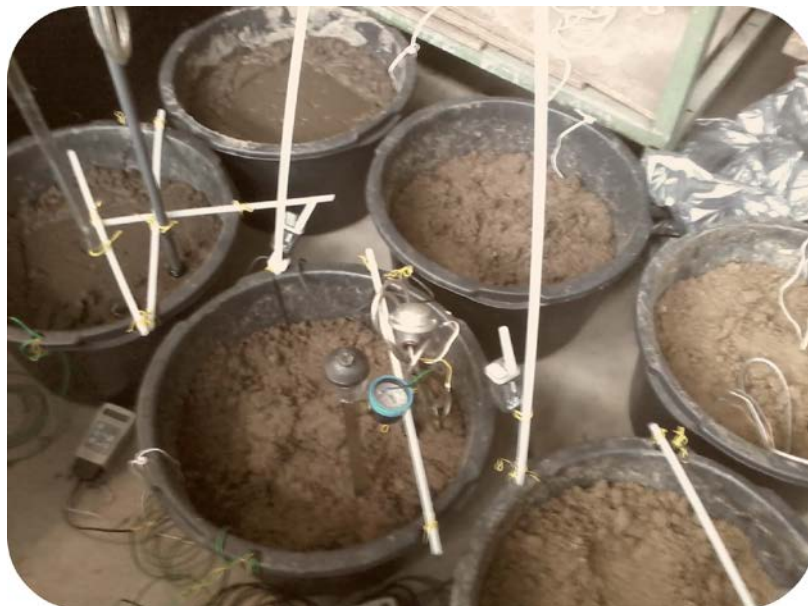


Een “grondig” onderzoek

Vergelijkingsonderzoek naar Bodemvochtsensoren & Zuigspanningsmeters



Opdrachtgevers

Royal Eijkelkamp Earth Sampling Group
Hogeschool Van Hall Larenstein

Datum

29 augustus 2013

Auteur

Walter Theodoor Verhoef



Een “grondig” onderzoek

Vergelijkingsonderzoek naar Bodemvochtsensoren & Zuigspanningsmeters

Auteur

Walter Theodoor Verhoef

School

Hogeschool Van Hall Larenstein

Opleiding

Land- en watermanagement

Type onderzoek

Afstudeeronderzoek

Begeleiders

Leon van Hamersveld en Bertus Welzen

Plaats

Giesbeek

Datum

29 augustus 2013

Voorwoord

Voor u ligt mijn afstudeerrapport in het kader van mijn Bacheloropleiding Land- en watermanagement, gevolgd aan Hogeschool Van Hall Larenstein, te Velp. Mijn interesse voor bodem en water was er al meteen vanaf dat ik aan deze opleiding begon. Daarom ben ik zeer vergenoegd met het feit dat ik de mogelijkheid kreeg om dit onderzoek uit te voeren.

De uitvoering van mijn afstudeeronderzoek deed ik bij Eijkelkamp Agrisearch Equipment (EAE). Dit is een bedrijf dat onderdeel van Royal Eijkelkamp is. Tijdens deze stage heb ik veel geleerd op het gebied van bodem en bodemvocht. Ik heb zelfs een les mogen geven aan een 2^{de} klas van een middelbare school over de bodem. Dit was zeer leuk en leerzaam.

Het uitvoeren en het rapporteren van mijn afstudeeronderzoek is voor mij een leerzaam proces geweest. Een proces dat ik niet alleen had kunnen doorstaan. Daarom wil ik van de gelegenheid gebruik maken om een aantal mensen te bedanken voor hun hulp tijdens mijn afstuderen. Allereerst wil ik de begeleiding vanuit EAE, Leon van Hamersveld, Cor Verbruggen en Karlien van Oosterhout bedanken voor de hulp en kennis die zij mij boden. Tevens wil ik Bertus Welzen, Sylvia de Jager en Richard Kraaijvanger bedanken voor de begeleiding die zij mij boden vanuit school.

Als laatste wil ik al de collega's van EAE bedanken die mij hulp, steun, kennis en materialen hebben gegeven om tot een goede afsluiting van mijn afstudeerproces te komen.

Giesbeek, augustus 2013

W.T. Verhoef

Samenvatting

Dit afstudeeronderzoek is uitgevoerd in het kader van het behalen van de Bacheloropleiding Land- en watermanagement. Het onderzoek bestaat uit een nauwkeurigheidsvergelijking die is gemaakt van verschillende bodemvochtsensoren en zuigspanningsmeters die Eijkelkamp Agrisearch Equipment (EAE) aanbiedt.

Het doel van dit onderzoek is het in beeld brengen van de verschillen tussen bodemvochtsensoren en zuigspanningsmeters onderling. Dit wordt gedaan door middel van het vergelijken van de waarden die de sensoren en meters geven met de waarden uit het laboratorium. De uitkomst van dit onderzoek bestaat uit een overzicht van welke bodemvochtsensor en welke zuigspanningsmeter geadviseerd wordt te gebruiken in een bepaalde grondsoort (met bijbehorende bodemvochtpercentage). Dit advies is gericht aan de afnemers en verkopers van de bodemvochtsensoren en zuigspanningsmeters van EAE.

De hoofdvraag van dit onderzoek is:

Welke bodemvochtsensor en zuigspanningsmeter geeft onder verschillende omstandigheden (grondsoort en bodemvochtpercentage) een meetwaarde die het meest overeenkomt met de vergelijkingswaarden die in het laboratorium bepaald zijn?

De uitvoerig van dit onderzoek en het beantwoorden van de hoofdvraag is tot stand gekomen door het uitvoeren van een literatuurstudie en het ontwikkelen van een proefopstelling. Deze proefopstellen bestond uit 6 kuipen met daarin 3 grondsoorten. Dit hield in dat er 2 kuipen per grondsoort, die een exact gelijke samenstelling hadden, in de proefopstelling stonden. Doordat er in beide kuipen een gipsblokje is geplaatst, kon er gecontroleerd worden of de samenstelling in de 2 kuipen per grondsoort gelijk was aan elkaar. Dit bleek het geval.

In deze kuipen zijn bodemvochtsensoren en zuigspanningsmeters gezet (in kuip 1). Tevens zijn er ook grondmonsters genomen uit de proefopstelling. Dit gebeurde uit de andere kuip (2). Deze monsters zijn geanalyseerd in het laboratorium op het gebied van de hoeveelheid bodemvocht en de zuigspanning. De uitkomsten van de bepalingen uit de grondmonsters, zijn gebruikt om te vergelijken met de waarden die de sensoren en meters hebben gegeven, die in de proefopstelling stonden.

Uiteindelijk zijn er 2 bodemvochtsensoren en 6 zuigspanningsmeters in het onderzoek meegenomen:

Van de 2 bodemvochtsensoren (Thetaprobe en PlantCare), is Thetaprobe het meest nauwkeurig in de 3 grondsoorten (zand, klei en leem) van de proefopstelling.

Van de zuigspanningsmeters (Standaard Tensiometer, Tensiometer UGT 151, Watermark, 2 Gipsblokjes en PlantCare) in de zandgrond is het gipsblokje in kuip 2 het meest nauwkeurig in vergelijking met de waarden uit het laboratorium. Het gipsblokje in kuip 1 is op de 2^{de} plaats geëindigd. Er is dus te stellen dat de gipsblokjes in de zandgrond het meest nauwkeurig zijn in vergelijking met de waarden uit het laboratorium.

Van de zuigspanningsmeters in de kleigrond zijn Watermark en het gipsblokje in kuip 2 het meest nauwkeurig in vergelijking met de waarden uit het laboratorium.

Van de zuigspanningsmeters in de leemgrond is Watermark het meest nauwkeurig in vergelijking met de waarden uit het laboratorium.

Lijst van figuren

Figuur 1: Proefopstelling

Figuur 2: Monsternamen met monsterring

Figuur 3: Bodemkaart met ophaallocaties van testgrond

Figuur 4: Maïsakker ten noorden van Didam

Figuur 5: Omgeploegd grasland ten noorden van Zevenaar

Figuur 6: Profielkuil op landgoed Larenstein

Figuur 7: Gelijke samenstelling testgronden creëren

Figuur 8: Gelijke samenstelling testgronden creëren

Figuur 9: Gelijkmatische vernatting testgronden

Figuur 10: Gelijkmatische verdichting testgronden

Figuur 11: Voorbeeld pF-curve

Figuur 12: Monsternamen met steekringset

Figuur 13: Monsterring met ongestoord monster

Figuur 14: Ongestoorde monsters in pF-bak

Figuur 15: Het wegen op een analytische balans

Figuur 16: pF-curves

Figuur 17: Verschillen tussen bodemvochtsensoren in zandgrond

Figuur 18: Verschillen tussen bodemvochtsensoren in kleigrond

Figuur 19: Verschillen tussen bodemvochtsensoren in leemgrond

Figuur 20: Verschillen tussen zuigspanningsmeters in zandgrond

Figuur 21: Verschillen tussen zuigspanningsmeters in kleigrond

Figuur 22: Verschillen tussen zuigspanningsmeters in leemgrond

Lijst van tabellen

- Tabel 1: Overzicht van onderzochte bodemvochtsensoren en zuigspanningsmeters met specificaties
- Tabel 2: pF-waarden met bijbehorende bodemvochtpercentages van de grondsoorten
- Tabel 3: Bodemvochtpercentages uit het laboratorium
- Tabel 4: Bodemvochtpercentages uit het laboratorium (met bijbehorende pF-waarden) en meetgegevens van sensoren en meters
- Tabel 5: Vergelijking bodemvochtsensoren met de waarden uit het laboratorium
- Tabel 6: Vergelijking zuigspanningsmeters met de waarden uit het laboratorium
- Tabel 7: Toegekende punten aan zuigspanningsmeters
- Tabel 8: Ranglijsten zuigspanningsmeters per grondsoort
- Tabel 9: Correlatiecoëfficiënten tussen de gemeten waarden van de zuigspanningsmeters
- Tabel 10: Correlatiecoëfficiënten tussen de gemeten waarden van de bodemvochtsensoren

Inhoudsopgave

Voorwoord.....	3
Samenvatting.....	4
Lijst van figuren	5
Lijst van tabellen.....	6
1. Inleiding	8
2. Methoden en materialen	10
2.1 Proefopstelling	10
2.2 Grondsoorten verzamelen.....	11
2.3 Homogeniseren testgronden.....	12
2.4 Plaatsing van de bodemvochtsensoren en zuigspanningsmeters.....	14
2.5 Bepalingen van pF-waarden en bodemvochtpercentages in het laboratorium	15
2.6 Vergelijking sensoren en meters met laboratoriumwaarden	17
2.7 Samenhang en verschillen tussen de sensoren en meters onderling	18
3. Resultaten.....	19
3.1 pF-bepalingen bodemsoorten uit het laboratorium	19
3.2 Bepalingen bodemvochtpercentages uit het laboratorium	20
3.3 Meetresultaten bodemvochtsensoren en zuigspanningsmeters.....	21
4. Vergelijking bodemvochtsensoren en zuigspanningsmeters	23
4.1 Vergelijking bodemvochtsensoren met de waarden uit het laboratorium.....	23
4.2 Vergelijking zuigspanningsmeters met de waarden uit het laboratorium.....	24
4.3 Rangschikking zuigspanningsmeters	25
4.4 Onderlinge samenhang tussen de bodemvochtsensoren en zuigspanningsmeters.....	26
4.5 Verschillen onderling tussen de bodemvochtsensoren	27
4.6 Verschillen onderling tussen de zuigspanningsmeters	29
5. Conclusies en aanbevelingen	31
6. Discussie	34
Literatuur.....	36
Bijlagen	37
Bijlage 1: Handleiding voor de bepaling van pF-waarden in het laboratorium	38
Bijlage 2: Datareeksen bodemvochtsensoren en zuigspanningsmeters.....	44
Bijlage 3: pF-bepalingen in het laboratorium.....	46
Bijlage 4: Bepaling bodemvochtpercentages in het laboratorium.....	47
Bijlage 5: Overzicht bodemvochtsensoren en zuigspanningsmeters.....	48

1. Inleiding

Voor een gezonde groei van planten is het essentieel dat er voldoende vocht in de bodem aanwezig is (Bouma & Locher, 1990). De hoeveelheid vocht in een bodem wordt het bodemvochtpercentage (vol%) genoemd (Gardner, 1986). Voor het meten van dit percentage zijn sensoren ontwikkeld. Naast de hoeveelheid vocht in de bodem is het belangrijk hoeveel kracht de plantenwortels moeten uitoefenen om vocht te onttrekken aan de bodem. Deze kracht wordt de zuigspanning genoemd. De zuigspanning is afhankelijk van het bodemvochtpercentage en de poriëngrootte (poriënvolume) tussen de bodemdeeltjes (Rowell, 1994). Het poriënvolume verschilt per bodemsoort. Leem en klei hebben bijvoorbeeld een kleiner poriënvolume dan zand. De bodemsoorten leem en klei zullen het bodemvocht daarom beter vasthouden dan zand, omdat de adhesie (aantrekkingskracht) van water aan de bodemdeeltjes door het kleinere poriënvolume groter is (Bouma & Locher, 1990). Voor het meten van de zuigspanning zijn meters ontwikkeld (Rowell, 1994). Per grondsoort kan de relatie tussen bodemvochtpercentage en zuigspanning in het laboratorium worden bepaald. De grafiek die hieruit te tekenen is wordt de pF-curve genoemd (Bouma & Locher, 1990). Eenmaal een pF-curve vastgelegd voor een bepaalde grondsoort kan het bodemvochtpercentage bepaald worden voor een bepaalde gemeten zuigspanning. Andersom kan aan de hand van de pF-curve de zuigspanning bepaald worden voor een gemeten bodemvochtpercentage (Dierickx, 1973). Tijdens dit onderzoek zijn er pF-waarden bepaald in het laboratorium die als vergelijkingswaarden voor het onderzoek zijn gebruikt.

Er is een breed aanbod van bodemvochtsensoren en zuigspanningsmeters op de markt. De werking van deze apparaten loopt uiteen, evenals de nauwkeurigheid. De aanleiding voor het uitvoeren van dit onderzoek is de vraag van Royal Eijkelkamp naar een vergelijking tussen verschillende bodemvochtsensoren en zuigspanningsmeters die Eijkelkamp aanbiedt. Het belang hierbij is dat er duidelijkheid verkregen wordt over welke bodemvochtsensor en welke zuigspanningsmeter het meest nauwkeurig is. Hierbij wordt rekening gehouden met verschillende factoren, zoals grondsoort (zand, klei en leem) en tijdsduur. Tijdens dit onderzoek is er een proefopstelling ontwikkeld waarmee de sensoren en meters vergeleken zijn met vergelijkingswaarden uit het laboratorium.

In dit onderzoek staat de volgende hoofdvraag centraal:

Welke bodemvochtsensor en zuigspanningsmeter geeft onder verschillende omstandigheden (grondsoort en bodemvochtpercentage) een meetwaarde die het meest overeenkomt met de vergelijkingswaarden die in het laboratorium bepaald zijn?

Om de hoofdvraag te kunnen beantwoorden zijn de volgende deelvragen geformuleerd:

- Wat zijn de vergelijkingswaarden van de testbodems waarmee de sensoren en meters vergeleken kunnen worden?
- Wat is het verschil tussen de waarden die de bodemvochtsensoren geven in vergelijking met de in het laboratorium bepaalde waarden?
- Wat is het verschil tussen de waarden die de zuigspanningsmeters geven in vergelijking met de in het laboratorium bepaalde waarden?
- Heeft de grondsoort invloed op de nauwkeurigheid van de sensoren en meters?
- Zijn er veranderingen in nauwkeurigheid van de meters en sensoren naarmate de testbodems verdrogen?

Doelstelling

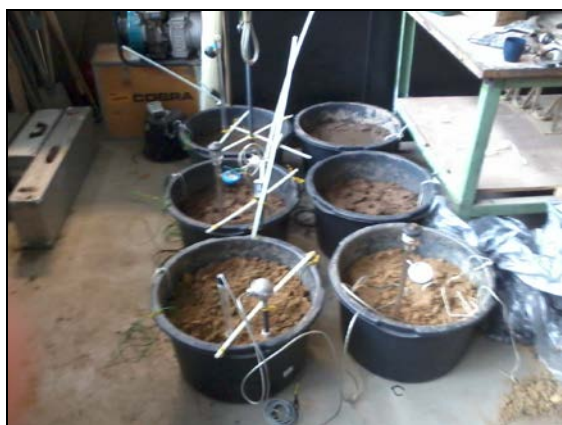
Het doel van dit onderzoek is het in beeld brengen van de verschillen tussen bodemvochtsensoren en zuigspanningsmeters onderling. Dit wordt gedaan door middel van het vergelijken van de waarden die de sensoren en meters geven met de waarden uit het laboratorium. Uit de uitkomst van dit onderzoek zal een advies voortvloeien die een selectie inhoudt van de meest geschikte meters en sensoren. Dit advies is gericht aan de afnemers en verkopers van de bodemvochtsensoren en zuigspanningsmeters van Eijkelkamp Agrisearch Equipment (EAE).

Opbouw rapport

In hoofdstuk 2 komen de materialen en methoden aan bod die tijdens het uitvoeren van het onderzoek gebruikt en toegepast zijn. Dit zijn de bodemvochtsensoren en zuigspanningsmeters en de proefopstelling waar deze sensoren en meters in getest zijn. In hoofdstuk 3 komen de meetresultaten uit het laboratorium en uit de sensoren en meters aan bod. In hoofdstuk 4 worden de waarden uit het laboratorium vergeleken met de waarden die gemeten zijn met de sensoren en meters in de proefopstelling. In hoofdstuk 5 staan de conclusies en aanbevelingen die uit het onderzoek volgen. In hoofdstuk 6 is er ruimte voor discussie over de manier waarop het onderzoek is uitgevoerd en hoe dit vergeleken kan worden met andere onderzoeken.

2. Methoden en materialen

Voor een realisatie van het doel van dit onderzoek is er een manier ontwikkeld om de sensoren en meters met elkaar te kunnen vergelijken. De apparaten zijn in een proefopstelling gezet (figuur 1) en hebben gemeten over een periode van 10 weken (van 8 april t/m 12 juni 2013). De datareeksen die uit de metingen zijn gekomen, zijn met elkaar vergeleken om afwijkingen te constateren. Ook is er onderzocht of de grondsoort waarin de sensoren en meters hebben gestaan van invloed is geweest op de meetresultaten. In dit hoofdstuk wordt de proefopstelling beschreven waarmee het onderzoek is uitgevoerd. Verder wordt beschreven hoe de waarden die de sensoren en meters hebben gegeven, zijn vergeleken met de vergelijkingswaarden uit het laboratorium. Aan de hand van deze vergelijking is een rangschikking gemaakt van welke sensoren en meters het meest nauwkeurig zijn. De methoden die hiervoor zijn toegepast, zijn eveneens in dit hoofdstuk beschreven.



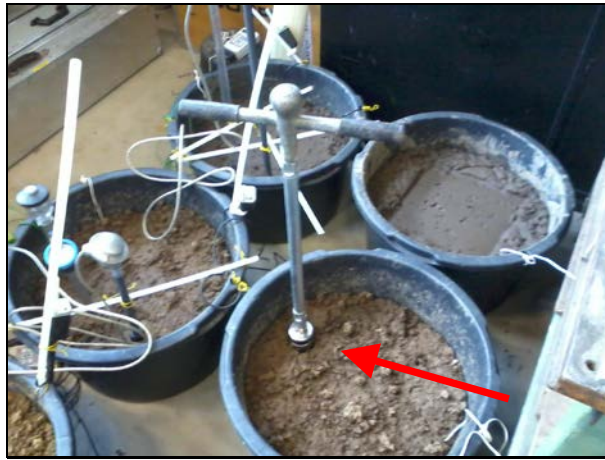
Figuur 1: Proefopstelling.

2.1 Proefopstelling

De proefopstelling is opgebouwd uit 6 kuipen die gevuld zijn met 3 grondsoorten, namelijk zand, klei en leem. Hierdoor is er een verschil in grondsoort gecreëerd waarin de sensoren en meters geplaatst zijn. Hieruit kon onderzocht worden of de sensoren en meters verschillend reageerden in verschillende grondsoorten. De keuze voor het gebruiken van zand, klei en leem (paragraaf 2.2) in de proefopstelling, is gemaakt omdat deze grondsoorten veel voorkomen in Nederland (Kaartframeset, Bodemdata). Een andere reden is dat de structuur van deze grondsoorten sterk van elkaar verschilt (Bouma & Locher, 1990). Wat nog meer heeft meegespeeld in de keuze om 3 grondsoorten te gebruiken, is de beperkte tijd van 4 maanden die aan het onderzoek verbonden was.

Er is gekozen om per grondsoort 2 kuipen te verzamelen. Dit om 2 doelen van de proefopstelling gescheiden van elkaar te houden. Het onderzoek bestaat namelijk uit metingen van de ingezette apparaten (in kuip 1) en monsters die genomen zijn voor in het laboratorium. Uit deze monsters zijn bodemvochtpercentages en pF-curves bepaald (paragraaf 2.5). Tijdens de monsternamen (figuur 2) is er met een hamer een monsterring in de grond geslagen. De trillingen die veroorzaakt werden door de monsternamen zouden de metingen van de apparaten beïnvloed kunnen hebben als deze processen in dezelfde bak plaats hadden gevonden. Daarnaast speelde ruimte een belangrijke rol. De apparaten zijn op afstand van elkaar ingezet om beïnvloeding onderling te voorkomen. Dit neemt alle ruimte in de kuip in beslag. Er is een tweede kuip (kuip 2) gebruikt om extra ruimte te creëren voor

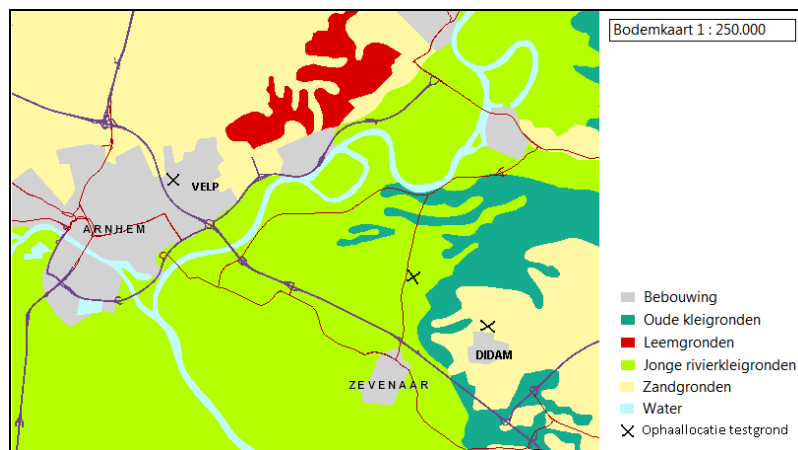
de monsternames. Hierbij was het essentieel dat de inhoud van de 2 kuipen per grondsoort gelijk was aan elkaar (samenstelling, vernatting en verdichting) om een optimale vergelijking tussen de apparaten en de waarden uit het laboratorium te kunnen maken (paragraaf 2.3).



Figuur 2: Monstername met monsterring.

2.2 Grondsoorten verzamelen

De grondsoorten zand, klei en leem zijn gehaald uit de omstreken van Giesbeek. Namelijk uit Velp, Zevenaar en Didam (figuur 3).



Figuur 3: Bodemkaart met ophaallocaties van testgrond (bron: www.bodemdata.nl).

De zandgrond is afkomstig van een maïsakker ten noorden van Didam (figuur 4). De bodemkaart 1:50.000 geeft de beschrijving bEZ23 Hoge bruine enkeerdgronden; lemig fijn zand.

De kleigrond is afkomstig van een omgeploegd grasland ten noorden van Zevenaar (figuur 5). De bodemkaart 1:50.000 geeft de beschrijving Rn47c Kalkloze poldervaaggronden; zware klei).



Figuur 4: Maïsakker ten noorden van Didam.



Figuur 5: Omgeploegd grasland ten noorden van Zevenaar.

De leemgrond is afkomstig uit een profielkuil op landgoed Larenstein (figuur 6). De bodemkaart 1:50.000 geeft bebouwing weer op deze locatie. De leemgrond heeft dezelfde eigenschappen als de beschrijving van de leemgronden ten noordoosten van Velp (figuur 3). Voor deze leemgrond geeft de bodemkaart 1:50.000 de beschrijving Ld5 Ooivaaggronden met roest beginnend dieper dan 80 cm; zandige leem in situ (Bodemdata, 2013).



Figuur 6: Profielkuil op landgoed Larenstein.

2.3 Homogeniseren testgronden

In paragraaf 2.1 is genoemd dat het essentieel is voor het onderzoek dat de 2 kuipen per grondsoort gelijk zijn aan elkaar. Dit betekent dat de grond in de kuipen eenzelfde samenstelling, vochtigheidsgehalte en dichtheid moeten hebben.

Voordat het vernattings- en verdichtingsproces van start ging zijn de testgronden van gelijke soort met elkaar gemixt. De gronden kwamen weliswaar per soort van dezelfde plaats, maar op deze manier zijn de eventuele verschillen tussen de bakken in de proefopstelling geminimaliseerd.

Om een zelfde samenstelling tussen de 2 kuipen per grondsoort te creëren is er gebruik gemaakt van een boor met een cementmixer eraan bevestigd (figuur 7). De inhoud van de 2 speciekuipen (inhoud van 2 * 65 liter) is bij elkaar in 1 speciekuip (inhoud van 90 liter) gemixt en daarna weer verdeeld over de 2 kuipen (figuur 8).



Figuren 7 en 8: Gelijke samenstelling testgronden creëren.

Na het mixen zijn de testgronden gelijkmatig aan elkaar bevochtigd (figuur 9) en verdicht (figuur 10). Gelijke bevochtiging tussen de zelfde grond is essentieel, want de mate van verdichting van grond is sterk afhankelijk van het bodemvochtpercentage. Gelijke verdichting is eveneens essentieel, want tijdens het verdichten verminderen de poriënvolumes van de gronden (Daniëls, 1977). De poriënvolumes moeten per grondsoort gelijk blijven. Voor het gelijkmatig verdichten van de grond in de kuipen is een valgewicht gebruikt van 10 kilogram dat met een constant aantal keer van een constante hoogte op de grond viel. Om de energie die uit deze valbeweging voortkwam gelijkmatig te verdelen is er een ijzeren plaat van 144 cm² onder het valgewicht gelegd (figuur 10).



Figuur 9: Gelijkmatige vernatting testgronden. Figuur 10: Gelijkmatige verdichting testgronden.

2.4 Plaatsing van de bodemvochtsensoren en zuigspanningsmeters

In de onderstaande tabel (tabel 1) staat een overzicht van de bodemvochtsensoren en zuigspanningsmeters die in de proefopstelling geplaatst zijn, evenals aanvullende informatie. Er is gekozen om deze sensoren en meters met elkaar te vergelijken, omdat deze door EAE aangeboden worden. De werking en verdere informatie over de apparaten staan weergegeven in bijlage 5.

Tabel 1: Overzicht van onderzochte bodemvochtsensoren en zuigspanningsmeters met specificaties.

	Uitleesmiddel	Output	Om te rekenen naar	Meetbereik	Nauwkeurigheid
Standaard Tensiometer	Nanometer	Centibar	Hectopascal	0-850 hPa	2,5 hPa
Tensiometer UGT 151	Spanningsmeter	millivolt	Hectopascal	-200 - 850 hPa	3,0 hPa
Tensior 4	Datahog logger	millivolt	Hectopascal	-1000 - 850 hPa	2,5 hPa
Watermark	Watermark Soil Moisture Meter	Kilopascal	Hectopascal	0 - 2000 hPa	5%
Gipsblokjes	Model 5910A Soilmoisture Meter	Kilo-ohm	Hectopascal	30 - 1000 hPa	Trend only
PlantCare	Plant Control D	Seconden	Hectopascal of relatief bodemvochtpercentage	0-100 rel. % of 0-400 hPa	1% of 1,0 hPa
Thetaprobe	AT HH2 (FD)	Bodemvochtpercentage	n.v.t.	5-55 Vol. %	5 Vol. %
e+ SOIL mct-logger	e+ CONTROL (FD)	Bodemvochtpercentage	n.v.t.	0-100%	2,5%

De sensoren en meters zijn op afstand van elkaar geplaatst, om beïnvloeding onderling tijdens de metingen te voorkomen. Horizontale plaatsing van de bodemvochtsensoren heeft ervoor gezorgd dat er met elke sensor op dezelfde diepte gemeten is, ongeacht de lengte van de elektroden. De meetdiepte wordt op deze manier nauwkeuriger aangehouden (Van der Voort, 1993). Om ervoor te zorgen dat de sensoren en meters per grondsoort op de zelfde diepte aan het meten waren, zijn de apparaten vanaf de randen van de kuipen op dezelfde diepte geplaatst. Namelijk 20 centimeter onder de rand. Door de verdichting zijn de gronden in de proefopstelling compacter geworden. De mate van compactie verschilt per bodemsoort. De kuipen met zand waren namelijk gevuld tot 10 cm onder de rand, de kuipen met klei tot 13 cm onder de rand en de kuipen met leem tot 12 cm onder de rand. Hieruit is gevolgd dat de sensoren en meters bij zand 10 cm, bij klei 7 cm en bij leem op 8 cm diepte zijn geplaatst. De apparaten zijn volgens instructies uit de bijbehorende handleidingen in de proefopstelling geplaatst.

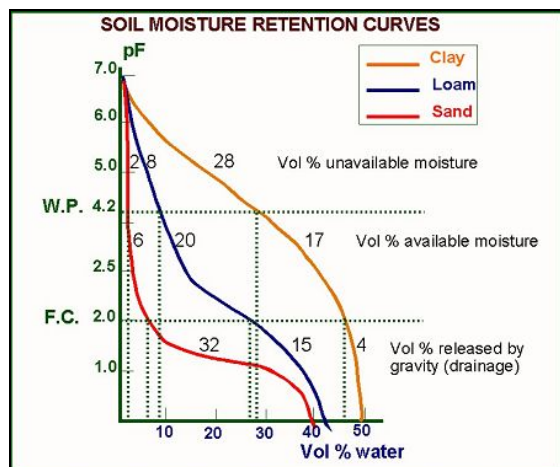
Er is ruimtegebrek in leemkuip 1 ontstaan, doordat er in de leemgrond een extra zuigspanningsmeter geplaatst is (de Tensior 4). Daarom is er een Tensiometer in leemkuip 2 geplaatst. Door de homogeniteit tussen de bakken kan de vergelijking tussen de Tensiometer in leemkuip 2 alsnog gemaakt worden met de andere zuigspanningsmeters in leemkuip 1. Opgemerkt moet worden dat de Tensiometer eventueel beïnvloed wordt door de monsternamen. In de kuipen voor monstername (kuip 2) zijn extra gipsblokjes (gipsblokjes 2) gezet om de gelijkheid tussen de 2 kuipen per grondsoort in de proefopstelling aan te tonen. Gipsblokjes 2 is eveneens meegenomen in de vergelijking.

Een aantal van de ingezette bodemvochtsensoren en zuigspanningsmeters zijn 2 maal per dag met de hand uitgelezen. En een aantal van deze sensoren zijn gekoppeld aan loggers. De gegevens die hieruit kwamen zijn in een tijdreeks gezet (bijlage 2). Deze tijdreeks geeft de verdroging van de testgronden weer. De waarden die de apparaten hebben gegeven, zijn vergeleken met de waarden die in het laboratorium bepaald zijn. Deze waarden zijn bepaald uit de monsters die genomen zijn (paragrafen 3.1 en 3.2).

2.5 Bepalingen van pF-waarden en bodemvochtpercentages in het laboratorium

Door het bepalen van de pF-waarden en het bepalen van bodemvochtpercentages in het laboratorium, is het mogelijk om te onderzoeken welke zuigspanningsmeter en welke bodemvochtsensor het meest nauwkeurig is. De waarden die de bodemvochtsensoren en zuigspanningsmeters hebben gegeven, zijn namelijk vergeleken met de bodemvochtwaarden en de pF-waarden die bepaald zijn in het laboratorium (paragrafen 4.4 en 4.5). De waarden die in het laboratorium bepaald zijn, zijn namelijk als zeer nauwkeurig te bestempelen (Elffrink, 2000). De laboratoriumproeven zijn uitgevoerd aan de hand van het dictaat "Practicumvoorschriften Bodemonderzoek" (bijlage 1).

Verder zijn er pF-curves van de testgronden gemaakt. Een pF-curve is een grafiek waarin 2 eenheden tegenover elkaar worden uitgezet. Namelijk op de x-as de volumefractie bodemvocht (dit getal maal 100 is het bodemvochtpercentage) en op de y-as de zuigspanning in centimeter waterkolom of in hectopascal ($1 \text{ cm} = 1 \text{ hPa}$). De pF-waarde in de pF-curve is de logaritme ($^{10}\log$) van de waarde in hPa (Elffrink, 2000). De curve laat de vochtkarakteristiek van een bodem zien. Dit houdt in dat bij een bepaalde zuigspanning niet ieder bodemtype hetzelfde bodemvochtgehalte heeft. Bij een bodemvochtpercentage van 20% is bij een kleigrond de zuigspanning hoger dan bij een zandgrond. Er is meer kracht nodig om water los te krijgen uit een kleigrond dan uit een zandgrond (figuur 11). Bij een pF-waarde van onder de 3,0 hangt het vochtgehalte vooral van de poriënverdeling af (capillaire krachten). Vanaf een pF-waarde van 3,0 is het bodemvocht voornamelijk op osmotische wijze gebonden. Het bodemvochtpercentage is dan alleen afhankelijk van het lutum- en humusgehalte.



Figuur 11: Voorbeeld pF-curve.

Voor het bepalen van de pF-waarden 1,0 en 2,0 zijn 3 ongestoorde bodemonsters per grondsoort uit de proefopstelling genomen. Dit is gedaan met een steekringset (figuren 12 en 13). De inhoud van de monsterringen is 100 cm^3 . De bemonsteringsdiepte is gelijk aan de diepte waarop de bodemvochtsensoren en zuigspanningsmeters geplaatst zijn (paragraaf 2.4). De hoogte van de monsterringen is 5 cm. Bij de bemonstering is ervoor gezorgd dat het midden van de monsters op dezelfde diepte zaten als de plaatsingsdiepte van de apparaten.



Figuur 12: Monsternamen met steekringset.



Figuur 13: Monsterring met ongestoord monster.

Het gebruiken van 3 bodemonsters (triplo) voor 1 pF-bepaling is gedaan om eventuele afwijkingen in de uitkomsten op te vangen. Voor de uiteindelijke bepaling van de pF-waarde wordt het gemiddelde van de 3 uitkomsten (per grondsoort) genomen.

Voor het uitvoeren van de bepaling zijn de monsters eerst volledig verzadigd (pF 0,0). Daarna zijn ze in de pF1-bak gezet (figuur 14). Op de pF-bak is een onderdruk ingesteld. Hierdoor zuigt de pF-bak het vocht uit de monsters totdat de grond een pF-waarde heeft van 1,0. Hierna kunnen dezelfde monsters gebruikt worden voor de bepaling van pF 2,0. Voor deze bepaling zijn de monsters eveneens in een pF-bak gezet. Deze zuigt (met een hogere onderdruk) het water uit het monster totdat een pF-waarde van 2,0 bereikt is. De monsters zijn veldvochtig, na het verzadigen, na de pF 1 bak, na de pF 2 bak en na het drogen in een droogstoof

(105 °C) gewogen op 0,1 gram nauwkeurig (figuur 15). Met formules uit het dictaat "Practicumvoorschriften Bodemonderzoek" zijn de bodemvochtpercentages berekend die bij de boven genoemde fases van de monsters horen (bijlage 3).



Figuur 14: Ongestoorde monsters in pF-bak.



Figuur 15: Het wegen op een analytische balans.

Sterk osmotisch gebonden bodemvocht (vanaf pF 3,0 en hoger) kan alleen door het aanbrengen van overdruk uit de grond verdreven worden. Voor het bepalen van de pF-waarden 3,0 en 4,2 zijn 3 gestoorde bodemonsters per grondsoort genomen. Het principe voor deze bepalingen is hetzelfde als bij pF 1,0 en 2,0 alleen nu wordt de pF-waarde bereikt door de monsters op hoge druk te zetten in een drukpan zodat het bodemvocht eruit wordt geperst.

Voor de bepaling van de bodemvochtpercentages van de testgronden, zijn net als bij de bepaling van pF-1,0 en 2,0, ongestoorde monsters genomen (figuren 12 en 13). De monsterringen waarmee de ongestoorde monsters zijn genomen, hebben een volume van 100 cm^3 . De monsters zijn veldvochtig gewogen op 0,1 gram nauwkeurig. Na het wegen zijn de monsters in een droogstoof gezet, om het bodemvocht in de monsters te laten verdampen. Nadat de monsters 24 uur in de droogstoof hadden gestaan, zijn ze opnieuw gewogen. Uit het verschil tussen de 2 gewogen waarden is het gewicht van het vocht dat in een monster aanwezig was gekomen. Aangezien er in dit onderzoek alleen met volumepercentage bodemvocht is gewerkt, is deze waarde gedeeld door het soortelijk gewicht van water, namelijk $0,998 \text{ gram/cm}^3$ (Verkerk, Broens, Bouwens, De Groot, Kranendonk, Vogelesang, Westra & Wevers, 2004). Hier is het volumepercentage bodemvocht uitgekomen.

2.6 Vergelijking sensoren en meters met laboratoriumwaarden

De bodemvochtsensoren en zuigspanningsmeters zijn met de waarden uit het laboratorium vergeleken. De bodemvochtsensoren zijn vergeleken met het volumepercentage bodemvocht uit de monsters. De waarden die de zuigspanningsmeters hebben gegeven zijn omgerekend naar pF-waarden, zodat ze vergeleken konden worden met de pF-waarden in de pF-curves die in het laboratorium bepaald zijn.

Voor de vergelijking van de bodemvochtsensoren en zuigspanningsmeters met de vergelijkingswaarden uit het laboratorium (paragrafen 4.1 en 4.2) is een methode ontwikkeld. Op 3 verschillende datums (12 april, 26 april en 12 juni 2013) zijn de metingen van de bodemvochtsensoren vergeleken met bodemvochtpercentages van monsters die op dezelfde datum genomen zijn. De metingen van de zuigspanningsmeters op deze 3 datums zijn vergeleken met de pF-waarden die met behulp van de bodemvochtpercentages uit het laboratorium van de pF-curves af te lezen zijn. De verschillen tussen deze waarden zijn berekend en in een tabel weergegeven. Hierdoor is te onderscheiden welke sensor en meter het dichtst bij de vergelijkingswaarden uit het laboratorium komen, de grondsoort en het bodemvochtpercentage in acht nemend.

Tijdens dit onderzoek zijn er 2 bodemvochtsensoren met elkaar vergeleken. Doordat er 2 bodemvochtsensoren met elkaar vergeleken zijn, is er direct af te leiden welke sensor het meest nauwkeurig is in vergelijking met de waarden uit het laboratorium.

Bij de zuigspanningsmeters ligt het anders. Er zijn in totaal 6 meters met elkaar vergeleken. (gipsblokjes dubbel). Hierdoor is niet direct af te leiden welke meter het meest nauwkeurig is in vergelijking met de waarden uit het laboratorium. Om dit duidelijk te krijgen is er een puntensysteem ontwikkeld waardoor de meest nauwkeurige meter per grondsoort en bodemvochtpercentage weergegeven wordt.

2.7 Samenhang en verschillen tussen de sensoren en meters onderling

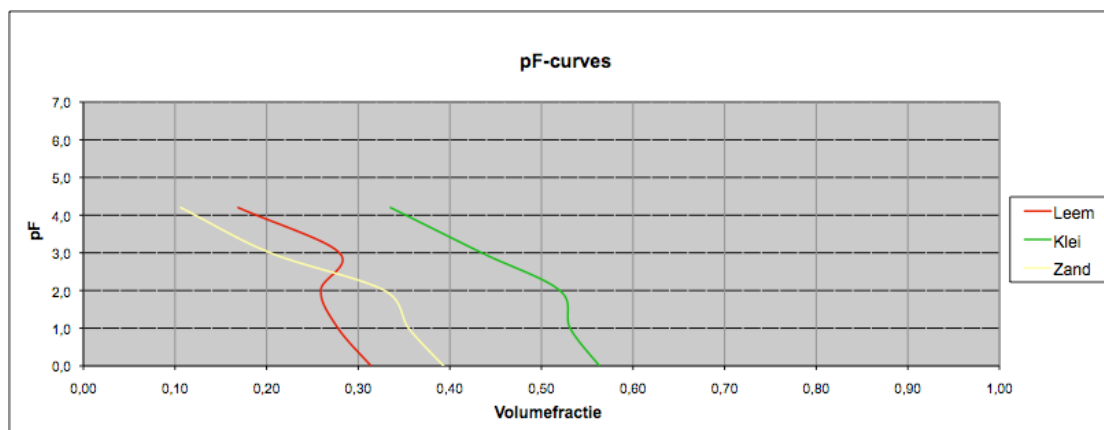
Om de onderlinge samenhang tussen de metingen die de bodemvochtsensoren en de onderlinge samenhang tussen de zuigspanningsmeters aan te tonen, zijn de meetwaarden gecorreleerd met elkaar. Door het bepalen van de correlatiecoëfficiënt kan de samenhang tussen 2 variabelen getoetst worden (van Peet, van den Wittenboer & Hox, 1995). De samenhang is bepaald om aan te tonen dat de homogeniteit in en tussen de 2 kuipen (per grondsoort) gewaarborgd is. Een hoge correlatiecoëfficiënt tussen gipsblokje 1 en gipsblokje 2 betekent dat de grond in de 2 kuipen gelijk (samenstelling, vernatting en verdichting) is aan elkaar. De verschillen zijn eveneens weergegeven om de zelfde reden als het weergeven van de samenhang. Door het weergeven van de samenhang en de verschillen is ook aan te tonen welke bodemvochtsensoren en welke zuigspanningsmeters afwijkende waarden geven.

3. Resultaten

Uit de proefopstelling met de bijhorende methoden zijn de onderzoeksresultaten voortgekomen. In dit hoofdstuk komen de pF-waarden en de bodemvochtpercentages aan bod die in het laboratorium bepaald zijn. De meetwaarden uit de bodemvochtsensoren en zuigspanningsmeters komen in dit hoofdstuk eveneens aan bod. De meetwaarden uit de zuigspanningsmeters zijn omgerekend naar pF-waarden, zodat ze met de pF-waarden uit het laboratorium te vergelijken zijn.

3.1 pF-bepalingen bodemsoorten uit het laboratorium

Tijdens dit onderzoek zijn er pF-bepalingen uitgevoerd op de 3 testgronden die de proefopstelling bevat (bijlage 3). Aan de hand van deze bepalingen zijn pF-curves gemaakt (figuur 16). Met de curves wordt bevestigd dat er in de kleigrond meer kracht nodig is om het water te onttrekken bij een bepaald bodemvochtpercentage dan bij leem en zand (Bouma & Locher, 1990).



Figuur 16: pF-curves.

In de pF-curves is te zien dat naarmate de bodem uitdroogt de pF-waarden stijgen (figuur 16). Behalve in de pF-curve van de leemgrond. In deze curve is een afwijking te zien op pF 3,0. Het is onmogelijk dat pF 3,0 een hogere volumefractie bodemvocht bevat dan pF 2,0 (Bouma & Locher, 1990). Ondanks dat het protocol voor de bepaling van pF 3,0 met zorg en precisie is uitgevoerd is deze afwijking te constateren. Voor de bepaling van pF 3,0 zijn 3 monsters gebruikt (in triplo). Per monster worden er volumefracties bodemvocht bepaald die bij pF 3,0 horen. Het gemiddelde van de 3 volumefracties wordt gebruikt voor de pF-curve. Als er 1 monster een afwijkende waarde geeft wordt deze buiten beschouwing gelaten. Bij toeval zijn er bij 2 van de 3 monsters onlogische waarden uitgekomen waardoor het gemiddelde sterk afwijkt. De juiste volumefractie voor de pF 3,0 van de leemgrond is aan de hand van de uitkomsten van de pF-bepalingen daarom niet correct te bepalen. In tabel 2 staat een overzicht van de in het laboratorium bepaalde pF-waarden met de bijbehorende volumefracties waaruit de pF-curves getekend zijn. De volumefractie maal 100 geeft het bodemvochtpercentage.

Tabel 2: pF-waarden met bijbehorende bodemvochtpercentages van de grondsoorten.

	pF-waarde	Volumefractie	Bodemvochtpercentage
Klei	0,0	0,56	56
	1,0	0,53	53
	2,0	0,52	52
	3,0	0,43	43
	4,2	0,34	34
Leem	0,0	0,31	31
	1,0	0,28	28
	2,0	0,26	26
	3,0	0,28	28
	4,2	0,17	17
Zand	0,0	0,39	39
	1,0	0,36	36
	2,0	0,33	33
	3,0	0,20	20
	4,2	0,11	11

3.2 Bepalingen bodemvochtpercentages uit het laboratorium

De testgronden klei, leem en zand zijn op 3 verschillende datums bemonsterd voor de bepaling van het bodemvochtpercentage (tabel 3). Deze datums liggen binnen de meetperiode van de bodemvochtsensoren en zuigspanningsmeters (8 april 2013 tot 12 juni 2013), namelijk op 12 april, 26 april en 12 juni 2013. Er is gekozen om deze bepalingen op 3 verschillende datums uit te voeren om de invloed van het volumepercentage bodemvocht met bijbehorende zuigspanning op de sensoren en meters te onderzoeken. De bodemvochtpercentages van de monsters zijn in het laboratorium bepaald (bijlage 4). Met behulp van de pF-curves van de testgronden (figuur 16) is bepaald welke pF-waarden er bij de bodemvochtpercentages horen. Deze waarden zijn gebruikt voor de vergelijking met de bodemvochtsensoren en zuigspanningsmeters. De 3^{de} bepaling (12 juni) van het bodemvochtpercentage van de leemgrond geeft een dusdanig lage waarde, dat de bijbehorende pF-waarde boven de 4,2 valt.

Tabel 3: Bodemvochtpercentages uit het laboratorium.

Klei	Volumepercentage	pF-waarde	Datum monstername
1	50,1	2,3	12-4-2013
2	43,4	3,0	26-4-2013
3	35,6	4,0	12-6-2013
Leem			
1	25,2	3,4	12-4-2013
2	22,1	3,6	26-4-2013
3	9,9	>4,2	12-6-2013
Zand			
1	34,5	1,6	12-4-2013
2	30,7	2,2	26-4-2013
3	19,8	3,0	12-6-2013

3.3 Meetresultaten bodemvochtsensoren en zuigspanningsmeters

Met de bodemvochtsensoren en zuigspanningsmeters zijn er metingen gedaan in de proefopstelling. Deze metingen zijn in een reeks geplaatst (bijlage 2). De datareeks loopt van 8 april 2013 tot 12 juni 2013. Er zijn een aantal apparaten later gestart dan de begindatum. Dit komt doordat deze apparaten en/of de uitleesunit/logger nog verzameld en/of ingesteld moesten worden. Ook zijn er een aantal apparaten eerder gestopt dan de einddatum door defecten en door het bereiken van het maximale meetbereik. De waarden die de zuigspanningsmeters gegeven hebben, zijn omgerekend naar pF-waarden. Deze pF-waarden per apparaat zijn in de datareeks met oranje aangegeven. De met oranje aangegeven waarden zijn bruikbaar voor het onderzoek. Vanaf wanneer een apparaat zijn maximale meetbereik heeft bereikt zijn de meetwaarden met groen aangegeven. De apparaten die door een defect gestopt zijn met meten of later begonnen zijn met meten, zijn op de dagen dat ze niet gemeten hebben met rood aangegeven. De waarden die Thetaprobe tijdens de looptijd heeft aangegeven zijn eveneens oranje gemarkeerd. PlantCare meet de hoeveelheid bodemvocht in een relatief bodemvochtpercentage. Dit percentage geeft aan hoeveel procent van de poriën gevuld is met water. Dit is dus het percentage van de maximale hoeveelheid bodemvocht (verzadigt) dat in een bodem aanwezig is (Stone & Hardeveld, 2008). De bodemvochtpercentages (en de bijbehorende pF-waarden) die in het lab zijn bepaald, zijn samen met de meetgegevens (van dezelfde dag als de bemonsteringsdag) van de sensoren en meters in een tabel gezet (tabel 4) zodat ze met elkaar vergeleken kunnen worden. Deze vergelijking wordt in de paragrafen 4.1 en 4.2 beschreven en weergegeven.

Tabel 4: Bodemvochtpercentages uit het laboratorium (met bijbehorende pF-waarden) en meetgegevens van sensoren en meters.

Zand	Klei			Leem		
	Datum Tijd	26-4-2013 15.00 uur	12-6-2013 15.00 uur	Datum Tijd	12-6-2013 15.00 uur	26-4-2013 15.00 uur
Watermark (kPa)		0	16	57	Watermark (kPa)	198
hPa		0	180	570	hPa	190
pF-waarden		2,2	2,8	2,8	pF-waarden	3,1
Thetaprobe (Vol.%)		34,9	31,8	18,2	Thetaprobe (Vol.%)	25,3
Thetaprobe (mv)		802	748	468	Thetaprobe (mv)	556
Tensiometer (char)		1	17,5	77,5	Tensiometer (char)	22
hPa		10	175	775	hPa	220
pF-waarden		1,0	2,2	2,9	pF-waarden	2,3
Tensiometer UGT (mv)		6,5			Tensiometer UGT (mv)	240,9
hPa		6,8			hPa	252,9
pF-waarden		0,8			pF-waarden	2,4
Gipsblokje		92	75	8	Gipsblokje	82
hPa		107,6	272,5	922,4	hPa	204,6
pF-waarden		2,0	2,4	3,0	pF-waarden	2,3
Gipsblokje 2		92	91	9	Gipsblokje 2	81
hPa		107,6	117,3	912,7	hPa	214,3
pF-waarden		2,0	2,1	3,0	pF-waarden	2,3
Plantcare (hPa)		0	66	161	Plantcare (hPa)	138
pF-waarden			1,8	2,2	pF-waarden	2,1
Plantcare (Rel. bodemvocht %)		100	77	23	Plantcare (Rel. bodemvocht %)	28
Plantcare (Vol.%)		39,0	30,0	9,0	Plantcare (Vol.%)	8,7
Bodemvocht laboratorium (vol.%)		34,5	30,7	19,8	Bodemvocht laboratorium (vol.%)	25,2
pF-waarde laboratorium		1,6	2,2	3,0	pF-waarde laboratorium	3,4

4. Vergelijking bodemvochtsensoren en zuigspanningsmeters

De resultaten uit het lab worden vergeleken met de waarden die de bodemvochtsensoren en zuigspanningsmeters hebben gegeven. Daarnaast zijn de resultaten van de onderlinge vergelijking nader geanalyseerd.

4.1 Vergelijking bodemvochtsensoren met de waarden uit het laboratorium

De verschillen tussen de metingen van de bodemvochtsensoren en de waarden die in het laboratorium bepaald zijn, zijn weergegeven in tabel 5. Net als bij de zuigspanningsmeters (paragraaf 4.2) is per grondsoort voor de 3 verschillende meetdatums weergegeven welke sensor het dichtst bij de in het laboratorium bepaalde vergelijkingswaarden komen. Beide sensoren hebben van het begin tot het eind van de meetperiode metingen gedaan. De bodemvochtpercentages uit de sensoren zijn afgetrokken van de percentages die in het laboratorium bepaald zijn. Aan de positieve en negatieve getallen is te zien of de waarden uit de sensoren hoger of lager zijn dan de waarden uit het laboratorium. Een negatief getal toont aan dat de sensor een hogere waarde geeft, en een positief getal toont aan dat de sensor een lagere waarde geeft dan de vergelijkingswaarde uit het laboratorium. De waarden die het dichtst bij de vergelijkingswaarden komen, zijn met groen aangegeven.

Tabel 5: Vergelijking bodemvochtsensoren met de waarden uit het laboratorium.

Bodemvochtpercentage vergelijking zand	12-04-2013 (34,5 vol.%)	26-04-2013 (30,7 vol.%)	12-06-2013 (19,8 vol.%)
Thetaprobe	-0,4	-1,1	1,6
PlantCare	-4,5	0,7	10,8

Bodemvochtpercentage vergelijking klei	12-04-2013 (50,1 vol.%)	26-04-2013 (43,4 vol.%)	12-06-2013 (35,6 vol.%)
Thetaprobe	10,7	5,9	5,2
PlantCare	33,9	34,4	27,8

Bodemvochtpercentage vergelijking leem	12-04-2013 (25,2 vol.%)	26-04-2013 (22,1 vol.%)	12-06-2013 (9,9 vol.%)
Thetaprobe	-3,2	-3,2	-10,1
PlantCare	16,5	16,8	6,2

Bij de zandgrond is bij een bodemvochtpercentage van 34,5% Thetaprobe het meest precies in vergelijking met de waarden uit het laboratorium. Bij een lager percentage van 30,7% is PlantCare het meest precies in de zandgrond. Bij een percentage van 19,8 % is Thetaprobe weer het meest precies in de zandgrond. In de kleigrond is bij alle bodemvochtpercentages (50,1 %,43,3% en 35,6%) Thetaprobe het meest nauwkeurig. In de leemgrond is bij een bodemvochtpercentage van 25,2% Thetaprobe het meest nauwkeurig in vergelijking met de waarden uit het laboratorium. Bij een percentage van 22,1 % is Thetaprobe eveneens het meest nauwkeurig in de leemgrond. Bij een percentage van 9,9% is PlantCare het meest precies in de leemgrond.

Uit deze vergelijking is direct af te leiden welke bodemvochtsensor het meest nauwkeurig is over het algemeen. Dit is Thetaprobe. Vooral in de kleigrond zijn de verschillen tussen de waarden van PlantCare en de bodemvochtpercentages uit het laboratorium groot. Deze verschillen zitten rond de 30%. Bij de leemgrond zijn de verschillen tussen PlantCare en de waarden laboratorium tegen de 17%. In een leemgrond met een laag bodemvochtpercentage lijkt PlantCare preciezer te werken dan wanneer deze in een vochtigere leemgrond staat. Beide bodemvochtsensoren werken precies in de zandgrond, al wordt PlantCare bij een lager bodemvochtgehalte in de zandgrond minder nauwkeurig.

4.2 Vergelijking zuigspanningsmeters met de waarden uit het laboratorium

De verschillen tussen de metingen van de zuigspanningsmeters en de waarden die in het laboratorium bepaald zijn, zijn weergegeven in tabel 6. Per grondsoort is voor de 3 verschillende meetdatums weergegeven welke meter(s) het dichtst bij de waarden uit het laboratorium komt/komen. De apparaten die het dichtst bij komen, zijn met groen aangegeven. De apparaten die niet vergeleken konden worden (door bijvoorbeeld het bereiken van de meetlimiet of door uitval) zijn met rood aangegeven. De pF-waarden uit de meters zijn afgetrokken van de pF-waarden die in het laboratorium bepaald zijn. Net als bij de bodemvochtsensoren, is aan de positieve en negatieve getallen is te zien of de waarden uit de meters hoger of lager vallen dan de waarden uit het laboratorium.

Tabel 6: Vergelijking zuigspanningsmeters met de waarden uit het laboratorium.

pF-vergelijking zand	12-04-2013 (1,6)	26-04-2013 (2,2)	12-06-2013 (3,0)
Watermark	1,6	0,0	0,2
Tensiometer	0,6	0,0	0,1
Tensiometer UGT 151	0,8	2,2	3,0
Gipsblokje 1	-0,4	-0,2	0,0
Gipsblokje 2	-0,4	0,1	0,0
PlantCare	1,6	0,4	0,8
pF-vergelijking klei	12-04-2013 (2,3)	26-04-2013 (3,0)	12-06-2013 (4,0)
Watermark	-0,1	0,0	0,7
Tensiometer	0,2	0,3	4,0
Tensiometer UGT 151	0,1	0,1	4,0
Gipsblokje 1	0,2	0,1	4,0
Gipsblokje 2	0,0	0,1	1,0
PlantCare	0,2	0,7	1,7
pF-vergelijking leem	12-04-2013 (3,4)	26-04-2013 (3,6)	12-06-2013 (>4,2)
Watermark	1,1	0,5	>0,9
Tensiometer	1,1	3,6	#####
Tensiometer UGT 151	1,0	3,6	#####
Gipsblokje 1	1,1	0,6	#####
Gipsblokje 2	1,1	0,6	#####
PlantCare	1,3	1,3	>1,8

In de zandgrond zijn bij een pF-waarde van 1,6 (34,5 vol.%) de beide gipsblokjes het meest nauwkeurig in vergelijking met de waarden uit het laboratorium. In de zandgrond zijn bij een pF-waarde van 2,2 (30,7 vol.%) watermark en de tensiometer het meest nauwkeurig in vergelijking met de waarden uit het laboratorium. Bij een pF-waarde van 3,0 (19,8 vol.%) in een zandgrond zijn beide gipsblokjes weer het meest nauwkeurig. In de kleigrond is bij een pF-waarde van 2,3 (50,1 vol.%) het gipsblokje in kuip 2 het meest nauwkeurig. Bij een pF-waarde van 3,0 (43,4 vol.%) in de kleigrond is watermark het meest nauwkeurig. Bij een pF-waarde van 4,0 (35,6 vol.%) in de kleigrond was alleen PlantCare nog aan het meten, maar het verschil was groot in vergelijking met de waarden uit het laboratorium. In de leemgrond is duidelijk naar voren gekomen dat de pF-curve onjuist is. De verschillen tussen de waarden die de meters geven en de waarden uit het laboratorium zijn groot. Opmerkelijk is dat de pF-waarden die de meters geven bij een bodemvochtpercentage van 25,2% dicht bij elkaar liggen. Dit betekent dat er onderling weinig verschil is wanneer de meters in de leemgrond worden geplaatst.

4.3 Rangschikking zuigspanningsmeters

Er worden meer dan 2 zuigspanningsmeters onderzocht. Om deze reden is er een manier ontwikkeld om deze te vergelijken op het gebied van nauwkeurigheid. Per grondsoort zijn de meters gerangschikt van meest precies naar minst precies. Dit is gedaan met behulp van de waarden uit tabel 6. Om duidelijk te maken welke zuigspanningsmeters het meest nauwkeurig zijn in verschillende omstandigheden zijn er punten toegekend aan de meters. Hierdoor kan er een rangschikking gemaakt worden. De meest precieze meter krijgt een 1 en de minst nauwkeurige meter krijgt een 6. Wanneer er meters gelijk eindigen delen ze een plaats in de ranglijst. In tabel 7 staat een overzicht van de punten die de zuigspanningsmeters hebben gekregen aan de hand van de mate van nauwkeurigheid. Per meetdatum (met bijbehorende pF-waarde uit het laboratorium) is te zien welke meter(s) op dat moment het meest nauwkeurig is/zijn in een bepaalde grondsoort. Deze zijn aangegeven in het groen. De rode vlakken geven aan wanneer er metingen ontbreken van een bepaalde meter.

Tabel 7: Toegekende punten aan zuigspanningsmeters.

Zand	12-04-2013 (1,6)	26-04-2013 (2,2)	12-06-2013 (3,0)	Zand	Plaatsing
Watermark	6	1	4	3,7	4
Tensiometer	3	1	3	2,3	3
Tensiometer UGT 151	4	6	6	5,3	6
Gipsblokje 1	1	4	1	2,0	2
Gipsblokje 2	1	3	1	1,7	1
PlantCare	5	5	5	5,0	5
Klei	12-04-2013 (2,3)	26-04-2013 (3,0)	12-06-2013 (4,0)	Klei	Plaatsing
Watermark	2	1	2	1,7	1
Tensiometer	4	5	2	3,7	5
Tensiometer UGT 151	2	2	2	2,0	3
Gipsblokje 1	4	2	2	2,7	4
Gipsblokje 2	1	2	2	1,7	1
PlantCare	4	6	1	3,7	5
Leem	12-04-2013 (3,4)	26-04-2013 (3,6)	12-06-2013 (>4,2)	Leem	Plaatsing
Watermark	2	1	1	1,3	1
Tensiometer	2	5	1	2,7	5
Tensiometer UGT 151	1	5	1	2,3	4
Gipsblokje 1	2	2	1	1,7	2
Gipsblokje 2	2	2	1	1,7	2
PlantCare	6	4	1	3,7	6

Zoals te zien is in tabel 7 zijn de beide gipsblokjes in de zandgrond het meest nauwkeurig bij een pF-waarde van 1,6. Dit geldt ook voor beide gipsblokjes bij een pF-waarde van 3,0 in de zandgrond. Bij een pF-waarde van 2,2 in de zandgrond zijn Watermark en de Tensiometer het meest nauwkeurig. In de kleigrond is het gipsblokje in kuip 2 het meest nauwkeurig bij een pF-waarde van 2,3. Bij een pF-waarde van 3,0 in de kleigrond is Watermark het meest nauwkeurig. Bij een pF-waarde van 4,0 in de kleigrond was PlantCare de enige meter die nog aan het meten was. In de leemgrond is de Tensiometer UGT 151 het meest nauwkeurig bij een pF-waarde van 3,4. Bij een pF-waarde van 3,6 is Watermark het meest nauwkeurig. Bij een pF-waarde van >4,2 zijn geen metingen meer gedaan met de meters.

Het gemiddelde van de toegekende punten is per zuigspanningsmeter uitgerekend zodat er gekeken kan worden welke meter er het dicht bij de 1 zit en dus per grondsoort het beste uit de test komt. De gemiddelden die het dichtst bij de 1 uitkomen horen bij de meters die het meest nauwkeurig zijn. Deze zijn eveneens met groen aangegeven (tabel 7).

Na het bepalen van de rangorde op het gebied van nauwkeurigheid zijn de zuigspanningsmeters op volgorde gezet (tabel 8). De uitkomst van de vergelijkingen is dat bij de zandgrond het gipsblokje in kuip 2 het meest nauwkeurig is. Bij de kleigrond zijn Watermark en het gipsblokje in bak 2 het meest nauwkeurig. Bij de leemgrond is Watermark het meest nauwkeurig.

Tabel 8: Ranglijsten zuigspanningsmeters per grondsoort.

Zand					
Gipsblokje 2	1			Leem	
Gipsblokje 1	2	Klei		Watermark	1
Tensiometer	3	Watermark/Gipsblokje 2	1	Gipsblokje 1/Gipsblokje 2	2
Watermark	4	Tensiometer UGT 151	3	Tensiometer UGT 151	4
PlantCare	5	Gipsblokje 1	4	Tensiometer	5
Tensiometer UGT 151	6	Tensiometer/PlantCare	5	PlantCare	6

4.4 Onderlinge samenhang tussen de bodemvochtsensoren en zuigspanningsmeters

De samenhang tussen de bodemvochtsensoren en zuigspanningsmeters kan op meerdere manieren worden weergegeven. De samenhang tussen de apparaten is in dit onderzoek gedaan door te kijken naar de verschillen onderling en door de correlatie tussen de datareeksen te analyseren. Ook is er geanalyseerd welke sensoren structureel hogere of juist lagere waarden geven dan de andere apparaten. Bij al deze vergelijkingen is er nagegaan of de grondsoort van invloed is.

Om te onderzoeken of er een correlatie (samenhang) is tussen de verschillende zuigspanningsmeters zijn de correlatiecoëfficiënten berekend tussen de datareeksen (tabel 9). Er zijn klassen opgesteld die aangeven hoe hoog de mate van relatie is tussen de meetwaarden in hectopascal (hPa) van de zuigspanningsmeters. De bodemvochtpercentages (van de bodemvochtsensoren) zijn eveneens met elkaar vergeleken (tabel 10).

Tabel 9: Correlatiecoëfficiënten tussen de gemeten waarden van de zuigspanningsmeters.

Zand (hPa)						
	Watermark	Gips 1	Gips 2	Tensiometer	Tensiometer UGT	Plantcare
Watermark						
Gips 1	0.93					
Gips 2	0.85	0.92				
Tensiometer	0.96	0.96	0.95			
Tensiometer UGT	0.94	0.85	0.31	1.00		
PlantCare	0.86	0.94	0.80	0.86	0.95	
Klei (hPa)						
	Watermark	Gips 1	Gips 2	Tensiometer	Tensiometer UGT	Plantcare
Watermark						
Gips 1	0.92					
Gips 2	0.82	1.00				
Tensiometer	1.00	0.94	0.93			
Tensiometer UGT	0.98	0.99	0.99	0.98		
PlantCare	0.84	0.82	0.81	0.84	0.87	
Leem (hPa)						
	Watermark	Gips 1	Gips 2	Tensiometer	Tensiometer UGT	Plantcare
Watermark						
Gips 1	0.79					
Gips 2	0.84	0.99				
Tensiometer	0.96	0.90	0.92			
Tensiometer UGT	0.86	0.92	0.93	0.99		
PlantCare	0.90	0.80	0.83	0.90	0.90	

$0,00 < r < 0,30$	Nauwelijks of geen correlatie
$0,30 < r < 0,50$	Lage correlatie
$0,50 < r < 0,70$	Middelmatige correlatie
$0,70 < r < 0,90$	Hoge correlatie
$0,90 < r < 1,00$	Zeer hoge correlatie

De correlatie (samenhang) tussen de meeste onderzochte zuigspanningsmeters is hoog tot zeer hoog. Dit betekent dat de metingen in grote mate overeenkomen. Bij zand is de correlatie tussen gips 2 en Tensiometer UGT laag. Dit komt omdat het gipsblokje in het begin van de metingenreeks nog geen waarden gaf, omdat de grond te nat was. Op het moment dat gipsblokje 2 de eerste waarden gaf stopte de Tensiometer UGT met meten door een defect. De datareeksen van deze 2 meters zijn te kort om onderling een betrouwbare correlatie te krijgen.

De zeer hoge correlatie tussen gips 1 en gips 2 bij de grondsoorten in de proefopstelling toont aan dat de kuipen dezelfde samenstelling hebben. Dit is de reden voor het kunnen meenemen van de gipsblokjes in kuip 2 en de Jetfill-tensiometer in kuip 2 (van de leemgrond) in de vergelijking van dit onderzoek.

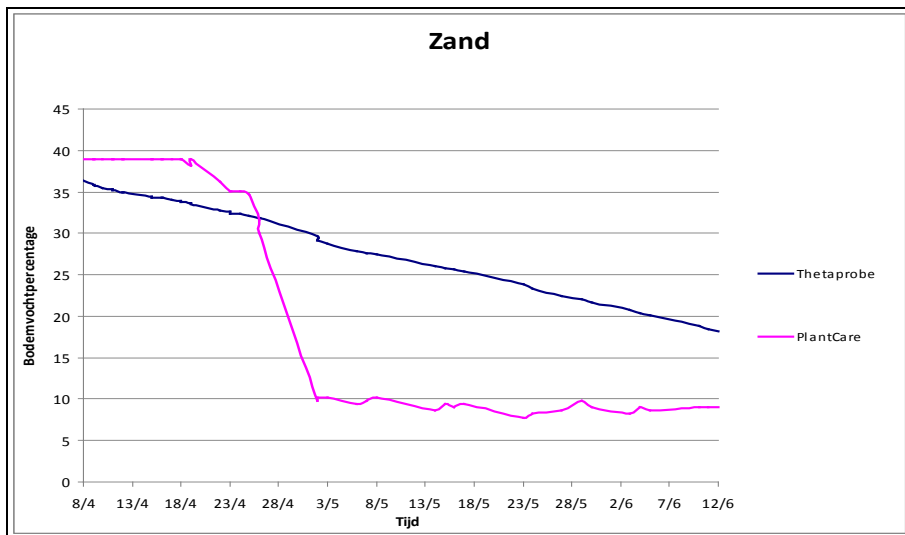
De samenhang tussen de bodemvochtsensoren Thetaprobe en PlantCare is eveneens berekend als de correlatiecoëfficiënt (tabel 10). De samenhang tussen deze 2 sensoren is bij zand zeer hoog, maar bij klei (hoog) en bij leem (middelmatig) is de samenhang beduidend minder. Dit is te verklaren door de afwijkende waarden die PlantCare heeft gemeten (paragraaf 4.5).

Tabel 10: Correlatiecoëfficiënten tussen de gemeten waarden van de bodemvochtsensoren.

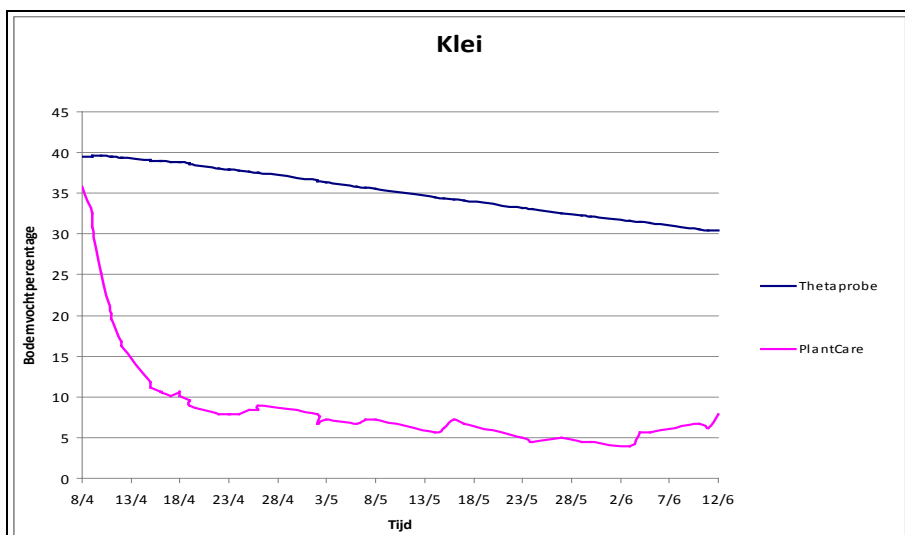
Bodemvochtpercentage	
PlantCare - Thetaprobe (Zand)	0.90
PlantCare - Thetaprobe (Klei)	0.62
PlantCare - Thetaprobe (Leem)	0.70

4.5 Verschillen onderling tussen de bodemvochtsensoren

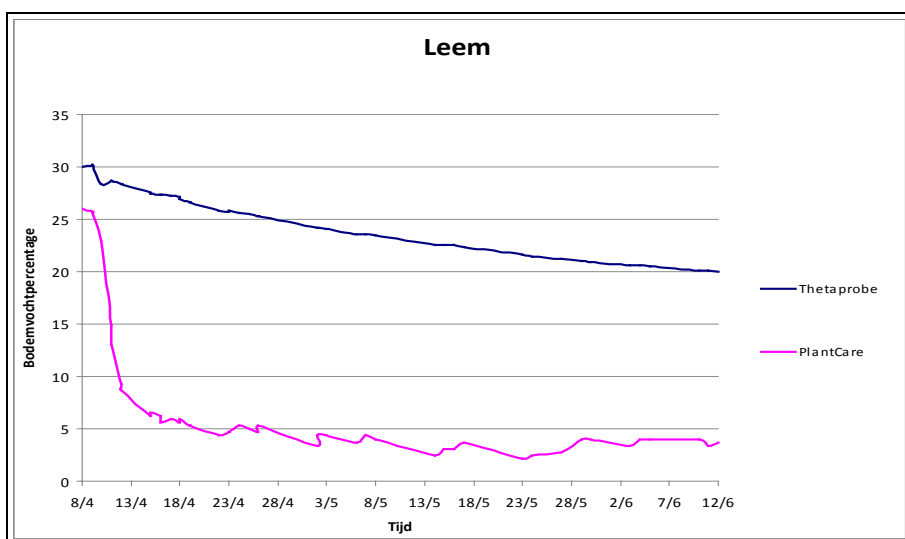
Niet alleen de samenhang tussen de sensoren is onderzocht. Ook de verschillen zijn in beeld gebracht (figuren 17, 18 en 19). De verschillen tussen PlantCare en Thetaprobe komen duidelijk naar voren. Thetaprobe geeft zowel bij zand, klei en leem een geleidelijke daling in het bodemvochtgehalte. Terwijl de daling in bodemvocht bij PlantCare in de 3 grondsoorten zeer abrupt is. De waarden die de grafieken weergeven zijn de metingen van Thetaprobe en PlantCare in volumepercentage (vol.%). De 2 sensoren laten totaal verschillende meetpatronen zien ten opzichte van elkaar.



Figuur 17: Verschillen tussen de bodemvochtsensoren in zandgrond.



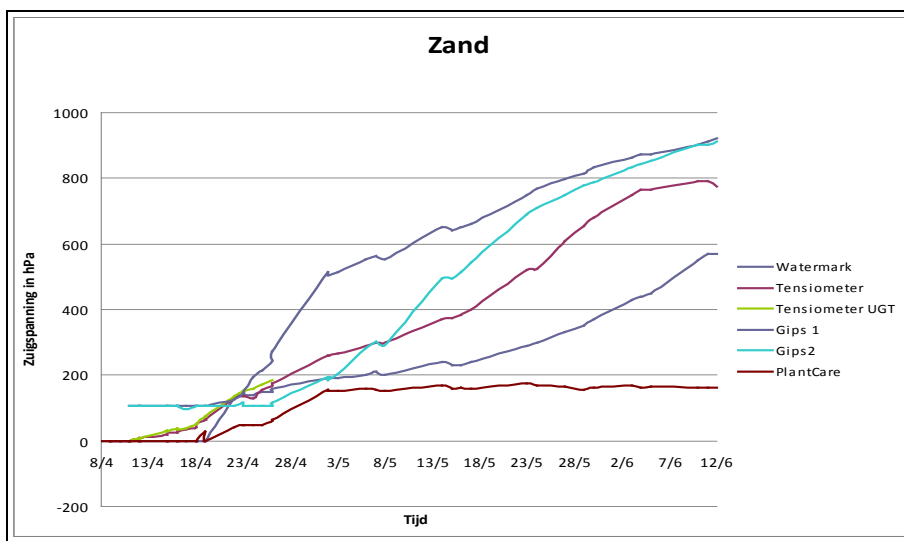
Figuur 18: Verschillen tussen de bodemvochtsensoren in kleigrond.



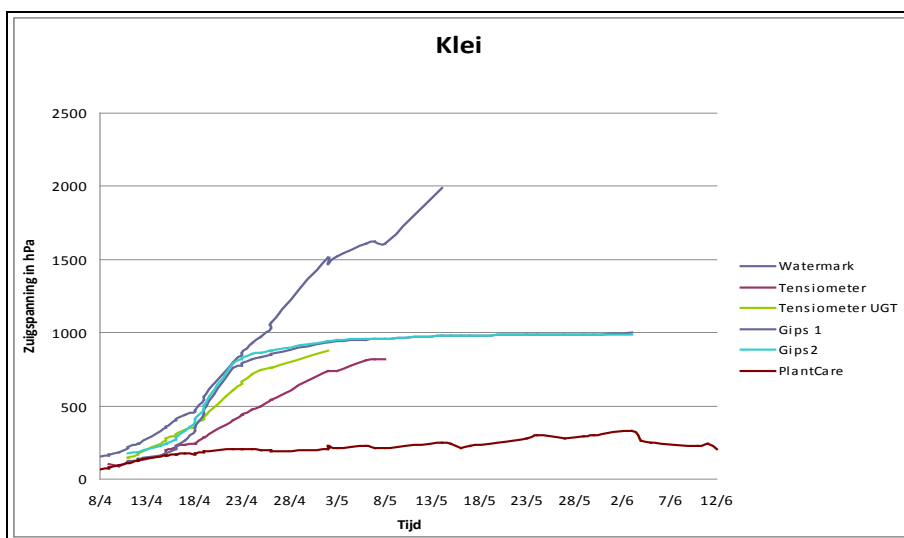
Figuur 19: Verschillen tussen de bodemvochtsensoren in leemgrond.

4.6 Verschillen onderling tussen de zuigspanningsmeters

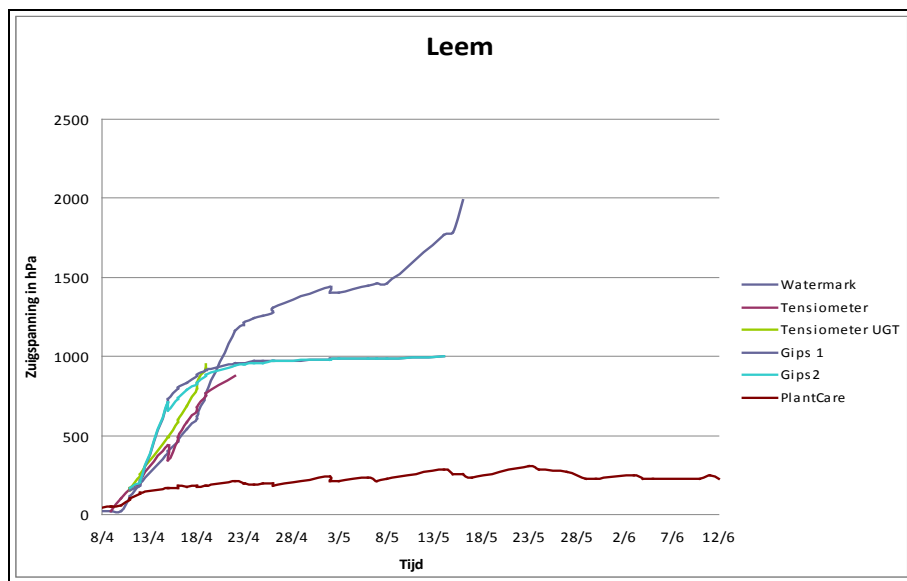
Niet alleen de samenhang tussen de zuigspanningsmeters onderling is onderzocht. Ook de verschillen zijn (net als bij de bodemvochtsensoren) in beeld gebracht. De meetwaarden zijn ook in grafieken geplaatst per grondsoort (figuren 20, 21 en 22). Hierin komen de verschillen duidelijk naar voren. Opvallend is dat de Watermarkmeters in zand en klei de hoogste waarden geven terwijl Watermark in leem gelijkertje opgaat met de andere meters. Vanaf de 1000 hPa is bij klei en leem Watermark duidelijk te onderscheiden van de rest, omdat op dit punt de limiet van de andere meters bereikt is. De limiet van Watermark is namelijk 2000 hPa. De datareeks is niet lang genoeg om bij zand Watermark eruit te zien schieten. Dit komt omdat de zandgrond in grotere mate bevochtigd was dan de klei- en leemgrond. PlantCare geeft in de 3 grondsoorten altijd de laagste waarden. Opgemerkt moet worden dat, net als bij de metingen van het bodemvocht, PlantCare sterk afwijkt ten opzichte van de andere apparaten. De gipsblokjes liggen qua meetwaarden dicht bij elkaar. Dit bevestigt samen met de zeer hoge correlatie van de 2 gipsblokjes dat de testgronden in de 2 kuipen per soort homogeen zijn.



Figuur 20: Verschillen tussen de zuigspanningsmeters in zandgrond.



Figuur 21: Verschillen tussen de zuigspanningsmeters in kleigrond.



Figuur 22: Verschillen tussen de zuigspanningsmeters in leemgrond

5. Conclusies en aanbevelingen

Voor dit onderzoek is de volgende hoofdvraag opgesteld;

“Welke bodemvochtsensor en zuigspanningsmeter geeft onder verschillende omstandigheden (grondsoort en bodemvochtpercentage) een waarde die het meest overeenkomt met de waarden die in het laboratorium bepaald zijn?”

De uitkomst van het onderzoek, tevens het antwoord op de hoofdvraag is als volgt:

Van de 2 bodemvochtsensoren (Thetaprobe en PlantCare), is Thetaprobe het meest nauwkeurig in de 3 grondsoorten (zand, klei en leem) van de proefopstelling.

Van de zuigspanningsmeters (Standaard Tensiometer, Tensiometer UGT 151, Watermark, 2 Gipsblokjes en PlantCare) in de zandgrond is het gipsblokje in kuip 2 het meest nauwkeurig in vergelijking met de waarden uit het laboratorium. Het gipsblokje in kuip 1 is op de 2^{de} plaats geëindigd. Er is dus te stellen dat de gipsblokjes in de zandgrond het meest nauwkeurig zijn in vergelijking met de waarden uit het laboratorium.

Van de zuigspanningsmeters in de kleigrond zijn Watermark en het gipsblokje in kuip 2 het meest nauwkeurig in vergelijking met de waarden uit het laboratorium.

Van de zuigspanningsmeters in de leemgrond is Watermark het meest nauwkeurig in vergelijking met de waarden uit het laboratorium.

Om tot dit antwoord van de hoofdvraag te komen zijn de bodemvochtsensoren en zuigspanningsmeters met de referentiewaarden uit het laboratorium vergeleken. De referentiewaarden uit het laboratorium komen van monsters die genomen zijn uit de proefopstelling waarin de meters en sensoren in hebben gestaan. Uit de resultaten van het laboratorium valt op te maken dat de bepaling van pF 3,0 van de leemgrond uit de proefopstelling niet betrouwbaar is. Hierdoor heeft de pF-curve van de leemgrond een afwijkende lijn. De afwijking in de pF-curve van de leemgrond is dermate groot dat kan worden gesproken van een deels onbruikbare pF-curve. De vergelijking van de pF-curve van de leemgrond met de zuigspanningsmeters is gemaakt, maar deze is minder betrouwbaar dan de andere vergelijkingen in het onderzoek. In vergelijking met de beschrijving van Bouma & Locher (1990) zijn de pF-curves van de zand- en kleigrond, in tegenstelling tot de pF-curve van de leemgrond, logisch en betrouwbaar.

In het onderzoek is duidelijk naar voren gekomen dat de grondsoort van invloed is op de metingen van de bodemvochtsensoren en zuigspanningsmeters, aangezien er verschillende meters beter scoren in verschillende gronden. Er lijkt geen verschil in nauwkeurigheid te komen naarmate de gronden droger worden. De extra afwijkingen die er ontstaan komen voornamelijk doordat de sensoren en meters hun maximale meetbereik bereiken.

De verschillen tussen de waarden die de bodemvochtsensoren geven en de in het laboratorium bepaalde waarden lopen uiteen. Bij de klei- en leemgrond zijn de verschillen tussen de metingen van PlantCare en de bodemvochtpercentages uit het laboratorium groot. Bij de kleigrond liggen de verschillen rond de 30 vol.% en bij de leemgrond lopen de verschillen op tot 16,8 vol.%. De handleiding van Plantcare vermeldt een nauwkeurigheid van 1% (relatief bodemvocht). Bij de zandgrond zijn de verschillen tussen de metingen van PlantCare en bodemvochtpercentages uit het laboratorium minder groot. Van de 2 bodemvochtsensoren is in de zandgrond bij een bodemvochtpercentage van 34,5% Thetaprobe het meest nauwkeurig in vergelijking met de waarden uit het laboratorium. In dezelfde grond is bij een waarde van 30,7 vol.% PlantCare het meest nauwkeurig. Bij een waarde van 19,8 vol.% is Thetaprobe weer het meest nauwkeurig. In de

kleigrond is bij de 3 meetwaarden (50,1 vol.%, 43,4 vol.% en 35,6 vol.%) Thetaprobe het meest nauwkeurig. In de leemgrond is bij de eerste 2 meetwaarden (25,2 vol.% en 22,1 vol.%) Thetaprobe het meest nauwkeurig. Bij een waarde van 9,9 vol.% is PlantCare het meest nauwkeurig. Deze uitkomsten zijn overzichtelijk weergegeven in tabel 5, in paragraaf 4.1.

Van de zuigspanningsmeters zijn in de zandgrond bij een pF-waarde van 1,6 (34,5 vol.%), gipsblokje 1 en gipsblokje 2 het meest nauwkeurig in vergelijking met de waarden uit het laboratorium. In de zandgrond zijn bij een pF-waarde van 2,2 (30,7 vol.%) Watermark en de Tensiometer het meest nauwkeurig in vergelijking met de waarden uit het laboratorium. Bij een pF-waarde van 3,0 (19,8 vol.%) in een zandgrond zijn beide gipsblokjes weer het meest nauwkeurig. In de kleigrond is bij een pF-waarde van 2,3 (50,1 vol.%), gipsblokje 2 het meest nauwkeurig. Bij een pF-waarde van 3,0 (43,4 vol.%) in de kleigrond is Watermark het meest nauwkeurig. Bij een pF-waarde van 4,0 (35,6 vol.%) in de kleigrond was alleen PlantCare nog aan het meten, maar het verschil was groot in vergelijking met de waarden uit het laboratorium. In de leemgrond is duidelijk naar voren gekomen dat de pF-curve onjuist is. De verschillen tussen de waarden die de meters geven en de waarden uit het laboratorium zijn groot. Opmerkelijk is dat de pF-waarden die de meters geven bij een bodemvochtpercentage van 25,2% dicht bij elkaar liggen. Dit betekent dat de metingen onderling weinig verschillen, wanneer de meters in de leemgrond geplaatst worden. Deze uitkomsten zijn overzichtelijk weergegeven in tabel 6, in paragraaf 4.2.

Als aanbeveling; zou het interessant zijn om een vervolgonderzoek aan dit onderzoek te koppelen. In dit vervolgonderzoek kan voortgeborduurd worden op de onderzoeksresultaten, terwijl de discussiepunten in acht worden genomen.

Voor een meer betrouwbare bepaling van de pF-waarden in het laboratorium, is het aan te raden dat er meer dan 3 monsters per bepaling ingezet worden. Dit zorgt voor meer nauwkeurigheid en de eventuele afwijkende waarden uitgesloten kunnen worden. Om te voorkomen dat er tijdens toekomstige onderzoeken afwijkingen ontstaan in de waarden die in het laboratorium bepaald worden is het een optie om in plaats van 3 monsters, respectievelijk 10 monsters te nemen per grondsoort.

Om het probleem van ruimtegebrek in toekomstige vergelijkbare onderzoeken te voorkomen, is het aanbevolen om grotere kuipen te gebruiken. Tijdens dit onderzoek zijn kuipen met een inhoud van 60 liter gebruikt. Wanneer gekozen wordt voor grotere kuipen kunnen er meer bodemvochtsensoren en zuigspanningsmeters met elkaar vergeleken worden. Aangezien de sensoren en meters die met elkaar vergeleken worden, voor een goede vergelijking, tegelijkertijd in een proefopstelling moeten staan is het gebruik van grotere kuipen essentieel. De grootte van de kuipen zal in de toekomst bepaald kunnen worden door het gebruiken van de proefopstelling van dit onderzoek als referentiekader.

Dit onderzoek is toegespitst op de vergelijking van bodemvochtsensoren en zuigspanningsmeters in een drogende grond. De vergelijking die tijdens dit onderzoek is gemaakt, is hierdoor niet te gebruiken wanneer men gaat meten in een grond dat bevochtigd wordt. Een aanbeveling is, dat het proces van het in gebruik nemen van de proefopstelling en het proces er omheen exact herhaald wordt (met grotere kuipen), maar dat de gronden geleidelijk vernat worden in plaats van verdroogd. Hierdoor wordt dan rekening gehouden met het hysteresis-effect.

De testgronden in de proefopstelling van dit onderzoek zijn tot in detail beschreven in hoofdstuk 2 aan de hand van een bodemkaart. Toch gaat deze beschrijving niet gedetailleerd genoeg in op de precieze samenstelling van de testgronden. Voor een meer nauwkeuriger beschrijving zal er in het laboratorium het silt, lutum en zandgehalte bepaald moeten worden. Voor toekomstige onderzoeken kan er dan de keuze gemaakt worden om de bodemvochtsensoren en zuigspanningsmeters te kalibreren op de juiste grondsoort.

6. Discussie

Tijdens dit onderzoek zijn verschillende bodemvochtsensoren en zuigspanningsmeters met elkaar vergeleken. De apparaten die met elkaar vergeleken zijn, zijn in een proefopstelling gezet en elke dag uitgelezen. Het uitlezen gebeurde door middel van handmetingen en loggers die de waarden elk uur uitlezen en opslaan. Uit dezelfde proefopstelling zijn monsters genomen waaruit bodemvochtpercentages en pF-curves bepaald zijn in het laboratorium. De waarden die de sensoren en meters opleverden zijn onderling vergeleken en met de waarden die in het laboratorium bepaald zijn.

Tijdens dit onderzoek is naar voren gekomen welke bodemvochtsensor en zuigspanningsmeter het meest nauwkeurig is, in vergelijking met de in het laboratorium bepaalde waarden. Tijdens de uitvoering van het onderzoek zijn er keuzes gemaakt. Deze keuzes en de uitvoering ervan staan in het plan van aanpak.

Het eerste discussiepunt is dat de kuipen van de proefopstelling niet groot genoeg waren om alle geplande bodemvochtsensoren en zuigspanningsmeters in te zetten. Een aantal apparaten die in het plan van aanpak staan, zijn daarom niet meegenomen in het onderzoek. Bij de leemkuipen is ervoor gekozen om een Jetfill-tensiometer in de kuip voor monsternamen (kuip 2) te zetten, omdat er in kuip 1 een extra tensiometer (Tensior 4) is ingezet. Deze Tensior 4 is niet in de zand- en kleigrond geplaatst, omdat er maar 1 exemplaar aanwezig was die te gebruiken was voor het onderzoek.

Zoals hierboven is aangegeven, zijn er een aantal apparaten niet vergeleken terwijl dit wel gepland was. Dit is grotendeels te wijten aan de grootte van de kuipen in de proefopstelling, en aan de beschikbaarheid van de apparaten. Met het starten van de E+soil MCT-logger en de logger van de Tensior 4 zijn fouten gemaakt, waardoor deze niet te vergelijken waren met de waarden uit het laboratorium.

De SM300 bodemvochtsensor is uiteindelijk niet meegenomen in het onderzoek. Er was geen ruimte meer in de proefopstelling om deze te plaatsten. Bovendien was deze sensor vanuit Eijkelkamp niet beschikbaar. Als vervanging voor de SM300, was er een (oudere) SM200 beschikbaar. Er was echter maar 1 exemplaar beschikbaar. Om deze redenen is er besloten om deze sensor uit het onderzoek te laten. Vanuit de organisatie van Eijkelkamp is het advies gegeven om extra gaten in de kuipen te maken, waardoor de SM200-sensor gestoken had kunnen worden. De gaten hadden tussen de metingen door met tape afgeplakt kunnen worden om extra verdamping (en dus invloed op de metingen) te voorkomen. Dit advies is niet opgevolgd om de volgende (beweeg)redenen: De benodigde grootte van het gat zou te veel invloed kunnen hebben op de proefopstelling. Daarbij komt ook dat de grond in dit gat steeds onsamenvhangender zou worden door het vele malen insteken van de sensor, waardoor de dichtheid zou gaan veranderen. Volgens Daniëls (1977) heeft de dichtheid invloed op het poriënvolume. Daarom is het essentieel dat de dichtheid van de grond in de proefopstelling niet verandert.

Voor de E+soil MCT bodemvochtsensoren was er ook geen ruimte in de proefopstelling. Dit is opgelost door gaten in de zijkanten van de kuipen te boren, om hier doorheen de MCT-sensoren in de grond te steken. Doordat er 3 MCT-sensoren beschikbaar waren, konden de sensoren na het plaatsen blijven zitten zodat de gaten afgedicht bleven. Hierdoor zijn (de bovenstaande) mogelijke storingen door een wisselende dichtheid van de grond in de kuipen achterwege gebleven.

De MCT-sensoren zijn echter niet meegenomen in het onderzoek. Dit komt door een fout die is gemaakt. De sensoren zijn geplaatst in de veronderstelling dat de metingen (via de logger) correct waren gestart. Dit was echter niet het geval, en het probleem kwam tegen het einde van de

meetreeks tot uiting. Het was te laat om deze fout te kunnen herstellen. Ook met de Tensior 4 is een dergelijke fout gemaakt. Deze heeft wel meetwaarden gegeven, maar die waren niet correct. De waarden uit de Tensior 4 leken totaal willekeurig te zijn. De fout met de Tensior 4 was tijdens de metingen moeilijker te constateren. Echter, een tussentijdse vergelijking met de waarden van de andere zuigspanningsmeters had kunnen voorkomen dat de meter niet te vergelijken is met de waarden uit het laboratorium. Het gevolg van deze fouten is dat het onduidelijk is hoe nauwkeurig de E+soil MCT bodemvochtsensor en de Tensior 4 zuigspanningsmeter zijn in vergelijking met de waarden uit het laboratorium. De uitkomst van het onderzoek toont hierdoor de meest nauwkeurige bodemvochtsensor en zuigspanningsmeter van een onvolledige lijst van apparaten. Om dit te kunnen herstellen zouden de testgronden opnieuw bevochtigd moeten worden, en voor een goede vergelijking, alle metingen opnieuw uitgevoerd moeten worden.

De pF-bepalingen van de gronden in de proefopstelling zijn gedaan aan de hand van grondmonsters. Deze monsters heb zijn genomen met behulp van een steekringset. Met deze set zijn ongestoorde monsters te nemen. Omdat de pF-curve afhankelijk is van textuur en compactheid van de grond (Dierickx, 1973), is de inhoud van de kuipen op gelijke wijze gehomogeniseerd en verdicht. De kans bestaat echter dat tijdens het bemonsteren de grond (licht) samengedrukt is, waardoor de grond in de monsterring compacter is geworden. Dit zou betekenen dat de pF-waarden die in het laboratorium bepaald zijn, licht af kunnen wijken van de werkelijke pF-waarden van de gronden in de proefopstelling.

Na het bepalen van de pF-waarden van de gronden uit de proefopstelling zijn de pF-curves vastgelegd. Dit is gedaan voor een drogende bodem en niet voor een vochtopnemende bodem. Volgens Dierickx (1973) is bij een bepaald bodemvochtgehalte, de pF-waarde hoger bij een drogende bodem dan bij een vochtopnemende bodem. Dit komt doordat het verband tussen pF en het bodemvochtgehalte wordt beïnvloed door een hysteresis-effect. Eén van de oorzaken van het hysteresis-effect is dat bij de ontwatering als eerst het vocht uit de grote poriën verdwijnt, en bij bevochtiging, door capillaire effecten, de fijne poriën als eerst met water gevuld raken. Tijdens dit onderzoek zijn de zuigspanningsmeters vergeleken met waarden die afgeleid zijn van de pF-curven van een drogende grond. Aangezien de zuigspanningsmeters in een drogende grond hebben gestaan kunnen deze waarden met elkaar vergeleken worden. De uitkomst van dit onderzoek geeft dus aan welke zuigspanningsmeters het meest nauwkeurig zijn in een drogende grond.

Literatuur

Agric, Government Of Western Australia. 8 mei 2013.

<http://www.agric.wa.gov.au/PC_92500.html>

Bodemdata, Bodemkaart Van Nederland. 7 maart 2013.

<<http://www.bodemdata.nl>>

Bouma, J. & Locher, W.P. (1990). *Bodemkunde van nederland: Deel 1 algemene bodemkunde* (2^e ed.). Den Bosch: Malmberg

Daniëls, D. (1977). *Vochtgehalte en verdichting van grond*. Haren: Instituut voor bodemvruchtbaarheid.

Dierickx, W. (1973). *Het gebruik en de controle van tensiometers ter bepaling van de vochtspanning in de bodem*. Gent: Bestuur Voor Landbouwkundig Onderzoek.

EAE, Eijkelkamp Agrisearch Equipment. 10 juli 2013.

<www.eijkelkamp.nl>

Ecologieforum. 14 juni 2013.

<<http://www.ecologieforum.eu/viewtopic.php?f=3&t=3469>>

Elffrink, A. (2000). *Marktinventarisatie: Bodemvochtsensoren*. Giesbeek.

Gardner, W.H. (1986). *Methods of soil analyses: Part 1 physical and mineralogical methods*. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America.

Peet, A.A.J. van, Wittenboer, G.L.H. van den & Hox, J.J. (1995). *Toegepaste statistiek: Beschrijvende technieken*. Groningen: WoltersgroepGroningen.

PKD, Product Knowledge Database, Eijkelkamp. 16 mei 2013.

<<http://pkd.eijkelkamp.com/PKD/PKDPages/09Soilmoisturemeasurementwithsuctionreado/tabid/130/Default.aspx?language=zh-CN>>

Rowell, D.L. (1994). *Soil science: Methods & applications*. Singapore: Longman Group UK.

Sluis, P. van der & Locher, W.P. (1990). *Bodemkunde van nederland: Deel 1 algemene bodemkunde*. Den Bosch: Malmberg.

State Government Victoria. 17 augustus 2013.

<<http://www.dpi.vic.gov.au/agriculture/farming-management/soil-water/soil/ag0294-gypsum-blocks-for-measuring-the-dryness-of-soil>>

Stone, K. & Hardeveld, H. (2008). *Afleiden droogte-indicatie*. Van der Voort.

Verkerk, G., Broens, J.B., Bouwens, R.E.A., Groot, P.A.M. de, Kranendonk, W., Vogelesang, M.J., Westra, J.J., & Wevers-Prijs, I.M. (2004). *Binas*. Groningen: Wolters-Noordhoff.

Voort, W.J.M. van der (1993). *De onderdelen en de toepassingsmogelijkheden van twee typen tensiometers*. Wageningen: DLO-Staring Centrum.

Bijlagen

Bijlage 1: Handleiding voor de bepaling van pF-waarden in het laboratorium

5.3 Bepaling van de waterretentiecurve (= vocht karakteristiek = pF-curve)

5.3.1 Inleiding

Als je aan vochtige grond zuigt, treedt er water uit. De ene grondsoort kan bij een bepaalde druk veel meer water binden dan de andere, afhankelijk van de poriëngrootte-verdeling en het gehalte aan fijne minerale en organische bestanddelen. Er is voor elk grondmonster een karakteristiek verband tussen vochtgehalte en drukhoogte in het bodemwater. Dit verband bepalen we door grondmonsters telkens in evenwicht te brengen met een bepaalde waterdruk en dan te wegen. Bij een vocht karakteristiek zetten we het volumetrisch vochtgehalte (θ) uit tegen de pF (zie het boek Bodemkunde van Nederland, § 9.4). Waterretentiecurves worden o.a. gebruikt om het vocht leverend vermogen van gronden te berekenen.

5.4 Werkwijze

Nrs. 1 t/m 11: Lage pF-waarden (ongestoorde monsters)

1. Voor de hogere vochtgehalten (lage pF-waarden) gaan we uit van "ongestoorde" monsters, bijv. in ringen van 100 cm^3 . Het vochtgehalte bij lage pF hangt namelijk niet alleen af van de korrelgrootteverdeling en het organische-stofgehalte, maar ook van de bodemstructuur. De monsterneming staat beschreven in het practicumdictaat van bodemkunde (2e jaar) voorschrift 7.4. Bij de bepaling van de waterretentiecurve hebben we ook de poriënfractione en de dichtheid van stoofdrome grond nodig. Vandaar dat delen van voorschrift 7.5 hier overgenomen worden. Noteer steeds duidelijk wat je gewogen hebt (hieronder *cursief gedrukt*), inclusief de pF-waarde.
2. Weeg een gaasje en een elastiekje samen op een bovenweger (0,1 g nauwkeurig; gebruik alleen gaasjes die weinig vocht opnemen). Noteer het gewicht als *massa van gaasje + elastiekje* = B. De *massa van de ring* kun je vinden op een lijst met nummers (prikbord laboratorium); zoniet, weeg dan de schone ring vooraf of achteraf. (=A)
3. Houd de ring horizontaal, zodat de grond er niet uit kan vallen en verwijder voorzichtig het deksel aan de scherpe kant van de ring. Snijd zonodig nog de uitstekende, veldvochtige grond eraf om precies een volume van 100 cm^3 te krijgen; eventuele wortels kun je afknippen. Klem met het elastiekje het gaasje om de open kant van de ring en verwijder de andere deksel (ook daar eventueel uitstekende grond eraf snijden). De kant met het gaasje blijft verder de onderkant, waarop je de ring steeds neerzet.
4. Noteer het nummer van de ring en schrijf erbij wat je allemaal van het monster weet. Denk aan bemonsteringsplaats, bemonsteringsdiepte, grondsoort, eventueel bodemsubgroep en horizont.
5. Weeg het geheel op de bovenweger (*massa veldv. grond + ring + gaasje + elastiekje* = D)

6. F
d
h
i
7. V
8. C
d
e
g
v
o
9. C
v
10. Z
v
l
w
is
=
11. A
h
st
Nrs.
12. W
m
ar
ee
ka
ge
w
os
ni
13. G
ge
be
m
da

6. Plaats de ring in een lege waterbak. Deze bak wordt gevuld tot aan de bovenkant van de ringen om ze te verzadigen met water. Het zal geleidelijk gebeuren om luchtinsluiting zo veel mogelijk tegen te gaan. De monsters moeten minstens een dag in het water staan.
7. Weeg een groot plastic schoteltje (*massa van schoteltje = E*)
8. Ga nu de ring met verzadigde grond wegen. Haal de ring uit het water en zet hem direct op de schotel, zodat er geen water verloren gaat. Het water in het gaasje kun je eventueel afdeppen met een papieren handdoekje. Dit levert de *massa van ring + gaasje + elastiekje + schotel + verzadigde grond (= F)* op. Voor de vocht karakteristiek bereken je hieruit het vocht-gehalte bij $pF = 0$ (eigenlijk min oneindig).
9. Op dit punt kan de pF -bepaling eventueel onderbroken worden door meting van de verzadigde doorlatendheid (zie voorschrift 5.2).
10. Zet de ring op de pF -bak: even aandrukken. Deze bak dient voor meting van vochtgehaltes bij weinig negatieve drukhoogtes, zoals $h = -10$ cm ($pF = 1,0$) en $h = -100$ cm ($pF = 2,0$). Op de pF -bak kan een onderdruk ingesteld worden, zodat er wat water uit het monster gezogen wordt. Het duurt telkens enige dagen voor er evenwicht is. Weeg dan de ring (*massa van ring + elastiekje + gaasje + grond op $pF = 1,0$ enz. = G of H*).
11. Als alle bovenstaande metingen gedaan zijn, zet de ring dan in de droogstoof en weeg hem na minimaal een etmaal drogen (*massa van ring + gaasje + elastiekje + stoofdroke grond = I*).

Nrs. 12 t/m 16: Hogere pF -waarden (gestoorde monsters)

12. We beschrijven nu de meting bij de hogere pF -waarden (lagere vochtgehaltes). Deze metingen kunnen overigens parallel lopen met die bij de lagere pF -waarden omdat er andere apparatuur wordt gebruikt, nl. drukpannen en lage, rubberen ringetjes, die op een keramische plaat gezet worden. Sterk gebonden vocht (vanaf $pF = 3,0$ en hoger) kan alleen door het aanbrengen van een overdruk uit de grond verdreven worden. Bij gebruik van een ring van 5 cm hoog zou dit erg lang duren, vandaar dat lage ringetjes worden gebruikt. Dit vocht is niet of nauwelijks meer capillair gebonden, maar osmotisch. Het vochtgehalte hangt dan alleen af van het lutum- en humusgehalte en niet van de poriënverdeling, vandaar dat we met gestoorde monsters kunnen werken.
13. Gebruik grond van dezelfde horizonten als waarin je de ongestoorde ringmonsters hebt gestoken. Je bepaalt immers van al die horizonten een volledige pF -curve. Doe de bepalingen bij de hogere pF -waarden het liefst in duplo, met veldvochtige grond uit de monsterzakjes (droge grond mag ook). Als er grindfractie aanwezig is, zeef de grond dan eerst over een zeef van 2 mm.

14. We geven nu de instructie voor één monster. Voor elke pF-waarde moet je een nieuw monster klaarmaken (of twee bij een dublobepaling). Pak een rubberen ring en doe er een etiketje op met naam, klas en monsteraanduiding. Leg het ringetje op de keramische plaat voor de betreffende pF-waarde ($pF = 3,0$ of $4,2$). Vul het ringetje volledig met grond (gelijkmatic verdelcn). Deze grond zal nu eerst verzadigd worden en dan in de drukpan geplaatst worden. Na ca. 3 dagen is er evenwicht.
15. De grond moet zo snel mogelijk gewogen worden nadat hij uit de drukpan is gehaald. Weeg een schoteltje ($massa\ schotel = c\ of\ d$), breng het ringetje met grond over op de schotel en weeg weer ($massa\ van\ schotel,\ ring\ en\ grond\ op\ pF = 3,0\ resp.\ 4,2 = e\ of\ f$). Als de grond helemaal los is van de ring, hoef je de ring niet mee te wegen. Voor het overbrengen op de schotel heb je misschien een vlak schepje nodig; let op dat er geen krassen op de plaat komen.
16. Verwijder nu de ring en zorg dat alle grond op het schoteltje achterblijft. Weeg zonodig het ringetje ($massa\ ring = a\ of\ b$). Zet het schoteltje met alleen grond in de droogstoof en weeg na minstens een etmaal drogen ($massa\ schoteltje + stoofdroge\ grond = g\ of\ h$). Hierna kun je de grond weggooien.

5.5 Verwerking

Deze proef draait steeds om het berekenen van het vochtgehalte bij een bepaalde pF-waarde (maat voor de drukhoogte in het bodemvocht). De hoeveelheid vocht vind je door de massa van de stoofdroge grond af te trekken van die van de vochtige grond. Elimineer daarbij zonodig de "emballage" (ring, gaasje, enz.).

Nu kunnen we het volumetrisch vochtgehalte θ bij $pF = 1,0$ en $2,0$ wel berekenen uit de wegingen, maar bij de hogere pF-waarden hebben we gewerkt met gestoorde monsters van een onbekend volume. Uit die laatste proefjes is wel het watergetal w te berekenen, maar daar hebben we voor de pF-curve niet genoeg aan. Dit is als volgt op te lossen. Uit de proef met de metalen ringen volgt een waarde voor de droge dichtheid ρ_d . Daarmee is θ te berekenen (zie & 5.3.4).

5.6 Opdrachten

1. Voer de onderstaande berekeningen I t/m VII uit en breng de getallen over naar het uitwerkformulier.

Ringnummer:

I Ongestoorde monsters, 1e tabel: waarnemingen van de massa's (g)

A = ring schoon =

B = gaas + elastiek (droog) =

C = gaas + elastiek (nat) =

D = ring compleet veldvochtig =

E = schotel =

F = ring compleet verzadigd incl. schotel =

G = ring compleet bij $pF = 1,0$ (zonder schotel) =

H = ring compleet bij $pF = 2,0$ (zonder schotel) =

I = ring compleet stoofdroog (zonder schotel) =

II Ongestoorde monsters, 2e tabel: berekening van netto grondmassa's (g)

P = grond veldvochtig = $D - B - A =$

Q = grond verzadigd = $F - E - C - A =$

R = grond op $pF = 1,0$ = $G - B - A =$

S = grond op $pF = 2,0$ = $H - B - A =$

T = grond stoofdroog = $I - B - A =$

III Ongestoorde monsters, 3e tabel: berekening van vochtgehaltes, poriënfractie en poriënvolume

θ_t = vochtgehalte bij bemonstering = $[(P - T) / (1 \text{ g/cm}^3)] / 100 \text{ cm}^3 =$

θ_{sat} = vochtgehalte bij verzadiging = $[(Q - T) / (1 \text{ g/cm}^3)] / 100 \text{ cm}^3 =$

= poriënfractie = $\phi_p =$

$\theta_{pF=1,0}$ = vochtgehalte bij $pF = 1,0$ = $[(R - T) / (1 \text{ g/cm}^3)] / 100 \text{ cm}^3 =$

$\theta_{pF=2,0}$ = vochtgehalte bij $pF = 2,0$ = $[(S - T) / (1 \text{ g/cm}^3)] / 100 \text{ cm}^3 =$

V_p = volume poriën = $\phi_p \times 100 \text{ cm}^3 =$

IV Ongestoorde monsters, 4e tabel: berekening van dichtheden (g/cm³)

ρ_t = dichtheid van veldvochtige grond = $P / 100 \text{ cm}^3 =$

ρ_{sat} = dichtheid van verzadigde grond = $Q / 100 \text{ cm}^3 =$

ρ_{m+h} = dichtheid van de vaste fase = $T / (100 \text{ cm}^3 - V_p) =$

ρ_d = dichtheid van stoofdroge grond = $T / 100 \text{ cm}^3 =$

V Gestoorde monsters, 1e tabel: waarnemingen van de massa's (g)

$a = \text{ring (schoon voor meting bij } pF = 3,0) =$
 $b = \text{ring (schoon voor meting bij } pF = 4,2) =$
 $c = \text{schotel (voor meting bij } pF = 3,0) =$
 $d = \text{schotel (voor meting bij } pF = 4,2) =$
 $e = \text{schotel + ring + grond op } pF = 3,0 =$
 $f = \text{schotel + ring + grond op } pF = 4,2 =$
 $g = \text{schotel + stoofdroge grond (na meting bij } pF = 3,0) =$
 $h = \text{schotel + stoofdroge grond (na meting bij } pF = 4,2) =$

VI Gestoorde monsters, 2e tabel: berekening van netto grondmassa's (g)

$p = \text{grond op } pF = 3,0 = e - c - a =$
 $q = \text{grond op } pF = 4,2 = f - d - b =$
 $r = \text{grond stoofdroog (na meting bij } pF = 3,0) = g - c =$
 $s = \text{grond stoofdroog (na meting bij } pF = 4,2) = h - d =$

VII Gestoorde monsters, 3e tabel: berekening van watergetal en vochtgehalte

$w_{pF=3,0} = \text{watergetal bij } pF = 3,0 = (p - r) / r =$
 $w_{pF=4,2} = \text{watergetal bij } pF = 4,2 = (q - s) / s =$
 $\theta_{pF=3,0} = \text{vochtgehalte bij } pF = 3,0 \text{ (schatting)} = (w_{pF=3,0} \times \rho_d) / (1 \text{ g/cm}^3) =$
 $\theta_{pF=4,2} = \text{vochtgehalte bij } pF = 4,2 \text{ (schatting)} = (w_{pF=3,0} \times \rho_d) / (1 \text{ g/cm}^3) =$

2. Teken voor elke horizont nu de volledige pF-curve (vergelijk fig. 9.58 Bodemkunde van Nederland).
Verklaar in je verslag de verschillen tussen de gevonden vocht karakteristieken van de horizonten en gebruik ze bovendien om zo nauwkeurig mogelijk het vochtleverend vermogen van de grond te berekenen/schatten (zie par. 18.4 van Bodemkunde van Nederland).

5.7

5.7

No
Ke
pra
Ke
aa
en

5.

B
d
n

F
r
c

Bijlage 2: Datareeksen bodemvochtsensoren en zuigspanningsmeters

Zand

[illegible]

Klei

Tijd	8-4-2013		9-4-2013		9-4-2013		10-4-2013		10-4-2013		11-4-2013		11-4-2013		12-4-2013		12-4-2013		12-4-2013		13-4-2013		13-4-2013		14-4-2013		14-4-2013		15-4-2013		15-4-2013		16-4-2013		16-4-2013		17-4-2013		17-4-2013		18-4-2013		18-4-2013		19-4-2013		19-4-2013		20-4-2013		20-4-2013		21-4-2013		21-4-2013		22-4-2013		22-4-2013		23-4-2013		23-4-2013		24-4-2013		24-4-2013		25-4-2013		25-4-2013		26-4-2013		26-4-2013		27-4-2013		27-4-2013		28-4-2013		28-4-2013		29-4-2013		29-4-2013		30-4-2013		30-4-2013		1-5-2013		1-5-2013		2-5-2013		2-5-2013		3-5-2013		3-5-2013		4-5-2013		4-5-2013		5-5-2013		5-5-2013		6-5-2013		6-5-2013		7-5-2013		7-5-2013		8-5-2013		8-5-2013		9-5-2013		9-5-2013		10-5-2013		10-5-2013		11-5-2013		11-5-2013		12-5-2013		12-5-2013		13-5-2013		13-5-2013		14-5-2013		14-5-2013		15-5-2013		15-5-2013		16-5-2013		16-5-2013		17-5-2013		17-5-2013		18-5-2013		18-5-2013		19-5-2013		19-5-2013		20-5-2013		20-5-2013		21-5-2013		21-5-2013		22-5-2013		22-5-2013		23-5-2013		23-5-2013		24-5-2013		24-5-2013		25-5-2013		25-5-2013		26-5-2013		26-5-2013		27-5-2013		27-5-2013		28-5-2013		28-5-2013		29-5-2013		29-5-2013		30-5-2013		30-5-2013		31-5-2013		31-5-2013		1-6-2013		1-6-2013		2-6-2013		2-6-2013		3-6-2013		3-6-2013		4-6-2013		4-6-2013		5-6-2013		5-6-2013		6-6-2013		6-6-2013		7-6-2013		7-6-2013		8-6-2013		8-6-2013		9-6-2013		9-6-2013		10-6-2013		10-6-2013		11-6-2013		11-6-2013		12-6-2013		12-6-2013		13-6-2013		13-6-2013		14-6-2013		14-6-2013		15-6-2013		15-6-2013		16-6-2013		16-6-2013		17-6-2013		17-6-2013		18-6-2013		18-6-2013		19-6-2013		19-6-2013		20-6-2013		20-6-2013		21-6-2013		21-6-2013		22-6-2013		22-6-2013		23-6-2013		23-6-2013		24-6-2013		24-6-2013		25-6-2013		25-6-2013		26-6-2013		26-6-2013		27-6-2013		27-6-2013		28-6-2013		28-6-2013		29-6-2013		29-6-2013		30-6-2013		30-6-2013		1-7-2013		1-7-2013		2-7-2013		2-7-2013		3-7-2013		3-7-2013		4-7-2013		4-7-2013		5-7-2013		5-7-2013		6-7-2013		6-7-2013		7-7-2013		7-7-2013		8-7-2013		8-7-2013		9-7-2013		9-7-2013		10-7-2013		10-7-2013		11-7-2013		11-7-2013		12-7-2013		12-7-2013		13-7-2013		13-7-2013		14-7-2013		14-7-2013		15-7-2013		15-7-2013		16-7-2013		16-7-2013		17-7-2013		17-7-2013		18-7-2013		18-7-2013		19-7-2013		19-7-2013		20-7-2013		20-7-2013		21-7-2013		21-7-2013		22-7-2013		22-7-2013		23-7-2013		23-7-2013		24-7-2013		24-7-2013		25-7-2013		25-7-2013		26-7-2013		26-7-2013		27-7-2013		27-7-2013		28-7-2013		28-7-2013		29-7-2013		29-7-2013		30-7-2013		30-7-2013		31-7-2013		31-7-2013		1-8-2013		1-8-2013		2-8-2013		2-8-2013		3-8-2013		3-8-2013		4-8-2013		4-8-2013		5-8-2013		5-8-2013		6-8-2013		6-8-2013		7-8-2013		7-8-2013		8-8-2013		8-8-2013		9-8-2013		9-8-2013		10-8-2013		10-8-2013		11-8-2013		11-8-2013		12-8-2013		12-8-2013		13-8-2013		13-8-2013		14-8-2013		14-8-2013		15-8-2013		15-8-2013		16-8-2013		16-8-2013		17-8-2013		17-8-2013		18-8-2013		18-8-2013		19-8-2013		19-8-2013		20-8-2013		20-8-2013		21-8-2013		21-8-2013		22-8-2013		22-8-2013		23-8-2013		23-8-2013		24-8-2013		24-8-2013		25-8-2013		25-8-2013		26-8-2013		26-8-2013		27-8-2013		27-8-2013		28-8-2013		28-8-2013		29-8-2013		29-8-2013		30-8-2013		30-8-2013		31-8-2013		31-8-2013		1-9-2013		1-9-2013		2-9-2013		2-9-2013		3-9-2013		3-9-2013		4-9-2013		4-9-2013		5-9-2013		5-9-2013		6-9-2013		6-9-2013		7-9-2013		7-9-2013		8-9-2013		8-9-2013		9-9-2013		9-9-2013		10-9-2013		10-9-2013		11-9-2013		11-9-2013		12-9-2013		12-9-2013		13-9-2013		13-9-2013		14-9-2013		14-9-2013		15-9-2013		15-9-2013		16-9-2013		16-9-2013		17-9-2013		17-9-2013		18-9-2013		18-9-2013		19-9-2013		19-9-2013		20-9-2013		20-9-2013		21-9-2013		21-9-2013		22-9-2013		22-9-2013		23-9-2013		23-9-2013		24-9-2013		24-9-2013		25-9-2013		25-9-2013		26-9-2013		26-9-2013		27-9-2013		27-9-2013		28-9-2013		28-9-2013		29-9-2013		29-9-2013		30-9-2013		30-9-2013		1-10-2013		1-10-2013		2-10-2013		2-10-2013		3-10-2013		3-10-2013		4-10-2013		4-10-2013		5-10-2013		5-10-2013		6-10-2013		6-10-2013		7-10-2013		7-10-2013		8-10-2013		8-10-2013		9-10-2013		9-10-2013		10-10-2013		10-10-2013		11-10-2013		11-10-2013		12-10-2013		12-10-2013		13-10-2013		13-10-2013		14-10-2013		14-10-2013		15-10-2013		15-10-2013		16-10-2013		16-10-2013		17-10-2013		17-10-2013		18-10-2013		18-10-2013		19-10-2013		19-10-2013		20-10-2013		20-10-2013		21-10-2013		21-10-2013		22-10-2013		22-10-2013		23-10-2013		23-10-2013		24-10-2013		24-10-2013		25-10-2013		25-10-2013		26-10-2013		26-10-2013		27-10-2013		27-10-2013		28-10-2013		28-10-2013		29-10-2013		29-10-2013		30-10-2013		30-10-2013		31-10-2013		31-10-2013		1-11-2013		1-11-2013		2-11-2013		2-11-2013		3-11-2013		3-11-2013		4-11-2013		4-11-2013		5-11-2013		5-11-2013		6-11-2013		6-11-2013		7-11-2013		7-11-2013		8-11-2013		8-11-2013		9-11-2013		9-11-2013		10-11-2013		10-11-2013		11-11-2013		11-11-2013		12-11-2013		12-11-2013		13-11-2013		13-11-2013		14-11-2013		14-11-2013		15-11-2013		15-11-2013		16-11-2013		16-11-2013		17-11-2013		17-11-2013		18-11-2013		18-11-2013		19-11-2013		19-11-2013		20-11-2013		20-11-2013		21-11-2013		21-11-2013		22-11-2013		22-11-2013		23-11-2013		23-11-2013		24-11-2013		24-11-2013		25-11-2013		25-11-2013		26-11-2013		26-11-2013		27-11-2013		27-11-2013		28-11-2013		28-11-2013		29-11-2013		29-11-2013		30-11-2013		30-11-2013		1-12-2013		1-12-2013		2-12-2013		2-12-2013		3-12-2013		3-12-2013		4-12-2013		4-12-2013		5-12-2013		5-12-2013		6-12-2013		6-12-2013		7-12-2013		7-12-2013		8-12-2013		8-12-2013		9-12-2013		9-12-2013		10-12-2013		10-12-2013		11-12-2013		11-12-2013		12-12-2013		12-12-2013		13-12-2013		13-12-2013		14-12-2013		14-12-2013		15-12-2013		15-12-2013		16-12-2013		16-12-2013		17-12-2013		17-12-2013		18-12-2013		18-12-2013		19-12-2013		19-12-2013		20-12-2013		20-12-2013		21-12-2013		21-12-2013		22-12-2013		22-12-2013		23-12-2013		23-12-2013		24-12-2013		24-12-2013		25-12-2013		25-12-2013		26-12-2013		26-12-2013		27-12-2013		27-12-2013		28-12-2013		28-12-2013		29-12-2013		29-12-2013		30-12-2013		30-12-2013		31-12-2013		31-12-2013		1-1-2014		1-1-2014		2-1-2014		2-1-2014		3-1-2014		3-1-2014		4-1-2014		4-1-2014		5-1-2014		5-1-2014		6-1-2014		6-1-2014		7-1-2014		7-1-2014		8-1-2014		8-1-2014		9-1-2014		9-1-2014		10-1-2014		10-1-2014		11-1-2014		11-1-2014		12-1-2014		12-1-2014		13-1-2014		13-1-2014		14-1-2014		14-1-2014		15-1-2014		15-1-2014		16-1-2014		16-1-2014		17-1-2014		17-1-2014		18-1-2014		18-1-2014		19-1-2014		19-1-2014		20-1-2014		20-1-2014		21-1-2014		21-1-2014		22-1-2014		22-1-2014		23-1-2014		23-1-2014		24-1-2014		24-1-2014		25-1-2014		25-1-2014		26-1-2014		26-1-2014		27-1-2014		27-1-2014		28-1-2014		28-1-2014		29-1-2014		29-1-2014		30-1-2014		30-1-2014		31-1-2014		31-1-2014		1-2-2014		1-2-2014		2-2-2014		2-2-2014		3-2-2014		3-2-2014		4-2-2014		4-2-2014		5-2-2014		5-2-2014		6-2-2014		6-2-2014		7-2-2014		7-2-2014		8-2-2014		8-2-2014		9-2-2014		9-2-2014		10-2-2014		10-2-2014		11-2-2014		11-2-2014		12-2-2014		12-2-2014		13-2-2014		13-2-2014		14-2-2014		14-2-2014		15-2-2014		15-2-2014		16-2-2014		16-2-2014		17-2-2014		17-2-2014		18-2-2014		18-2-2014		19-2-2014		19-2-2014		20-2-2014		20-2-2014		21-2-2014		21-2-2014		22-2-2014		22-2-2014		23-2-2014		23-2-2014		24-2-2014		24-2-2014		25-2-2014		25-2-2014		26-2-2014		26-2-2014		27-2-2014		27-2-2014		28-2-2014		28-2-2014		29-2-2014		29-2-2014		30-2-2014		30-2-2014		1-3-2014		1-3-2014		2-3-2014		2-3-2014		3-3-2014		3-3-2014		4-3-2014		4-3-2014		5-3-2014		5-3-2014		6-3-2014		6-3-2014		7-3-2014		7-3-2014		8-3-2014		8-3-2014		9-3-2014		9-3-2014		10-3-2014		10-3-2014		11-3-2014		11-3-2014		12-3-2014		12-3-2014		13-3-2014		13-3-2014		14-3-2014		14-3-2014		15-3-2014		15-3-2014		16-3-2014		16-3-2014		17-3-2014		17-3-2014		18-3-2014		18-3-2014		19-3-2014		19-3-2014		20-3-2014		20-3-2014		21-3-2014		21-3-2014		22-3-2014		22-3-2014		23-3-2014		23-3-2014		24-3-2014		24-3-2014		25-3-2014		25-3-2014		26-3-2014		26-3-2014		27-3-2014		27-3-2014		28-3-2014		28-3-2014		29-3-2014		29-3-2014		30-3-2014		30-3-2014		31-3-2014		31-3-2014		1-4-2014		1-4-2014		2-4-2014		2-4-2014		3-4-2014		3-4-2014		4-4-2014		4-4-2014		5-4-2014	
------	----------	--	----------	--	----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--

Leem

Tijd	8-4-2013 16:00 uur	9-4-2013 10:00 uur	9-4-2013 15:00 uur	10-4-2013 14:00 uur	11-4-2013 11:00 uur	11-4-2013 16:00 uur	12-4-2013 11:30 uur	12-4-2013 15:00 uur	15-4-2013 9:30 uur	15-4-2013 16:00 uur	5-4-2013 10:30 uur	16-4-2013 10:30 uur	16-4-2013 16:30 uur	17-4-2013 16:30 uur	18-4-2013 10:30 uur	18-4-2013 16:30 uur	19-4-2013 10:45 uur	19-4-2013 16:30 uur	22-4-2013 17:00 uur	23-4-2013 9:00 uur	23-4-2013 16:30 uur	24-4-2013 16:15 uur	24-4-2013 11:30 uur	25-4-2013 11:30 uur	26-4-2013 11:30 uur	26-4-2013 16:00 uur	2-5-2013 10:00 uur	2-5-2013 16:30 uur	3-5-2013 15:00 uur	6-5-2013 17:00 uur	7-5-2013 13:30 uur	8-5-2013 14:30 uur	14-5-2013 11. 30 uur	15-5-2013 17:00 uur	16-5-2013 17:00 uur	17-5-2013 13:30 uur	23-5-2013 17:00 uur	24-5-2013 14:00 uur	27-5-2013 17:00 uur	29-5-2013 17:00 uur	30-5-2013 17:00 uur	3-6-2013 17:00 uur	4-6-2013 16:00 uur	5-6-2013 16:00 uur	10-6-2013 17:00 uur	11-6-2013 17:00 uur	12-6-2013 15:00 uur					
Watermark (kPa)	2	2	2	2	11	12	19	20	39	40	46	47	54	61	62	75	77	116	120	121	120	121	124	126	128	131	144	140	140	140	145	146	146	177	178	199	199	199	199	199	199	199	199	199	199	199	199	199	199			
hPa	2,0	2,0	2,0	2,0	11,0	12,0	19,0	20,0	39,0	40,0	46,0	47,0	54,0	61,0	62,0	75,0	77,0	116,0	120,0	121,0	120,0	121,0	124,0	126,0	128,0	131,0	144,0	140,0	140,0	140,0	145,0	146,0	146,0	177,0	178,0	199,0	199,0	199,0	199,0	199,0	199,0	199,0	199,0	199,0	199,0	199,0	199,0	199,0	199,0			
pf-waarden	1,3	1,3	1,3	1,3	2,0	2,1	2,3	2,3	2,6	2,6	2,7	2,7	2,7	2,8	2,8	2,9	2,9	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,2	3,1	3,1	3,1	3,2	3,2	3,2	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3		
Thetaprobe (Vol %)	30	30,1	30,2	28,4	28,7	28,7	28,4	28,4	27,6	27,5	27,3	27,3	27,2	27,1	26,9	26,6	26,6	25,8	25,7	25,8	25,6	25,5	25,3	25,3	25,3	24,2	24,2	24,1	23,6	23,6	23,5	22,6	22,5	22,5	22,3	21,6	21,4	21,2	21	20,9	20,6	20,6	20,5	20,1	20,1	20	20					
Thetaprobe (mv)	565	567	570	565	571	572	566	565	548	547	543	543	540	537	535	528	527	510	510	510	507	504	501	501	501	478	479	476	465	464	461	442	438	438	434	417	414	566	554	547	395	394	393	382	383	382	382					
Tensiometer (cbar)				2,5	10	16	20	22	44	34	46,5	49	59,5	65,5	68	75,5	77	88	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>		
hPa				25	100	160	200	220	440	340	465	490	595	655	680	755	770	880	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	
pf-waarden				1,4	2,0	2,2	2,3	2,3	2,6	2,6	2,7	2,7	2,8	2,8	2,8	2,9	2,9	2,9	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	
Tensiometer UGT (mv)																																																				
hPa					149,5	161,4	230,8	240,9	466,2	466,4	559,5	574	666,8	762	793	885	904	903	833	876	846	768	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	
hPa					157,0	169,5	242,3	252,9	489,5	489,7	587,5	602,7	689,6	800,1	832,7	929,3	949,2	948,2	874,7	919,8	888,3	806,4	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>
pf-waarden					2,2	2,2	2,4	2,4	2,7	2,7	2,8	2,8	2,8	2,9	2,9	3,0	3,0	3,0	2,9	3,0	2,9	2,9																														
Gipsblokje																																																				
hPa					87	84	82	80	30	28	21	20	17	13	12	9	9	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
hPa					156,1	185,2	204,6	202,3	709	728,4	796,3	806	835,1	873,9	883,6	912,7	912,7	961,2	961,2	961,2	970,9	970,9	970,9	970,9	970,9	970,9	970,9	970,9	970,9	970,9	970,9	970,9	970,9	970,9	970,9	970,9	970,9	970,9	970,9	970,9	970,9	970,9	970,9	970,9	970,9	970,9	970,9	970,9	970,9	970,9		
pf-waarden					2,2	2,3	2,3	2,3	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,

Bijlage 3: pF-bepalingen in het laboratorium

		Leem 1	Leem 2	Leem 3	Klei 1	Klei 2	Klei 3	Zand 1	Zand 2	Zand 3
I	A	96,88	97,91	96,06	96,51	94,13	95,68	97,46	97,45	94,42
	B	1,9	1,8	1,9	2,0	1,9	1,9	2,0	1,9	2,5
	C	3,33	3,48	4,02	3,75	3,49	3,45	4,79	3,83	5,3
	D	308,21	323,59	317,64	274,34	273,67	276,40	292,12	285,67	284,14
	E	13,84	13,55	14,98	13,9	14,57	14,78	13,77	13,83	14,97
	F	331,49	343,47	341,12	297,31	295,86	299,09	311,80	305,99	309,51
	G	311,88	325,7	320,05	279,98	276,6	277,9	292,97	286,95	285,83
	H	308,99	324,3	318,71	276,47	275,72	278,91	290,58	284,57	282,71
	I	283,93	297,8	292,53	224,87	223,6	226,61	257,43	252,01	249,81
II	P	209,43	223,88	219,68	175,83	177,64	178,82	192,66	186,32	187,22
	Q	217,44	228,53	226,06	183,15	183,67	185,18	195,78	190,88	194,82
	R	213,1	225,99	222,09	181,47	180,57	180,32	193,51	187,6	188,91
	S	210,21	224,59	220,75	177,96	179,69	181,33	191,12	185,22	185,79
	T	185,15	198,09	194,57	126,36	127,57	129,03	157,97	152,66	152,89
III	θ_t	0,2428	0,2579	0,2511	0,4947	0,5007	0,4979	0,3469	0,3366	0,3433
	θ_{sat}	0,3229	0,3044	0,3149	0,5679	0,561	0,5615	0,3781	0,3822	0,4193
	$\theta_{pF=1,0}$	0,2795	0,279	0,2752	0,5511	0,53	0,5129	0,3554	0,3494	0,3602
	$\theta_{pF=2,0}$	0,2506	0,265	0,2618	0,516	0,5212	0,523	0,3315	0,3256	0,329
	V_p	32,29	30,44	31,49	56,79	56,1	56,15	37,81	38,22	41,93
IV	ρ_t	2,0943	2,2388	2,1968	1,7583	1,7764	1,7882	1,9266	1,8632	1,8722
	ρ_{sat}	2,1744	2,2853	2,2606	1,8315	1,8367	1,8518	1,9578	1,9088	1,9482
	ρ_{m+h}	2,73446	2,84776	2,84002	2,92432	2,90592	2,94253	2,5401	2,471	2,6329
	ρ_d	1,8515	1,9809	1,9457	1,2636	1,2757	1,2903	1,5797	1,5266	1,5289
V	a	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	b	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	c	8,28	8,29	8,2	8,19	8,19	8,19	8,17	8,23	8,21
	d	8,34	8,23	8,3	8,3	8,36	8,2	8,34	8,16	8,22
	e	20,39	20,56	24,01	18,34	19,17	21,08	21,54	20,64	20,29
	f	21,85	21,83	20,79	19,93	22,44	19,25	20,16	21,68	20,49
	g	18,93	18,98	21,95	15,79	16,37	17,78	19,93	19,14	18,98
	h	20,81	20,7	19,77	17,53	19,49	16,95	19,41	20,81	19,69
VI	p	12,11	12,27	15,81	10,15	10,98	12,89	13,37	12,41	12,08
	q	13,51	13,6	12,49	11,63	14,08	11,05	11,82	13,52	12,27
	r	10,65	10,69	13,75	7,6	8,18	9,59	11,76	10,91	10,77
	s	12,47	12,47	11,47	9,23	11,13	8,75	11,07	12,65	11,47
VII	$W_{pF=3,0}$	0,137	0,148	0,150	0,336	0,342	0,344	0,137	0,137	0,122
	$W_{pF=4,2}$	0,083	0,091	0,089	0,260	0,265	0,263	0,068	0,069	0,070
	$\theta_{pF=3,0}$	0,254	0,293	0,292	0,424	0,437	0,444	0,216	0,210	0,186
	$\theta_{pF=4,2}$	0,154	0,180	0,173	0,329	0,338	0,339	0,107	0,105	0,107

Bijlage 4: Bepaling bodemvochtpercentages in het laboratorium

	Ringnummer	Gewicht veldvochtig + ring (in gram)	Gewicht doog + ring (in gram)	Gewicht ring (in gram)	Gewicht vocht (in gram)	Volume vocht (cm ³)	Volume %	Datum monstername
Klei	1	271,6	221,6	93,3	50	50,1	50,1	12-4-2013
	2	261,1	217,8	93,3	43,3	43,4	43,4	26-4-2013
	3	271,4	236,9	93,3	35,5	35,6	35,6	12-6-2013
Leem	1	315,1	290	97,6	25,1	25,2	25,2	12-4-2013
	2	311,7	289,6	97,6	22,1	22,1	22,1	26-4-2013
	3	296,4	286,5	95,4	9,9	9,9	9,9	12-6-2013
Zand	1	283,6	249,2	95,4	34,4	34,5	34,5	12-4-2013
	2	283,1	252,5	95,4	30,6	30,7	30,7	26-4-2013
	3	277,1	257,3	97,6	19,8	19,8	19,8	12-6-2013
		Soortelijk gewicht water (g/cm ³)						
		0,998						
		Volume grondmonster (cm ³)/(ml)						
		100						

Bijlage 5: Overzicht bodemvochtsensoren en zuigspanningsmeters

Op het gebied van de zuigspanning zijn de volgende 5 meters meegenomen in het onderzoek:

- Standaard Tensiometers en Jetfill-tensiometers
- UGT Tensio 151
- Tensior 4 met elektronische druksensor
- Gipsblokjes
- Watermark

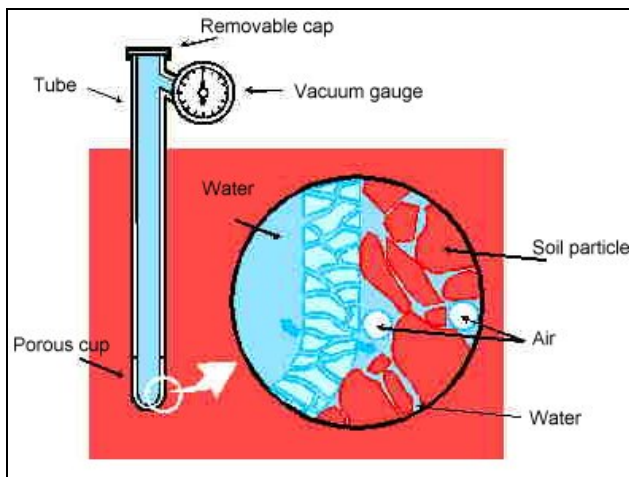
Op het gebied van bodemvocht zijn de volgende 2 sensoren meegenomen in het onderzoek:

- Thetaprobe
- Plantcare

Zuigspanningsmeters

Standaard tensiometers en Jetfill-tensiometers

Een tensiometer is met water gevulde buis met een keramische cup (zie onderstaande figuur). Deze wordt in de grond geplaatst. Droge grond zuigt water door de cup uit de buis. Omdat de buis aan de bovenkant is afgesloten ontstaat er een onderdruk (vacuüm) in de buis. De onderdruk kan gemeten worden met een manometer die op de buis is aangesloten. De meters lezen in centibars. Als de grond natter wordt (na regen of besproeiing) zal de zuigkracht van de grond kleiner worden en het water minder sterk uit de tensiometer zuigen (Agric, 2013).



Bepalen van de zuigspanning met een tensiometer
(bron: http://www.agric.wa.gov.au/PC_92500.html).

Voor dit onderzoek zijn zowel de Standaard als de Jetfill-tensiometer gebruikt. In principe zijn deze tensiometers gelijk aan elkaar qua onderdelen. Het enige verschil tussen deze meters is dat de Jetfill-tensiometer voorzien is van een waterreservoir en vulmechanisme. Met een druk op de kop van het reservoir kan er water in het lichaam van de tensiometer worden gespoten om de daarin opgehoopte lucht te verwijderen (Eijkelkamp, 2013). In de kuipen met klei en leem zijn Jetfill-tensiometers gezet. In de kuip met zand is een Standaard Tensiometer gezet. Een verschil in werking is er niet waardoor deze meters als gelijk aan elkaar kunnen worden gezien. Een nadeel van dit type tensiometers is dat het vulwater zich boven de grond bevindt, waardoor ze niet vorstbestendig zijn.



Standaard tensiometer.



Jetfill-tensiometer.

UGT Tensio 151

Deze Tensiometer werkt op een vergelijkbare manier als bijvoorbeeld de Standaard Tensiometer. De keramische cup aan de onderkant is gevuld met water. Wanneer de bodem droger wordt er (net als bij de Standaard Tensiometer) water uit de keramische cup getrokken. Het verschil met de Standaard Tensiometer is dat de onderdruk wordt gedetecteerd door een gevoelige sensor die vlak boven de cup bevestigd is. Het water in de cup heeft dezelfde temperatuur als de bodem waarin de meter geplaatst is. Dit maakt de meter vorstbestendig. De meter wordt uitgelezen met een spanningsmeter. De output die hiermee uitgelezen wordt is tussen de 0 en 1 volt en is lineair aan de zuigspanning in hPa. De input is 12 volt. Deze meter is er in verschillende lengtes (UGT-online, 2013).



UGT Tensio 151.

Tensior 4 met elektronische druksensor

Evenals bij de UGT Tensio 151 zit er bij de Tensior 4 een sensor vlak boven de keramische cup. Dit maakt ook deze sensor vochtbestendig, omdat het water zich alleen in de cup bevindt en niet in de gehele buis. De lengte van de buis kan aangepast worden zodat de meter geplaatst kan worden op grotere dieptes. De gegevens uit de Tensior 4 kunnen gelogd worden met de Datahog 2.



T4 tensiometer.



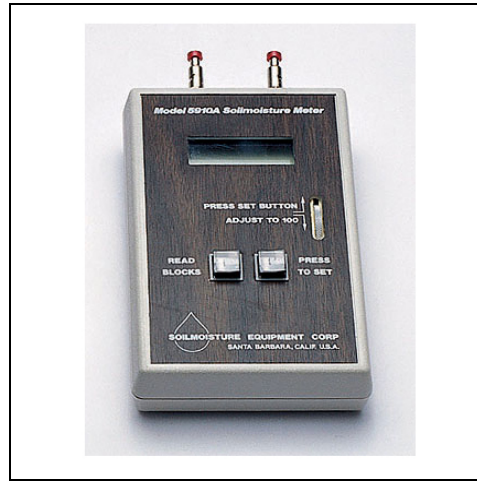
Datalogger, Datahog 2.

Gipsblokjes

Dit meetprincipe bestaat uit 2 elektrodes die afzonderlijk van elkaar in een gipsblokje zitten. Aan de elektrodes zitten draden bevestigd. Door de draden aan te sluiten op een bodemvochtmeter kan de weerstand tussen de 2 elektrodes gemeten worden. Deze weerstand is afhankelijk van de hoeveelheid vocht in het gipsblokje, en hangt direct samen met de zuigspanning van de bodem waarin het gipsblokje zich bevindt. Wanneer de bodem vochtiger wordt zal de hoeveelheid vocht in het gipsblokje toenemen waardoor de weerstand tussen de 2 elektroden afneemt. Voor een drogende bodem geldt een tegenovergesteld proces. Gipsblokjes zijn voornamelijk ontwikkeld voor het meten van de hogere zuigspanningen (drogere gronden) en heeft een meetbereik van 30 tot 1000 hPa (State Government Victoria, 2013). Eenmaal ingegraven hebben de gipsblokjes een levensduur van 3 tot 5 jaar (afhankelijk van de grondsoort). De gipsblokjes lossen geleidelijk op in het bodemvocht.



Gipsblokjes.



Bodemvochtmeter gipsblokjes.

Watermark

Dit meetprincipe is vergelijkbaar met de gipsblokjes, maar de sensoren van Watermark lossen niet op in de bodem. De poriënverdeling in de sensoren is beter verdeeld, wat een hogere nauwkeurigheid met zich meebrengt. Het meetbereik van de Bodemvochtmeter Watermark is van 0 tot 2000 hPa. Met dit meetprincipe kan net als met de gipsblokjes in drogere gronden gemeten worden dan de tensiometers.



Bodemvochtsensoren Watermark.



Bodemvochtmeter Watermark.

Bodemvochtsensoren

Thetaprobe

Deze bodemvochtsensor werkt volgens het Frequency Domain (FD)-meetprincipe. Bij het FD-meetprincipe wordt er een elektronische frequentie tussen 2 of 3 elektroden gecreëerd. De impedantie (capaciteit en geleiding) tussen de elektroden is afhankelijk van de hoeveelheid vocht in de grond (Max A. Hilhorst, 1989). De sensor heeft een meetbereik van 5 tot 55 vol.% en heeft een nauwkeurigheid van 5% bij standaard kalibreren en van 2% bij bodemspecifiek kalibreren (Eijkelkamp, 2013). Tijdens dit onderzoek is er gemeten met standaard kalibreren.



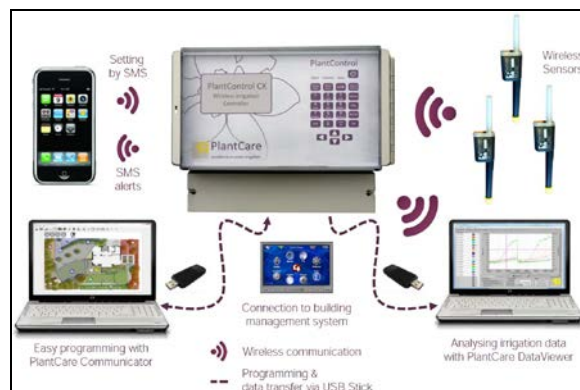
Bodemvochtmeter met Thetaprobe.

PlantCare draadloze sensor

Met de draadloze sensor van PlantCare kan de zuigspanning en het relatieve bodemvochtpercentage gemeten worden. De sensors staan in verbinding met een PlantControl CX. Hiermee kunnen de sensors ingesteld (kalibratie, meetintervaltijd en bodemtype) en uitgelezen worden (figuur XX). De technologie die door middel van de sensoren gebruikt wordt, is gebaseerd op de microthermische meting van bodemvocht. Om het bodemvocht te meten wordt de sensor kort verhit waarna de afkoeltijd wordt bepaald. De afkoeltijd is afhankelijk van de hoeveelheid vocht in de bodem waar deze geplaatst is. De afkoeltijd hangt samen met het relatief bodemvochtpercentage van de bodem. Dit percentage geeft aan hoeveel procent van de poriën gevuld is met water, dus hoeveel procent van de maximale hoeveelheid bodemvocht (verzadigt) in een bodem (Stone & Hardeveld, 2008). Dit percentage kan omgerekend worden naar bodemvochtpercentage als het poriënvolume bepaald is in het laboratorium. De afkoeltijd kan eveneens omgerekend worden naar de zuigspanning (in hPa). Het bedrijf PlantCare heeft 6 verschillende bodemtypen gekalibreerd in het laboratorium. Deze staan in de PlantControl en kunnen aan de meetwaarden van de sensoren gekoppeld worden, waardoor de juiste zuigspanning berekend wordt door de PlantControl.



Draadloze bodemvochtsensoren PlantCare.



Systeemoverzicht PlantCare.