



Draagkracht van vernatte veengronden

Veldproef draagkracht in relatie tot vochtsituatie

Jermo Janmaat, Guido Bakema, Idse Hoving



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Draagkracht van vernatte veengronden

Veldproef draagkracht in relatie tot vochtsituatie

Jermo Janmaat¹, Guido Bakema¹, Idse Hoving²

1 Wageningen Environmental Research

2 Wageningen Livestock Research

Dit document is tot stand gekomen met financiering door KB-programma 34 Circular and Climate Neutral Society, Project KB-34-002-028 (Peat areas in new circular and climate positive production systems).

Wageningen Environmental Research
Wageningen, december 2024

Gereviewd door:
Martin Mulder, onderzoeker WENR

Akkoord voor publicatie:
Mirjam Hack, teamleider van Bodem, Water en Landgebruik

Rapport 3399
ISSN 1566-7197

Janmaat, J., G. Bakema, I. Hoving, 2024. *Draagkracht van vernatte veengronden; Veldproef draagkracht in relatie tot vochtsituatie*. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 3399. 28 blz.; 8 fig.; 1 tab.; 13 ref.

Vernatting van veengrond staat hoog op de politieke agenda, maar dit kan grote gevolgen hebben voor het graslandgebruik in de melkveehouderij. Beperkingen in het graslandgebruik beïnvloeden het bedrijfsmanagement en komen tot uiting in de technische, economische en milieuprestaties van een melkveebedrijf. Een belangrijk gevolg van vernatting van de veengronden is de aantasting van de draagkracht van de graszode. De relatie tussen de mate van vernatting en draagkracht die gebruikt wordt om de gevolgen van vernatting te berekenen is gebaseerd op waarnemingen gedaan door Van Wijk (1984). Dit onderzoek laat zien dat de destijds gevonden relatie niet universeel geldig is. Het advies is om de relatie van Van Wijk (1984) te herzien op basis van nieuwe metingen die een betere representatie geven van de huidige bodemdichtheid van grasland. Aanbevolen wordt om de relatie seizoen afhankelijk te maken door rekening te houden met variaties in dichtheid gedurende het seizoen.

Rewetting of Peatland is a topic with high political priority but can have major implications for grassland use in dairy farming. Limitations in grassland use affect farm management and are reflected in the technical, economic and environmental performance of a dairy farm. An important consequence of peatland rewetting is the reduced carrying capacity of the sward. The relationship between the degree of wetting and carrying capacity used to calculate the consequences of wetting is based on observations made by Van Wijk (1984). This research shows that the relationship that was based on these observations is not universally valid. It is recommended that to revise this relationship based on new measurements that better represent current grassland soil density. It is also recommended to allow for seasonal differences for this relationship taking into account variations in soil density throughout the season.

Trefwoorden: Draagkracht, veengronden, veenoxidatie, vertrappingsverliezen

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/675402> of op www.wur.nl/environmental-research (ga naar 'Wageningen Environmental Research' in de grijze balk onderaan).

Wageningen Environmental Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

© 2024 Wageningen Environmental Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, www.wur.nl/environmental-research. Wageningen Environmental Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

Wageningen Environmental Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Wageningen Environmental Research werkt sinds 2003 met een kwaliteitsmanagementsysteem volgens de ISO 9001. In 2006 heeft Wageningen Environmental Research een milieuzorgsysteem geïmplementeerd volgens de norm ISO 14001. Wageningen Environmental Research geeft via ISO 26000 invulling aan haar maatschappelijke verantwoordelijkheid.

Wageningen Environmental Research Rapport 3399 | ISSN 1566-7197

Foto omslag: Koeien in veengebied Olde Feanen (Fr.) (Guido Bakema)

Inhoud

Verantwoording	5
Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
1.1 Vernatting van veen	11
1.2 Onderzoeksvraag	11
1.3 Leeswijzer	11
2 Relatie tussen draagkracht en vochtspanning	12
2.1 Draagkracht van grasland	12
2.2 Huidige rekenregels	12
3 Methode	14
3.1 Proefopstelling	14
3.2 Proefverloop	15
4 Resultaten en discussie	16
4.1 Verloop grondwaterstand	16
4.2 Verloop vochtspanning	17
4.3 Verloop indringingsweerstand	17
4.4 Relatie tussen de indringingsweerstand en de vochtspanning.	19
4.5 Discussie	20
5 Conclusies en aanbevelingen	23
Literatuur	25
Bijlage 1 Penetrometer-waarnemingen	26
Bijlage 2 Overige relaties indringingsweerstand en vochtspanning	27

Verantwoording

Rapport: 3399

Projectnummer: 5200047890 KB-programma 34 Circular and Climate Neutral Society,
Project KB-34-002-028 (Peat areas in new circular and climate positive production systems).

Wageningen Environmental Research (WENR) hecht grote waarde aan de kwaliteit van zijn eindproducten. Een review van de rapporten op wetenschappelijke kwaliteit door een referent maakt standaard onderdeel uit van ons kwaliteitsbeleid.

Akkoord referent die het rapport heeft beoordeeld,

functie: Onderzoeker

naam: Martin Mulder

datum: 1 november 2024

Akkoord teamleider voor de inhoud,

naam: Mirjam Hack-ten Broeke

datum: 3 december 2024

Woord vooraf

De draagkracht van veengronden wordt al sinds de jaren zestig onderzocht. In die periode werd met name gekeken hoe de draagkracht van veengronden kon worden vergroot door het verlagen van sloot- en drainagepeilen. Op dit moment gebeurt het omgekeerde en worden drainagepeilen weer verhoogd om bodemdaling en emissies van broeikasgassen te verminderen. Gevolg is dat percelen weer natter worden en er meer vertrappingsverliezen kunnen optreden. Om in modelsimulaties die vertrappingsverliezen te berekenen wordt gebruikt gemaakt van een relatie die van Wijk in 1984 voor een aantal veengronden heeft bepaald. In dit onderzoek, dat uitgevoerd is in het kader van het KB programma KB34 "Circular & Climate Neutral Society" (KB-34002-028, Peat areas in new circular and climate positive production systems), is bekeken of deze relatie nog toepasbaar is voor de huidige situatie.

Samenvatting

Vernatting van veengrond staat hoog op de politieke agenda, maar dit kan grote gevolgen hebben voor het graslandgebruik in de melkveehouderij. Beperkingen in het graslandgebruik beïnvloeden het bedrijfsmanagement en komen tot uiting in de technische, economische en milieuprestaties van een melkveebedrijf. Een belangrijk gevolg van vernatting van de veengronden is de aantasting van de draagkracht van de graszode. Betreding van de graszode bij onvoldoende draagkracht leidt tot schade in de vorm van productieverlies en verminderde hergroei van gras.

De relatie tussen de mate van vernatting en draagkracht die gebruikt wordt om de gevolgen van vernatting te berekenen, is gebaseerd op waarnemingen gedaan door Van Wijk (1984). Deze studie heeft als doel om die relatie te toetsen en, indien nodig, aanbevelingen te doen voor verbeteringen. Hiervoor is een veldproef uitgevoerd waarbij over een periode van 2 weken in juni en juli 2024 de draagkracht en de vochtspanning in de bodem van een grasland van proefbedrijf Zegveld zijn gemeten.

Dit onderzoek laat zien dat de relatie gevonden door Van Wijk (1984) niet universeel geldig is. De gevonden draagkracht in dit onderzoek is voor gelijke vochtspanning hoger dan de metingen van Van Wijk (1984). Dit komt doordat de dichtheid van de toplaag bij de metingen destijds waarschijnlijk lager was dan bij de veldproef die nu ten behoeve van het onderzoek is uitgevoerd. Dit kan worden verklaard doordat in de afgelopen veertig jaar, sinds de metingen van Van Wijk (1984), de dichtheid van de toplaag is toegenomen door uitdroging en inkrimping van het veen, als gevolg van diepe drainage. Bovendien is er verdichting opgetreden door jarenlange beweiding en berijding van het grasland. Daarnaast zijn de metingen van destijds uitgevoerd in de winter en het vroege voorjaar, terwijl dit onderzoek in de zomer heeft plaatsgevonden. Ook tussen de seizoenen is er verandering van dichtheid door krimp en voorgaande beweiding en berijding.

Het advies is om de relatie van Van Wijk (1984) te herzien op basis van nieuwe metingen die een betere representatie zijn van de huidige dichtheid van graslandbodems. Aanbevolen wordt om de relatie seizoenafhankelijk te maken door rekening te houden met variaties in bodemdichtheid gedurende het seizoen. Hiertoe dienen er additionele veldproeven te worden uitgevoerd op andere tijdstippen in het jaar. Tenslotte wordt een groot gedeelte van de variabiliteit in indringingsweerstand binnen een weiland niet verklaard door de vochtspanning maar wel uit bijvoorbeeld de (zode)dichtheid. Het is daarom belangrijk om ook op andere graslanden met verschillende type veengrond metingen uit te voeren, zodat er één of meerdere relaties kunnen worden vastgesteld die representatief zijn voor de verschillende weidetypes in de veenweidegebieden.

1 Inleiding

1.1 Vernatting van veen

Vernatting van veengrond staat hoog op de politieke agenda, maar dit kan grote gevolgen hebben voor het graslandgebruik in de melkveehouderij. Beperkingen in het graslandgebruik beïnvloeden het bedrijfsmanagement en komen tot uiting in de technische, economische en milieuprestaties van een melkveebedrijf. Door vernatting wordt het naar verwachting moeilijker om aan sectordoelen van de Duurzame Zuivelketen te voldoen (KPI's uit de biodiversiteitsmonitor melkveehouderij), vooral als het gaat om voldoende weidegang en het verminderen van de emissie (methaan), het stikstofbodemoverschot en ammoniakemissie.

Met bedrijfsberekeningen met het Waterpasinstrumentarium (De Vos et al., 2006) van WLR kunnen de consequenties van vernatting voor een melkveebedrijf in beeld gebracht worden. Het resultaat betreft technische en economische kengetallen en duurzaamheidsindicatoren. Ook in WaterWijzerLandbouw (Werkgroep Waterwijzer Landbouw, 2018) worden relaties gebruikt voor het berekenen van gewasschade op basis van de betreffende bodemeigenschappen en hydrologische condities. Een belangrijk gevolg van vernatting van de veengronden is de aantasting van de draagkracht van de graszode. De relatie tussen de draagkracht voor berijding en beweiding en de bodemvochthuishouding is een belangrijke factor in de bedrijfsberekeningen. Het betreden van de graszode bij onvoldoende draagkracht leidt tot schade in de vorm van productieverlies en verminderde hergroei van gras.

1.2 Onderzoeksvraag

Voor het bepalen van de relatie tussen de vochthuishouding (meer specifiek de vochtspanning in de wortelzone) en de draagkracht van de graszode wordt gebruikt gemaakt van waarnemingen die zijn gedaan door Van Wijk (1984). Het aantal waarnemingen in die studie, en specifiek het aantal waarnemingen voor vochtspanningen, waarbij de draagkracht onvoldoende is, is echter beperkt. Zodoende is het gewenst om de benodigde drachtkrachtsfuncties beter te onderbouwen met nieuwe waarnemingen. In juni en juli 2024 is op KTC Zegveld een veldproef uitgevoerd in een kort tijdsbestek van twee weken, waarbij het volledige vochttraject van zeer nat tot voldoende droog werd waargenomen en steeds de draagkracht van de graszode gemeten werd. De doelstelling van deze veldproef was om de volgende onderzoeksvragen te beantwoorden:

- Hoe kan de draagkracht en de vochtspanning op een zo objectief mogelijke manier worden gemeten?
- Hoe hangt de gemeten indringingsweerstand af van de vochtspanning in de bodem?
- Van welke overige factoren hangt de relatie tussen indringingsweerstand en vochtspanning nog meer af?
- Hoe kan met de gevonden verbanden, de implementatie van relatie tussen draagkracht en vochtspanning zoals geïmplementeerd in Waterpas en het Waterwijzer Landbouw instrumentarium worden verbeterd?

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 van dit rapport staat een korte introductie over de draagkracht van grasland en de factoren die dat beïnvloeden. Daarbij wordt in dit hoofdstuk de relatie beschreven tussen vochtspanning en draagkracht, zoals die door Van Wijk (1984) is bepaald en wordt gebruikt in Waterpas. In hoofdstuk 3 staat een beschrijving van de veldproef, die in 2024 is uitgevoerd om de relatie te toetsen en in hoofdstuk 4 de resultaten en de discussie. Ter afsluiting staan in hoofdstuk 5 de conclusies van dit onderzoek en de aanbevelingen die daaruit volgen.

2 Relatie tussen draagkracht en vochtspanning

2.1 Draagkracht van grasland

Draagkracht is een maat voor begaanbaarheid van gronden voor vee of machines. Hiervoor worden ook vaak termen als bewerkbaarheid, berijdbaarheid en beweidbaarheid gebruikt. Draagkracht wordt gekwantificeerd door de maximale weerstand van de bovenste bodemlaag tegen een verticaal gerichte kracht. De draagkracht wordt bepaald door het meten van de maximale indringingsweerstand in het bovenste deel van de bodem. De eenheid van draagkracht is N per m² (Pascal). Wanneer een grond onvoldoende draagkracht heeft kan er schade ontstaan als de grond toch wordt betreden. In het geval van weiden met vee worden deze verliezen vertrappingsverliezen genoemd. Hierbij trapt het vee de zode dusdanig naar beneden, dat in de pootafdrukken het gras niet meer te consumeren is. De draagkracht van grasland wordt beïnvloed door het vocht in de bodem, het organische stofgehalte, de dichtheid van de bodem en de eigenschappen van de grasmat (Dorenbosch, 1983). Een relevante eigenschap van de grasmat kan de zodedichtheid zijn (Janssen et al., 2023), maar ook het type gras. Een grasmat met grassen met kruipende wortelstokken zoals veldbeemdgras (*Poa pratensis*) en kweekgras (*Agropyron repens*) is zeer stevig in tegenstelling tot een grasmat met alleen Engels raaigras (*Lolium perenne*) (Schothorst, 1982).

2.2 Huidige rekenregels

De metingen van de indringingsweerstand en vochtspanning gepubliceerd door Van Wijk (1984) vormen de basis van de gemodelleerde relatie die in Waterpas en Waterwijzer Landbouw worden toegepast. Waterpas (De Vos et al., 2006) betreft een modelkoppeling van het BedrijfsBegrotingsProgramma (BBPR; Mandersloot et al., 1991 en Schils et al., 2007) en het hydrologische model SWAP (Kroes et al., 2008) om de interactie tussen de vochttoestand van de bovengrond en grasgroei te kunnen simuleren. SWAP geeft op basis van bodem-hydrologische kenmerken in combinatie met de weergegevens input aan de grasgroei- en graslandgebruiksmodule van BBPR. SWAP bepaalt iedere dag of aan de watervraag van het gewas voldaan kan worden waarbij rekening wordt gehouden met te droge of te natte bodem-hydrologische condities. Daarnaast wordt informatie over de vochttoestand van het bovenste gedeelte van de bodem doorgegeven aan BBPR in de vorm van een vochtspanning op 10 en 15 cm. Het grasgroeimodel GRAS2007 berekent binnen BBPR de dagelijkse grasgroei op basis van de stikstofgift en het wateraanbod aangeleverd vanuit SWAP. De graslandgebruiksmodule in BBPR bepaalt of een perceel op basis van draagkracht en grasaanbod gebruikt kan worden.

Waterwijzer Landbouw (Werkgroep Waterwijzer Landbouw, 2018) is het instrumentarium waarmee effecten van hydrologie en klimaat op landbouwkundige gewasproductie kan worden gekwantificeerd. Een onderdeel van dit instrumentarium is ook het vaststellen van de gevolgen van beweiding van grasland bij onvoldoende draagkracht. In de onderliggende modellen wordt uitgegaan van voldoende draagkracht voor beweiding van veengraslanden wanneer de vochtspanning op 10 cm onder het maaiveld hoger is dan -70 cm. Bij deze vochtspanning treedt in de modellen geen schade op. De schade aan de aanwezige grasopbrengst neemt lineair toe met de vochtspanning, zodanig dat bij een vochtspanning van -10 cm een schade van 75% optreedt. De herkomst van deze relatie is verder uitgewerkt door Van Bakel en Hoving (2017). De relatie tussen vochtspanning en schade is gebaseerd op twee onderliggende relaties. De eerste relatie is de relatie tussen de vochtspanning in de bodem en de indringingsweerstand (ook wel draagkracht genoemd). De tweede relatie is de relatie tussen de indringingsweerstand en de geleden schade. Voor dit onderzoek is enkel de eerste relatie van belang en laten we de tweede buiten beschouwing.

De metingen van Van Wijk (1984) zijn weergegeven in figuur 2.1. Het betreft hier relaties voor grasland op vier bodemtypen. Voor dit onderzoek is de relatie gevonden voor de veengrond van proefboerderij Zegveld relevant, omdat deze als basis heeft gediend voor de gemodelleerde relatie en hier bovendien de hernieuwde

metingen zijn uitgevoerd in 2024. Voor de verschillende graslandgronden zijn er relaties vastgesteld bij twee verschillende drainagediepten. Voor het hoge peil (20 à 30 cm-mv) neemt de indringingsweerstand toe van circa 0,25 MPa tot 0,6 MPa bij een daling van de drukhoogte van 0 naar -70 cm, met een richtingscoëfficiënt van $-0,005 \text{ MPa cm}^{-1}$. Voor het lage peil (70 cm-mv) neemt de indringingsweerstand toe van circa 0,35 tot 0,85 MPa bij een daling van de drukhoogte van 0 naar -70 cm, met een richtingscoëfficiënt van $-0,0071 \text{ MPa cm}^{-1}$. De waarnemingen zijn gedaan in de winter van 1979 en het voorjaar van 1980. Helaas is voor de gegeven relaties niet aangegeven op welke hoogte de vochtspanning is gemeten, maar gebruikelijk was destijds om dit zo ondiep mogelijk te doen (ondieper dan 10 cm – mv). Het is daarnaast niet mogelijk om te achterhalen hoe de waarnemingen zijn verkregen. Het is niet duidelijk of deze waarnemingen op hetzelfde punt zijn genomen over een langere periode en/of dat de waarnemingen corresponderen met verschillende meetpunten in het veld gedurende een of beperkt aantal dagen. Verder wordt er niets gerapporteerd over de kwaliteit van de zode of het type gras.

De uitkomsten laten zien dat de relatie tussen vochtspanning en indringingsweerstand afhankelijk is van de drainagediepte. Een hogere (ondiepere) drainagediepte geeft voor gelijke vochtspanning een lagere indringingsweerstand. Het verschil in indringingsweerstand wordt verklaard door het verschil in dichtheid van de graszode bij de verschillende drainagediepten. Een lagere drainagediepte zorgt ervoor dat de zode gemiddeld over het jaar langer droog is. Hierdoor krimpt de zode en neemt de dichtheid toe. In het geval van een venige toplaag komt daar nog bij dat deze bij een sterkere uitdroging meer gemineraliseerd is en daardoor van structuur veranderd kan zijn. Daarnaast lijkt er voor alle graslanden een duidelijke relatie te zijn tussen de indringingsweerstand en de vochtspanning. De meetwaarden laten een relatief kleine variatie zien rondom de geschatte (kwadratische) relatie tussen beide variabelen. Opvallend is dat voor alle grondsoorten bij vrijwel dezelfde vochtspanning de grenswaarde van 0,6 MPa wordt bereikt (rond -30 cm vochtspanning voor de hoge peilen en rond de -70 cm vochtspanning voor de lage peilen).

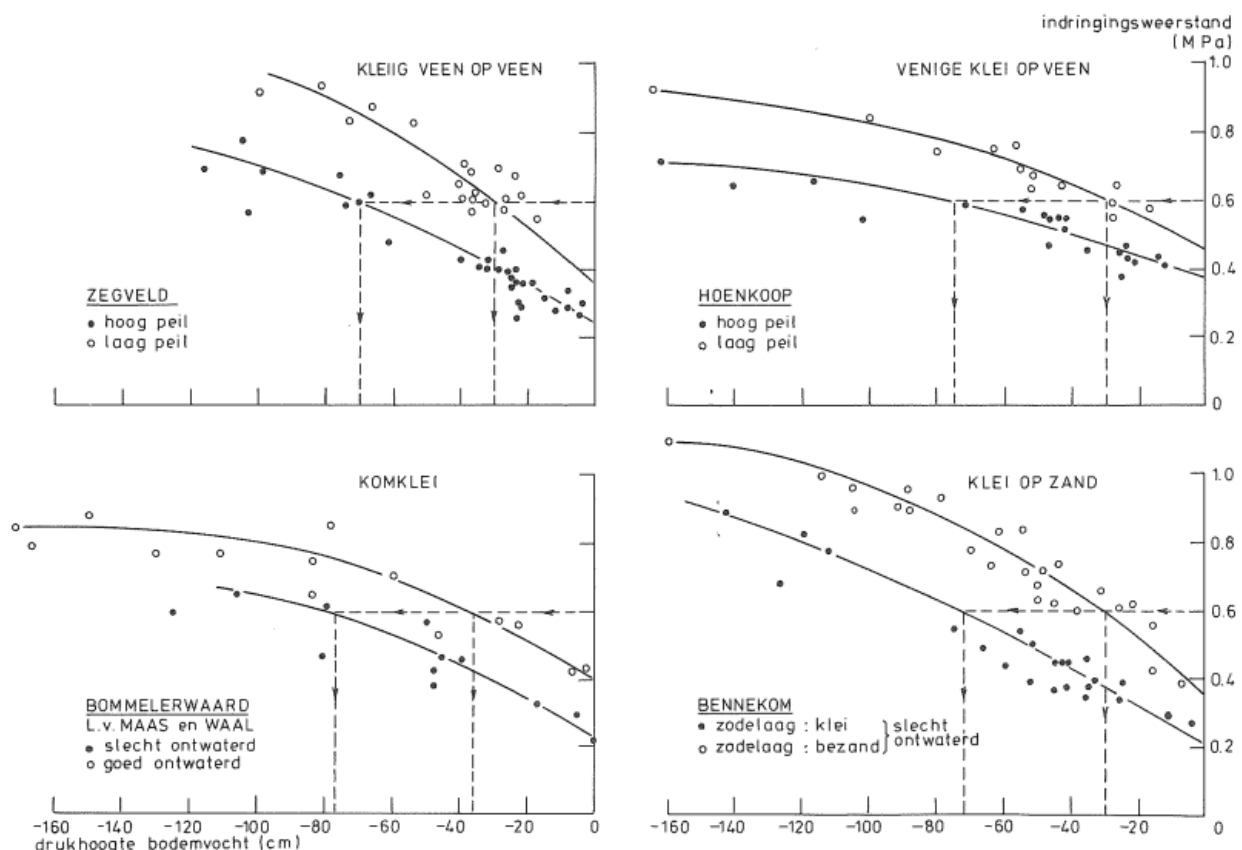


Fig. 2. Relatie tussen draagkracht en drukhoogte van het bodemvocht (vochtspanning) in de zodelaag voor vier graslandgronden bij een slechte en goede ontwatering. De stippellijnen geven de vochtspanning waarbij de zode voldoende draagkracht ($0,6 \text{ MPa}$ ($6 \text{ kg}\cdot\text{cm}^{-2}$)) heeft voor beweiden en berijden

Figuur 2.1 Relaties tussen vochtspanning en indringingsweerstand voor vier graslandgronden gepubliceerd door Van Wijk (1984).

3 Methode

3.1 Proefopstelling

De proef in 2024 is uitgevoerd op twee percelen van KTC Zegveld die gescheiden zijn door een kavelpad. In beide percelen loopt een greppel over de lengte van de percelen. De percelen zijn vlak voor de uitvoering van de proef gemaaid en zijn niet egaal door eerdere beweiding. Oorspronkelijk was de gedachte om één perceel extra te vernatten door water via de greppel aan te voeren om een groter verschil in vochtgradiënt tussen de meetpunten te realiseren. Onbedoeld werd op het tweede perceel water via de greppel aangevoerd, maar werd nog wel een voldoende verschil in vochttoestand tussen de meetpunten gerealiseerd. Een schematische weergave van de proefopstelling staat in figuur 3.1. De proefopstelling is geplaatst in het midden van de percelen. Aan beide zijden van de percelen zijn sloten aanwezig waar het waterpeil op 30 cm - mv wordt gehouden. Aan weerszijden van het pad zijn 9 meetpunten geplaatst. De meetpunten zijn op 1, 5 en 9 meter van de greppel geplaatst met een tussenafstand van circa 30 meter. Hierdoor ontstaat de gewenst gradiënt in vochttoestand en draagkracht. De afstand van de buitenste meetpunten tot de sloot is 15 meter. Voor elk van de meetpunten zijn 3 tensiosensoren¹ verticaal geplaatst op een diepte van respectievelijk 5, 10 en 15 cm onder het maaiveld. Deze tensiosensoren dienen handmatig te worden opgemeten met een digitale tensiometer². Een tensiometer meet de zuigspanning (drukhoogte) in de bodem. Zuigspanning is de mechanische spanning in het water van de poriën en is het gevolg van de capillariteit van de bodemstructuur en de oppervlaktespanning van water. Tevens waren voor 12 van de 18 meetpunten peilbuizen aanwezig om de grondwaterstand te meten.



Figuur 3.1 Schematische weergave proefopzet.

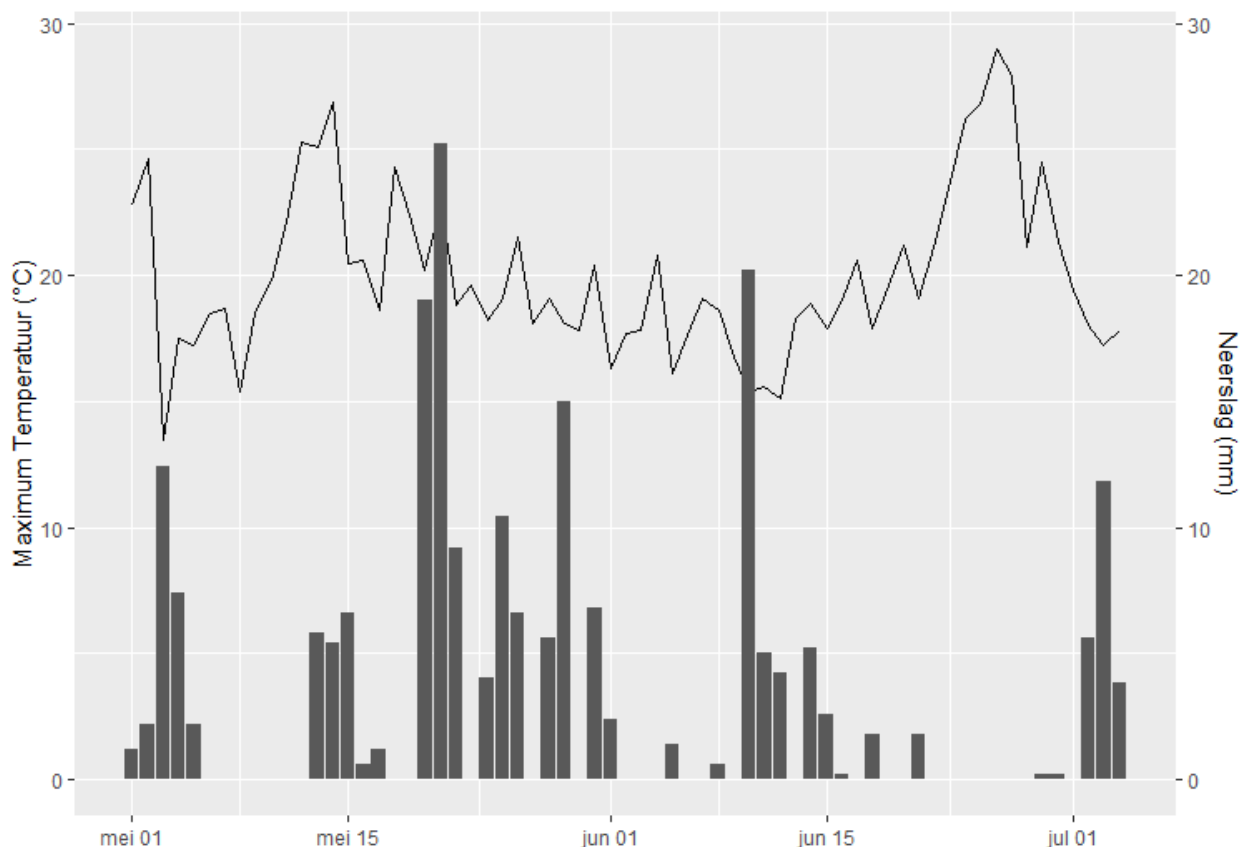
¹ Tensiosensor mini incl. stop, 15 cm, GV5030 - Nieuwkoop BV.

² Tensiometer digitaal, GV1600 - Nieuwkoop BV.

3.2 Proefverloop

De metingen zijn gestart op 26 juni 2024 en liepen door tot 5 juli 2024, komende vanuit een relatief natte periode en met als weersverwachting een relatief zonnige en droge periode. Op 28 juni is de greppel ter hoogte van het kavelpad gevuld. Hierdoor is een onderscheid ontstaan in de grondwaterstanden bij de verschillende meetpunten met afnemende grondwaterstanden vanuit het kavelpad en de greppel. Dit maakte het mogelijk om in een bodemvochttraject van zeer nat met onvoldoende draagkracht tot minder nat met voldoende draagkracht de metingen uit te voeren. De maximum temperatuur en de neerslag zijn weergegeven in figuur 3.2. Deze gegevens zijn verkregen via het AgroExtract station bij KTC Zegveld. Dagelijks rond 10.00 uur 's ochtends zijn de waarden van de tensiosensoren uitgelezen en de grondwaterstanden in de peilbuizen gemeten. Daarnaast zijn iedere dag rond elk tensiometermeetpunt 5 metingen voor het bepalen van de indringingsweerstand gedaan. De metingen van de indringingsweerstand zijn handmatig gedaan met een grondpenetrometer³. Er is hierbij gebruik gemaakt van een conus van 5 cm³ met een conushoek van 60°. De meting bestaat uit het loodrecht plaatsen van de penetrometer op de oppervlakte en deze vervolgens met constante snelheid circa 15 cm de grond in te drijven. Vervolgens kan op de penetrometer worden afgelezen wat over deze diepte de maximale indringingsweerstand is.

Om te voorkomen dat voorgaande metingen invloed hebben, zijn de metingen uitgevoerd binnen circa 1 m² rond om de tensiosensoren. Voordat een nieuwe meting werd verricht is eerst bekeken waar de eerdere metingen hebben plaatsgevonden zodat voldoende afstand kon worden gehouden.



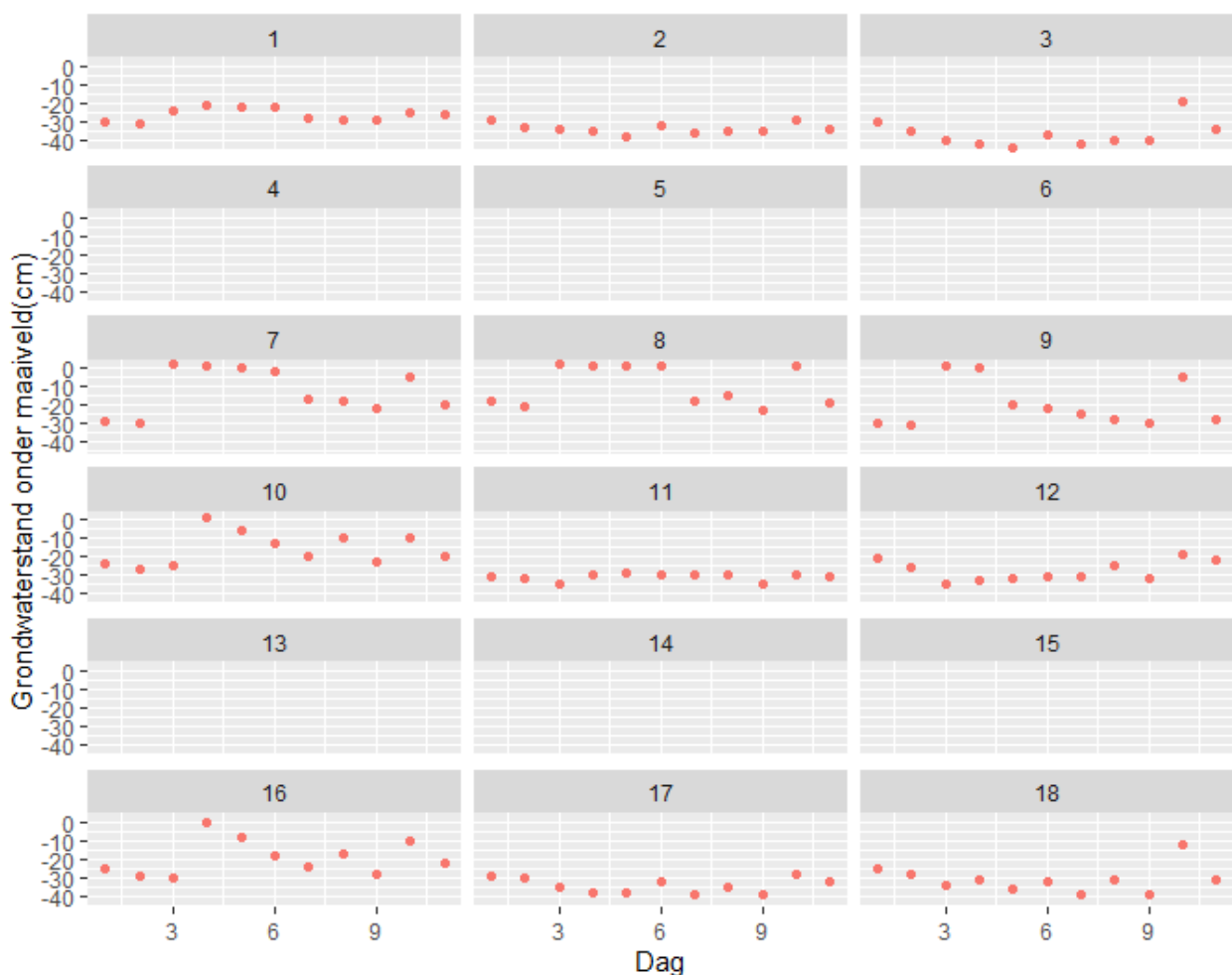
Figuur 3.2 Maximum temperatuur en neerslag tijdens en 2 maanden voor de proef.
(bron: AgroExact meetstation KTC Zegveld).

³ <https://www.royaleijkelkamp.com/nl/producten/veldmeetapparatuur/indringingsweerstand/handbediend/handpenetrometer-eijkelkamp-1-m-of-3m/>.

4 Resultaten en discussie

4.1 Verloop grondwaterstand

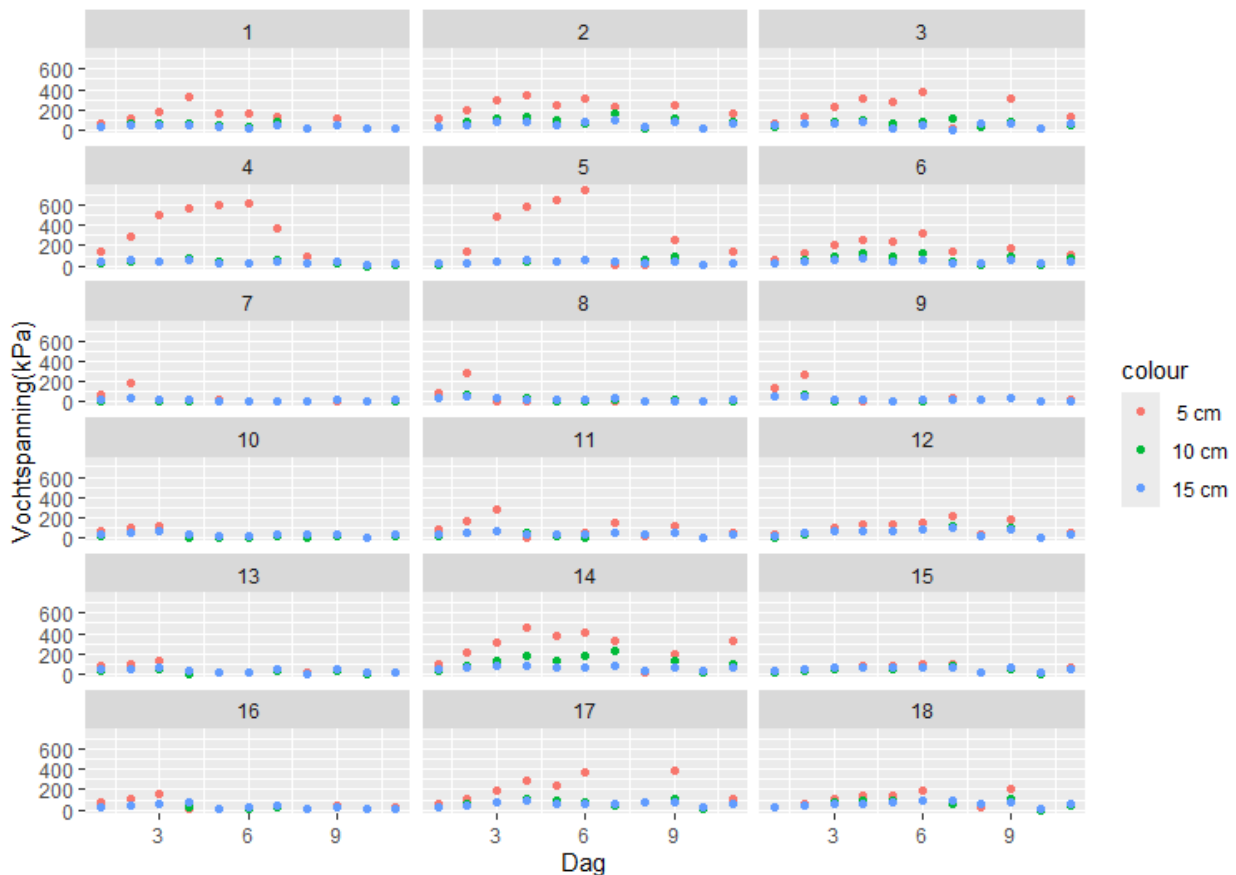
In figuur 4.1 is het verloop van de grondwaterstanden bij de 18 meetpunten weergegeven. Bij meetpunten 4-6 en 13-15 zijn geen peilbuizen geplaatst, daardoor ontbreken hier meetwaarden. In de eerste twee dagen was de grondwaterstand voor alle punten circa 30 cm onder het maaiveld overeenkomstig het slootwaterpeil. Zoals verwacht steeg de grondwaterstand op de 3^e dag allereerst voor de punten nabij het punt waar de greppel werd gevuld, namelijk 7, 8 en 9. Bij de volgende meting steeg (in meer of mindere mate) het grondwater bij de meetpunten dicht bij de greppel (10 en 16). Op de voorlaatste dag was tevens een stijging waarneembaar van de grondwaterstand bij alle meetpunten. Deze stijging werd veroorzaakt door een regenbui voor dat moment.



Figuur 4.1 Verloop grondwaterstanden gedurende de proef voor 18 meetpunten voor de periode juni-juli 2024 van KTC Zegveld (dag 1 =26 juni 2024).

4.2 Verloop vochtspanning

In figuur 4.2 is het verloop van de vochtspanningswaarnemingen bij de verschillende meetpunten weergegeven. De variatie van de waarnemingen was groter naarmate minder diep onder het maaiveld werd gemeten. Er was ook een grote variatie te zien in het verloop van de vochtspanning tussen meetpunten. Met name de vochtspanning op 5 cm diepte vertoonde een verschillend verloop per meetpunt. Er was hierbij een sterke relatie te zien met de grondwaterstanden uit figuur 4.1. De meetpunten waarbij de bodem volledig verzadigd was geraakt door het vol laten stromen van de greppel (bijv. 7-10), lieten beperkte verschillen zien in vochtspanning per diepte. De meetpunten die verder van de greppel lagen (bv. 1-6) lieten een snelle stijging zien van de vochtspanning op 5 cm. De toplaag droogde daar snel uit, maar werd ook weer snel vochtig toen op dag 7 van de proef regen viel (zie ook figuur 3.2).



Figuur 4.2 Verloop vochtspanning gedurende de proef op 5, 10 en 15 cm onder het maaiveld op 18 meetpunten voor de periode juni-juli 2024 van KTC Zegveld (dag 1 =26 juni 2024).

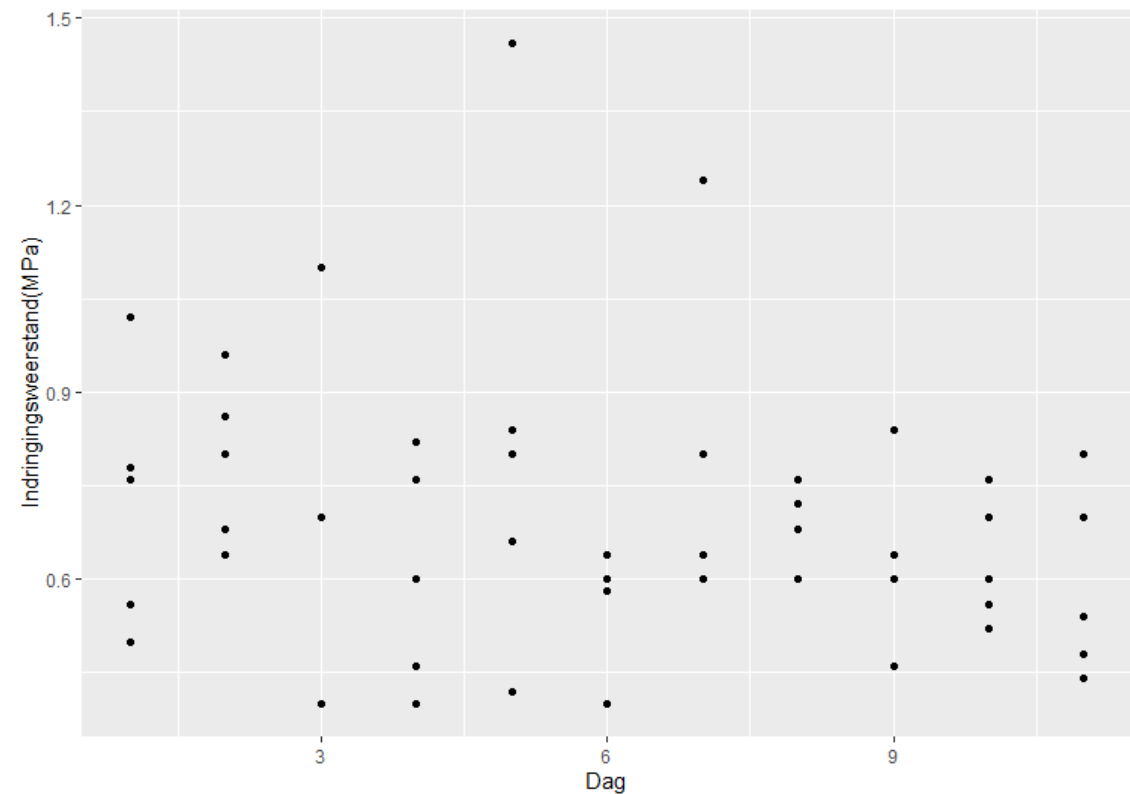
4.3 Verloop indringingsweerstand

De gemeten indringingsweerstand varieerde aanzienlijk over de vijf waarnemingen die per dag werden gedaan. In figuur 4.3 is dat inzichtelijk gemaakt voor meetpunt 7. In bijlage 1 zijn ook de gemeten waarden voor de andere meetpunten weergegeven. De standaarddeviatie over de vijf metingen was gemiddeld over alle waarnemingen die binnen de proefperiode zijn gedaan zo'n 20% van de gemiddelde waarneming. Dit duidt erop dat binnen het veld zelfs op een relatief klein gebied rond het meetpunt een grote spreiding in indringingsweerstand werd waargenomen. In tabel 1 staat het gemiddelde en de standaarddeviatie van alle indringingsweerstandmetingen per meetpunt over de gehele proefperiode. De gemiddelde indringingsweerstand over alle punten in deze proefperiode was 0,93 MPa met een standaarddeviatie van 0,34 MPa. Ook hier was een aanzienlijke variatie te zien tussen de meetpunten. De laagste gemiddelde

indringingsweerstand werd gevonden voor meetpunt 13 (0,59 MPa), de hoogste voor punten 1 en 2 (1,22 MPa). Zoals verwacht werden de laagste indringingsweerstand gemeten in de buurt van het punt waar de greppel was gevolgen.

Tabel 1 Gemiddelde en standaarddeviatie van indringingsweerstand per meetpunt over de proefperiode.

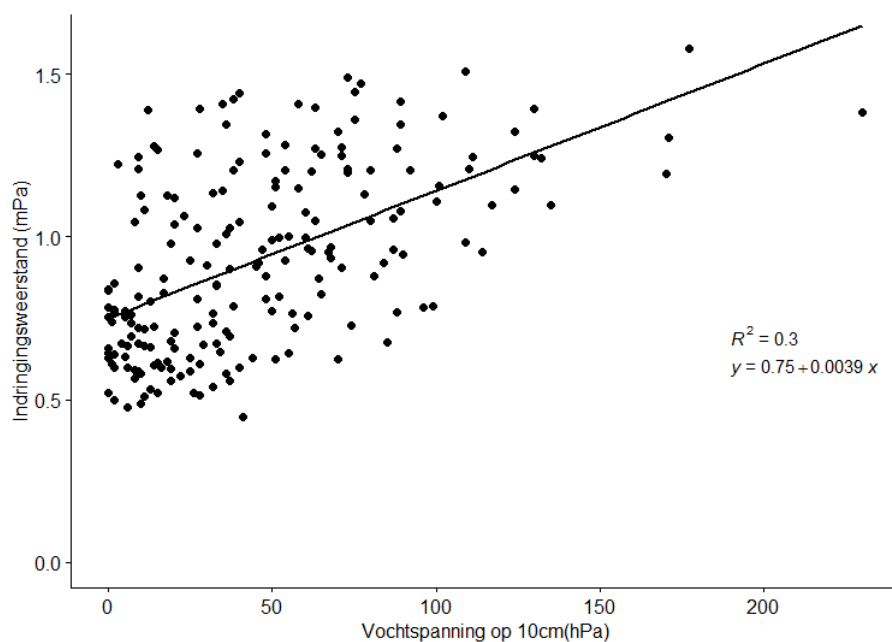
Meetpunt		Indringings- weerstand (MPa)	Meetpunt	Indringings- weerstand (MPa)	Meetpunt	Indringings- weerstand (MPa)		
1	Gemiddelde	1,22	2	Gemiddelde	1,22	3	Gemiddelde	1,12
	Standaard deviatie	0,29		Standaard deviatie	0,28		Standaard deviatie	0,26
4	Gemiddelde	1,03	5	Gemiddelde	1,18	6	Gemiddelde	1,21
	Standaard deviatie	0,31		Standaard deviatie	0,31		Standaard deviatie	0,29
7	Gemiddelde	0,68	8	Gemiddelde	0,76	9	Gemiddelde	0,64
	Standaard deviatie	0,21		Standaard deviatie	0,21		Standaard deviatie	0,19
10	Gemiddelde	0,76	11	Gemiddelde	0,84	12	Gemiddelde	0,85
	Standaard deviatie	0,22		Standaard deviatie	0,28		Standaard deviatie	0,24
13	Gemiddelde	0,59	14	Gemiddelde	1,17	15	Gemiddelde	0,98
	Standaard deviatie	0,18		Standaard deviatie	0,32		Standaard deviatie	0,32
16	Gemiddelde	0,72	17	Gemiddelde	1,04	18	Gemiddelde	0,76
	Standaard deviatie	0,21		Standaard deviatie	0,31		Standaard deviatie	0,21
Alle Meetpunten	Gemiddelde	0,93						
	Standaard deviatie	0,34						



Figuur 4.3 Verloop penetrometerwaarnemingen van de indringingsweerstand (MPa) bij meetpunt 7 (KTC Zegveld) gedurende de proef gestart op 26 juni 2024 (=dag 1).

4.4 Relatie tussen de indringingsweerstand en de vochtspanning

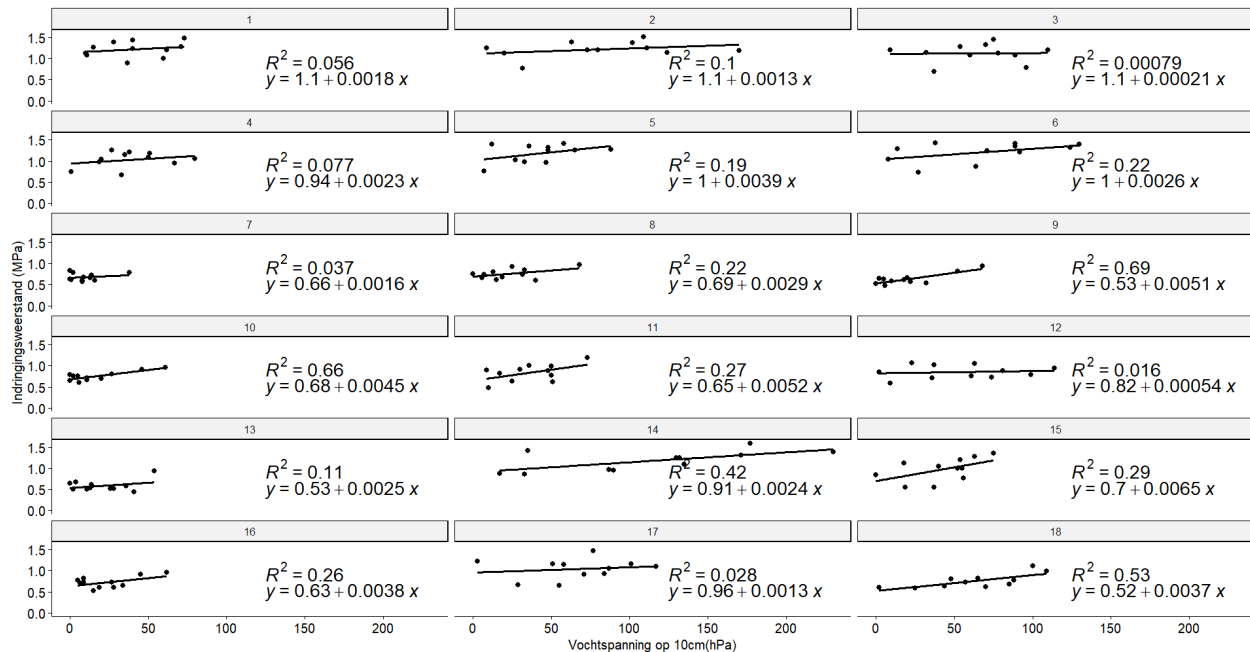
De metingen laten zien dat slechts een beperkt deel van de variatie in indringingsweerstand wordt verklaard door de vochtspanning en dat de overige variatie waarschijnlijk wordt verklaard door de staat van de graszode en ruimtelijke heterogeniteit van bodem en gewas. De staat van de graszode vertoont o.a. door eerdere beweidingsactiviteit sterke variatie over het perceel. Het sterkste verband werd gevonden tussen de vochtspanning op 10 cm diepte en de indringingsweerstand. In figuur 4.4 staat de vochtspanning op 10 cm diepte uitgezet tegen de gemiddelde indringingsweerstand over de 5 metingen rond de tensiosensoren. Het betreft hier alle metingen op beide percelen. De gevonden richtingscoëfficiënt is $0,0039 \text{ MPa hPa}^{-1}$, met een standaardfout van $0,0004 \text{ MPa hPa}^{-1}$. Dit is vergelijkbaar met de richtingscoëfficiënt van $0,0045 \text{ MPa cm}^{-1}$ gevonden door Van Wijk (1984) bij een hoog peil. De geschatte indringingsweerstand bij een vochtspanning van 0 hPa is $0,75 \text{ MPa}$ met een standaardfout van $0,026 \text{ MPa}$. Dit is veel hoger dan de $0,25$ en $0,35 \text{ MPa}$ die Van Wijk destijds vond bij respectievelijk het hoge en het lage peil. De gevonden verklaring van de vochtspanning is beperkt met een R^2 van $0,30$. In bijlage 2 staan ook de resultaten van de vochtspanningsmetingen van 5 en 15 cm uitgezet tegen de gemiddelde indringingsweerstand. De gevonden richtingscoëfficiënten zijn respectievelijk $0,00099$ en $0,0045 \text{ MPa hPa}^{-1}$ en deze regressies hebben respectievelijk een R^2 van $0,26$ en $0,14$. Wanneer wordt getoetst op een non-lineaire (kwadratische) relatie, zoals gedaan is in Van Wijk (1984), dan zorgt dit niet voor een betere fit. Ook het gebruik van de gemeten mediane of minimale indringingsweerstand (van de 5 waarnemingen) leidt niet tot een betere relatie tussen de vochtspanning en de indringingsweerstand. In de bijlage is ook een regressie uitgevoerd voor de gemeten grondwaterstand en de gemiddelde indringingsweerstand ($R^2=0,25$). Hierin is zichtbaar dat de indringingsweerstand toeneemt bij een lagere grondwaterstand. Echter ook hier is veel variatie te zien rond de gevonden relatie.



Figuur 4.4 Verband tussen gemiddelde indringingsweerstand en vochtspanning op 10 cm diepte.

De relatie tussen de indringingsweerstand was niet homogeen over de verschillende meetpunten. Figuur 4.5 laat de relatie zien per meetpunt tussen de dagelijks gemeten vochtspanning-waardes op 10 cm diepte en de gemiddelde indringingsweerstand over de 5 metingen op diezelfde dag. De richtingscoëfficiënt varieert van $0,00021 \text{ MPa hPa}^{-1}$ (bij meetpunt 3) tot $0,0065 \text{ MPa hPa}^{-1}$ (bij meetpunt 15). Er lijkt hierbij geen duidelijke relatie te zijn met de positie op het veld. De constante varieert van $0,52 \text{ MPa}$ (bij meetpunt 18) tot $1,1 \text{ MPa}$ (bij meetpunten 1,2 en 3). Hierbij valt het op dat de meetposities 1-6 de hoogste waardes laten zien. Dit lijkt samen te hangen met de afwatering van de percelen zoals die kan worden waargenomen in het verloop van

de grondwaterstanden in figuur 4.1. Hoewel de greppel bij punt 7 wordt gevuld, is er vooral een stijging van de grondwaterstand te zien richting punten 10 en 16 en in veel mindere mate richting punt 1. De R^2 varieert tussen de 0 (bij meetpunt 3) en de 0,69 (bij meetpunt 9). Er lijkt ook geen duidelijke relatie te bestaan tussen de gevonden R^2 en de positie op het veld. Zowel verder als dichterbij de greppel werden punten gevonden met een lage R^2 . Dit laat zien dat op sommige meetpunten de vochtspanning een belangrijke verklaring is voor de indringingsweerstand en voor andere punten niet of nauwelijks. Bij de punten met de lagere R^2 is de zode mogelijk minder homogeen in termen van (zode-)dichtheid.



Figuur 4.5 Verband tussen indringingsweerstand en vochtspanning op 10 cm diepte per meetpunt.

4.5 Discussie

Op basis van de resultaten zijn er de onderstaande discussiepunten:

Vergelijking met de relatie gevonden door Van Wijk (1984)

In vergelijking met de meetresultaten die Van Wijk (1984) heeft gepubliceerd, zijn er een aantal punten die opvallen:

1. Bij gelijke vochtspanning vond Van Wijk (1984) lagere indringingsweerstand. De metingen waarbij een drainagediepte van 20 à 30 cm -mv is aangehouden lieten voor vochtspanningen tussen de 0 en -40 cm waterdruk (hPa), indringingsweerstand zien van 0,2 tot 0,4 MPa. De gemiddelde indringingsweerstand gemeten in dit onderzoek komt echter nauwelijks onder de 0,5 MPa uit, ongeacht de vochtspanning die wordt gemeten.
2. De gevonden richtingscoëfficiënt van de relatie tussen de vochtspanning en de indringingsweerstand is van dezelfde ordegrootte als die van Wijk (1984) vond. De relatie van Van Wijk (1984) laat bij een vergelijkbaar hoog slootpeil een stijging zien van circa 0,35 MPa tussen een vochtspanning van 0 en -70 cm waterdruk. Dit komt neer op 0,005 MPa cm⁻¹, de nieuwe metingen laten een toename zien van circa 0,004 MPa hPa⁻¹.
3. De onzekerheid rondom de geschatte relatie is aanzienlijk groter dan bij de metingen van Van Wijk (1984). Hoewel er in die publicatie geen R^2 wordt weergegeven lijken de metingen dichtbij de regressielijn te liggen. Dit stemt niet overeen met de waarnemingen die in dit onderzoek zijn gevonden.

Seizoensinvloed op relatie tussen vochtspanning en draagkracht

De veldproef in dit onderzoek heeft plaatsgevonden in de zomer, terwijl de metingen gedaan door Van Wijk (1984) hebben plaatsgevonden in de winter en voorjaar van 1979/1980. Janssen et al. (2023) hebben in de Krimpenerwaard ook onderzoek gedaan naar de draagkracht van vergelijkbare gedraineerde veengronden. Ook deze metingen zijn gedaan in het voorjaar (maart en april van drie opeenvolgende jaren (2018-2020)). Voor het bepalen van de indringingsweerstand is een identieke penetrometer gebruikt. De indringingsweerstand die zij vonden liggen onder de waarden gevonden in dit onderzoek. Een substantieel deel (circa 20%) van de waarnemingen in hun onderzoek is lager dan 0,5 MPa, terwijl in dit onderzoek, zelfs onder zeer natte omstandigheden, vrijwel geen waarnemingen zijn gedaan onder dit niveau. Dit duidt er mogelijk op dat de relatie tussen vochtspanning en indringingsweerstand varieert over het jaar. Deze veranderende relatie is eerder ook gevonden door Boxem en Leusink (1978). Zij hebben op de locatie Zegveld de grondwaterstand en de draagkracht gemeten tussen 1970 en 1975. Zij vinden dat in de zomer (mei-oktober) de grondwaterstand een mindere verklaring geeft voor de draagkracht dan in de winter (november-april). Bovendien is bij een identieke grondwaterstand in de zomer de gemiddelde draagkracht hoger dan in de winter (circa 0,1 MPa). Deze variatie in indringingsweerstand kan mogelijk worden verklaard door variatie in de dichtheden en de cohesie van het veen gedurende het jaar. Zoals ook beschreven in Schothorst (1982), kan dit komen door achtereenvolgende uitdroging en vernatting die gedurende een jaar optreedt. Wanneer in de loop van de zomer het veen langer en vaker uitdroogt, krimpt het veen. Er kan hierbij niet-reversibele krimp optreden (Seidel et al., 2023), waarbij het volumeverlies groter is dan het verlies aan water doordat grote poriën instorten. Hierdoor neemt de dichtheid toe.

Toename van dichtheid door langjarige uitdroging

De toename van de dichtheid door krimp van de veenlagen is ook een proces dat op de langere termijn speelt. Door lagere grondwaterstanden en hogere temperaturen in de afgelopen veertig jaar is het veen meer gemineraliseerd, wat de toplaag een hogere dichtheid heeft gegeven. Dit fenomeen wordt ook door Van Wijk (1984) genoemd als verklaring waarom er bij grotere drainagediepte een gemiddeld hogere draagkracht optreedt dan bij ondiepere drainage. Immers bij diepere drainage zijn er meer en langere perioden waarbij het veen kan mineraliseren en krimpen wat tot verdichting kan leiden.

Beweidingshistorie

Verdichting van de bodem kan ook het gevolg zijn van eerdere beweiding of bewerking gedurende het jaar of in eerdere jaren. Gedurende het jaar zal het grasland vaker betreden worden wat leidt tot verdichting van de bodem. Hierdoor zal gemiddeld genomen (ongeacht de vochtspanning) de draagkracht over het jaar toenemen. Als in de winterperiode (wanneer er minder geweid wordt) deze verdichting niet wordt opgeheven, kan ook van jaar op jaar de draagkracht toenemen onder dezelfde vochtomstandigheden.

Variatie rond de gevonden relatie.

Op basis van de rapportage Van Wijk (1984) is het lastig te bepalen waar de geringe variabiliteit rond de gevonden relatie tussen vochtspanning en indringingsweerstand vandaan komt. De geringe variabiliteit sluit niet aan bij vergelijkbaar onderzoek in de literatuur. In Earl (1996) wordt voor zes verschillende graslanden de vochtspanning op 5 en 15 cm-mv afgezet tegen de indringingsweerstand. Er is een grote variabiliteit in de verklaringskracht van vochtspanning op indringingsweerstand. De gevonden R^2 -waarden variëren tussen de 0,27 en 0,96 met een gemiddelde van 0,53. Deze studie laat ook een grote spreiding in richtingscoëfficiënten zien, variërend van 0,2 tot 0,76 MPa pF⁻¹. Geen van deze graslanden is echter op veengrond gelegen. In Janssen et al. (2023), wordt niet de relatie tussen de vochtspanning en de indringingsweerstand gemeten, maar de relatie tussen het bodemvochtgehalte en de indringingsweerstand. Dit onderzoek is uitgevoerd op vergelijkbare gedraineerde veengronden in de Krimpenerwaard. De gemeten correlatie tussen het bodemvochtgehalte en de indringingsweerstand is -0,61, wat overeenkomt met een R^2 van 0,37. Deze waarde komt overeen met de R^2 die gevonden is in dit onderzoek en bevestigt dat een aanzienlijk deel van de variatie in draagkracht niet gerelateerd is aan de vochtuithouding in de bodem.

(Zode)dichtheid

Vanuit de literatuur zijn er meerdere oorzaken bekend die de gevonden variabiliteit in indringingsweerstand (bij een identieke vochtspanning) in dit onderzoek kunnen verklaren. Zo rapporteert Janssen et al. (2023) dat de zodedichtheid een bepalende factor is voor de gemeten indringingsweerstand. De zodedichtheid is hierbij gemeten als percentage, bij 0% is de bodem volledig onbedekt en is er geen gras aanwezig terwijl bij

100% de bodem volledig bedekt is met gras. De gemeten zodedichtheden liggen grofweg tussen de 40 en 80%. Het onderzoek laat zien dat bij een zodedichtheid van 80% de indringingsweerstand gemiddeld 0,5 MPa hoger is dan bij een zodedichtheid van 40%. De variabiliteit kan ook worden verklaard door variabiliteit in dichtheid in het grasland door plaatselijke verschillen in vertrapping of drainage. In dit onderzoek is de zodedichtheid niet gemeten, maar de percelen worden continu gebruikt om te weiden en hebben op het oog een grote variabiliteit in zodedichtheid. Op basis daarvan kan worden verondersteld dat (zode)dichtheid een belangrijke verklaring is voor de variabiliteit rond de gevonden relatie tussen vochtspanning en indringingsweerstand.

Meetmethode

Een mogelijk andere factor die de variabiliteit in indringingsweerstand kan verklaren is de variabiliteit van indringingssnelheid. Het opnemen van de indringingsweerstand gebeurt handmatig. Hoewel er getracht wordt om de indringingssnelheid constant te houden is dat in de praktijk niet mogelijk. De Wit (1988) geeft aan dat een verdubbeling van de gebruikelijke snelheden bij handmatige metingen (circa 30,5 mm s⁻¹) tot een verhoging van de indringingsweerstand van 10% leidt.

Draagkracht en schade

Bij het nemen van de beslissing om te gaan weiden speelt de variatie in indringingsweerstand een belangrijke rol. De boer neemt niet de gemiddelde draagkracht van het grasland in ogenschouw, maar beoordeelt of er over het gehele weiland voldoende draagkracht is. Dit wordt pas bewerkstelligd bij een hogere gemiddelde draagkracht.

5 Conclusies en aanbevelingen

Grote variatie in de draagkrachtmetingen bij gelijke vochtspanning

In dit onderzoek hebben we door middel van een veldproef gedurende twee weken de relatie tussen vochtspanning en draagkracht gemeten. Op 18 punten in het grasland hebben we dagelijks de vochtspanning op 3 dieptes (5, 10 en 15 cm-mv) met tensiometers gemeten. Van de gemeten dieptes blijkt de vochtspanning op 10 cm-mv de duidelijkste relatie met de draagkracht te geven. De bijbehorende draagkracht hebben we bepaald door per meetpunt 5 maal de maximale indringingsweerstand met een hand-penetrometer te bepalen. Het blijkt dat er grote variatie zit tussen deze 5 metingen door variatie in zode en dichtheid van de bodem.

Gevonden relatie tussen vochtspanning en indringingsweerstand wijkt sterk af van de relatie gevonden door Van Wijk (1984)

De uitgevoerde veldproef heeft laten zien dat de relatie tussen vochtspanning en indringingsweerstand die wordt gebruikt in het Waterpas- en Waterwijzer Landbouw-instrumentarium niet universeel geldig is. Dit onderzoek vindt wel een draagkracht die oploopt bij oplopende vochtspanning. Bovendien is de toename van draagkracht per eenheid vochtspanning (circa 0,004 MPa draagkracht per hPa vochtspanning) vergelijkbaar met de metingen gedaan door Van Wijk (circa 0,005 MPa draagkracht per hPa vochtspanning). Echter, de gebruikte relatie veronderstelt bij identieke vochtspanning circa 0,3-0,4 MPa minder draagkracht dan wordt waargenomen in dit onderzoek. Bovendien is de waargenomen onzekerheid rondom de relatie tussen vochtspanning en indringingsweerstand veel groter dan de onzekerheid die is waargenomen door Van Wijk (1984).

(Zode)dichtheid is een belangrijke verklaring voor gevonden variatie en de verschillen met de relatie gevonden door Van Wijk (1984).

Het verschil in draagkracht zoals gebruikt in het Waterpasinstrumentarium en de resultaten van dit onderzoek kan worden verklaard door een aantal factoren. Ten eerste is er een toename geweest van de dichtheid van de toplagen van veengronden in de afgelopen veertig jaar. Deze verdichting van de toplagen komt voor een belangrijk deel door de lagere grondwaterstanden en hogere temperaturen in deze periode. Door deze langjarige drogere condities is het veen meer gemineraliseerd, wat de toplaag een hogere dichtheid heeft gegeven. Mogelijk is er ook sprake van verdichting door 40 jaar opeenvolgende beweiding en berijding van het grasland. Ditzelfde principe speelt ook op binnen het jaar. De metingen van Van Wijk (1984) hebben plaatsgevonden in de winter en het voorjaar, terwijl onze metingen in de zomer zijn gedaan. Ook gedurende het jaar is er sprake van een toename in dichtheid door verdichting van voorgaande beweiding en berijding en krimp van het veen door achtereenvolgende uitdroging en vernatting.

Omdat de omstandigheden waaronder in de jaren tachtig van de vorige eeuw metingen zijn gedaan slechts beperkt beschreven zijn, kunnen wij de verschillen met de gevonden onzekerheid rondom de relatie tussen vochtspanning en draagkracht in dit onderzoek lastig verklaren. We weten echter dat de variatie rondom de gevonden relatie kan worden verklaard door de overige factoren die de draagkracht van het grasland beïnvloeden. Een belangrijke factor is het verschil in zodedichtheid over het gemeten grasland. Daarnaast speelt ook de variatie in de bodemdichtheid van de bovenste bodemlaag een belangrijke rol. Binnen hetzelfde grasveld zijn plekken waar de zode meer of minder vertrapt zijn die tot een andere dichtheid en draagkracht leiden. Daarnaast zijn er binnen het grasland plekken die beter gedraineerd zijn en hier sprake is van meer uitdroging en hogere dichtheden.

Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

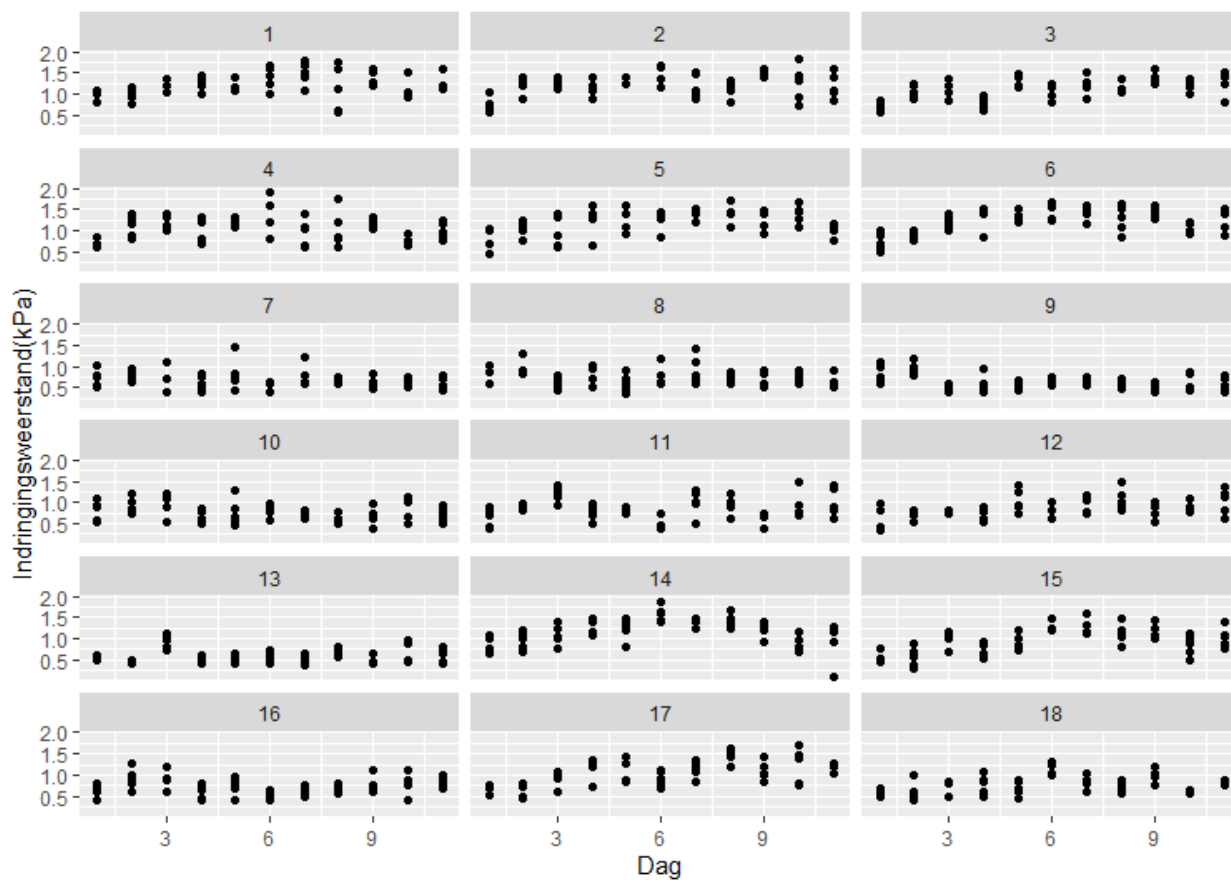
Op basis van de conclusies worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- Idealiter zou de gebruikte relatie tussen draagkracht en vochtspanning afhankelijk zijn van voorgaande vernatting en verdroging. Indien dit niet mogelijk is zou een seizoenafhankelijke relaties tussen vochtspanning kunnen worden geïmplementeerd. Om deze relatie vast te stellen zou de beschreven proef in verschillende seizoenen moeten worden herhaald. Het is belangrijk hierbij in ogenschouw te nemen wanneer gedurende het jaar in de huidige simulaties, beweiding en berijding bij te natte omstandigheden tot schade leiden. Op basis hiervan kan worden bepaald welke mate van differentiatie in geïmplementeerde relaties nodig is en kan er een balans worden gevonden tussen de complexiteit en de bruikbaarheid van het model.
- Het beperkte aantal waarnemingen waarop de huidige relatie is gebaseerd en de periode die is verstreken sinds de waarnemingen roept vragen op over universele toepasbaarheid van de relatie voor alle huidige veenweidegronden. Het is onwaarschijnlijk dat de (zode)dichtheid zoals die worden waargenomen op de proefboerderij Zegveld in de jaren 80 van de vorige eeuw representatief zijn voor de huidige gemiddelde veenweide-boerderij. Idealiter wordt de proef herhaald op andere percelen/boerderijen met verschillende type veenbodems of wordt anderszins aangetoond dat de zodedichtheid en/of verdichting representatief is. Op basis hiervan kan dan een relatie worden geïmplementeerd die representatief is voor een gemiddelde boerderij en mogelijk kan er differentiatie worden aangebracht in de relatie per individuele boerderij indien de additionele proeven dit uitwijzen.
- Een groot deel van de variatie van de draagkracht wordt niet verklaard door de vochtspanning in de bodem. Bij het nemen van de beslissing om te gaan weiden speelt deze variatie ook een belangrijke rol. De boer neemt niet de gemiddelde draagkracht van het grasland in ogenschouw, maar beoordeelt of er over het gehele weiland voldoende draagkracht is. Dit zal pas aan de orde zijn bij een hogere gemiddelde draagkracht. Er zou onderzocht kunnen worden hoe een boer in werkelijkheid de afweging maakt en of dit vervolgens op een juiste wijze is vertaald in de simulaties in Waterpas en Waterwijzer Landbouw.
- De grote spreiding in indringingsweerstand tussen de 5 metingen die dagelijks per meetpunt werden genomen kan mogelijk voorkomen worden door meetpunten te selecteren met een homogene zodedichtheid. Het doen van meer dan 5 metingen per meetpunt is niet te prefereren. Het totale aantal metingen per meetpunt over de proefperiode wordt dan dusdanig groot dat het moeilijk wordt dicht genoeg bij het meetpunt te meten zonder dat eerdere metingen van invloed zijn. Een andere oplossing zou zijn om de variabiliteit beter te verklaren door naast de vochtspanning en indringingsweerstand ook de zode(dichtheid) te meten.
- Het vernatten van het veld via een greppel en het meten van de vochtspanning over een periode van twee weken geeft een goede spreiding van vochtspanningen en zou ook bij vervolgmetingen kunnen worden toegepast. Dit is wel afhankelijk van de weersomstandigheden, want voldoende variatie is belangrijk.
- Het opnemen van de indringingsweerstand gebeurde handmatig en dit leidt tot veel variatie. Het is belangrijk om een methode te gebruiken waarbij de snelheid van de penetrologger kan worden gestandaardiseerd en ook een waarbij de indringingsdiepte is begrensd.

Literatuur

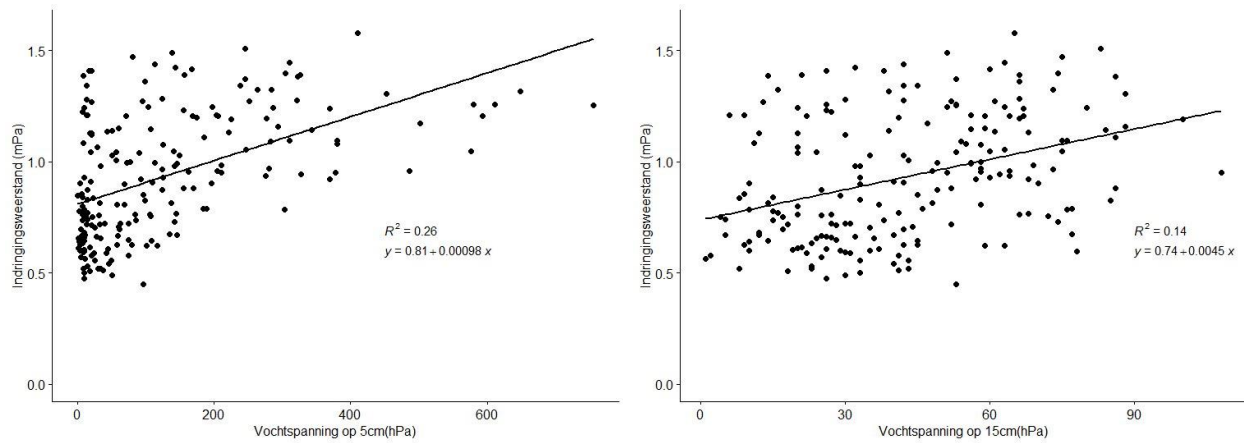
- van Bakel, Jan, and Idse Hoving. Kennis over indirecte nat-en droogteschade bij gras en maïs voor waterwijzer landbouw. No. 2017-W01. Stowa, 2017.
- Boxem, Tj, and A. W. F. Leusink. Ontwatering van veengrasland. No. 11. Proefstation voor de Rundveehouderij, 1978.
- de Wit, N. M. M. De invloed van verschillende bodemparameters op de indringingsweerstand van zandgrond. No. 1834. ICW, 1988.
- Dorenbosch, M.M. Landbouwkundige aspecten van ontwatering in veenweidegebieden. Een literatuur-analyse. Vakgroep Milieubiologie, Rijksuniversiteit Leiden, 154 p, 1983.
- Earl, R. "Prediction of trafficability and workability using tensiometers." *Journal of Agricultural Engineering Research* 63.1 (1996): 27-33.
- Janssen, Pedro WL, Nyncke J. Hoekstra, and Nick van Eekeren. "Higher density swards have a higher load bearing capacity." *Grass and Forage Science* 78.1 (2023): 204-213.
- Kroes, J. G., et al. SWAP version 3.2. Theory description and user manual. No. 1649 (02). Alterra, 2009.
- Mandersloot, F., A. T. J. van Scheppingen, and J. M. A. Nijssen. Modellen rundveehouderij. No. 72. Proefstation voor de Rundveehouderij, Schapenhouderij en Paardenhouderij, 1991.
- Schils, R. L. M., et al. "DairyWise, a whole-farm dairy model." *Journal of Dairy Science* 90.11 (2007): 5334-5346.
- Schothorst, C. J. Drainage and behaviour of peat soils. No. 3. Wageningen, The Netherlands: ICW, 1982.
- Seidel, Ronny, Ullrich Dettmann, and Bärbel Tiemeyer. "Reviewing and analyzing shrinkage of peat and other organic soils in relation to selected soil properties." *Vadose Zone Journal* 22.5 (2023): e20264.
- de Vos, J. A., et al. "Waterpas-model: A predictive tool for water management, agriculture, and environment." *Agricultural water management* 86.1-2 (2006): 187-195.
- Werkgroep Waterwijzer Landbouw. Waterwijzer Landbouw: instrumentarium voor kwantificeren van effecten van waterbeheer en klimaat op landbouwproductie. No. 2018-48. Stowa, 2018.
- van Wijk, A. L. M. "Landbouwkundige aspecten van ontwatering in veenweidegebieden: commentaar op een literatuuranalyse." (1984).

Bijlage 1 Penetrometer-waarnemingen

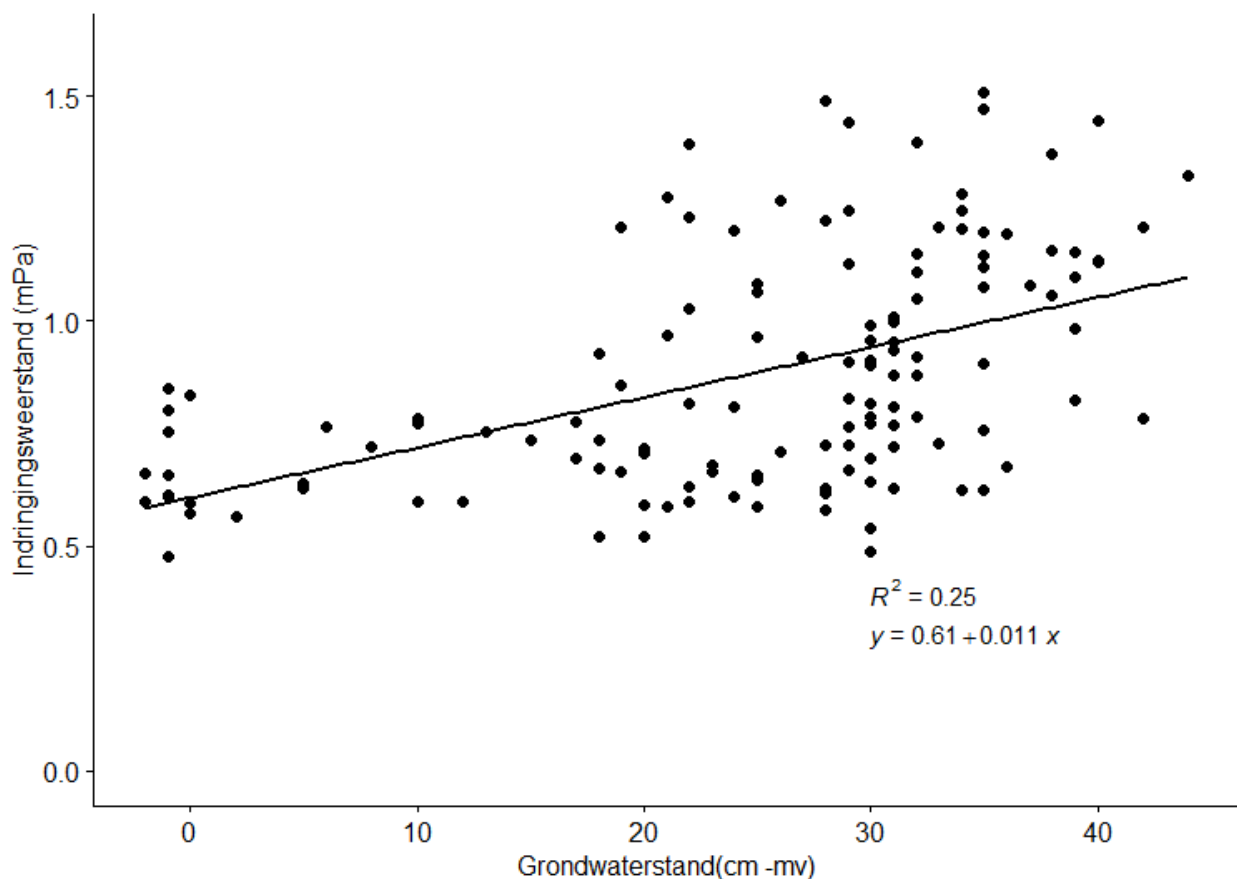


Figuur B1.1 Verloop penetrometer waarnemingen alle meetpunten gedurende de proef.

Bijlage 2 Overige relaties indringingsweerstand en vochtspanning



Figuur B2.1 Verband tussen indringingsweerstand en vochtspanning op 5 en 10 cm diepte.



Figuur B2.2 Verband tussen gemiddelde indringingsweerstand en grondwaterstand (in cm onder maaiveld).

Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
wur.nl/environmental-research

Wageningen Environmental Research
Rapport 3399
ISSN 1566-7197



De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.700 medewerkers (7.000 fte), 2.500 PhD- en EngD-kandidaten, 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AB Wageningen
T 0317 48 07 00
wur.nl/environmental-research

Rapport 3399
ISSN 1566-7197



De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.700 medewerkers (7.000 fte), 2.500 PhD- en EngD-kandidaten, 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.
