

De effectiviteit van maatregelen tegen hydrofobie op veengrond

Eindrapportage

Nyncke Hoekstra, Luuk Spierings, Thom van der Sluijs



© 2025 Louis Bolk Instituut, Bunnik

De effectiviteit van maatregelen tegen hydrofobie op veengrond

Eindrapportage

Nyncke Hoekstra, Luuk Spierings, Thom van der Sluijs

36 pagina's

Publicatienummer: 2025-6508-LbD

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

Voorwoord

Zes melkveehouders in het Friese veenweidegebied, verenigden zich in 2019 rondom hun 'bodemp Problemen'. Wat speelt er bij hen in de bodem?

In het project "Integrale bodemverbetering Feangreiden" in opdracht van Veenweide Fryslân, en met medefinanciering vanuit Strategisch Bodembeleid van de provincie Fryslân, zijn we samen met de zes deelnemers aan de slag gegaan om oplossingen te vinden voor verschillende thema's in relatie tot bodem.

Eén van deze thema's is gerelateerd aan problemen met een korrelige, stuifgevoelige bodem die geen vocht meer absorbeert en waar het gras slecht groeit tijdens droge periodes. Dit fenomeen, hydrofobie (waterafstotendheid van de bodem), is gerelateerd aan een hoog gehalte aan bodemorganische stof, en heeft een negatief verband met bodem-pH en lutumgehalte.

In dit rapport zijn de resultaten van verschillende proeven gebundeld waarin behandelingen en maatregelen zijn getest die mogelijk invloed hebben op deze bodemparameters en daarmee hydrofobie kunnen tegengaan. Het ging hierbij deels om (lopende) proeven met een heel ander doel (dan hydrofobie) waarin aanvullende metingen zijn gedaan.

Wij bedanken alle bedrijven en onderzoekspartners en projecten met wiens hulp we deze metingen uit hebben kunnen voeren

Samenvatting

Veehouders in het veenweidegebied van Friesland ondervinden in droge zomers veel problemen met een korrelige, stuifgevoelige bodem die geen vocht meer absorbeert en waar het gras slecht groeit tijdens droge periodes. Dit fenomeen, hydrofobie (waterafstotendheid van de bodem), wordt met name bepaald door het bodemvochtgehalte, pH, lutumgehalte en organischestofgehalte:

- Bodemvocht: hydrofobie ontstaat als de bodem sterk uitdroogt en is dan lastig om te keren (pas na langdurige regenval).
- pH: een hogere pH zorgt voor een betere werking van het klei-humuscomplex en daarmee de vochtvasthoudendheid.
- Lutumgehalte: meer kleideeltjes kunnen vocht in de bodem beter vasthouden. Ook kunnen ze, in vergelijking met het veen, beter vocht opnemen na uitdroging.
- Organischestofgehalte: normaliter zorgt organische stof voor betere vochtvasthoudendheid, maar bij uitdroging werkt het juist averechts.

In deze rapportage is bodemhydrofobie gemeten in verschillende proeven waarin maatregelen werden uitgetest die bodemhydrofobie kunnen verminderen door hun mogelijke effect op bodemvocht, pH, lutum en organischestofgehalte, met daarbij de volgende hypothesen:

- Aldeboarn/De Deelen (ADD): Het toepassen van beter bodembeheer resulteert in een verhoging van de pH, betere bodemstructuur en daarmee hoger bodemvochtgehalte.
- Delfstrahuizen:
 - Bekalking resulteert in een hogere pH
 - Gips resulteert in een betere bodemstructuur en vochtvasthoudend vermogen
- Mestproef Koufurderrige: Vaste meststoffen met hoog organischestofgehalte zorgen voor betere bodemstructuur en daarmee bodemvochtgehalte. Anderzijds kan een hoger organischestofgehalte de mate van hydrofobie juist vergroten
- Klei-in-veen: Inmenging van klei in veen resulteert in een hoger lutum- en siltgehalte in de bovengrond. De reactievere kleimineralen kunnen van nature langer vocht vasthouden dan het veen. Ook kunnen ze, in vergelijking met het veen, beter vocht opnemen na uitdroging.
- Boeren op Hoog Water: verhoging van de grondwaterstand resulteert in een hoger bodemvochtgehalte. Dit verlaagt de mate van uitdroging en de kans op het bereiken van de kritische ondergrens aan bodemvochtgehalte voor hydrofobie.

Bodemhydrofobie werd op verschillende dieptes gemeten, zowel in het veld (veldvochtige grond) als in het lab (veldvochtige grond + maximale hydrofobie in luchtdroge grond) met een zogenaamde druppelfest. Resultaten werden gerelateerd aan verschillen in bodemvocht, lutum, pH en organische stof in de bodem.

- Bodemhydrofobie was gemiddeld lager op percelen met aangepast bodembeheer (ADD) ten opzichte van referentiepercelen. Verschillen in hydrofobie waren gerelateerd aan het bodemvochtgehalte en lutumgehalte maar niet aan pH. Daarmee is het lastig om perceels- en behandelingseffecten van elkaar te onderscheiden. Er waren geen verschillen in de maximale mate van hydrofobie in luchtdroge grond.
- Er was een klein niet statistisch significant effect van bekalking en/of gips op bodemhydrofobie in de verschillende meetjaren. Echter, dit effect kon niet duidelijk worden gerelateerd aan een verhoging van pH (was beperkt) of aan een hoger bodemvochtgehalte. Er waren geen verschillen in de maximale mate van hydrofobie in luchtdroge grond.
- Verschillende mestsoorten hadden een duidelijk effect op bodem-pH en OS-gehalte, maar dit vertaalde zich niet in verschillen in bodemhydrofobie onder de relatief natte omstandigheden in najaar 2023. Er waren geen verschillen in de maximale mate van hydrofobie in luchtdroge grond.
- Het opbrengen van 1-2 cm klei op veen percelen (klei in veen) zorgde voor een verhoging in lutum, silt en zandgehalte. Dit zorgde voor een lichte vermindering in bodemhydrofobie onder veldvochtige omstandigheden.
- Er was een klein positief effect van verhoogd grondwaterpeil op de bodemhydrofobie. Echter, met name in de bovenlaag (5 cm) was het effect van verhoogd grondwaterpeil op bodemvocht zeer klein. In de onderlaag (15 cm) is het potentiële effect van verhoogd grondwaterpeil groter, maar onder de relatief natte omstandigheden in 2024 was deze laag bij beide waterpeilen niet hydrofoob.

Overkoepelende data-analyse bevestigde dat een hoger bodemvochtgehalte en lutumgehalte de bodemhydrofobie verlagen, terwijl het OS-gehalte een negatief effect heeft. Er was slechts een klein (niet significant) effect van pH zichtbaar. De verschillen in deze bodemfactoren tussen de verschillende locaties waren groter dan de verschillen als gevolg van de behandelingen binnen de proeven.

Binnen de huidige proeven hebben we gebruikgemaakt van hydrofobiemetingen zowel in het veld als in het lab. Beide methoden hebben voor- en nadelen, maar voor het beste inzicht in hydrofobie bevelen we aan om de veldmethode op verschillende momenten (range nat – droog) toe te passen.

Inhoud

Voorwoord	3
Samenvatting	4
1 Introductie	7
2 Metingen en methode	9
2.1 Druppeltest en bodemvochtgehalte	9
2.2 Data analyse	10
3 Proefopzet	11
3.1 Pilot bodemvruchtbaarheid Aldeboarn / De Deelen	11
3.2 Bekalkingsproef Delfstrahuizen	12
3.3 Mestsoortenproef Koufurderrige	12
3.4 Klei-in-veen	13
3.5 Boeren op Hoog Water	14
4 Resultaten en discussie	16
4.1 Pilot bodemvruchtbaarheid Aldeboarn / De Deelen	16
4.2 Bekalkingsproef Delfstrahuizen	18
4.3 Mestsoortenproef Koufurderrige	24
4.4 Klei-in-Veen	25
4.5 Boeren op hoog water	28
4.6 Overkoepelende analyse	31
4.7 Methode	33
5 Conclusies	35
6 Referenties	36

1 Introductie

Veehouders in het veenweidegebied van Friesland ondervinden gedurende droge zomers 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 langere periodes van droogte en hetere zomers versterkt. Uit een literatuurstudie blijkt dat het hoge organischestofgehalte in veengronden een belangrijke factor is in de hydrofobie (Hoekstra et al., 2020). Deze begint op te treden als de grond uitdroogt voorbij een kantelpunt, het zogenaamde kritische bodemvochtgehalte. Langdurige droogte resulteert in lage grasproductie en een korrelige bodem, die maar heel langzaam herstelt na droogte. In een literatuuronderzoek en laboratoriumstudie als onderdeel van project integrale bodemverbetering in 2020/2021 (Hoekstra et al., 2020) was de mate van hydrofobie sterk gecorreleerd aan het lutum- en siltgehalte (-), het organischestofgehalte (+), het bodemvochtgehalte (-) en de pH (-). Hiermee zijn deze parameters geïdentificeerd als de belangrijkste factoren om de mate van hydrofobie te verlagen. Daarnaast bleek in de laboratoriumproef ook het aanbrengen van gips te leiden tot een verlaging van de mate van hydrofobie.

De afgelopen jaren zijn er verschillende proeven uitgevoerd op veengronden met behandelingen die invloed hebben op één of meerdere van bovenstaande factoren (zie Tabel 1). In de meeste gevallen was bodemhydrofobie niet het (belangrijkste) doel van deze proeven, maar vormde een klein onderdeel van de metingen.

Tabel 1. Overzicht van proeven waarin verschillende maatregelen tegen bodemhydrofobie op veengronden zijn uitgetest, inclusief een beschrijving van de factoren die van invloed zijn op hydrofobie.

Deelproef	Maatregel	Factoren	Opzet	Jaar proef (metingen)*
Aldeboarn / De Deelen (ADD)	Verbeterd bodembeheer	pH, bodemvocht, Structuur	2 bedrijven met proef en referentie perceel	2023-2024
Delfstrahuizen	Kalk en gips	pH structuur	Proefveldjes: Kalk, gips en controle in 4 herhalingen	2021-2024
Mestsoortenproef Koufurderrige	Verskillende mestsoorten	pH, OS	Proefveldjes met 8 mestbehandelingen in 5 herhalingen	2021 – 2024 (2023)
Klei-in-veen	1-2 cm kleigrond opbrengen	Lutum, structuur	12 demovelden waar op de helft van het oppervlak 1-2 cm kleigrond is opgebracht	2024
Boeren op Hoog Water	Verhoogde grondwaterstand	Bodemvocht	15 proefveldjes met hoge of lage grondwaterstand	2020-2024 (2024)

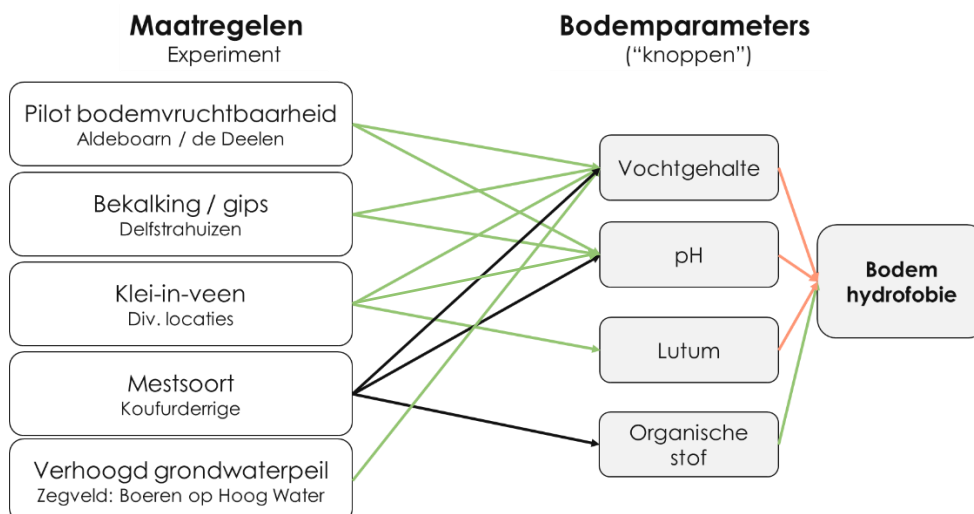
*tussen haakjes jaren waarin hydrofobie gerelateerde metingen zijn uitgevoerd.

In de huidige rapportage hebben we de bevindingen uit de diverse proeven samengebracht om al deze verschillende resultaten bij elkaar te brengen en zo meer inzicht te krijgen in welke

maatregelen het meeste perspectief bieden in het verminderen van bodemhydrofobie in het veenweidegebied.

We verwachten dat de behandelingen in onderstaande proeven resulteren in een vermindering van de mate van hydrofobie door een effect op de volgende factoren (Figuur 1):

- Pilot bodemvruchtbaarheid Aldeboarn/De Deelen: Het toepassen van beter bodembeheer resulteert in een verhoging van de pH, betere bodemstructuur en daarmee hoger bodemvochtgehalte.
- Bekalkingsproef Delfstrahuizen:
 - Bekalking resulteert in een hogere pH
 - Gips resulteert in een betere bodemstructuur en vochtvasthoudend vermogen
- Mestsoortenproef Koufurderrige: Vaste meststoffen met hoog organischestofgehalte zorgen voor betere bodemstructuur en daarmee bodemvochtgehalte. Anderzijds kan een hoger organischestofgehalte de mate van hydrofobie juist vergroten.
- Klei-in-veen: Inmenging van klei in veen resulteert in een hoger lutum- en siltgehalte en pH in de bovengrond. De reactievere kleimineralen kunnen van nature langer vocht vasthouden dan het veen. Ook kunnen ze, in vergelijking met het veen, beter vocht opnemen na uitdroging.
- Boeren op Hoog Water: verhoging van de grondwaterstand resulteert in een hoger bodemvochtgehalte.



Figuur 1. Overzicht van de maatregelen die binnen de verschillende proeven zijn uitgetest en hun verwachte effect op bodemparameters (vochtgehalte, pH, lutum en organischestofgehalte) die van invloed zijn op bodemhydrofobie. Groene pijlen = positief verwacht effect, rode pijlen = negatief verwacht effect.

In deze rapportage geven we eerst een overzicht van de gebruikte methodologie voor het bepalen van hydrofobie, gevolgd door een korte beschrijving van de individuele proeven. Daarna worden per proef de resultaten van de hydrofobie en bodemmetingen beschreven en relevante correlaties hiertussen onderzocht. Ten slotte volgt een algemene discussie over de hydrofobie-resultaten van alle proeven samen en de gebruikte methoden.

2 Metingen en methode

Hieronder volgt een algemene beschrijving van de gebruikte methodologie om de mate van hydrofobie en gerelateerde factoren te onderzoeken. Daarnaast wordt in hoofdstuk 3 de opzet en eventuele aanvullende of afwijkende methoden beschreven voor de verschillende proeven dit binnen deze rapportage zijn samengebracht.

Op alle proefvelden is een bodemonster (mengmonsters 0-10 cm) genomen en de chemische samenstelling bepaald (Eurofins). Daarnaast is de bulkdichtheid bepaald.

2.1 Druppeltest en bodemvochtgehalte

De bodemhydrofobie is bepaald door middel van een druppeltest waarin druppels met een oplopend ethanolpercentage in een oplossingsreeks van: 0%, 3%, 5%, 8.5%, 13%, 24%, 36% en 70% (Hoekstra et al., 2020) op de bodem worden gelegd met behulp van een multipipet (Figuur 2). Het minimale percentage ethanol waarbij de druppel binnen 10 seconden door de bodem wordt opgenomen is een maat van hydrofobie van de bodem. Hoe hoger het ethanolpercentage voordat de druppels door de bodem worden opgenomen, des te groter de bodemhydrofobie (Tabel 2). De druppeltest werd steeds in drie herhalingen gedaan, en kan zowel in het lab als in het veld worden uitgevoerd.

Tabel 2. Het minimale % ethanol waarbij de druppel binnen 10 seconden door de bodem wordt opgenomen als indicator voor bodem hydrofobie (bron: Doerr, 1998)

% Ethanol	Categorie waterafstotendheid
0	Zeer hydrofiel
3	Hydrofiel
5	Licht hydrofoob
8,5	Matig hydrofoob
13	Sterk hydrofoob
24	Zeer sterk hydrofoob
36	Extreem hydrofoob
70	Extreem hydrofoob

2.1.1 Labmetingen

De druppeltest in het laboratorium is uitgevoerd op een mengmonster genomen in het veld met de graslandboor op 0-10 cm diepte. Deze monsters zijn goed gemengd, grove delen zijn verwijderd en in een container met diameter 7 cm afgewogen en aangedrukt tot veldbulk-dichtheid. De eerste druppeltest werd uitgevoerd bij veldvochtige grond, daarna zijn de monsters langzaam gedroogd (bij maximaal 30°C) en werd de grond gemengd en weer aangedrukt, gewogen, en de druppeltest herhaald (luchtdroge grond). Daarna zijn alle monsters gedroogd in de droogstoof en teruggewogen om het (gravimetrische) bodemvochtgehalte te bepalen. Hierbij kan het effect van de maatregelen op de mate van hydrofobie onder

veldvochtige omstandigheden en in luchtdroge grond (maximale hydrofobie) worden vergeleken.

Daarnaast is in een aantal proeven bij monsternamen het (volumetrische) bodemvochtgehalte in het veld gemeten als het gemiddelde van 15 metingen een delta-T bodemvochtsensor (7 cm diepte).



Figuur 2 a) Multipipet waarmee 8 druppels van 10µL met oplopend % ethanol tegelijk kunnen worden gedruppeld. b) het aantal druppels dat na 10 seconden nog zichtbaar is bepaalt de mate van hydrofobie van een bodemonmonster (bij dat bodemvochtgehalte).

2.1.2 Veldmetingen

Daarnaast is de druppeltest uitgevoerd in het veld, bij veldvochtige omstandigheden, op een uitgegraven plag van 20 x 20 x 20 cm. Op deze grondplag is de test op twee dieptes uitgevoerd; 5 cm en 15 cm onder maaiveld, in drie herhalingen op twee plagen per plot (totaal 6 metingen per plot). Het bodemvochtgehalte (volumetrisch) is bepaald met een delta-T bodemvochtsensor in de plag op de diepte waar de druppeltest op was uitgevoerd.

Daarnaast is binnen de bemonstering van de klei-in-veen percelen een nieuwe protocol ontwikkeld waarbij een testoppervlak wordt gemaakt met behulp van een metalen frame, zie paragraaf 3.4.

2.2 Data analyse

Binnen de verschillende proeven, zijn behandelingen (voor zover die in herhalingen zijn uitgevoerd) vergeleken met behulp van ANOVA-analyse, met de behandeling als hoofdeffect en blok als random-effect. Daarnaast is een correlatie-analyse uitgevoerd tussen verschillende parameters om verschillen in hydrofobie en bodem aan elkaar te relateren.

De resultaten van de verschillende proeven zijn gecombineerd in een PCA-analyse en een meervoudige regressieanalyse om meer inzicht te krijgen in de belangrijkste factoren in relatie tot hydrofobie.

3 Proefopzet

3.1 Pilot bodemvruchtbaarheid Aldeboarn / De Deelen

In het gebied Aldeboarn / De Deelen is in 2021 een pilot bodemvruchtbaarheid gestart bij een groep melkveehouders door collectief It Lege Midden in opdracht van Feangreide Fryslân (Groeibalans, 2021). De grondsoort in het gebied is voornamelijk veen met een kleipakket van variërende dikte. Op elk bedrijf is een doel- en referentieperceel geselecteerd. De deelnemers hebben jaarlijks bodemverbeteringsproducten toegevoegd, in de vorm van eierschalenkalk/zeeschelpenkalk (1 ton/ha/j) en zeemineralen (SEA-90) (0,1 ton/ha/j), ter verbetering van de bodemvruchtbaarheid. Eierschalenkalk bestaat voornamelijk uit calciumcarbonaat (ca. 98%), en komt gedurende een periode van 6-10 maanden beschikbaar. Zeeschelpenkalk (grit) bestaat voor 96% uit calciumcarbonaat, en per ton uit 15 kg kali en 1,2 kg fosfor en daarnaast kleine hoeveelheden sporenelementen zoals natrium, magnesium en kobalt. Zeeschelpenkalk heeft een langdurige en gedoseerde werking, en een tragere werking dan eierschalenkalk. De kalkmeststoffen en zeemineralen werden jaarlijks in de periode september/oktober uitgereden. Qua bemesting is op het proefperceel de drijfmest over vier snedes verdeeld (kleinere giften) en alleen voor de eerste en de tweede snede, een beperkte hoeveelheid, kunstmest op ureumbasis gebruikt. De referentiepercelen zijn regulier bemest. In de periode 2021-2024 waren er zes deelnemende bedrijven.

Omdat de verwachting was dat het bodembeheer mogelijk ook een effect op bodemhydrofobie zou kunnen hebben, zijn er vanuit het huidige project hydrofobiemetingen uitgevoerd op twee bedrijven in september 2023 en 2024 (Tabel 3).

In het veld zijn de druppeltesten uitgevoerd in vier pseudo-herhalingen per perceel. In 2023 op 2 cm diepte (vlak onder zode), in 2024 op 5 en 15 cm diepte. Labmetingen zijn uitgevoerd met een bulkmonster uit de betreffende percelen, op zowel veldvochtige als luchtdroge monsters. In 2023 is een bodemchemische analyse uitgevoerd.

Tabel 3 Overzicht locatie - behandeling hydrofobieproef Aldeboarn / De Deelen.

Code (Bedrijf - behandeling) Behandeling	
B1 – REF	Gangbaar
B1 – PROEF	Beter bodembeheer
B2 – REF	Gangbaar
B2 – PROEF	Beter bodembeheer

3.2 Bekalkingsproef Delfstrahuizen

Op een droogtegevoelig veenperceel op een melkveebedrijf te Delfstrahuizen is in 2021 een veldproef uitgezet in vier herhalingen op plots van 2,5 m x 10 m (Tabel 4) om het effect van kalk (KA) en gips (GI) aanwending t.o.v. een controlebehandeling (C) op hydrofobie te testen. Het kalkproduct Dologran (85% Calciumcarbonaat + 15% magnesiumoxide), en gipsproduct Calcifert (45% Calciumoxide + 55% zwaveltrioxide) zijn jaarlijks handmatig aangebracht in het voorjaar (maart/april), met een dosering van 1500 kg/ha. Algemene bemesting werd uitgevoerd door de melkveehouder. Tussen 2021 en 2024 zijn metingen gedaan aan hydrofobie, bodemvocht, waterinfiltratie, en grasopbrengst en voederwaarde.

Vlak na verschillende snedes (2021: 1/7, 20/9; 2022: 3/6, 6/7, 18/8, 13/10; 2023: 8/5, 14/8, 9/10 en 2024: 14/5, 9/7, 18/9) is een bodemmonster genomen voor het uitvoeren van de druppeltest in het lab. Op hetzelfde moment is het bodemvochtgehalte in het veld bepaald met een vochtsensor. Daarnaast zijn in september 2023 en 2024 druppeltesten in het veld uitgevoerd.

Grasopbrengstbepalingen zijn uitgevoerd in overleg met de melkveehouder. Grasopbrengst is bepaald met een maaibalk, waarna het versgewicht en het oppervlakte van de uitgemaaide strook werd bepaald. Een submonster werd gedroogd voor drogestofbepaling en ook werd de voederwaarde (NIRS, Eurofins) en mineraalinhoud bepaald (Klassiek, Eurofins).

Tabel 4 Hydrofobiebehandelingen Delfstrahuizen.

Code	Behandeling	Dosering	Eenheid
C	Controle	-	-
KA	Kalk	1500	Kg / ha
GI	Gips	1500	Kg / ha

3.3 Mestsoortenproef Koufurderrige

In 2021 is een proefveld aangelegd in Koufurderrige. De bodem bestaat uit een humeus kleidek van 20-35 cm dikte met een lutumgehalte van 38% en een organischestofgehalte 19%. Ondanks het relatief lage organischestofgehalte van de bodem, en classificering als kleigrond, ervaart deze bodem ook problemen rond stuifgevoeligheid en hydrofobie. Dit komt voornamelijk door een storende schalterveenlaag onder het kleidek, die een negatieve invloed uitoefent op waterinfiltratie en capillaire werking van de bodem. Deze vermindering van bodemhydrologische functies resulteert in sterkere verdroging van de bodem tijdens droge periodes en vergroot problemen met bodemhydrofobie. Het proefveld bestond uit acht bemestingsbehandelingen (Tabel 5) in vijf herhalingen, resulterend in 40 plots. De bemestingsniveaus zijn afgestemd op stikstofgift (200 kg N/ha tot 2022, 170 kg N/ha vanaf 2023), wat door verschillen in meststoffenstelling leidde tot variërende giften van organische stof tussen de mestsoorten (Tabel 5). De bemesting is ieder jaar uitgevoerd (2021-2024), verdeeld over twee giften voor de eerste en tweede snede.

Om de potentiële invloed van de bemestingsbehandelingen op bodemhydrofobie te bepalen is in 2023 een druppeltest uitgevoerd in het lab op bodemonsters (mengmonster 0-10 cm, graslandboor, oktober 2023) van alle 40 plots.

Tabel 5. Beschrijving van bemestingsbehandelingen, manier van aanwending en de doelbemesting van N (kg N/ha/jaar) en de daarmee samenhangende organische stof gift.

Behandeling	Code	Aanwending	N	OS
Controle	C	-	0	0
Kunstmest (KAS)	KM	Handmatig	200-170	0
Dunne fractie	DuF	Zodenbemester	200-170	Laag
Drijfmest	DM	Zodenbemester	200-170	Laag
Dikke fractie	DiF	Handmatig	200-170	Mid
Vaste mest	VM	Handmatig	200-170	Mid
Bokashi	BK	Handmatig	200-170	Mid
Gehakseld stro	S	Handmatig	laag	Hoog

3.4 Klei-in-veen

Binnen het Veenweiden Innovatie Programma Nederland (VIPNL) wordt klei in veen onderzocht als klimaatmitigatiemaatregel voor het veenweidegebied. Hierbij wordt een dunne laag klei (1-2 cm) aangebracht op de bodem. In het laboratorium is aangetoond dat sommige kleisoorten zorgen voor een verminderde CO₂-uitstoot door veenafbraak. In het veld is dit nog niet aangetoond. De eerste CO₂-meetopstellingen zijn in juni 2024 aangelegd, de eerste resultaten worden in 2025 verwacht. Ondertussen worden allerlei andere aspecten van klei in veen onderzocht.

Hoe kan de klei het beste aangevoerd, verwerkt en opgebracht worden? Wat doet de extra klei met draagkracht, vochthuishouding, bodemleven alsook grasproductie? Om deze vragen te kunnen onderzoeken is tussen 2019 en 2022 een netwerk van zestien demovelden aangelegd in verschillende veenweidegebieden. Hier is veelal met breedstrooiers en soms met kettingstrooiers een laagje van 1-2 cm klei gestrooid over een deel van het perceel. Dit komt overeen met 10-20 kg droge klei per m². Het andere deel van het perceel dient als referentie om vergelijkend onderzoek te kunnen doen.

Eind augustus 2024 is in alle demovelden gemeten aan hydrofobie, in zowel de met klei behandelde zijde en de referentiezijde van elk perceel. Dit is gebeurd in duplo in een plot van 5 bij 5 meter. Hydrofobie is bepaald op veldvochtig veen in een metalen bakje dat in een plaggat (Figuur 3), net onder de graszode (op ~3 cm diepte) de grond in werd gedrukt. De dimensies van het bakje zijn lxbxh 9,3x6,5x2,5 cm. Nadat het bakje op deze manier is gevuld, werd het uitgegraven, voorzien van dekseltjes aan beide zijdes en bewaard op 4°C tot het moment van meten. Hydrofobie is vervolgens op veldvochtige grond bepaald volgens de eerder beschreven methode, op ongeveer 5 en 10 cm onder het maaiveld.



Figuur 3. Het gebruik van een metalen frame in het veld om goed testoppervlak te maken om de druppeltest uit te kunnen voeren

3.5 Boeren op Hoog Water

In het Klimaatakkoord van Parijs (2015) heeft Nederland afgesproken om de broeikasgasemissies te verminderen, o.a. via verhoging van de grondwaterstand in het veenweidegebied. Maar een hogere grondwaterstand heeft invloed op het gehele bedrijfssysteem van agrariërs. Daarom onderzoekt het onderzoeksprogramma Boeren op Hoog Water sinds 2020 een alternatief bedrijfssysteem. Wat betekent een verhoging van de grondwaterstand voor het economisch perspectief van de melkveehouderij?

Het onderzoek gaat in op verschillende thema's, zoals grasproductie, waterkwaliteit, bedrijfseconomie, bodem, klimaat en diergezondheid en wordt uitgevoerd op de Hoogwaterboerderij van proefbedrijf KTC Zegveld. Het doel van het onderzoek op de Hoogwaterboerderij is te onderzoeken of een melkveebedrijfssysteem op veengrond met een grondwaterstand van ca. 20 cm beneden maaiveld minder bodemdaling en broeikasgasemissies oplevert, en tegelijkertijd voldoende economisch perspectief biedt ten opzichte van een melkveebedrijfssysteem met een grondwaterstand van ca. 50 cm beneden maaiveld.

In augustus 2024 is op 16 meetplots bodemhydrofobie gemeten. Van deze plots waren 7 laagwater veenweidepercelen (gem. grondwaterstand -57 cm onder maaiveld) en 9 hoogwater veenweidepercelen (gem. grondwaterstand -32 cm onder maaiveld). De druppeltest is zowel in het veld uitgevoerd (op 5 en 15 cm diepte) als in het lab (mengmonster 0-10 cm veldvochtig en luchtdroge bodem).

4 Resultaten en discussie

In onderstaande hoofdstuk wordt eerst het effect van de maatregelen op hydrofobie binnen de verschillende proeven gepresenteerd. Dit wordt gevolgd door de correlatie analyse tussen bodemhydrofobie, bodemvocht en andere bodemfactoren en een discussie van de belangrijkste bevindingen.

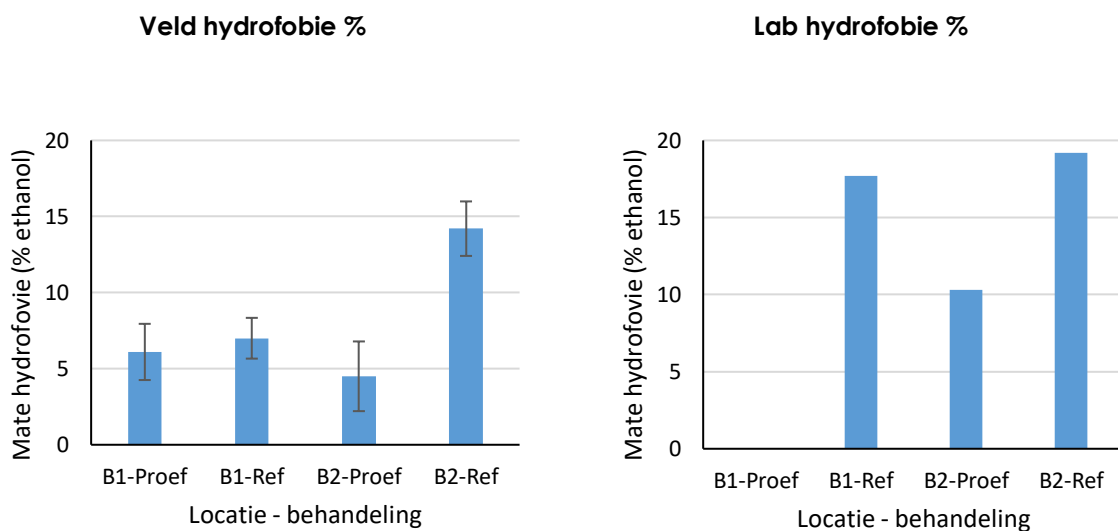
Daarna volgt een overkoepelende analyse van alle proeven en maatregelen en worden de methoden voor het meten van hydrofobie besproken.

4.1 Pilot bodemvruchtbaarheid Aldeboarn / De Deelen

4.1.1 Hydrofobie

2023

In 2023 was de hydrofobie gemiddeld genomen lager voor proefpercelen (waarop optimaal bodembeheer was toegepast) t.o.v. de referentie, al was dit niet statistisch aantoonbaar doorat deze proef niet in herhalingen is aangelegd (Figuur 4). De mate van hydrofobie varieerde van zeer hydrofiel (niet hydrofoob, Lab – B1-Proef) tot sterk hydrofoob (B2-Ref Lab en veld, B1-Veld). In de veldmeting was het verschil tussen het proef- en referentieperceel groter bij bedrijf B2 dan bedrijf B1, terwijl dit in de labmeting juist omgekeerd was.

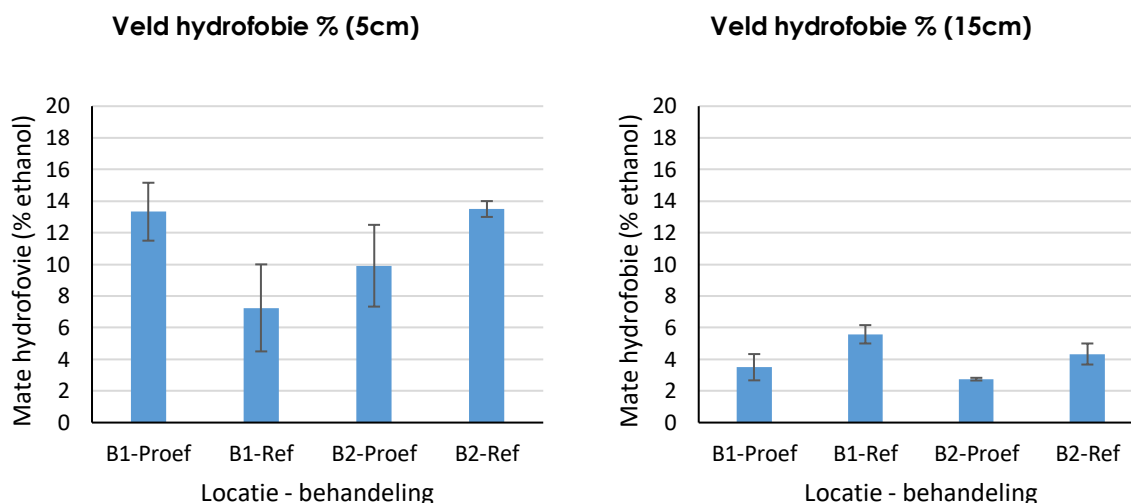


Figuur 4. 2023: Hydrofobie-resultaten voor a) veldmetingen op 2 cm diepte b) labmetingen veldvochtig (mengmonster 0-10 cm).

2024

In 2024 is de hydrofobiemeting in het veld op 5 en 15 cm diepte uitgevoerd. In dit jaar was er op geen van de proefpercelen sprake van sterke hydrofobie. Met uitzondering van bedrijf B1 op 5 cm, was de hydrofobie op de proefpercelen steeds lager dan dat van de referentiepercelen,

maar de effecten leken nu juist sterker op 15 cm diepte (Figuur 5b). De resultaten van de druppeltest uitgevoerd in het lab in 2024 toonden geen verschil tussen behandelingen.



Figuur 5 Veldmeting hydrofobie-resultaten gemeten in 2024 voor a) 5 cm diepte b) 15 cm diepte.

4.1.2 Bodem

Bodemvochtgehaltes van beide meetjaren toonden geen duidelijke verschillen tussen behandelingen (Tabel 6).

Tabel 6 Bodemvochtresultaten voor 2023 en 2024 op verschillende dieptes (2 cm, 5 cm, 10 cm en 15cm) in het veld.

Behandeling	Methode	2023		2024		
		2 cm	10 cm	5 cm	10 cm	15 cm
Bodemvocht (%)						
B1_Proef	SMC veld	22,2%	30,0%	12,9%	13,2%	23,1%
B1_Ref	SMC veld	22,7%	31,8%	12,6%	15,6%	23,1%
B2_Proef	SMC veld	23,2%	31,6%	19,0%	15,1%	23,0%
B2_Ref	SMC veld	18,3%	32,6%	12,9%	16,1%	22,0%

Het gemiddelde organischestofgehalte van de percelen was 20,5% (Tabel 7). Het laagste OS-gehalte was gemeten voor de B1-proeflocatie en het hoogste voor B2-proef. Op bedrijf B1 was de pH van het proefperceel iets hoger dan die van het referentieperceel, maar op bedrijf B2 was dit juist omgekeerd. Het gemiddelde lutumgehalte was 39,3% met een spreiding van 36% - 46%. Met vooral het B2-proefperceel hoger dan de overige percelen. Dit laatste is niet een effect van het aangepaste bodembeheer, maar een perceelkarakteristiek.

In lijn met de verwachting, was de mate van bodemhydrofobie negatief gecorreleerd aan bodemvocht (2023: $r = -0.81$; 2024: $r = -0.86$) en bodemlutumgehaltes (2023: $r = -0.59$). De pH van de bodem vertoonde geen significante correlaties met de mate van bodemhydrofobie.

Tabel 7 Resultaten van de bodemchemische analyse, uitgevoerd in oktober 2023.

Parameter	Eenheid	B1		B2	
		Proef	Ref	Proef	Ref
OS	%	16,1	20,6	24,2	21,4
pH	-	5,6	5,3	5,2	5,4
Lutum	%	38	37	46	36
Silt	%	25	24	26	33
P-PAE	mg kg ⁻¹	0,5	0,8	1	1,4
S-PAE	mg kg ⁻¹	18,1	24,6	28,7	35,4

4.1.3 Discussie

Op deze veenpercelen met een relatief hoog lutumgehalte lijkt er een trend voor lagere bodemhydrofobie door het toepassen van "optimaal bodembeheer" bestaande uit een combinatie van biologische kalkproducten (eierschaal/zeeschelpen), zeemineralen en aangepast bemestingsbeleid van kleinere giften.

De lagere mate van hydrofobie was met name gecorreleerd aan een hoger bodemvochtgehalte. Dit zou een direct effect kunnen zijn van het aangepaste bodembeheer, maar we kunnen niet uitsluiten dat inherente verschillen tussen de percelen hieraan hebben bijgedragen (door verbetering vochtvasthoudend vermogen van de bodem).

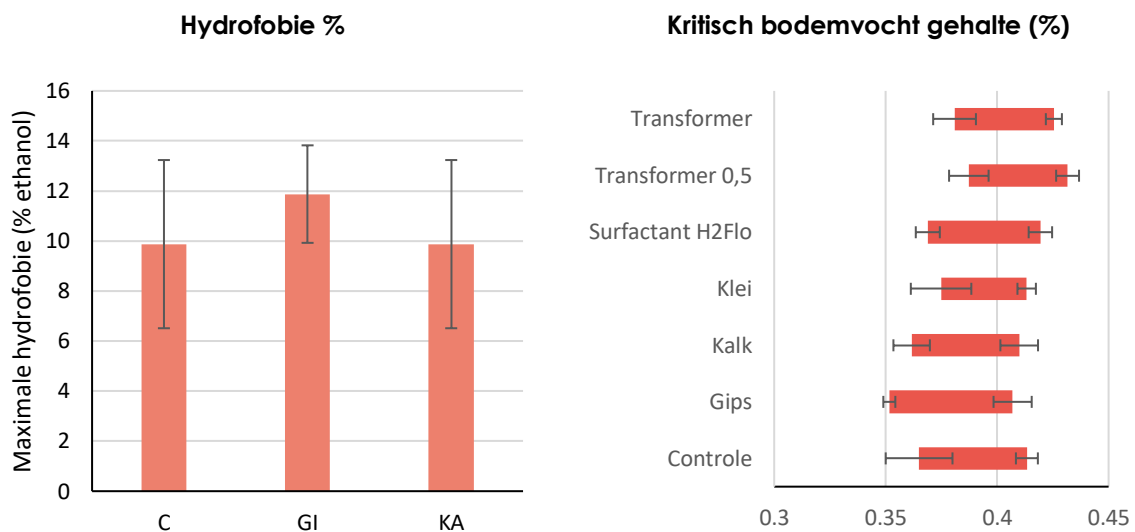
Daarnaast was een lagere mate van hydrofobie ook gerelateerd aan een hoger lutumgehalte. Aangezien het onwaarschijnlijk is dat bodembeheer hier een effect op heeft, is dit waarschijnlijk een perceelseffect: het lutumgehalte op het proefperceel van B2 was duidelijk hoger dan op het gepaarde referentieperceel, wat (een deel van) het positieve effect op hydrofobie zou kunnen verklaren.

In tegenstelling tot de verwachtingen was de mate van hydrofobie niet gerelateerd aan pH. Het bodembeheer had geen consistent effect op de pH en de range was klein (5,2 – 5,6).

4.2 Bekalkingsproef Delfstrahuizen

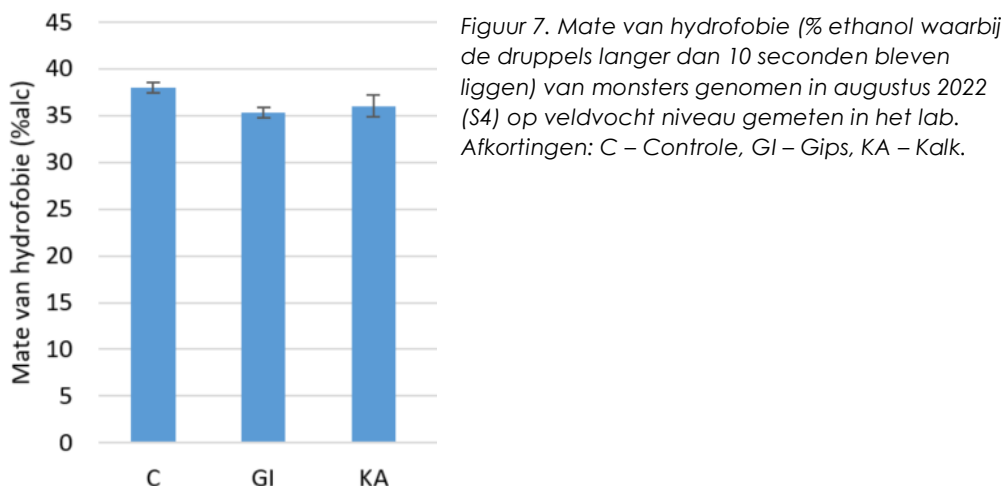
4.2.1 Hydrofobie

In 2021 was er geen sprake van sterke droogte in het veld, en waren geen van de bodemmonsters genomen in augustus 2021 hydrofoob bij veldvochtgehalte. Tijdens de droogstappen bij de druppeltest in het laboratorium werden alle behandelingen langzaam hydrofoob (omslagtraject = kritische bodemvochtgehalte). Er was echter geen (significant) verschil tussen de behandelingen in kritisch bodemvochtgehalte of in de maximale hydrofobie in luchtdroge grond (Figuur 6). Er was dus geen indicatie dat de behandelingen een effect hadden op de waterafstotendheid in de bodem of de gevoeligheid hiervoor bij uitdroging in het lab.

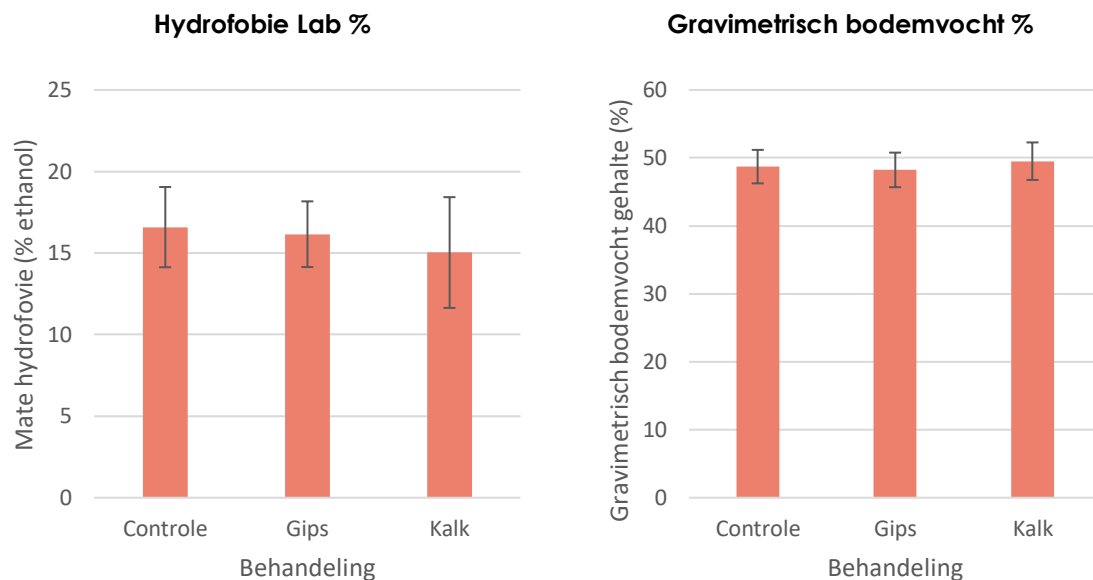


Figuur 6 a) Maximale mate van hydrofobie (luchtdroge grond) en b) het kritische bodemvochtgehalte gemeten in 2021 waarbij de bodem van niet hydrofoob (rechterkant van de balken) overgaat naar maximaal hydrofoob (linkerkant van de balkjes). Hoe verder de balkjes naar links schuiven, hoe droger de bodem kan zijn voordat deze hydrofoob wordt. Afkortingen: C – Controle, GI – Gips, KA – Kalk.

In 2022, het tweede jaar van toepassing van de behandelingen, zijn na de tweede snede (S2) en na de vierde snede (S4) bodemmonsters genomen voor het bepalen van hydrofobie. Tijdens S2 waren geen van de behandelingen hydrofoob op het moment van bemonsteren, bij een bodemvochtgehalte tussen 36% en 39%. Na drogen van de monsters, waren de bodemmonsters van alle behandelingen hydrofoob. Er was geen significant verschil tussen de diverse behandelingen in mate van hydrofobie of bodemvochtgehalte. De bodemmonsters genomen na de vierde snede (augustus), waren allemaal sterk hydrofoob (Figuur 7). Er was geen significant verschil tussen de behandelingen in mate van hydrofobie of bodemvochtgehalte (gemiddelde was 32 %), maar er was wel een voorzichtige trend dat de controlebehandeling een hogere mate van hydrofobie liet zien dan de overige behandelingen.

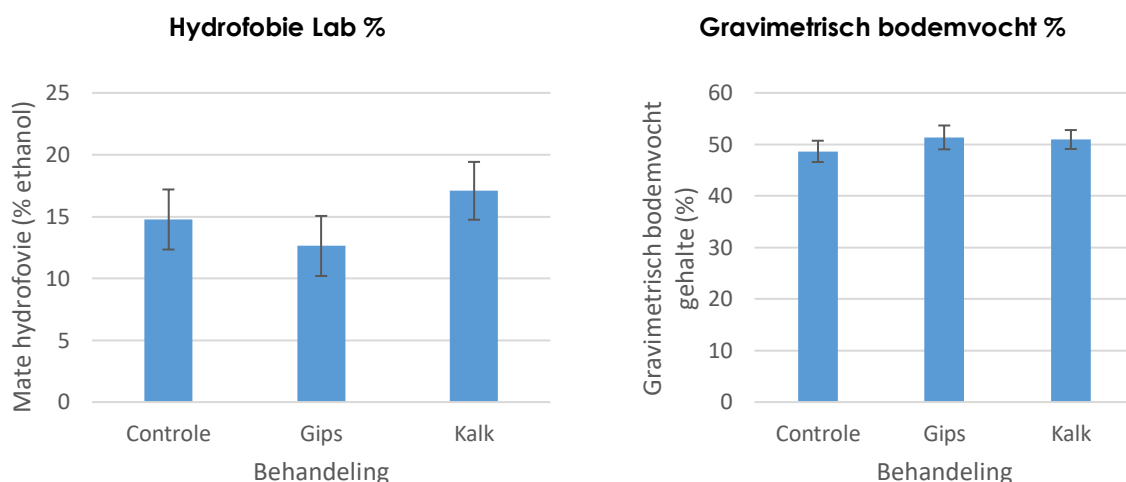


In 2023 zijn de bodemhydrofobie en bodemvocht in vier meetrondes bepaald onder veldvochtige omstandigheden na elke snede (gemiddeld bodemvocht 47% - 49%). Binnen de meetrondes waren er geen significante verschillen in hydrofobie of bodemvocht tussen behandelingen. Gemiddeld over de vier meetrondes, was er een lichte trend van lagere hydrofobie bij kalk ten opzichte van de controlebehandeling en een licht hoger bodemvochtgehalte (Figuur 8).



Figuur 8 Gemiddelde hydrofobie en bodemvochtgehalte per behandelingen over de vier meetrondes in 2023 gemeten in veldvochtige grond in het lab.

In 2024 zijn de druppeltesten uitgevoerd in drie rondes. Gips toonde gemiddeld de laagste mate van hydrofobie, gevolgd door de controle (Figuur 9). Voornamelijk in ronde 2 was er een opmerkelijk verschil in de hydrofobie van de gipsbehandeling met een lagere hydrofobie t.o.v. de andere behandelingen, al was het verschil niet significant ($p=0,07$). De lagere hydrofobie van gips in ronde 2 (en ronde 1), komt overeen met een hoger volumetrisch bodemvochtgehalte voor deze behandeling t.o.v. kalk en de controle tijdens deze meetrondes. Onder luchtdroge omstandigheden waren er geen verschillen in de hydrofobie tussen behandelingen. De controlebehandeling toonde gemiddeld een lager gravimetrisch bodemvochtgehalte vergeleken met gips- en kalkbehandeling (Figuur 9).



Figuur 9. a) Hydrofobie veldvochtige grond in het lab en b) gravimetrisch bodemvochtgehalte gemiddelde over drie meetrondes in 2024.

Tabel 8 toont de resultaten van de veldmeting uitgevoerd op 9 september 2024. Geen van de behandelingen waren sterk hydrofoob, en er waren geen significante verschillen tussen behandelingen.

Tabel 8 Hydrofobie (% ethanol) en bodemvocht (volumetrisch) van de veldmeting in 2024. standaard fout is gegeven tussen haakjes.

Meting	Diepte (cm)	Controle	Gips	Kalk	p-waarde
Hydrofobie	5	10.7 (3.2)	11.9 (4.9)	10.5 (2.3)	NS
Hydrofobie	15	1.9 (0.7)	1.3 (0.6)	2.3 (1.3)	NS
Bodemvocht	5	15 (1.1)	13.2 (1.5)	12.6 (0.6)	NS
Bodemvocht	15	17.5 (1.2)	16.9 (1.1)	16.9 (1.3)	NS

4.2.2 Bodem chemisch

In oktober 2023, is een bodemchemische analyse uitgevoerd (Tabel 9). De pH van beide behandelingen was significant verhoogd t.o.v. de controle, maar het verschil was zeer klein. De pH-verhoging bij gips was onverwacht, omdat gips geen carbonaat (CO_3^{2-}) bevat zoals kalk, maar sulfaat (SO_4). Carbonaat is het onderdeel van kalk (CaCO_3) wat waterstofionen (H^+) uit de bodemoplossing haalt, waardoor de pH wordt verhoogd. Gips kan wel een rol spelen in het verminderen van aluminiumtoxiciteit bij extreem zure bodemomstandigheden. Ook kan het natrium- en kaliumionen bufferen uit het CEC, wat ook wordt geobserveerd in het Na-gehalte van de bodem (Tabel 9).

De gipsbehandeling toonde een hogere fractie plantbeschikbare zwavel, wat zich overigens niet uitte in het S-totaalgehalte in de bodem. De plantbeschikbaarheid van metaal kationen boor, mangaan, kobalt en zink waren significant lager bij de kalkbehandeling. Het is bekend dat de

beschikbaarheid van deze sporenelementen wordt beïnvloed door pH, calciumgehalte en reductie/oxidatie processen in de bodem (Alejandro et al., 2020).

Tabel 9 Bodemchemische resultaten per behandeling. Meting uitgevoerd in oktober 2023.

	Eenheid	Controle	Gips	Kalk	p-waarde
pH	-	5b	5.2a	5.1a	0.04
S-PAE	mg kg ⁻¹	28b	250a	28b	0.044
Na	g kg ⁻¹	87a	68b	85a	<0,001
B	mg kg ⁻¹	886a	849a	741b	0.02
Mn	mg kg ⁻¹	4938a	4543a	2520b	0.0012
Co-PAE	mg kg ⁻¹	16a	16a	11b	0.012
Zn-PAE	mg kg ⁻¹	2310a	2270a	1238b	<0,001

Er zijn geen significante correlaties tussen bodemhydrofobie, bodemvocht en bodemchemische parameters gevonden.

4.2.3 Grasopbrengst en voederwaarde

Drogestofopbrengst

In geen van de jaren was er een significant effect van de gips en kalk behandeling op de drogestofopbrengst (Tabel 9). In 2021 was dit niet onverwacht, aangezien de behandelingen nog maar net waren ingezet en er ook geen sprake was van droogte. Maar ook in het relatief droge 2022 waren er geen verschillen. In 2024 was de drogestofopbrengst bij de gipsbehandeling gemiddeld 1300 kg/ha hoger dan voor de controle, maar door de grote variatie in opbrengsten tussen plots binnen dezelfde behandeling was dit niet statistisch significant. We hebben (mede door grote variatie binnen proefvelden en een aantal missende snedes) dus geen effect van gips- en kalkbehandeling op de drogestofopbrengst aan kunnen tonen.

Tabel 10 Overzicht, grasland drogestofopbrengsten (kg DS/ha) over alle meetjaren. Standaardfout is gegeven tussen haakjes.

Meetjaar:	# snedes opbrengst	Controle	Gips	Kalk	Behandeling
2021	S2 en S3	3470 (197)	3389 (247)	3187 (346)	NS
2022	S2-S5	7453 (525)	7644 (734)	6870 (717)	NS
2023	S1, S2, S4	5135 (408)	4819 (358)	4884 (406)	NS
2024	S1, S2, S4	8345 (225)	9627 (312)	8616 (284)	NS

P- en K-opname

In de eerste drie meetjaren waren er geen significante verschillen in P- en K-opname van het grasland. In 2024, was er een significant hogere P- en K-opname bij de gipsbehandeling in snede 2 (Tabel 11). Gemiddeld over alle snedes was het verschil niet significant.

Tabel 11 P- en K-opbrengst (kg / ha) per snede in 2024. Standaardfout is gegeven tussen haakjes, en letters tonen significante verschillen tussen behandelingen.

	Datum	Snede	Controle	Gips	Kalk	p-waarde
P-opbrengst	14-05-2024	S1	13.3	16.1	13.2	NS
	09-07-2024	S2	11.1 ^a	12.9 ^{ab}	10.2 ^b	< 0,05
	18-09-2024	S4	4.9	5.1	4.9	0.08
	Totaal	-	29.2 (1.1)	34.1 (1.4)	28.3 (1.1)	0.08
K-opbrengst	14-05-2024	S1	112	138	120	NS
	09-07-2024	S2	113 ^{ab}	125 ^a	104 ^b	< 0,05
	18-09-2024	S4	51	51	49	NS
	Totaal	-	276 (8.9)	314 (11.4)	273 (9.9)	NS

Mineralengehaltes

In 2023 en 2024 toonde de kalkbehandeling een significant lager mangaan (Mn) gehalte in het gras (Tabel 12). zink (Zn) en ijzer (Fe) gehalten waren ook lager voor deze behandeling. Het lagere Mn-gehalte gemeten in het gras, reflecteert de lagere plantbeschikbare fractie van Mn in de bodem (Tabel 9). Al ligt het Mn-gehalte van deze behandeling binnen de ondergrenswaarde van 30-40 mg Mn per kg droge stof (Malestein, 2004). Opvallend is dat er geen verschil is in calciumgehalten van het gras, ondanks het toevoegen van kalk en gips. T.o.v. de overige behandelingen toont de kalkbehandeling in 2024 lagere gehalten aan P, K en S, en heeft de gipsbehandeling een significant verhoogd zwavelgehalte t.o.v. 2023 (Tabel 12). Dit reflecteert de hogere plantbeschikbare zwavelfractie in de bodem bij de gipsbehandeling (Tabel 9). De kalkbehandeling toont significant lagere mangaan- en zinkgehalten, met grotere verschillen dan in 2023, maar nog binnen de grenswaardes.

Tabel 12 Gemiddelde mineralengehaltes (g/kg DS)) als gewogen gemiddelde van de verschillende snedes. Letters tonen significante verschillen tussen behandelingen.

2023	Eenheid	Controle	Gips	Kalk	p-waarde
Zwavel	g kg ⁻¹ DS	3.2	3.4	3.1	NS
Calcium	g kg ⁻¹ DS	4.5	4.6	4.6	NS
Mangaan	mg kg ⁻¹ DS	94 ^a	92 ^a	60 ^b	0.01
Zink	mg kg ⁻¹ DS	36	36	33	NS
IJzer	mg kg ⁻¹ DS	238	224	149	NS
Koper	mg kg ⁻¹ DS	7.2	7.6	7.1	NS
2024					
Stikstof	g kg ⁻¹ DS	28	25	26	NS
Fosfor	g kg ⁻¹ DS	3.5	3.5	3.3	NS
Kalium	g kg ⁻¹ DS	33	33	32	NS
Zwavel	g kg ⁻¹ DS	3.5 ^b	4.4 ^a	3.1 ^b	<0.001
Magnesium	g kg ⁻¹ DS	2.3 ^a	2.2 ^b	2.2 ^{ab}	0.05
Mangaan	mg kg ⁻¹ DS	99 ^a	120 ^a	67 ^b	0.01
Zink	mg kg ⁻¹ DS	35 ^b	38 ^a	31 ^c	0.002
IJzer	mg kg ⁻¹ DS	288	408	193	NS

4.2.4 Discussie

In de verschillende meetjaren was er afwisselend een licht positief effect van de kalk- en gipsbehandeling op de mate van hydrofobie. Echter (mede) door grote variatie binnen het perceel waren er geen significante verschillen. De jaarlijkse dosering van kalk (Dologran) (1500 kg / ha; 85% Calciumcarbonaat + 15% Magnesiumoxide) resulteerde in een ondermaatse verhoging van bodem pH t.o.v. de doelstelling, mogelijk beïnvloed door de hoge CEC en buffercapaciteit van de bodem. Hierdoor was er ook geen significant effect op de gras drogestofopbrengst.

4.3 Mestsoortenproef Koufurderrige

Er waren geen significante verschillen in hydrofobie en bodemvocht tussen de verschillende bemestingsbehandelingen in zowel de veldvochtige monsters (Tabel 13) als de luchtdroge metingen. Er waren geen significante correlaties tussen hydrofobie, bodemvocht en bodemchemische parameters.

Tabel 13. Hydrofobie (% ethanol, veldvochtige bodem, labmeting) en bodemvocht (%) resultaten voor de mestsoortenproef te Koufurderrige in 2023.

Parameter	Behandeling*								p-waarde
	C	KM	DuF	DM	DiF	VM	BK	S	
Hydrofobie-veldvochtig	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	NS
Luchtdroog	36%	36%	36%	36%	36%	36%	36%	36%	NS
Bodemvocht-veldvochtig	0.19	0.21	0.20	0.21	0.19	0.23	0.22	0.23	0.06
pH	5.5	5.5	5.8	5.7	5.9	5.6	5.6	5.5	<0,01
Organische stof	17.8	18.3	19.1	19	18.9	18.8	19.9	18.5	<0,001
Lutum	37	38	38	37	37	38	38	38	ns

*C=Controle, KM=kunstmest, DuF = dunne fractie, DM = drijfmest, DiF = dikke fractie, VM = vaste mest, BK = bokashi, S = stro.

Onder de relatief vochtige omstandigheden in (najaar) 2023 en het relatief hoge lutumgehalte van de klei-op-veenbodem was er geen sprake van hydrofobie. Op het moment dat de bodem helemaal luchtdroog was, was er bij alle behandelingen sprake van maximale hydrofobie. Mogelijk zijn er wel verschillen in hydrofobie zichtbaar rond het kritieke bodemvochtgehalte waarbij hydrofobie gaat spelen (tussen veldvochtig en luchtdroog in), maar dat is in de huidige opzet niet gemeten. Gedurende de droge zomers van 2018-2020 was er op deze bodem sprake van sterke uitdroging en verkrumming van de bodem, waarschijnlijk gerelateerd aan bodemhydrofobie. De huidige resultaten geven geen indicatie dat deze gevoeligheid kan worden beïnvloed door het type mest (en de gerelateerde effecten op bodem OS, pH en bodemvocht). De mestproef loopt nog door tot eind 2025.

4.4 Klei-in-Veen

4.4.1 Hydrofobie

Hydrofobie in de kleibehandeling op 5 cm diepte was gemiddeld lager dan in de referentie ($p < 0,05$, Tabel 14). Ook op 15 cm diepte was de gemiddelde hydrofobie lager op de kleibehandeling, maar dit verschil was veel minder groot. Het valt op dat de verschillen in mate van hydrofobie tussen percelen hoger is dan tussen behandelingen. In twee demovelden was de mate van hydrofobie in de kleibehandeling hoger uitgeslagen dan in de referentie.

Tabel 14. Hydrofobie per demoveld gemeten op 5 of 15 cm diepte (veldmeting), uitgedrukt in het percentage ethanol waarbij druppels nog door het veen worden opgenomen. Referentie = referentiezijde van het demoveld; Klei = de met kleibehandelde zijde van het demoveld.

Demoveld	Hydrofobie 5 cm [%]			Hydrofobie 15 cm [%]		
	Referentie	Klei	Vershil	Referentie	Klei	Vershil
1	14,6	0,5	-14,1	4,7	2,2	-2,5
2	12,6	8,1	-4,5	7,5	1,3	-6,2
3	8,8	7,3	-1,5	11,4	6,8	-4,6
4	32,0	21,4	-10,6	22,2	21,6	-0,6
5	15,7	21,7	6,0	18,5	21,4	2,9
6	35,1	13,3	-21,8	13,7	21,8	8,1
7	23,6	19,9	-3,7	18,7	9,6	-9,1
8	20,4	20,4	0,0	22,3	19,6	-2,8
9	12,8	0,0	-12,8	0,5	12,0	11,5
10	4,3	0,8	-3,4	0,0	0,0	0,0
11	0,0	5,9	5,9	14,6	9,6	-5,0
12	10,8	6,8	-4,0	3,6	8,2	4,6
Gem.	15,9*	10,5	-5,4	11,5*	11,2	-0,3

* significantie: $p < 0,05$.

4.4.2 Bodem

De kleibehandeling en referentie verschilden in bulkdichtheid en ook volumetrisch lutum-, silt- en zandgehalte (Tabel 15). Er was geen duidelijk verschil in pH en bodemvocht. SOM verschildde alleen wanneer uitgedrukt als gewichtspercentage; volumetrisch gezien veranderde de hoeveelheid SOM niet.

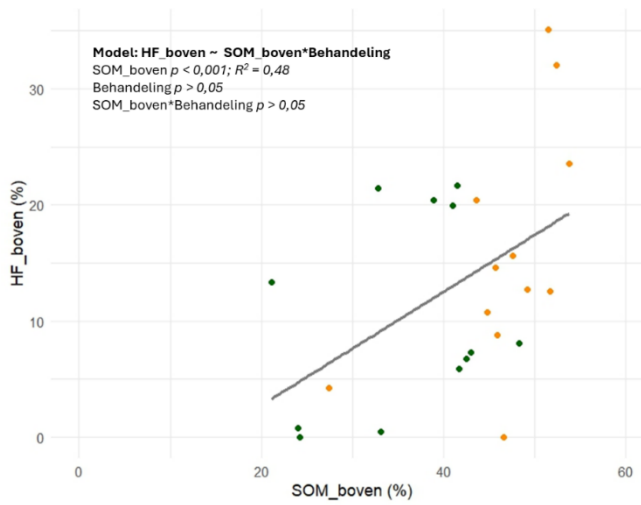
Tabel 15. Gemiddelde fysische en chemische bodemsamenstelling van de met kleigrond behandelde zijdes en referentiezijdes van de demovelden ($n = 12$). SOM_boven/onder = SOM op ongeveer 5-10 en 10-15 cm diepte, uitgedrukt als gewichtspercentage. De andere parameters zijn gemeten in de bovenste 10 cm en uitgedrukt in g/cm³. BDH = bulkdichtheid.

	Klei		Referentie		Significantie
	Gem.	SD	Gem.	SD	P
SOM_boven (w%)	36,04	8,86	46,70	6,90	< 0,001
SOM_onder (w%)	40,05	7,65	43,41	7,59	ns
BDH (g/cm ³)	0,66	0,07	0,55	0,08	< 0,001
Lutum (g/cm ³)	0,15	0,03	0,13	0,04	< 0,05
Silt (g/cm ³)	0,18	0,05	0,14	0,04	< 0,001
Zand (g/cm ³)	0,11	0,07	0,06	0,03	< 0,001
SOM (g/cm ³)	0,22	0,05	0,22	0,05	ns
Vocht (g/cm ³)	0,35	0,04	0,35	0,05	ns
pH	5,4	0,6	5,1	0,4	ns

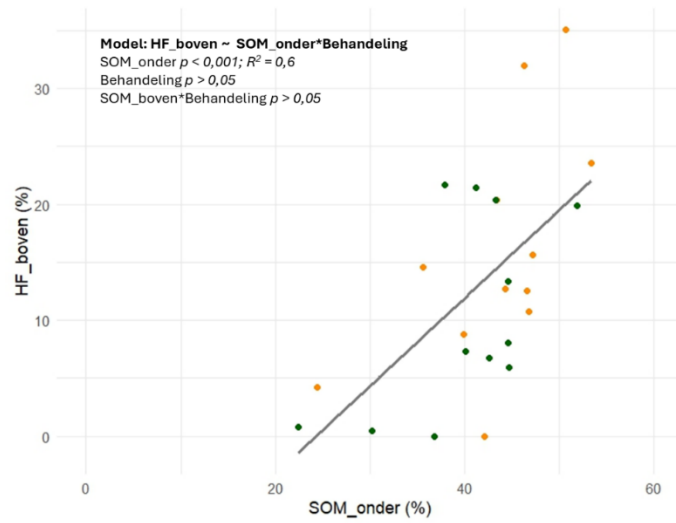
4.4.3 Correlaties hydrofobie en bodem

Omdat de demovelden erg variëren in mate van hydrofobie en, gekoppeld daaraan, in samenstelling van de toplaag, is gekeken of er correlaties te vinden zijn tussen gemeten bodemparameters en de mate van hydrofobie. Hydrofobie op 5 cm (*HF_boven*) toonde een significante correlatie met bodemorganische stof op zowel 5-10 cm diepte (*SOM_boven*; $p < 0,001$; $R^2 = 0,48$) als wel 10-15 cm diepte (*SOM_onder*; $p < 0,001$; $R^2 = 0,6$) (Figuur 10 A en B). Ook was er een correlatie met pH ($p = 0,05$; $R^2 = -0,52$) (Figuur 10C) en volumetrisch lutumgehalte ($p < 0,025$; $R^2 = -0,46$) (Figuur 10D).

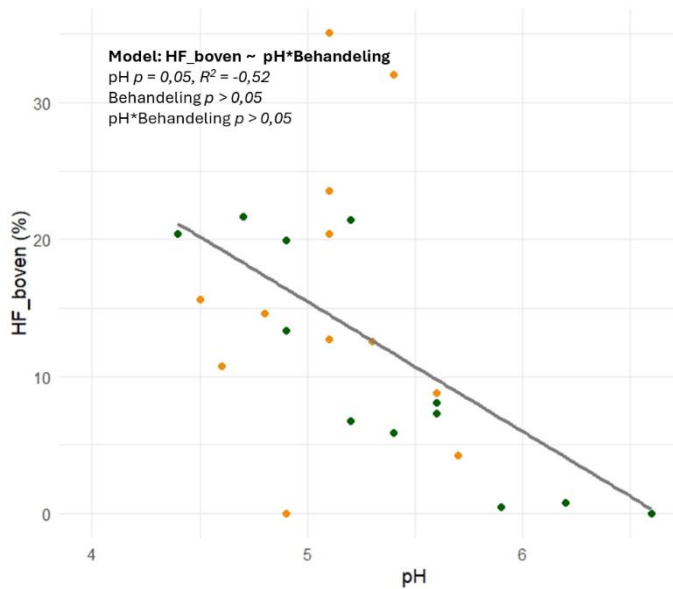
A)



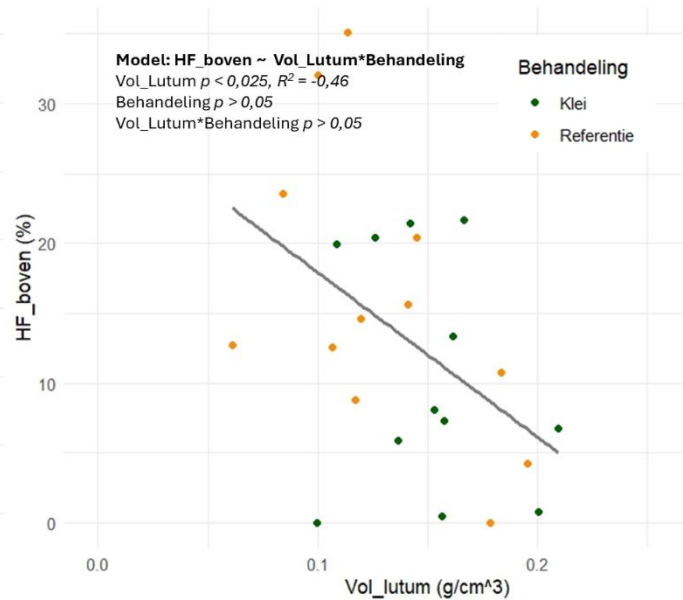
B)



C)



D)



Figuur 10. Correlatie tussen hydrofobie (%ethanol) op 5 cm diepte (HF_boven) en A) SOM op 5-10 cm diepte (SOM_boven), B) SOM op 10-15 cm diepte (SOM_onder), C) pH en D) volumetrisch lutumgehalte (Vol_lutum). De modeloutput laat de R^2 -waarde voor alle datapunten zien.

4.4.4 Discussie

Onder veldvochtige omstandigheden ($0,35 \text{ g vocht/cm}^3$; $>30\%$ vol. vocht) was de bodem in de bovenste 5 cm gemiddeld matig tot sterk hydrofoob; tot gemiddelde ethanolpercentages tussen de 10 en 16 procent werd de druppel nog door het veen opgenomen. Gemiddeld genomen was de met kleigrond behandelde zijde wat minder hydrofoob (gem. $10,5\%$) dan de referentiezijde van de demovelden (gem. $15,9\%$). Het kleine verschil tussen behandeling en controle kan te wijten zijn aan de relatief kleine veranderingen in volumetrische bodemsamenstelling na het opbrengen van 1-2 cm klei; lutum, silt en zand en daarmee pH liggen wat hoger. De klei verdeelt zich over het bodemvolume. Hierdoor kan een duidelijk behandelingseffect ook uit zijn gebleven.

Tussen de demovelden was het verschil tussen de met klei behandelde zijde en referentiezijde van het perceel erg variabel. Ook was er veel variatie in hydrofobie in de bovenste 5 cm van de bodem binnen de plots van eenzelfde behandeling in hetzelfde veld. Dit geeft duidelijk aan hoe divers de veentoplaag is, ook op een schaal van enkele meters. Ook geeft het aan dat de klei niet egaal opgebracht is; op de ene plek kan meer terecht zijn gekomen dan de andere.

Vanwege deze hoge variatie in bodemsamenstelling is ook naar correlaties tussen bodemsamenstelling en hydrofobie gekeken in alle demovelden. Daaruit bleek dat met een hoger SOM gehalte de hydrofobie ook hoger wordt. Met een hoger volumetrisch lutumgehalte en hogere pH werd hydrofobie juist lager. Dit is naar verwachting, aangezien lutumdeeltjes beter vocht kunnen vasthouden en opnemen na uitdroging. Hierdoor wordt de bodem minder gevoelig voor hydrofobie. De hogere pH waarden waarbij lagere hydrofobiewaarden zijn gevonden, hangt samen met het hogere gehalte van de bodem aan lutum, silt en zand.

4.5 Boeren op hoog water

4.5.1 Hydrofobie

Hydrofobie gemeten in het veld in de hoogwaterbehandeling lag iets lager dan voor de laagwaterbehandeling (niet significant, zie Tabel 16).

Met de labmethode was er weinig variatie tussen de hoog- en laagwaterpercelen. In beide behandelingen waren de monsters erg hydrofoob, zelfs in veldvochtige grond. Mogelijk waren de bodemonsters na monsternamen al iets uitgedroogd. In de luchtdroge grond waren alle monsters compleet hydrofoob en werden zelfs de druppels met 70% ethanol nergens meer opgenomen.

4.5.2 Bodem

Waterpeil en vocht lag in de hoogwaterbehandeling significant hoger dan voor de laagwaterbehandeling. Ook de pH was iets hoger, terwijl het lutum- en siltgehalte iets lager waren.

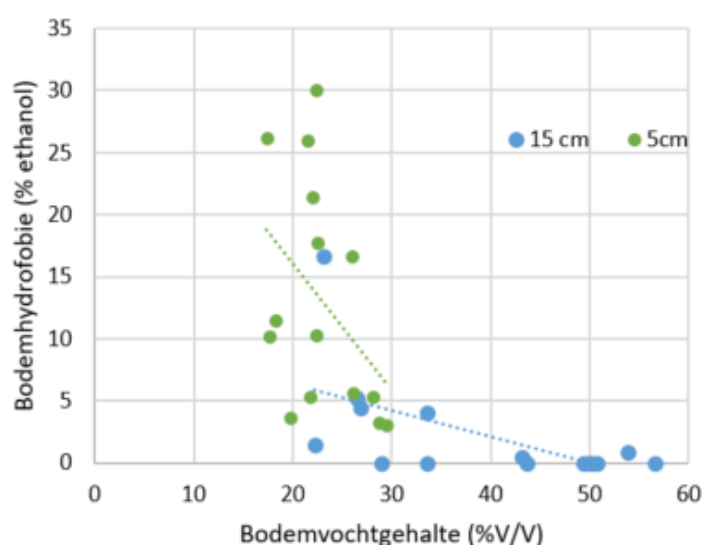
Tabel 16. Gemiddelde hydrofobie en bodemfysische samenstelling en pH van de veenweidepercelen met een hoog en laag waterpeil. HF_5 cm/15 cm = hydrofobie op 5 en 15 cm diepte; Vocht_5 cm/15cm = volumetrisch vochtpercentage gemeten met TDR vochtsensor; BDH = bulkdichtheid; Vocht = volumetrisch vochtpercentage gemeten in bulkdichtheidsring.

	Hoogwater (n = 9)	SD	Laagwater (n = 7)	SD	Sign. (P)
HF_5 cm (%)	11,9	9,16	13,3	10,20	ns
HF_15 cm (%)	1,1	2,03	3,3	6,11	ns
Vocht_5 cm (Vol%)	23,8	9,2	20,9	10,0	ns
Vocht_15 cm (Vol%)	44,2	10,6	30,8	11,3	< 0,05
Waterpeil (cm -mv)	-32	9,3	-57	16,1	< 0,001
BDH (g/cm ³)	0,44	0,33	0,59	0,37	< 0,001
Vocht (g/cm ³)	0,32	0,04	0,31	0,04	ns
OS (g/cm ³)	0,18	0,03	0,19	0,03	ns
Lutum (g/cm ³)	0,10	0,03	0,17	0,05	< 0,001
Silt (g/cm ³)	0,08	0,02	0,15	0,08	< 0,05
Zand (g/cm ³)	0,07	0,03	0,07	0,02	ns
pH (CaCl ₂)	5,06	0,13	4,90	0,17	< 0,05

4.5.3 Correlaties

Er waren geen significante correlaties tussen hydrofobie en bodemparameters. Alleen matige correlatie tussen hydrofobie in het veld in de bovenste 5 cm en pH ($r = -0,5$). Volumetrisch vocht en andere bodemparameters waren onderling sterk gecorreleerd.

Als de veld-hydrofobie gecombineerd voor beide lagen tegen bodemvocht werd uitgezet werd wel een duidelijk patroon zichtbaar (Figuur 11). Boven een bodemvochtgehalte van ~25% is de bodem niet hydrofoob, en is er dus geen verband tussen hydrofobie en bodemvocht. Als het bodemvochtgehalte afneemt van 25 tot 15% vind er een sterke toename in de mate van hydrofobie plaats.



Figuur 11. Relatie tussen volumetrisch bodemvochtgehalte en bodemhydrofobie (%ethanol) gemeten in het veld op 5 en 15 cm diepte.

4.5.4 Discussie

Gedurende de omstandigheden tijdens de meetronde in augustus 2024 (een relatief nat jaar) was de gemeten bodemhydrofobie in veldvochtige grond iets lager voor de hoogwater dan de laagwater percelen, maar dit verschil was klein en niet statistisch significant. In de bovenlaag was er geen significant verschil in bodemvochtgehalte tussen de percelen met hoog- en laagwaterpeil. Dit komt overeen met overige observaties binnen het project Boeren op Hoog Water, die laten zien dat een verhoogd grondwaterpeil met name effect heeft op bodemvocht en daaraan gerelateerde draagkracht tijdens natte periodes in het voorjaar en het najaar, maar niet of nauwelijks in de zomer. De verschillen in bodemvocht waren iets groter op 15 cm diepte, maar deze laag was voor zowel hoog- als laagwaterpeil dermate nat, dat de bodem niet hydrofoob was. Dit geeft aan dat een verhoogd grondwaterpeil naar verwachting weinig tot geen effect heeft op de bodemhydrofobie in de bovengrond. Tijdens drogere periodes zouden er op 15 cm diepte mogelijk wel verschillen kunnen ontstaan als deze sterker uitdroogt bij het laag waterpeil dan bij hoog waterpeil (-20 cm).

4.6 Overkoepelende analyse

In Tabel 18 wordt een overzicht gegeven van het effect van de behandelingen die binnen de verschillende proeven zijn toegepast op bodem hydrofobie.

De overkoepelende regressie analyse over alle proeven (Tabel 17) liet een negatief effect van bodemvocht en lutumgehalte op hydrofobie zien (en een niet significant effect van pH), terwijl de hydrofobie toenam bij een hoger organischestofgehalte. Dit komt overeen met de verwachtingen. Mogelijk is het zwakke effect van pH gerelateerd aan de relatief kleine spreiding aan pH niveaus binnen en tussen de proeven.

Binnen deze analyse is geen onderscheid te maken tussen verschillen in bodemparameters op de proeflocaties en de effecten van behandelingen op de bodemparameters. Wel is duidelijk dat de verschillen in bodemparameters tussen de verschillende proeflocaties groter waren dan de effecten van de behandelingen binnen de proeflocaties. Dit beeld komt ook naar voren in de PCA-analyse (Figuur 12) waarbij hydrofobie en bodem OS-gehalte samen clusteren anders dan lutum, pH en vochtgehalte. Er was sprake van duidelijke clustering binnen proeven (m.u.v. Klei-in-veen die verspreid was over 12 demovelden op verschillende locaties) en de clustervorming binnen proeven (als gevolg van behandelingen) was veel minder goed zichtbaar.

Tabel 17. Overkoepelende regressie analyse naar het effect van bodemvocht, pH, organische stof en lutum gehalte in de verschillende proeven op bodemhydrofobie (veldmeting, 5 cm diepte) werd geanalyseerd. De schatting geeft de grootte van het effect aan. En op basis van de spreiding in uitgangswaarden binnen de verschillende proeven in de dataset (10^e percentiel – 90^{ste} percentiel) werd de grootte van het effect van de parameters op bodemhydrofobie berekend.

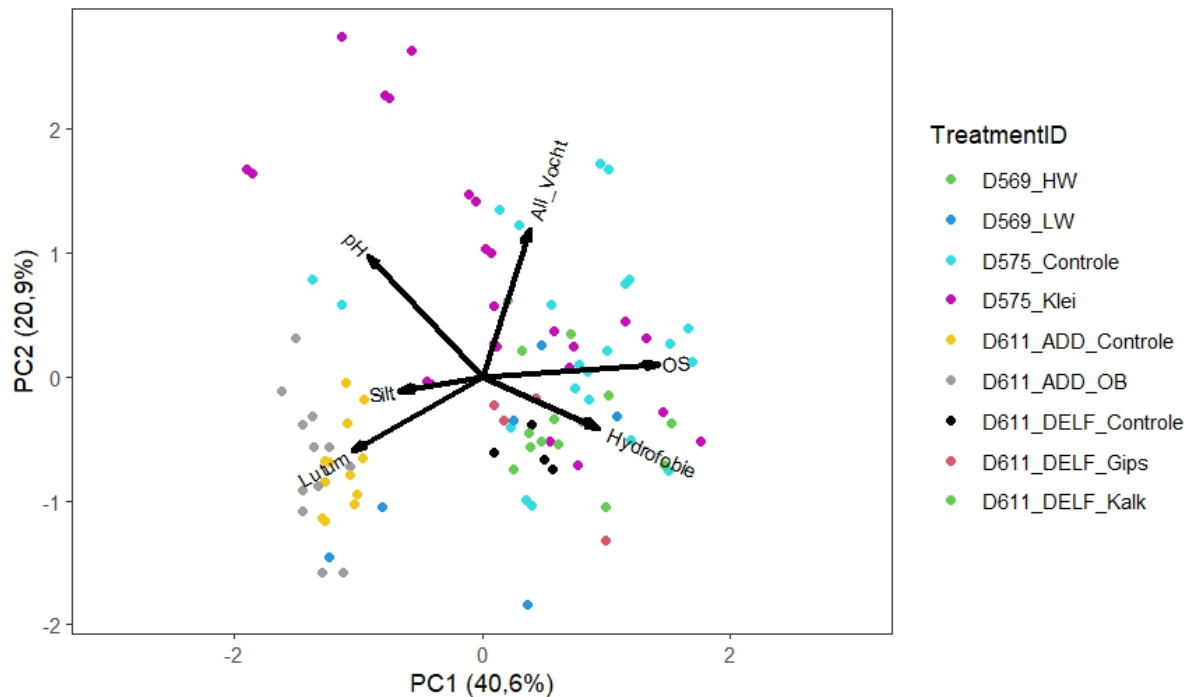
Parameter	Schatting	Standaard fout	P	Spreiding in waarden binnen dataset			Effect op hydrofobie (90%-10%)
				10 ^{de} perc.	mediaan	90 ^{ste} perc.	
Bodemvocht	-0,28	0,16	<0,05	13,5	21,5	32,0	-5,1
pH	-5,36	3,24	0,07	5,0	5,2	5,7	-3,8
OS	0,25	0,15	<0,05	18,6	35,0	40,1	5,4
Lutum	-0,47	0,17	<0,05	16,0	20,5	38,0	-10,4
<i>Proef (t.o.v. Boeren op Hoog Water)</i>							
Klei-in-veen	-0,25	2,31	ns				
ADD	8,66	3,63	<0,01				
Delfstrahuizen	-7,07	3,14	0,05				

R² = 0,41; P < 0,001

Tabel 18. Overzicht van het effect van de behandelingen op de mate van hydrofobie (veldvochtige en luchtdroge grond) en op factoren die mogelijk van invloed zijn op de mate van hydrofobie (bodemvocht, pH, Lutum en Organische stof) per proef locatie en jaar.

Proef: behandeling	(mogelijke) factoren	Jaar	Effect Hydrofobie (druppeltest)*			Opmerking
			Veld: Veldvochtig	Lab: Veldvochtig	Lab: Luchtdroog	
ADD: bekalking en bemesting	pH Bodemvocht	2023	minder hydrofoob bij verbeterd bodembeheer (perceelseffect?)	minder hydrofoob bij verbeterd bodembeheer	Geen effect	Gerelateerd aan hoger bodemvocht- en lutumgehalte. Geen relatie met pH. Lastig om behandelings- en perceelseffect te scheiden, geen herhalingen
		2024	minder hydrofoob op 15 cm diepte (geen verschil op 5 cm)	Geen effect	Geen effect	
Delfstrahuizen: kalk en gips	pH Bodemvocht	2021	n.v.t.	Gips sterker hydrofoob	Geen effect	Behandeling nog maar net ingezet, verwachte effect klein
		2022	n.v.t.	Gips en kalk minder hydrofoob	Geen effect	Grote variatie binnen proefveld. Slechts zeer zwak verband met bodemvocht of pH zichtbaar
		2023		Kalk minder hydrofoob	Geen effect	
		2024	Geen effect	Gips minder hydrofoob	Geen effect	
Mestproef Kouturderrige: mestsoorten	pH OS Bodemvocht	2023	Geen effect	Geen effect	Geen effect	Geen correlatie met pH, bodemvocht en OS gehalte.
Klei-in-veen	Lutum Bodemvocht	2024	Klei minder hydrofoob	n.v.t.	n.v.t.	Gerelateerd aan hoger lutum, silt en zand gehalte. Omstandigheden redelijk vochtig; zowel kleibehandeling als controle niet sterk hydrofoob
Boeren op hoog water: hoog vs laag grondwaterpeil	Bodemvocht	2024	Hoogwater minder hydrofoob	Geen effect	Geen effect	Verschillen in bodemvocht in de bovengrond zeer beperkt. Effect op bodemvocht potentieel groter in diepere laag, maar effect niet zichtbaar onder relatief natte omstandigheden in 2024

*Donkergroen = positief effect, lichtgroen = positieve trend (niet statistisch significant), lichtrood = negatieve trend (niet statistisch significant)



Figuur 12. PCA waarin hydrofobie op 5 cm diepte is uitgezet tegen percentage lutum, silt en OS, volumetrisch vochtgehalte en pH op 0-10 cm diepte. D569 = Boeren op Hoog water; D575 = Klei in Veen; D611_ADD = Aldeboarn/De Delen; D611_DELF = Delfstrahuizen. HW = Hoog water; LW = Laag water; OB = optimaal beheer.

4.7 Methode

In de huidige proef is bodem hydrofobie op verschillende manieren gemeten: zowel in het veld op intacte bodemmonsters als in het lab op gemengde bodemmonsters. Beide methoden hebben voor- en nadelen, zoals samengevat in Tabel 19.

Het belangrijkste voordeel van de veldmethode is dat de bodemstructuur intact blijft en daarmee een realistischer beeld van hydrofobie geeft. Door het gebruik van een metalen frame in de bodem (waardoor deze minder afbrokkelt en een mooi vlak oppervlakte voor de druppeltest kan worden afgesneden (Figuur 3) is de druppeltest nu ook in het veld beter uitvoerbaar. Om toch inzicht te krijgen in de behandelingseffecten onder verschillende bodemvochtomstandigheden, zijn meerdere meetmomenten (tijdens natte en droge periodes) noodzakelijk.

Tabel 19. Overzicht van voor- en nadelen en benodigde doorontwikkeling van meetmethode voor hydrofobie in het veld en in het lab.

	Veldmethode	Labmethode
Bodem	+ Intacte structuur - Moeilijk te meten door ruwe bodemstructuur in droge grond*.	- Gemengde bodem (structuurverlies) + Kan mooi gelijkmatig testoppervlak maken (grote wortels en oneffenheden verwijderen) - Risico vochtverlies na monstername en bewaring
Bodemvocht	- Alleen meting in veldvochtige omstandigheden.	Naast veldvochtige bodem, kunnen ook metingen worden gedaan op gedroogde bodem en zo kan de maximale hydrofobie bij luchtdroge grond worden bepaald.
Praktisch	- Moet in het veld op moment van monstername.	+ Monsters kunnen in de koeling worden bewaard voor latere analyse.
Doorontwikkeling	+*Methode ontwikkeld met metalen "frame" in bodem op gewenste hoogte waardoor bodem mooi vlak kan worden afgesneden zonder dat die afbrokkelt.	Verschillende droogstappen voor bepalen kantelpunt hydrofobie → lastig timen en arbeidsintensief.

5 Conclusies

Effect van maatregelen op hydrofobie

- Bodemhydrofobie was gemiddeld lager op percelen met aangepast bodembeheer (ADD) ten opzichte van referentiepercelen. Verschillen in hydrofobie waren gerelateerd aan het bodemvochtgehalte en lutumgehalte maar niet aan pH. Daarmee is het lastig om perceels- en behandelingseffecten van elkaar te onderscheiden. Er waren geen verschillen in de maximale mate van hydrofobie in luchtdroge grond.
- Er was een klein niet statistisch significant effect van bekalking en/of gips op bodemhydrofobie in de verschillende meetjaren. Echter, dit effect kon niet duidelijk worden gerelateerd aan een verhoging van pH (was beperkt) of aan een hoger bodemvochtgehalte. Er waren geen verschillen in de maximale mate van hydrofobie in luchtdroge grond.
- Verschillende mestsoorten hadden een duidelijk effect op bodem-pH en OS-gehalte, maar dit vertaalde zich niet in verschillen in bodemhydrofobie onder de relatief natte omstandigheden in najaar 2023. Er waren geen verschillen in de maximale mate van hydrofobie in luchtdroge grond.
- Het opbrengen van 1-2 cm klei op veenpercelen (klei in veen) zorgde voor een verhoging in het lutum, silt en zandgehalte. Dit zorgde voor een lichte vermindering in bodemhydrofobie onder veldvochtige omstandigheden.
- Er was een klein positief effect van verhoogd grondwaterpeil op de bodemhydrofobie. Echter, met name in de bovenlaag (5 cm) was het effect van verhoogd grondwaterpeil op bodemvocht zeer klein. In de onderlaag (15 cm) is het potentiële effect van verhoogd grondwaterpeil groter, maar onder de relatief natte omstandigheden in 2024 was deze laag bij beide waterpeilen niet hydrofoob.

Overkoepelende data-analyse bevestigde dat een hoger bodemvochtgehalte en lutumgehalte de bodemhydrofobie verlagen, terwijl het OS-gehalte een negatief effect heeft. Er was slechts een klein (niet significant) effect van pH zichtbaar. De verschillen in deze bodemfactoren tussen de verschillende locaties waren groter dan de verschillen als gevolg van de behandelingen binnen de proeven.

Binnen de huidige proeven hebben we gebruikgemaakt van hydrofobiemetingen zowel in het veld als in het lab. Beide methoden hebben voor- en nadelen, maar voor het beste inzicht in hydrofobie bevelen we aan om de veldmethode op verschillende momenten (range nat – droog) toe te passen.

6 Referenties

- Alejandro, S., Höller, S., Meier, B., & Peiter, E. (2020). Manganese in plants: from acquisition to subcellular allocation. *Frontiers in plant science*, 11, 300.
- 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.
- Hoekstra, N.J., Sleiderink, J.W.M., Deru, J.G.C., van Aagtmaal, M. & van Eekeren, N. (2020). Hydrofobie op veengrond: oorzaken en maatregelen - Rapportage van lab-experimenten in Project Integrale Bodemverbetering Feangreide. 2020-047 LbD. Louis Bolk Instituut, Bunnik.
- Malestein, A. (2004). Veeteelt : magazine van het Koninklijk Nederlands Rundvee Syndicaat NRS 21 3: 74 – 75.
- Rengel, Z. (2015). Availability of Mn, Zn and Fe in the rhizosphere. *Journal of soil science and plant nutrition*, 15(2), 397-409.
- Groeibalans (2021). Tussentijdse rapportage Plot Bodemvruchtbaarheid Aldeboarn de Deelen. <https://veenweidefryslan.frl/uploads/Kennisbank/Tussenrapportage%20pilot%20bodemvruchtbaarheid%20Aldeboarn%20De%20Deelen.pdf>