46% SO₃).
5. **Klei**: Op elke ring werd 1,5 g gedroogde en gemalen Friese Zeeklei aangebracht, wat overeenkomt met 10 ton per ha drooggewicht.
6. **Vorst**: Een afgesloten zak met grond werd 48 uur in de vriezer gelegd bij -23°C tot deze volledig bevroren en vervolgens in de ringen ingewogen.

Nadat de middelen werden toegebracht, werden alle ringen geïrrigeerd met 5 ml water en een half uur later met nog eens 2 ml water, om de middelen in de grond te laten trekken. Vervolgens werden de monsters 48 uur op kamertemperatuur bewaard voor de eerste druppeltest plaatsvond. Bij het toevoegen van het water (5 ml + 2 ml) na het aanbrengen van de middelen, werd het water in bodem GV-g vrij snel opgenomen. Bij bodem FS-g en PD-s werd het water niet door de bodem opgenomen en bleef ofwel bovenop de bodem liggen, of zakte (langs de randen?) door de bodem heen, in de aluminium tray. Bij aanvang van de eerste meetronde (48 u later) was al het water door de bodems opgenomen.

Na voorgaande voorbehandeling werden de ringen gedurende 5 droogstappen (variërend van 1 uur bij 30°C in de droogstoof, tot 48 uur bij kamertemperatuur) steeds verder uitgedroogd, om het effect van de maatregelen bij verschillende bodemvochtgehalten (en het omslagpunt naar hydrofobie, het kritische bodemvochtgehalte) vast te kunnen stellen (Tabel 1).



Figuur 3. Toevoegen van a) kalk, b) gips en c) klei aan de ringen (hier bodem GV-g)

Behandeling 5 en 6 werden 3 dagen later dan de eerste 4 behandelingen ingezet, omdat de monsters eerst nog de vriezer in moesten en de zeeklei nog niet beschikbaar was. Helaas was het vanwege de corona maatregelen niet meer mogelijk om deze monsters op precies dezelfde wijze te laten drogen.

Na de laatste ronde, werden de monsters uit de ringen gedrukt en werd het bodemdrogestof bepaald na 48 uur drogen bij 105°C.

Tabel 1: Duur en temperatuur van de inwerk en droogstappen voorafgaand aan de druppelrondes

Ronde	Behandeling 1-4		Behandeling 5&6	
	Duur	Temp***	Duur	temp
1*	30	kt	50	kt
2	36	kt	10	kt
3	1	30°C	14	kt
4	2	30°C	9	kt
5	50	kt	48	kt
6**	50	kt		

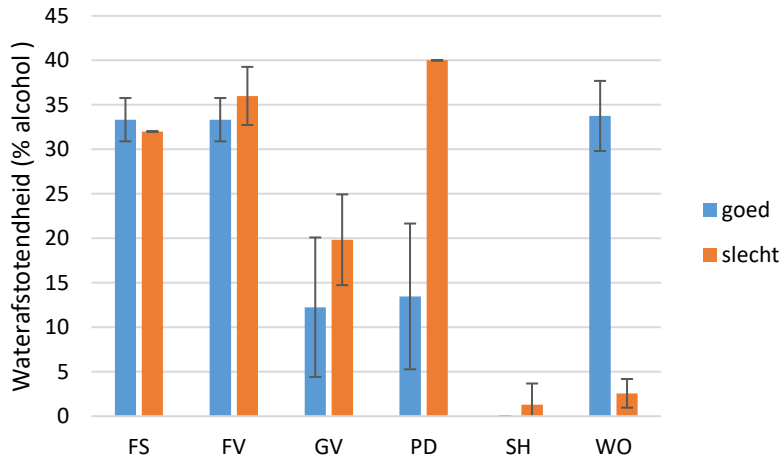
*bewaard met deksel tijdens 1e inwerkperiode

**alleen GV-g

***kt = kamertemperatuur

4 Resultaten

4.1 Meten waterafstotendheid met druppeltest



Figuur 4. Waterafstotendheid (gemiddelde % alcohol waarbij druppels binnen 10 seconden in de bodem worden opgenomen) voor veldvochtige bodem van de twaalf monitoringsplots op de goede en slechte percelen op de zes bedrijven (n=6, foutbalk =2SE).

Het minimale percentage alcohol waarbij de druppels binnen 10 seconden door de bodem werden opgenomen (mate van hydrofobie) varieerde van 0% bij SH-goed (helemaal niet hydrofoob) tot 40% bij PD-slecht (extreem hydrofoob) (Figuur 4).

De waterafstotendheid van de bodem werd gecorreleerd met bodem chemische, fysische en biologische parameters, om zo meer inzicht te krijgen in de achtergronden van waterafstotendheid (Tabel 2 en Figuur 5).

Waterpeil en bodemvocht

Het bodemvochtgehalte van de bodems varieerde van 23,2% tot 48,5 volume %, en er was een significante negatieve ($r = -0,70$; $P < 0,05$) correlatie met hydrofobie (vochtigere bodems waren minder hydrofoob, Figuur 5).

Er was een negatieve trend ($P = 0,08$) voor de correlatie tussen waterpeil en hydrofobie (dieper waterpeil = hydrofoober). Bodem PD-s was een uitligger in deze correlatie: deze bodem had een relatief hoog waterpeil, maar was zeer hydrofoob. Dit was de bodem met het hoogste bodem organische stofgehalte.

Bodemchemisch

Er was een positieve correlatie van waterafstotendheid met organische stof gehalte op 0-10 cm ($r = 0,73$; $p < 0,01$). De waterafstotendheid van de bodems vertoonde de sterkste (negatieve) correlatie met lutum ($r = -0,83$; $P < 0,001$). Er werden tevens negatieve significante correlaties gevonden met silt, K en pH, terwijl zand, N-totaal en S-totaal een positieve correlatie met waterafstotendheid lieten zien.

Bodemfysisch

Er waren geen significante correlaties tussen waterafstotendheid en bodem fysische factoren. De negatieve trends van bulkdichtheid en % scherpe bodemdelen zijn sterk negatief gecorreleerd aan het organische stofgehalte in de bodem (Bijlage 2). De indringingsweerstand op 70-80 cm is gerelateerd aan een hoger grondwaterpeil, wat de weerstand van de bodem op diepte vermindert.

Bodembologisch

Er waren geen significante correlaties tussen bodembologische factoren en de waterafstotendheid. De positieve trend met microbiële biomassa (NIRS), lijkt gerelateerd aan de positieve correlatie met het organische stofgehalte (Bijlage 2).

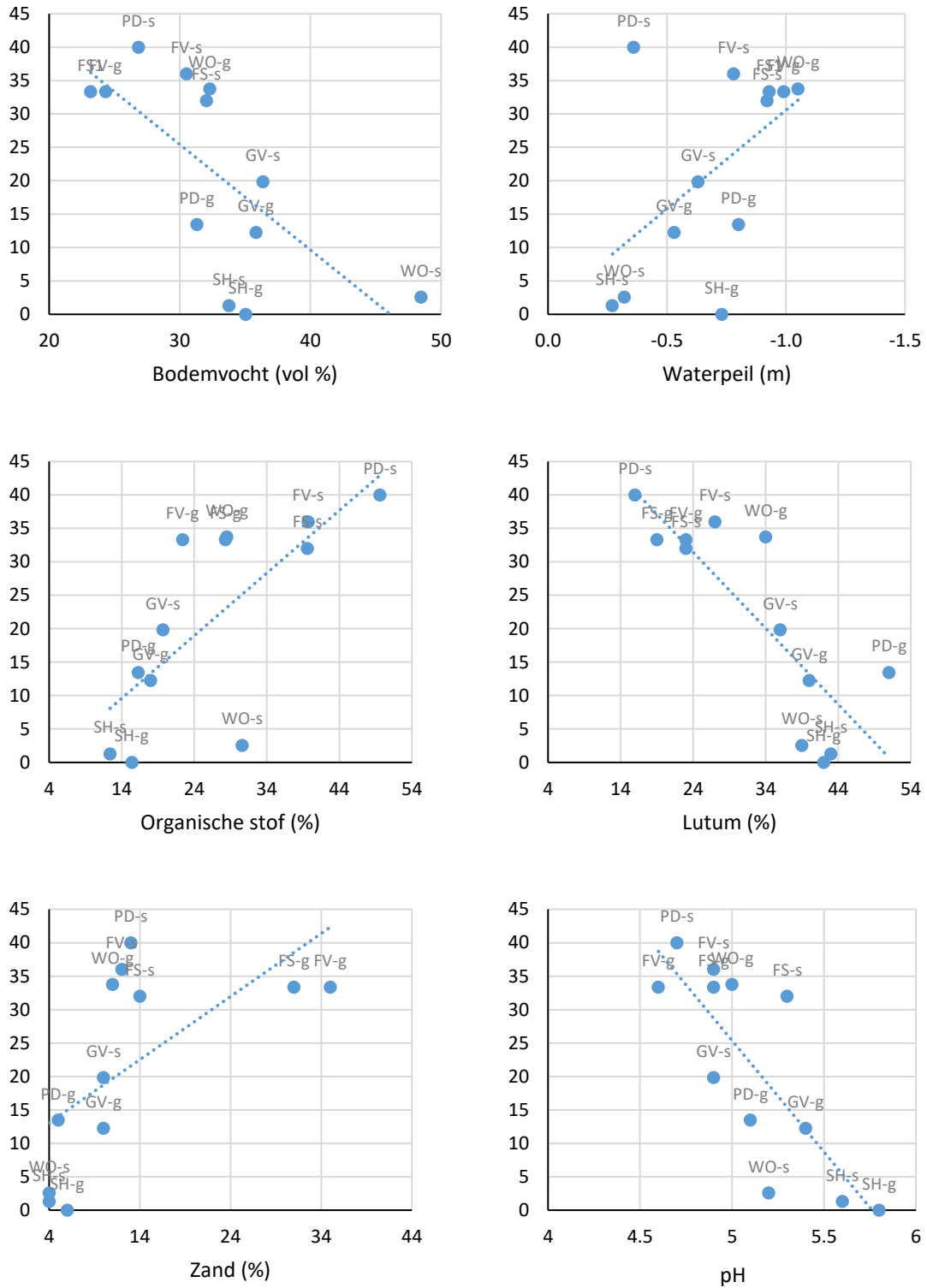
Regressiemodel

Met behulp van stepwise regressie (forward en backward) is het volgende model geselecteerd waarmee de waterafstotendheid wordt verklaard aan de hand van de gemeten bodemfactoren ($R_2^{adj} = 0,88$; $P < 0.001$; $RMSE = 4,2$):

	Coëfficiënt	Standaard fout	P	
Intercept	113,0	28,8	0,004	**
Bodemvocht	-0,99	0,27	0,006	**
pH	-14,8	5,71	0,032	*
Organische stof	0,61	0,16	0,005	**

Tabel 2. Gemiddelde hydrofobie, en bodemparameters (water, chemisch, fysisch en biologisch) van de goede (g) en slechte (s) percelen van de zes bedrijven en de correlatie tussen hydrofobie en bodemparameters (voor uitgebreide correlatietabel, zie bijlage 1 en 2).

Set	Parameter	Correlatie		FS		FV		GV		PD		SH		WO		Gem
		r	P	g	s	g	s	g	s	g	s	g	s	g	s	
	Hydrofobie (%alcohol)			33.3	32.0	33.3	36.0	12.3	19.8	13.5	40.0	0.0	1.3	33.8	2.6	21.5
Water																
	Waterpeil (m onder maaiveld)	-0.53	.	-0.9	-0.9	-1.0	-0.8	-0.5	-0.6	-0.8	-0.4	-0.7	-0.3	-1.1	-0.3	-0.7
	Bodem vochtgehalte (vol %)	-0.70	*	23.2	32.0	24.3	30.5	35.8	36.4	31.3	26.8	35.0	33.8	32.3	48.5	32.5
	Bodem vochtgehalte 1-DS (%)	-0.10		24.6	34.4	21.7	32.9	28.6	31.2	26.7	34.3	28.9	27.2	34.6	44.9	30.8
Chemisch																
Eurofins 0-10 cm	OS	0.73	**	28.3	39.6	22.4	39.7	18.0	19.7	16.3	49.6	15.4	12.4	28.5	30.6	26.7
	Lutum	-0.83	***	19	23	23	27	40	36	51	16	42	43	34	39	33
	Silt	-0.82	**	21	22	19	19	31	33	26	19	35	40	25	25	26
	Zand	0.62	*	31	14	35	12	10	10	5	13	6	4	11	4	13
	N_Tot	0.62	*	9290	14680	6690	13450	7510	8030	7600	17390	7550	5810	11230	11320	10046
	P_totaal	0.36		304	537	222	411	373	354	373	504	301	306	410	394	374
	K	-0.73	**	229	198	174	87	338	173	170	113	314	267	138	219	202
	S_totaal	0.70	*	2660	3805	2170	4045	1565	1980	1385	6030	1285	970	2705	3195	2650
	pH	-0.80	**	4.9	5.3	4.6	4.9	5.4	4.9	5.1	4.7	5.8	5.6	5.0	5.2	5.1
Fysisch																
Veldmeting	Bulkdichtheid (g cm-3)	-0.56	.	0.71	0.61	0.88	0.62	0.90	0.80	0.86	0.51	0.86	0.90	0.61	0.59	0.74
	IW 0-10 cm (MPa)	-0.14		1.7	1.1	3.2	2.5	2.5	2.6	3.0	1.7	1.9	2.3	1.7	1.7	2.1
	IW 30-40 cm (MPa)	-0.06		3.0	1.9	2.7	1.6	2.9	2.1	1.3	1.1	2.5	1.9	1.8	1.3	2.0
	IW 70-80 cm (MPa)	0.52	.	3.3	2.2	5.1	3.2	2.3	1.6	0.7	1.3	1.5	1.0	2.2	1.7	2.2
	Kruimel 0-25 cm (%)	0.44		55	50	35	25	20	15	25	80	15	35	45	60	38
	Afgerond 0-25 cm (%)	-0.06		45	50	65	75	60	75	60	20	40	65	55	40	54
	Scherp 0-25 cm (%)	-0.57	.	0	0	0	0	20	10	15	0	45	0	0	0	8
	Biologisch															
Veldmeting	Wortels 0-25 cm	0.18		8.0	6.0	8.5	7.0	7.0	7.5	8.0	9.0	6.0	8.0	8.5	9.0	7.7
	Jonge wortels 0-25 cm	-0.41		6.0	5.0	3.0	7.0	6.0	5.0	7.0	6.0	7.0	7.0	7.5	7.5	6.2
	Wormen aantal 0-25 cm	0.24		1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	6.0	2.0	1.0
	wormengangen score 0-25 cm	-0.30		7.5	5.0	4.0	4.0	6.5	8.0	5.0	7.0	6.0	8.0	8.0	8.0	6.4
	Microbiële biomassa	0.57	.	1878	2468	1708	3536	1954	1930	1686	2379	1340	1229	3261	2564	2161
Eurofins 0-10 cm	Bacteriële biomassa	0.48		597	1133	631	1121	1026	817	718	1088	676	529	1168	898	867
	schimmel biomassa	0.39		521	801	367	775	779	624	483	649	441	469	794	584	607
	Schimmel:Bacterie ratio	-0.25		0.87	0.71	0.58	0.69	0.76	0.76	0.67	0.60	0.65	0.89	0.68	0.65	0.71



Figuur 5. Correlatie tussen waterafstotendheid (y-as: minimale %alcohol waarbij druppel binnen 10 s door de bodem wordt opgenomen) en bodemparameters voor de verschillende bodems (voor P en r waarden van de correlaties, zie Tabel 2).

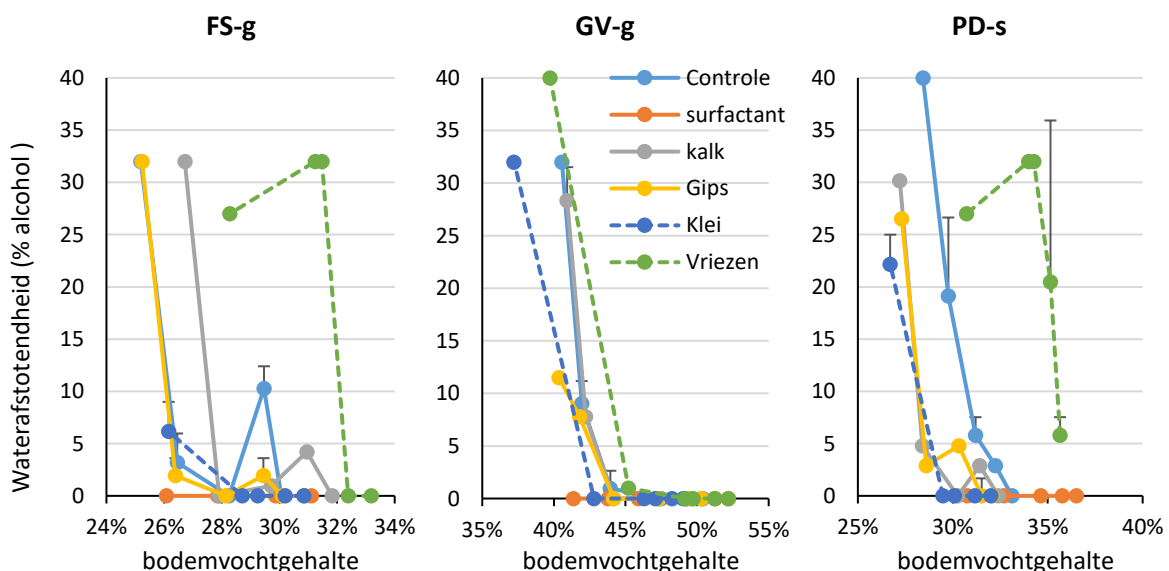
4.2 Testen maatregelen

Bij het testen van de effectiviteit van de maatregelen zijn twee parameters van belang:

- 1) Het omslagpunt in het bodemvochtgehalte waarbij de grond hydrofoob begint te worden, ook wel het kritische bodemvochtgehalte genoemd. De grond kan hydrofoob worden genoemd als het percentage alcohol waarbij de druppel meteen door de bodem wordt opgenomen hoger dan 5% is (Doerr, 1998). Voor deze waarde geldt: hoe lager hoe beter.
- 2) de mate van waterafstotendheid (uitgedrukt in het percentage alcohol benodigd voordat een druppel binnen 10 seconden in de bodem opgenomen wordt). Ideaal gezien wordt deze waarde bepaald bij luchtdroge grond, maar in de huidige proef is deze weergegeven als de hydrofobie gemeten in de laatste meetronde (bij laagste bodemvochtgehalte). Het bodemvochtgehalte en de mate van waterafstotendheid per meetronde is weergegeven in Bijlage 3. De controle was in de eerste ronde voor geen van de bodems waterafstotend. Voor alle bodems begon de controle als (één van) de eerste behandelingen tekenen van waterafstotendheid te vertonen. Bij FS-g begon deze vanaf T2, bij GV-g vanaf T4 en bij PD-s vanaf T2 (zie Figuur 6). Het kritische bodemvochtgehalte (waarbij het % alcohol waarbij de druppel meteen in de bodem werd opgenomen > 5% was) was ongeveer 26% voor FS-g, 43% voor GV-g en 31% voor PD-s (Figuur 6 en 7b).

De controle was het sterkst waterafstotend bij PD-s, waar in de laatste ronde 40% alcohol nodig was voordat de druppel de grond in trok (t.o.v. 32% bij FS-g en GV-g, Figuur 6 en 7b).

De bodems met surfactant behandeling waren bij geen enkel bodem en bodemvochtgehalte waterafstotend, en dit was daarmee de meest effectieve maatregel om waterafstotendheid tegen te gaan (Figuur 6 en 7).

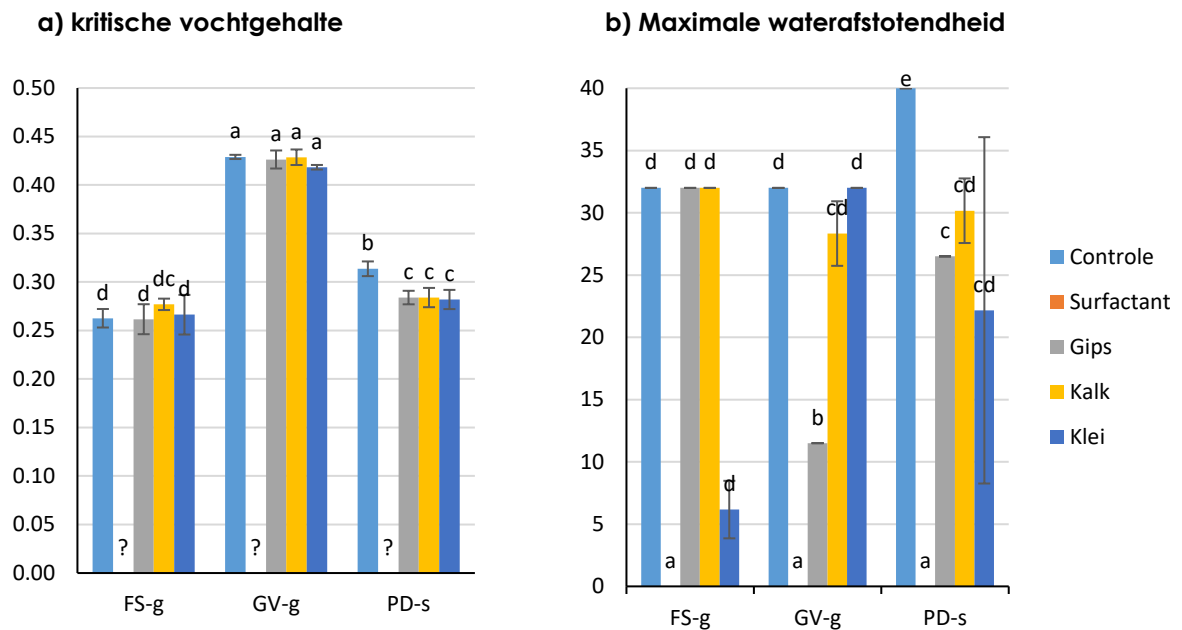


Figuur 6. De waterafstotendheid (uitgedrukt in minimale %alcohol waarbij de druppel binnen 10 seconden in de bodem wordt opgenomen) voor de 3 bodems (FS-g, GV-g en PD-s) en zes maatregelen om de waterafstotendheid te verminderen (controle, surfactant, kalk, gips, klei en bevriezen) uitgezet tegen het bodem vochtgehalte ten tijde van de meting. NB. De maatregelen klei en bevriezen zijn op een ander moment gemeten (zie ook Tabel 1). n=3, foutbalken = sd.

Voor de overige maatregelen (kalk, gips en klei) was het kritische bodemvochtgehalte (ten opzichte van de controle) lager bij PD-s (Figuur 7a).

Bij GV-g en PD-s resulteerde de toevoeging van gips en in mindere mate kalk in een verlaging van de maximale hydrofobie (Figuur 7b). Bij FS-g en PD-s was de maximale waterafstotendheid lager als er klei was toegevoegd.

De bodemmonsters die waren bevroren, waren in alle gevallen sneller en sterker waterafstotend dan de controle (Figuur 6).



Figuur 7. a) Het kritische bodemvochtgehalte (minimale bodem vochtgehalte waarbij de bodem nog niet waterafstotend) is en b) de maximaal gemeten waterafstotendheid (minimale percentage alcohol waarbij de bodem niet meer hydrofoob was) gemeten in de laatste meetronde voor de verschillende bodems en behandelingen (bij bodemvochtgehalte van 26.3 vol% voor FS-g, 40% voor GV-g en 28,5% voor PD-s). N=3, foutbalken = sd. Behandelingen met gelijke letters zijn niet significant verschillend.

5 Discussie

5.1 Mate van hydrofobie en omslagpunt

De rol van bodemvochtgehalte

De mate van hydrofobie in veldvochtige grond voor de twaalf bodems vergeleken in deel A van het lab experiment varieerde van 0 (niet hydrofoob) tot 40 (maximale % alcohol). In overeenkomst met onze verwachting was er een correlatie tussen de mate van hydrofobie en het bodemvochtgehalte (volume %). Dit wijst erop dat bodems met een laag vochtgehalte een hogere mate van hydrofobie vertonen dan bodems met een hoog vochtgehalte. In het tweede deel van het experiment zagen we dit verband nogmaals op het niveau van de individuele bodem. In dit deel van het experiment werden bodemmonsters van drie monitoringplots geleidelijk gedroogd, en gaandeweg getest op hydrofobie. Hier zien we dat naarmate de drie bodems uitdrogen, de hydrofobie toeneemt, waardoor we de hypothese dat de mate van hydrofobie sterk afhankelijk is van het bodemvochtgehalte kunnen aannemen. Deze twee bevindingen zijn in overeenstemming met de literatuur (Dekker en Ritsema 1996, Hewelke et al., 2016).

Wat we in deel B van deze proef zagen, was dat boven een bepaald vochtgehalte, de bodems niet hydrofoob zijn (Figuur 6). Het omslagpunt in vochtgehalte waaronder de bodem hydrofoob wordt, wordt ook wel het kritische vochtgehalte genoemd (Dekker en Ritsema, 1994). Dit kritische vochtgehalte waarbij een veenbodem hydrofoob wordt, lag tussen de 34% en 39% water volume voor veenweides in Joure en Broek in Waterland (Dekker en Ritsema, 1996). Berglund en Persson (1996) rapporteren echter dat het kritische vochtgehalte van veenbodems met uiteenlopende organische stof-, kleigehaltes en historisch gebruik tussen de 30-50 volume% ligt, een veel breder bereik. Hewelke et al. (2016) melden dat het kritische vochtgehalte van door hun geteste bodems tussen de 41% tot wel 86% ligt. Het kritische vochtgehalte kan dus erg verschillen per bodem. In Figuur 7a is af te lezen dat de door ons geteste veenbodems hydrofoob werden bij een vochtgehalte van 26 (FS-g), 43 (GV-g) en 31 volume% (PD-s). Bodem FS-g heeft een lager kritisch vochtgehalte dan we in de literatuur terugvinden, wat betekent dat de bodem relatief ver kan uitdrogen voordat deze hydrofoob wordt. Bij GV-g lag het kritische bodemvochtgehalte relatief hoog, echter, dit is ook deels gerelateerd aan methodologische beperkingen bij de bodemvochtgehalte bepaling (zie paragraaf 5,3).

De rol van bodem chemische samenstelling

Naast het vochtgehalte blijken andere factoren ook goede indicatoren voor het optreden van bodem hydrofobie, met name 1) lutum- en siltgehalte 2) OS-gehalte en 3) pH. Deze drie variabelen worden ook als leidend aangedragen door significante correlaties met veenbodem hydrofobie in Orzechowski et al. (2013).

1) Het lutum- en siltgehalte was de sterkst verklarende variabele in deel A van het huidige experiment. Zoals verwacht, bleek dat hoe hoger het lutum- en siltgehalte was, hoe lager de

mate van hydrofobie voor de twaalf onderzochte bodems bij veldvochtigheid. Lutum en silt bestaan uit kleine deeltjes die bij elkaar opgeteld een groot extern oppervlak hebben en daarnaast ook nog geladen kunnen zijn. De lading of polariteit zorgt voor aantrekking van water en voorkomt dat hydrofoob organisch materiaal coatings om de deeltjes heen kan vormen (Daniel et al., 2019). Het grote oppervlak zorgt ervoor dat er erg veel hydrofoob organisch materiaal nodig is om dit gehele oppervlak te bedekken en daarmee de bodem als geheel waterafstotend te maken (Ward en Oades, 1993). Andere studies lieten ook zien dat een toename in siltgehalte in veenbodems leidt tot een lagere hydrofobie (Okruzsko en Ilnicki, 2003; Orzechowski et al, 2013; Hewelke et al., 2016). De positieve correlatie van hydrofobie met het zandgehalte (Tabel 2) was waarschijnlijk een indirect effect van de negatieve correlatie tussen zandgehalte en lutumgehalte (Bijlage 2).

2) Zoals verwacht, nam de bodemhydrofobie toe bij hogere bodem OS-gehaltes (Tabel 2). Des te meer organische stof (dat van nature hydrofobie kan vertonen; zie Figuur 1) een veenbodem bevat, des te hoger het hydrofobe oppervlak van de bodem en hoe meer van de minerale bodemdeeltjes en aggregaten bedekt zullen zijn met dit organische materiaal en des te gevoeliger de veenbodem is voor het optreden van hydrofobie (Lachacz et al., 2009; Orzechowski et al., 2013). De bodems waarin druppels binnen 10 seconden infiltreerden met alcoholpercentages onder 20% (n=6) hadden een gemiddeld OS-gehalte van 18,7%, terwijl de bodems waarbij een hoger alcoholpercentagealcoholpercentage dan 20% nodig was (n=6) hadden een gemiddeld OS gehalte van 34,7. Bodems met een hoog OS-gehalte bevatten ook een hoger aandeel sulfide- en stikstofhoudende stoffen, wat de positieve correlatie tussen hydrofobie en S-totaal en N-totaal kan verklaren (Bijlage 2).

3) Als laatste was de hydrofobie lager in bodems met een hogere pH. Een hogere pH in een bodem kan het gevolg zijn van een lager OS-gehalte en een hoger lutum gehalte. Bodems met een hogere pH en een hoger lutum- en siltgehalte houden daarnaast ook meer kationen vast, wat de significante correlatie tussen hydrofobie en het kalium gehalte kan verklaren (Bijlage 2). Anderen vonden ook een significante negatieve correlatie tussen de mate van hydrofobie en pH (Lachasz et al., 2009; Szajdak en Szatyłowicz., 2010; Orzechowski et al., 2013).

Ook was er een trend die duidde op een hogere hydrofobie van de bodems waarbij het grondwaterpeil lager lag, wat gerelateerd is aan een lager bodemvochtgehalte in de bovengrond.

Concluderend bepalen het lutum- en siltgehalte, het OS-gehalte en het actuele vochtgehalte in de geselecteerde veenbodems de hydrofobie gemeten bij veldvochtigheid. Dit komt overeen met de hypothesen die we op basis van de bestaande literatuur opgesteld hadden. In het regressiemodel werd ruim 88% van de variatie in hydrofobie gemeten bij veldvochtigheid verklaard door een combinatie van bodemvocht, organische stof en pH

Deze hydrofobiebepalingen waren op basis van veldvochtige grond en zeggen dus iets over de mate van hydrofobie op deze bodems in september 2020. Om een algemener inzicht te krijgen in het effect van bodemparameters op hydrofobie is het belangrijk om het kritische bodemvochtgehalte te bepalen en de mate van hydrofobie in luchtdroge grond (zie ook paragraaf 5.3).

5.2 Effect maatregelen

Uit de literatuur kwamen een aantal potentiële maatregelen naar voren waarmee het kritische vochtgehalte en de mate van hydrofobie mogelijk verlaagd kunnen worden. In een aanvullende lab proef hebben we het effect van de toediening van surfactant, kalk, gips, klei en het bevroren van de bodem voor drie bodems uitgetest.

Surfactant

De surfactant, Revolution, bleek een zeer effectieve maatregel: bodemhydrofobie werd in alle drie geteste bodems volledig geëlimineerd bij uitdroging tot bodemvochtgehaltes van 26% bij FS-g, 40% bij GV-g en 31% bij PD-s. Het kritische bodemvochtgehalte was dus lager dan de range waarin we hier getest hebben. De effectiviteit van deze maatregel is ook waargenomen op zandgronden, met name op golfbanen waar surfactanten doorgaans gebruikt worden om de grasmat egaal en groen te houden (Dekker et al., 2019). Het blijkt nu dus ook effectief te zijn in veenbodems met een vele malen hoger organisch stofgehalte, iets wat nog niet eerder getest is. Surfactanten kunnen echter tot ongewenste neven-effecten leiden, zoals een verhoogde mineralisatie van organische stof (Dekker et al., 2019), verhoogde evaporatie van water uit de bodem waardoor de bodem weer sneller uitdroogt (Müller en Deurer, 2011; Hallet, 2008) en structuurverlies van de bodem (Hallet, 2008). Daarnaast is er weinig bekend over de bio-afbreekbaarheid van deze stof en mogelijke effecten op het bodem- en slootleven. Echter, non-ionische surfactanten zoals Revolution hebben doorgaans een lage toxiciteit (Ying, 2006). Microbiële populaties kunnen beïnvloed worden door het gebruik van surfactanten, afhankelijk van de chemische eigenschappen daarvan (Song et al., 2019). Ook is het relevant om te onderzoeken wat het effect is op invertebraten die in/op de bodem en/of de sloot leven en afhankelijk zijn van de oppervlaktespanning van water. Daarnaast is het product Revolution prijzig, per hectare ongeveer 400 euro met de aanbevolen hoeveelheid voor een enkele applicatie, waardoor het voor toepassing in de landbouw mogelijk te duur is (Müller en Deurer, 2011). Bovendien is de werkzaamheid slechts tijdelijk en zijn herhaalde applicaties nodig om het effect te behouden. Dekker et al. (2019) laten zien dat ten minste 3 applicaties, met de zelfde concentratie van de surfactant Revolution als in deze studie gebruikt is, nodig zijn om de hydrofobie in een grasmat van een golfbaan op zandgrond significant te verlagen. Om de hydrofobie gedurende een heel seizoen te verminderen laten Dekker et al. (2009) weten dat maandelijks applicaties nodig zijn. De duur van het effect van surfactanten op het opheffen van hydrofobie in veenbodems is niet bekend, maar zou door een verschil in samenstelling van de bodem kunnen afwijken van de duur van het effect op zandbodems. De surfactant zou in

veenbodems door adsorptie wellicht beter vastgehouden kunnen worden en dus minder uitspoelen, waardoor het langer actief blijft. Maar een hogere microbiële activiteit of te sterke binding met organisch materiaal kan zou de werking van een surfactant in veen ten opzichte van zand ook sneller kunnen verminderen.

Mogelijk kan het wel gebruikt worden op kleinere oppervlakte van een perceel waar hydrofobie totaal irreversibel is en niets meer wil groeien.

Kalk en gips

Voor bodem PD-s, bleek het toevoegen van gips of kalk het kritische vochtgehalte waarbij de bodems hydrofoob werden met 3 vol% te verlagen (Figuur 7a). Daarnaast verlaagden gips en, in mindere mate, kalk ook de maximale mate van hydrofobie bij GV-g (-64% en -11%) en PD-s (-34% en -25%), (Figuur 7b). Berglund en Persson (1996) vonden een lagere hydrofobie in venige bodems met een hoger kalkgehalte, en (Roper, 2005) in zandgrond. Aangezien de effectiviteit van gips niet kleiner was dan dat van kalk (eerder het tegenovergestelde), is het aannemelijk dat het gemeten effect samenhangt met het vergroten van de hydrofiele oppervlakte in de bodem (door het toevoegen van de kleine kalk en gipsdeeltjes) en niet met een verhoging van de pH. Mogelijk kan het lange termijn effect van kalk door het verhogen van pH in het veld wel groter zijn, ook gezien de negatieve correlatie tussen pH en hydrofobie gemeten in deel A van de proef.

Klei

Het toevoegen van klei verlaagde het kritische bodemvochtgehalte voor bodem PD-s (Figuur 7a). De maximale hydrofobie was 80% lager voor FS-g, en 45% lager voor PD-s (Figuur 7b). Dit effect was niet tot nauwelijks aanwezig in bodem GV-g, welke het hoogste lutumgehalte had (40% tov van 19% voor FS-g en 16% voor PD-s). Het effect van klei toevoegen was groter dan kalk en gips, wat mogelijk gerelateerd is aan de hogere hoeveelheid klei die toegevoegd werd in vergelijking met kalk en gips. De hoeveelheid kalk en gips was gebaseerd op de hoeveelheid die in de praktijk ook toegepast wordt, hetzelfde geldt voor de hoeveelheid klei. Op dit moment loopt er onderzoek over veenverrijking met klei om de mineralisatie van veen en daarmee de inklinking en CO₂-uitstoot te verminderen (van Agtmaal et al., 2019). Als klei tegelijkertijd ook het kritische vochtgehalte en de mate van hydrofobie kan verlagen, kan het toevoegen van klei twee vliegen in één klap slaan. Het is echter ook mogelijk dat door het verlagen van de hydrofobie en het verbeteren van de beschikbaarheid van water, de mineralisatie van organische stof door het toevoegen van klei ook verhoogd kan worden. Mogelijk geldt dit voor alle maatregelen die bodemhydrofobie op kunnen heffen (Goebel et al., 2005, 2007, 2011). De effecten van bescherming van organische stof door klei versus de mogelijke versnelling van mineralisatie door de verminderen van bodemhydrofobie, zouden onderzocht en tegen elkaar afgewogen moeten worden. Daarnaast is het toevoegen van grote hoeveelheden klei een klus die veel logistiek en dus geld vereist, wat ook meenomen moet worden in de overweging om deze oplossing toe te passen (Pijlman et al., 2020).

Bevriezen

In tegenstelling tot de verwachtingen, had bevriezen in geen van de geteste bodems een positief effect op de mate van hydrofobie. Het omslagpunt waarbij de bodems hydrofoob werden was veel eerder (al bij een nattere bodem) dan de controle. Op basis van dit experiment kunnen we constateren dat het gebrek aan vrieskou in de winters van de afgelopen jaren niet bijgedragen heeft aan het verergeren van de hydrofobie van veenbodems. Aangezien dit niet echt een toepasbare maatregel is (we hebben hier in de praktijk geen invloed op), lijkt het weinig zinvol hier verdere metingen aan te doen.

Verschil in effectiviteit van maatregelen bij de drie bodems

De surfactant was in alle onderzochte bodems 100% effectief. Het toevoegen van klei en in mindere mate gips en kalk verlaagden de hydrofobie het sterkst voor PD-s maar niet of minder in FS-g en GV-g. Mogelijk omdat PD-s de bodem was met het hoogste gevoeligheid voor hydrofobie, het hoogste OS gehalte en het laagste lutum- en siltgehalte en daarom het meeste kon verbeteren door toevoeging van klei en gips en kalk. Verder waren de resultaten bij afnemend bodemvochtgehalte wat minder consistent in FS-g dan bij de overige twee bodems (Figuur 6a). Om verdere conclusies te kunnen trekken over de effectiviteit van maatregelen bij verschillende bodems, is verder onderzoek in meerdere bodems / locaties gewenst.

5.3 Methodologie

In het huidige experiment is voor de eerste keer een test gedaan van hydrofobie en het effect van maatregelen op weidegronden in het Friese Veenweidegebied. Tijdens het uitvoeren van de tests zijn we tegen een aantal methodologische zaken aangelopen, die voor verbetering vatbaar zijn in vervolg onderzoek.

- In deel A van de labproef is de mate van hydrofobie bepaald in veldvochtige grond. Om een betere (en gestandaardiseerde) indicatie te geven van de potentiële (maximale) mate van hydrofobie zou in een vervolg de hydrofobie bij luchtdroge grond bepaald moeten worden.
- Bepaling bodemvochtgehalte: Bij het laten uitdrogen van de bodem in de bulkringen, wordt de bovenlaag snel droog, terwijl de onderkant (in de ring) veel langzamer uitdroogde. Dit speelde met name bij wat dichtere bodems (bv GV-g) en resulteerde in een te hoge inschatting van het kritische bodemvochtgehalte. Ter illustratie: het vochtgehalte bij monstername voor GV-g was 35.8 % en was op dat moment niet hydrofoob (2 en 5 ml water werd makkelijk door bodem opgenomen). Echter, bij uitdrogen van de bodem werd het kritische bodemvochtgehalte al gevonden bij 43%. Dit effect kan worden beperkt door te werken met minder grond in de bulkring (bijvoorbeeld 2 cm i.p.v. 4 cm dikke laag). Dit heeft als bijkomend voordeel dat er minder bodem nodig is voor de bepalingen. Als alternatief zouden de bodems ook steeds voor het testen gemengd kunnen worden, zodat er een uniform bodemvochtgehalte in het hele monster ontstaat. Het is dan wel belangrijk de grond steeds weer gelijkmatig aan te drukken.

- Voor drie bodems (FS-g, GV-g en PD-s) is de druppeltest op zowel intacte bulkringen als op verstoorde bodems die weer zijn aangedrukt uitgevoerd. Er was weinig tot geen verschil tussen de hydrofobie (%alcohol) gemeten bij beide methodes. Het grote voordeel van het gebruik van verstoorde bodems is dat het makkelijker is om de bodemonsters te nemen (kan met een standaard graslandboor), dat deze goed gehomogeniseerd kunnen worden en dat de oppervlakte en volume van het te testen object makkelijk kan worden aangepast. Dit oppervlakte is voornamelijk van belang om te voorkomen dat druppels van verschillende (oplopende) alcohol percentages elkaar raken, en zo de meting verstoren. Het is hierbij wel van belang om de bodem weer aan te drukken tot de oorspronkelijke bulkdichtheid.
- In de huidige rapportage hebben we gewerkt met volumetrisch bodemvochtgehalte op basis van oven-gedroogde drogestofmonsters (gecorrigeerd voor bulkdichtheid). Deze vertoonden een sterke correlatie met de hydrofobie en was ook sterk gecorreleerd met de bodemvochtsensoren op 10 cm diepte in een aantal van de monitoringplots. Voor andere doeleinden wordt ook wel gewerkt met het gravimetrisch bodemvochtgehalte (gewicht vocht / gewicht droge grond), waarbij niet wordt gecorrigeerd voor verschillen in bulkdichtheid. In de huidige proef was het gravimetrisch bodemvochtgehalte niet of nauwelijks gecorreleerd aan de bodemhydrofobie.
- De toegevoegde kalk, gips en klei bleef in de huidige opzet voornamelijk bovenop de grond liggen. De positieve werking van deze maatregelen is daarmee waarschijnlijk deels gerelateerd aan de grotere wateropname door deze kleine deeltjes. In een vervolg zal ook moeten worden gekeken naar het effect van deze maatregelen bij inmenging of inspoeling in de bodem en op de langere termijn.

5.4 Conclusies en aanbevelingen

Hydrofobie van veengrond is een factor waar in het verleden wel naar is gekeken, maar waar recentelijk pas naar aanleiding van de extreme droogte weer aandacht voor is ontstaan. In de huidige lab proef hebben we een eerste stap gezet om de mate waarin hydrofobie voorkomt in kaart te brengen en hebben we een aantal potentiële maatregelen getest.

- Met behulp van de druppeltoets met oplopende alcohol percentages kan de mate van hydrofobie van percelen worden vastgelegd (bij luchtdroge grond) en kan het kritische bodemvochtgehalte (bodemvochtgehalte waaronder de bodem hydrofoob wordt) worden bepaald door de bodem stapsgewijs uit te laten drogen.
- De mate van waterafstotendheid was hoger bij een hoger organische stofgehalte en lager bij een hoger bodemvochtgehalte, pH en lutumgehalte.
- De belangrijkste maatregel om hydrofobie van veen te voorkomen is het niet te ver laten uitdrogen, zodat het bodemvochtgehalte niet onder het kritische niveau zakt. Uitdroging van de bodem kan worden voorkomen of worden vertraagd door beregening, bevoeiing en verhoging van grond/slootwaterpeil in drogere periodes.

- Het toevoegen van surfactant was een zeer effectieve maatregel om de hydrofobie te verlagen of zelfs te elimineren. Echter, door de hoge kosten en onzekerheden m.b.t. duurzaamheid van dit product lijkt toepassing op grote schaal niet direct haalbaar.
- Het toevoegen van klei en in mindere mate gips en kalk resulteerde in een verlaging van het kritische bodemvochtgehalte en de mate van hydrofobie. De effecten waren voornamelijk aanwezig in bodem PD-s, die het meest gevoelig was voor hydrofobie. Deze maatregelen kunnen verder worden uitgetest in lab- en veldproeven om hun effectiviteit in de praktijk en op de langere termijn te testen.
- Bevriezen had in deze studie geen positief effect op de hydrofobie.

Hydrofobie als standaard onderdeel bodemanalyses

Door middel van een meer uitgebreide screening met een groter aantal bodemmonsters kunnen mogelijk robuuste relaties worden ontwikkeld, waarmee het kritische vochtgehalte en mate van waterafstotendheid kan worden voorspeld o.b.v. chemische bodemeigenschappen (bv, lutum, silt, OS, pH). Het hoge verklaarde aandeel variatie in het regressiemodel o.b.v. veldvochtige grond van deze eerste test set van 12 percelen biedt zeker perspectief.

Dit zou betekenen dat de mate van hydrofobie en het kritische bodemvochtgehalte op perceleniveau te bepalen is en dat dit twee parameters kunnen zijn die opgenomen kunnen worden in de bodemanalyses van laboratoria.

In combinatie met monitoring van het bodemvochtgehalte, zouden deze getallen veehouders kunnen ondersteunen bij hun beslissing om op een bepaald moment (voor het kritische vochtgehalte bereikt is) het land te beregenen of te bevoeien.

Echter, voordat dit op grote schaal kan worden toegepast, zijn er nog een aantal tussenstappen nodig om te testen in hoeverre lab resultaten m.b.t. hydrofobie vertaald kunnen worden naar een veldsituatie.

Verder testen maatregelen

In een combinatie van veld- en labproeven zou de effectiviteit van de geteste maatregelen op veldniveau en langere termijn verder getest kunnen worden.

In kleinschalige plots op meerdere locaties kunnen de verschillende middelen worden toegepast. De mate van hydrofobie en het kritische bodemvochtgehalte kan dan op verschillende momenten in het lab worden uitgetest (bv na een week, 3 maanden en een jaar) en ook het effect van inmenging in de bodem kan worden getest. Daarnaast kan in het veld worden gemeten of de aangewende middelen een effect hebben op het bodemvochtgehalte en de grasproductie tijdens de zomer (of d.m.v. droogteschermen droogte creëren). Hierbij kan ook aansluiting worden gezocht bij reeds lopende of geplande projecten, zoals bijvoorbeeld "Klei in Veen".

Referenties

- van Agtmaal, M., Deru, J., & Lenssinck, F. (2019). Klei voor behoud van veen: Verkenning mogelijkheden van koolstofvastlegging en preventie bodemdaling met klei uit de kringloop. *Louis Bolk Instituut*.
- Artz, R. R., Chapman, S. J., Robertson, A. J., Potts, J. M., Laggoun-Défarge, F., Gogo, S., ... & Francez, A. J. (2008). FTIR spectroscopy can be used as a screening tool for organic matter quality in regenerating cutover peatlands. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(2), 515-527.
- Clark, J. M., Chapman, P. J., Adamson, J. K., & Lane, S. N. (2005). Influence of drought-induced acidification on the mobility of dissolved organic carbon in peat soils. *Global Change Biology*, 11(5), 791-809.
- Daniel, N. R., Uddin, S. M., Harper, R. J., & Henry, D. J. (2019). Soil water repellency: A molecular-level perspective of a global environmental phenomenon. *Geoderma*, 338, 56-66.
- Dekker, L.W. & Ritsema, C.J. 1994. How water moves in a water repellent sandy soil. 1. Potential and actual water-repellency. *Water Resources Research*, 30, 2507-2517.
- Dekker, L. W., & Ritsema, C. J. (1996). Variation in water content and wetting patterns in Dutch water repellent peaty clay and clayey peat soils. *Catena*, 28(1-2), 89-105.
- Dekker, L. W., Ritsema, C. J., Oostindie, K., Wesseling, J. G., & Geissen, V. (2019). Effects of a soil surfactant on grass performance and soil wetting of a fairway prone to water repellency. *Geoderma*, 338, 481-492.
- Doerr, S. H. (1998). On standardizing the 'water drop penetration time' and the 'molarity of an ethanol droplet' techniques to classify soil hydrophobicity: a case study using medium textured soils. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Group*, 23(7), 663-668.
- Doerr, S. H., Shakesby, R. A., & Walsh, R. (2000). Soil water repellency: its causes, characteristics and hydro-geomorphological significance. *Earth-Science Reviews*, 51(1-4), 33-65.
- Goebel, M. O., Bachmann, J., Woche, S. K., & Fischer, W. R. (2005). Soil wettability, aggregate stability, and the decomposition of soil organic matter. *Geoderma*, 128(1-2), 80-93.
- Goebel, M. O., Woche, S. K., Bachmann, J., Lamparter, A., & Fischer, W. R. (2007). Significance of wettability-induced changes in microscopic water distribution for soil organic matter decomposition. *Soil Science Society of America Journal*, 71(5), 1593-1599.
- Goebel, M. O., Bachmann, J., Reichstein, M., Janssens, I. A., & Guggenberger, G. (2011). Soil water repellency and its implications for organic matter decomposition—is there a link to extreme climatic events?. *Global Change Biology*, 17(8), 2640-2656.
- Hallett, P. D. (2008). A brief overview of the causes, impacts and amelioration of soil water repellency—a review. *Soil and Water Research*, 3(1), 521-529.
- Hudig, J., & Redlich, G. C. (1940). Onderzoek van indrogende, irreversibele veengronden. *Tijdschr. Ned. Heide Mij*, 52, 382-399.
- Kostka, S. J. (2000). Amelioration of water repellency in highly managed soils and the enhancement of turfgrass performance through the systematic application of surfactants. *Journal of Hydrology*, 231, 359-368.
- Lachacz, A., Nitkiewicz, M., & Kalisz, B. (2009). Water repellency of post-boggy soils with a various content of organic matter. *Biologia*, 64(3), 634-638.
- Okruszko H, Ilnicki P. 2003. The moorsh horizons as quality indicators of reclaimed organic soils. In *Organic Soils and Peat Materials for Sustainable Agriculture*, Parent LE, Ilnicki P (eds). CRC Press: Boca Raton, FL; 1-14.
- Orzechowski, M., Smólczyński, S., Sowiński, P., & Rybińska, B. (2013). Water repellency of soils with various content of organic matter in north-eastern Poland. *Soil Science Annual*, 64(2), 30-33.
- Kalisz, B., Lachacz, A., & Glazewski, R. (2015). Effects of peat drainage on labile organic carbon and water repellency in NE Poland. *Turkish journal of Agriculture and Forestry*, 39(1), 20-27.

- Lichner, L., Babejová, N., & Dekker, L. W. (2002). Effects of kaolinite and drying temperature on the persistence of soil water repellency induced by humic acids. *Rostlinná Vyroba*, 48(5), 203-207.
- Maftu'ah, E., Fahmi, A., & Hayati, A. (2019, December). Changes in degraded peat land characteristic using FTIR-spectroscopy. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 393, No. 1, p. 012091). IOP Publishing.
- Mao, J., Nierop, K. G., Dekker, S. C., Dekker, L. W., & Chen, B. (2019). Understanding the mechanisms of soil water repellency from nanoscale to ecosystem scale: a review. *Journal of Soils and Sediments*, 19(1), 171-185.
- Ma'Shum, M., Oades, J. M., & Tate, M. E. (1989). The use of dispersible clays to reduce water repellency of sandy soils. *Soil Research*, 27(4), 797-806.
- McKissock, I., Walker, E. L., Gilkes, R. J., & Carter, D. J. (2000). The influence of clay type on reduction of water repellency by applied clays: a review of some West Australian work. *Journal of Hydrology*, 231, 323-332.
- Michel, J. C. (2009). Influence of clay addition on physical properties and wettability of peat-growing media. *HortScience*, 44(6), 1694-1697.
- Müller, K., Deurer, M., Slay, M., Aslam, T., Carter, J. A., & Clothier, B. E. (2010). Environmental and economic consequences of soil water repellency under pasture. In *Proceedings of the New Zealand Grassland Association* (Vol. 72, pp. 207-210). New Zealand Grassland Association.
- Müller, K., & Deurer, M. (2011). Review of the remediation strategies for soil water repellency. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 144(1), 208-221.
- Müller, K., Mason, K., Strozzi, A. G., Simpson, R., Komatsu, T., Kawamoto, K., & Clothier, B. (2018). Runoff and nutrient loss from a water-repellent soil. *Geoderma*, 322, 28-37.
- Oostindie K, Ritsema CJ, van den Elsen E, Wesseling JG, Dekker LW (2005). Onderzoek naar de invloed van een surfactant op de bevochtiging van een veendijk. In: Versnelde herbevochtiging verdroogde veenkaden, Stowa rapport 2004-39.
- Oostindie K, Dekker LW, Wesseling JG, Ritsema CJ (2006). Effects of the surfactant Revolution on soil wetting and turf performance of fairways and greens at the Dutch golf course De Pan. Wageningen, Alterra-special issue 2006.
- Pijlman, J., van Agtmaal, M., Deru, J., van Uffelen, R. (2020). Veenverrijking met klei: Verkenning logistieke en praktische aspecten. *Louis Bolk Instituut*
- Rakhmatulina, E., & Thompson, S. (2020). Freeze-Thaw Processes Degrade Post-Fire Water Repellency in Wet Soils. *Hydrological Processes*.
- Ritsema, C. J., & Dekker, L. W. (1994). How water moves in a water repellent sandy soil: 2. Dynamics of fingered flow. *Water resources research*, 30(9), 2519-2531.
- Roper, M. M. (2005). Managing soils to enhance the potential for bioremediation of water repellency. *Soil Research*, 43(7), 803-810.
- Roper, M. M. (2006). Potential for remediation of water repellent soils by inoculation with wax-degrading bacteria in south-western Australia. *Biologia*, 61(19), S358-S362.
- Szajdak, L., & Szatyłowicz, J. (2010). Impact of drainage on hydrophobicity of fen peat-moorsh soils. *Mires and Peat. 6th Ed. University of Latvia Press, Riga*, 58-174.
- Urbanek, E., Hallett, P., Feeney, D., & Horn, R. (2007). Water repellency and distribution of hydrophilic and hydrophobic compounds in soil aggregates from different tillage systems. *Geoderma*, 140(1-2), 147-155.
- Wallis, M. G., & Horne, D. J. (1992). Soil water repellency. In *Advances in soil science* (pp. 91-146). Springer, New York, NY.
- Ward, P. R., & Oades, J. M. (1993). Effect of clay mineralogy and exchangeable cations on water repellency in clay-amended sandy soils. *Soil Research*, 31(3), 351-364.
- Ying, G. G. (2006). Fate, behavior and effects of surfactants and their degradation products in the environment. *Environment international*, 32(3), 417-431.

Bijlage 1 Gemiddelde hydrofobie en bodemparameters van 12 percelen

Tabel B1. Gemiddelde hydrofobie en bodemparameters (water, chemisch, fysisch en biologisch) van de goede (g) en slechte (s) percelen van de zes bedrijven en de correlatie tussen hydrofobie gemeten in veldvochtige grond in september en bodemparameters

a) Water & bodemchemisch (Eurofins NIRS)

Set	Parameter	Correlatie		FS		FV		GV		PD		SH		WO		Gem	Min	Max	CV
		r	P	g	s	g	s	g	s	g	s	g	s	g	s				
	Hydrofobie (%alcohol)			33.3	32.0	33.3	36.0	12.3	19.8	13.5	40.0	0.0	1.3	33.8	2.6	21.5	0.0	40.0	67%
	water																		
	Veldmetij Waterpeil (m onder maaiveld)	-0.53	.	-0.9	-0.9	-1.0	-0.8	-0.5	-0.6	-0.8	-0.4	-0.7	-0.3	-1.1	-0.3	-0.7	-1.1	-0.3	-37%
	Veldmetij Bodem vochtgehalte (vol %)	-0.70	*	23.2	32.0	24.3	30.5	35.8	36.4	31.3	26.8	35.0	33.8	32.3	48.5	32.5	23.2	48.5	19%
	Veldmetij Bodem vochtgehalte (%)	-0.10		24.6	34.4	21.7	32.9	28.6	31.2	26.7	34.3	28.9	27.2	34.6	44.9	30.8	21.7	44.9	19%
	Chemisch																		
	OS	0.73	**	28.3	39.6	22.4	39.7	18.0	19.7	16.3	49.6	15.4	12.4	28.5	30.6	26.7	12.4	49.6	41%
	Lutum	-0.83	***	19	23	23	27	40	36	51	16	42	43	34	39	33	16	51	32%
	Silt	-0.82	**	21	22	19	19	31	33	26	19	35	40	25	25	26	19	40	26%
	Zand	0.62	*	31	14	35	12	10	10	5	13	6	4	11	4	13	4	35	74%
	N_Tot	0.62	*	9290	14680	6690	13450	7510	8030	7600	17390	7550	5810	11230	11320	10046	5810	17390	34%
Eurofins 0-10 cm	P_totaal	0.36		304	537	222	411	373	354	373	504	301	306	410	394	374	222	537	22%
	P_AL	0.35		46	28	34	24	45	46	15	29	29	16	31	14	30	14	46	37%
	K	-0.73	**	229	198	174	87	338	173	170	113	314	267	138	219	202	87	338	36%
	S_totaal	0.70	*	2660	3805	2170	4045	1565	1980	1385	6030	1285	970	2705	3195	2650	970	6030	52%
	Mg	0.24		473	710	450	625	604	525	458	631	568	553	611	535	562	450	710	13%
	Na	-0.42		50	59	43	91	86	84	92	77	101	86	95	72	78	43	101	23%
	pH	-0.80	**	4.9	5.3	4.6	4.9	5.4	4.9	5.1	4.7	5.8	5.6	5.0	5.2	5.1	4.6	5.8	7%
	KZK	0.38		0.8	1.7	0.9	2.2	1.1	1.2	2.2	2.9	1.2	1.1	1.9	1.6	1.6	0.8	2.9	39%
	S_PAE	0.20		18.3	27.6	12.9	53.2	13.0	19.0	44.0	25.8	27.4	21.0	79.5	36.9	31.6	12.9	79.5	59%
	pH_CaCl2	-0.80	**	4.9	5.3	4.6	4.9	5.4	4.9	5.1	4.7	5.8	5.6	5.0	5.2	5.1	4.6	5.8	7%
	C_anorg	0.39		0.16	0.28	0.17	0.34	0.20	0.21	0.34	0.43	0.21	0.20	0.30	0.26	0.26	0.16	0.43	30%

Tabel B1b) bodemchemisch (Soiltech)

	Correlatie		FS		FV		GV		PD		SH		WO		Gem	Min	Max	CV
	r	P	g	s	g	s	g	s	g	s	g	s	g	s				
CEC	-0.49		12.2	17.7	8.5	11.4	17.4	13.6	13.1	8.0	18.6	16.8	16.9	11.4	13.8	8.0	18.6	25%
TEC	-0.33		19.1	23.3	16.0	19.7	21.2	22.2	21.5	15.7	24.4	22.1	26.4	18.7	20.9	15.7	26.4	15%
pH_water	-0.57	.	5.3	5.7	4.9	5.1	5.9	5.2	5.2	4.8	5.7	5.7	5.3	5.2	5.3	4.8	5.9	6%
stabiele_organische_stof	0.75	**	27.4	38.7	22.1	43.6	14.8	17.7	13.4	49.7	9.1	9.4	22.3	27.4	24.6	9.1	49.7	52%
Cal/Mag-verhouding	0.69	*	3.1	2.6	3.3	2.6	2.5	2.6	3.1	4.2	1.9	2.0	2.6	2.6	2.7	1.9	4.2	21%
Nitraat_stikstof	0.05		13	39	1	4	22	8	17	6	8	5	14	10	12	1	39	80%
Ammonium_stikstof	-0.61	*	21	16	14	11	23	21	20	11	19	17	16	20	17	11	23	22%
Fosfaat	0.42		150	81	105	58	112	105	36	65	47	29	45	38	73	29	150	50%
Calcium	-0.36		3927	5566	2605	3539	5206	4131	4202	2677	5069	4700	5177	3447	4187	2605	5566	23%
Magnesium	-0.60	*	753	1268	482	806	1275	963	818	385	1613	1445	1216	786	984	385	1613	37%
Kalium	-0.83	***	356	289	258	186	612	363	314	132	732	556	376	437	384	132	732	44%
Natrium	-0.61	*	81	110	72	128	155	143	123	72	204	166	168	105	127	72	204	31%
Aluminium	0.52	.	21	7	87	14	1	11	23	64	1	1	7	16	21	1	87	122%
Zwavel	0.27		56	67	42	85	40	60	85	58	40	38	125	92	66	38	125	39%
Borium	-0.66	*	1.5	2.2	1.6	2.1	2.7	2.4	2.4	1.4	2.4	2.5	2.5	2.3	2.2	1.4	2.7	19%
IJzer	-0.06		923	712	959	1407	883	1252	1319	1042	1068	1073	1331	1194	1097	712	1407	18%
Koper	0.10		2.7	1.6	2.2	0.4	2.8	1.0	0.4	0.4	1.0	1.0	0.6	0.4	1.2	0.4	2.8	72%
Zink	0.58	*	28	18	19	13	14	14	10	12	7	9	13	12	14	7	28	38%
Silicium	-0.82	***	48	67	42	54	133	98	169	28	286	238	119	96	115	28	286	67%
Calcium_sat	-0.33		46	53	36	40	55	41	44	38	46	47	44	41	44	36	55	12%
Magnesium_sat	-0.67	*	14.7	20.2	11.2	15.2	22.4	16.1	14.1	9.1	24.6	24.3	17.2	15.7	17.1	9.1	24.6	28%
Kalium_sat	-0.84	***	2.1	1.4	1.9	1.1	3.3	1.9	1.7	1.0	3.4	2.9	1.6	2.7	2.1	1.0	3.4	38%
Natrium_sat	-0.69	*	0.82	0.91	0.87	1.26	1.42	1.25	1.11	0.89	1.62	1.45	1.24	1.09	1.16	0.82	1.62	21%
Aluminium_sat	0.51	.	0.52	0.14	2.64	0.34	0.05	0.25	0.52	1.98	0.00	0.00	0.13	0.42	0.58	0.00	2.64	138%
Waterstof_sat	0.56	.	36	24	47	42	18	39	39	49	24	24	36	39	35	18	49	27%

Soil-tech (0-20 cm)

Tabel B1c) bodemfysisch en bodembioologisch

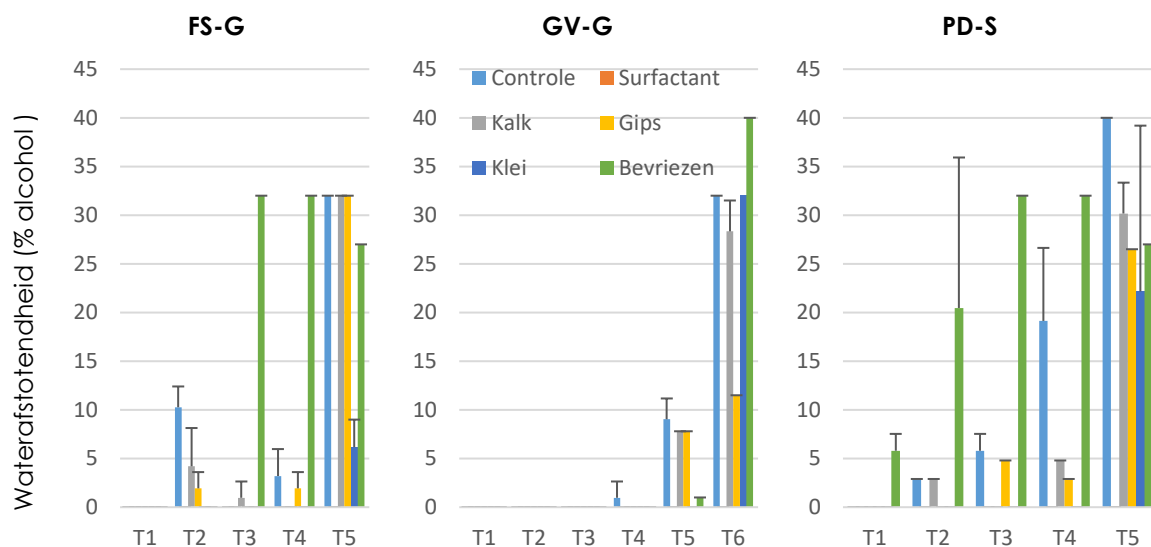
	Correlatie		FS		FV		GV		PD		SH		WO		Gem	Min	Max	CV
	r	P	g	s	g	s	g	s	g	s	g	s	g	s				
fysisch																		
		-0.56 .	0.71	0.61	0.88	0.62	0.90	0.80	0.86	0.51	0.86	0.90	0.61	0.59	0.74	0.51	0.90	19%
		-0.14	1.7	1.1	3.2	2.5	2.5	2.6	3.0	1.7	1.9	2.3	1.7	1.7	2.1	1.1	3.2	28%
		-0.16	2.8	1.8	3.7	3.0	3.8	3.3	3.3	2.2	3.0	2.9	2.5	2.0	2.9	1.8	3.8	22%
		-0.26	2.9	2.5	3.2	2.4	3.5	2.9	2.3	1.6	3.2	2.8	2.6	1.9	2.6	1.6	3.5	20%
Veldmeting	IW 0-10 cm (MPa)	-0.06	3.0	1.9	2.7	1.6	2.9	2.1	1.3	1.1	2.5	1.9	1.8	1.3	2.0	1.1	3.0	30%
	IW 10-20 cm (MPa)	0.28	3.0	2.0	2.8	1.7	2.4	1.6	0.9	1.1	1.9	1.3	1.8	1.4	1.8	0.9	3.0	34%
	IW 20-30 cm (MPa)	0.47	2.7	2.2	3.3	1.7	2.0	1.5	0.7	1.2	1.5	1.1	2.0	1.5	1.8	0.7	3.3	38%
	IW 30-40 cm (MPa)	0.52 .	3.0	2.2	4.1	2.4	2.1	1.5	0.7	1.2	1.4	1.0	2.1	1.6	1.9	0.7	4.1	46%
	IW 40-50 cm (MPa)	0.52 .	3.3	2.2	5.1	3.2	2.3	1.6	0.7	1.3	1.5	1.0	2.2	1.7	2.2	0.7	5.1	53%
	Kruimel 0-25 cm (%)	0.44	55	50	35	25	20	15	25	80	15	35	45	60	38	15	80	50%
	Afgerond 0-25 cm (%)	-0.06	45	50	65	75	60	75	60	20	40	65	55	40	54	20	75	28%
	Scherp 0-25 cm (%)	-0.57 .	0	0	0	0	20	10	15	0	45	0	0	0	8	0	45	175%
Biologisch																		
Veldmeting	Wortels 0-25 cm	0.18	8.0	6.0	8.5	7.0	7.0	7.5	8.0	9.0	6.0	8.0	8.5	9.0	7.7	6.0	9.0	13%
	Jonge wortels 0-25 cm	-0.41	6.0	5.0	3.0	7.0	6.0	5.0	7.0	6.0	7.0	7.0	7.5	7.5	6.2	3.0	7.5	20%
	Wormen aantal 0-25 cm	0.24	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	6.0	2.0	1.0	0.0	6.0	163%
	wormengangen score 0-25 cm	-0.30	7.5	5.0	4.0	4.0	6.5	8.0	5.0	7.0	6.0	8.0	8.0	8.0	6.4	4.0	8.0	24%
Eurofins 0-10 cm	Microbiële acititeit	0.47	299	374	249	389	254	283	250	477	285	246	407	417	328	246	477	24%
	Microbiële biomassa	0.57 .	1878	2468	1708	3536	1954	1930	1686	2379	1340	1229	3261	2564	2161	1229	3536	31%
	Bacteriële biomassa	0.48	597	1133	631	1121	1026	817	718	1088	676	529	1168	898	867	529	1168	26%
	schimmel biomassa	0.39	521	801	367	775	779	624	483	649	441	469	794	584	607	367	801	24%
	Schimmel:Bacterie ratio	-0.25	0.87	0.71	0.58	0.69	0.76	0.76	0.67	0.60	0.65	0.89	0.68	0.65	0.71	0.58	0.89	13%

Bijlage 2: Correlatietabel van hydrofobie in veldvochtige grond met bodemparameters

Tabel B2: Correlatietabel (r-waardes) van hydrofobie gemeten in veldvochtige grond in september met bodemparameters van de goede (g) en slechte (s) percelen van de zes bedrijven. Vetgedrukte correlatiecoëfficiënten zijn significant (P<0.05)

	PA_R1	Waterpeil_sep	Bodemvocht_1-ds_sep	Bodemvocht_grav_sep	Bodemvocht_vol_sep	OS	Lutum	Silt	Zand	N_Tot	P_totaal	K	S_totaal	pH	BD_sep	IW_0_10	IW_31_40	IW_71_80	Kruim_0_25	Afgerond_0_25	Scherp_0_25	Wortels_0_25	Jonge_wortels_0_25	Wormen_aantal_0_25	wormengangen_score_0_25	micro_bm	bact_bm	schim_bm		
Waterpeil_sep		-0.53																												
Bodemvocht_1-ds_sep		-0.10	0.38																											
Bodemvocht_grav_sep		-0.14	0.40	0.99																										
Bodemvocht_vol_sep		-0.70	0.53	0.73	0.75																									
OS		0.72	-0.03	0.49	0.45	-0.20																								
Lutum		-0.83	0.26	0.02	0.03	0.59	-0.77																							
Silt		-0.82	0.45	-0.11	-0.13	0.45	-0.77	0.72																						
Zand		0.63	-0.57	-0.54	-0.49	-0.73	0.18	-0.71	-0.59																					
N_Tot		0.61	0.03	0.59	0.54	-0.08	0.97	-0.63	-0.64	-0.03																				
P_totaal		0.35	0.12	0.64	0.56	0.15	0.74	-0.27	-0.33	-0.36	0.86																			
K		-0.73	0.26	-0.22	-0.19	0.31	-0.65	0.45	0.67	-0.18	-0.60	-0.38																		
S_totaal		0.69	0.07	0.49	0.45	-0.19	0.99	-0.75	-0.73	0.15	0.96	0.71	-0.65																	
pH		-0.80	0.31	0.08	0.06	0.49	-0.51	0.63	0.77	-0.62	-0.36	-0.06	0.77	-0.54																
BD_sep		-0.56	0.00	-0.72	-0.68	-0.05	-0.91	0.58	0.63	0.01	-0.93	-0.74	0.62	-0.89	0.40															
IW_0_10		-0.14	-0.03	-0.56	-0.52	-0.15	-0.53	0.37	0.13	0.12	-0.62	-0.62	-0.03	-0.47	-0.24	0.68														
IW_31_40		-0.04	-0.38	-0.63	-0.60	-0.31	-0.46	-0.12	0.18	0.57	-0.56	-0.61	0.60	-0.50	0.15	0.55	0.14													
IW_71_80		0.53	-0.56	-0.37	-0.32	-0.48	0.16	-0.58	-0.56	0.86	-0.06	-0.39	-0.17	0.10	-0.51	0.02	0.22	0.55												
Kruim_0_25		0.43	0.19	0.42	0.44	-0.14	0.72	-0.61	-0.54	0.21	0.69	0.48	-0.35	0.74	-0.39	-0.75	-0.60	-0.39	-0.01											
Afgerond_0_25		-0.05	-0.25	-0.34	-0.35	0.00	-0.46	0.32	0.24	0.03	-0.51	-0.37	-0.08	-0.51	-0.05	0.50	0.62	0.23	0.27	-0.73										
Scherp_0_25		-0.57	0.01	-0.21	-0.23	0.20	-0.52	0.52	0.52	-0.34	-0.40	-0.27	0.61	-0.50	0.63	0.52	0.16	0.30	-0.30	-0.61	-0.09									
Wortels_0_25		0.17	0.26	0.17	0.23	-0.02	0.16	-0.14	-0.28	0.16	0.08	-0.11	-0.39	0.25	-0.57	-0.27	0.16	-0.37	0.03	0.58	-0.24	-0.57								
Jonge_wortels_0_25		-0.41	0.32	0.48	0.46	0.47	-0.04	0.50	0.30	-0.72	0.10	0.23	0.07	-0.05	0.47	-0.23	-0.30	-0.43	-0.64	0.04	-0.20	0.18	0.06							
Wormen_aantal_0_25		0.24	-0.32	0.41	0.40	0.11	0.21	-0.01	-0.21	-0.10	0.27	0.29	-0.31	0.17	-0.15	-0.49	-0.41	-0.27	-0.10	0.37	-0.22	-0.29	0.39	0.40						
wormengangen_score_0_25		-0.31	0.46	0.35	0.35	0.40	-0.15	0.16	0.47	-0.32	-0.08	0.02	0.24	-0.09	0.19	-0.13	-0.37	-0.04	-0.49	0.27	-0.26	-0.09	0.39	0.40	0.39					
micro_bm		0.57	-0.25	0.59	0.54	0.08	0.70	-0.36	-0.59	-0.03	0.69	0.57	-0.66	0.63	-0.41	-0.77	-0.31	-0.41	0.20	0.29	0.04	-0.47	0.11	0.26	0.54	-0.11				
bact_bm		0.48	-0.10	0.61	0.53	0.15	0.69	-0.29	-0.43	-0.22	0.76	0.82	-0.43	0.65	-0.20	-0.70	-0.40	-0.41	-0.04	0.26	-0.13	-0.23	-0.10	0.17	0.44	-0.09	0.83			
schim_bm		0.39	-0.08	0.51	0.42	0.17	0.53	-0.21	-0.23	-0.24	0.60	0.76	-0.25	0.46	-0.05	-0.56	-0.44	-0.21	-0.08	0.13	0.05	-0.25	-0.24	0.22	0.38	0.06	0.76	0.91		
schim_bact		-0.24	0.16	-0.26	-0.28	-0.03	-0.38	0.15	0.50	-0.05	-0.38	-0.20	0.40	-0.42	0.34	0.31	-0.11	0.39	-0.17	-0.18	0.31	-0.11	-0.17	0.19	-0.16	0.46	-0.29	-0.38	0.02	

Bijlage 3: Mate van hydrofobie en bodemvochtgehalte tijdens meetrondes



Figuur B3. De waterafstotendheid (uitgedrukt in minimale %alcohol waarbij de druppel binnen 10 seconden in de bodem wordt opgenomen) voor de 3 bodems (FS-G, GV-G en PD-S) en zes maatregelen om de waterafstotendheid te verminderen (controle, surfactant, kalk, gips, klei en bevrozen) uitgezet tegen de verschillende meetmomenten (T1-T6) NB. De maatregelen klei en bevrozen zijn op een ander moment gemeten (zie Tabel 1)

Tabel B3. Bodemvochtgehalte (volume %) tijdens de verschillende druppelrondes (T1-T6, zie ook tabel 1) voor de verschillende bodems

Bodem	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
FS-g	21.4%	31.1%	30.6%	29.5%	28.1%	26.3%	23.4%
GV-g	35.9%	50.7%	49.9%	48.0%	45.6%	43.0%	40.0%
PD-s	25.9%	33.6%	32.9%	31.8%	30.4%	28.5%	24.8%