

# Vergelijkingsproef bodemvochtsensoren

Vergelijking van verschillende bodemvochtsensoren op twee praktijkpercelen in het kader van NPPL



Fred Kool, Corné Kempenaar, Jits Riepma, Altjo Medema

1 Wageningen University & Research

Dit onderzoek is in opdracht van het ministerie van LNV uitgevoerd door de Stichting Wageningen Research (WR), business unit Agrosysteemkunde, in het kader van de Nationale Proeftuin voor PrecisieLandbouw (projectnummer 3710456600).

WR is een onderdeel van Wageningen University & Research, samenwerkingsverband tussen Wageningen

Wageningen, februari 2022

---

OPENBAAR

Rapport WPR-1129



**WAGENINGEN**  
UNIVERSITY & RESEARCH

---

---

Kool, F., Kempenaar, C., Riepma, J., Medema, A., 2022. *Vergelijkingsproef bodemvochtsensoren; Vergelijking van verschillende bodemvochtsensoren op twee praktijkpercelen in het kader van NPPL*. Wageningen Research, Openbaar Rapport WPR-1129 ref.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/564720>

Door middel van een vergelijkingsproef op twee praktijkpercelen in Dronten en Wageningen zijn een tiental systemen die bodemvocht bepalen met elkaar vergeleken. De vergelijking richtte zich enerzijds op de nauwkeurigheid waarmee bodemvochtgehalten door de verschillende systemen konden worden bepaald. Anderzijds werd gekeken naar een groot aantal factoren die het gebruik beïnvloeden, zowel het gemak als de mogelijkheden. De verschillen tussen de systemen zijn zo nu en dan behoorlijk groot, met name op het gebied van gebruiksgemak en mogelijkheden. Het bepalen van een absoluut niveau van de bodemvochttoestand blijkt voor veel sensoren lastig, trends worden over het algemeen goed gevolgd. In vervolgonderzoek zou hier de nadruk op moeten liggen, alsook op de reproduceerbaarheid van de gemeten waarden door meerdere sensoren per type te plaatsen.

Trefwoorden: bodemvocht, irrigatie, precisielandbouw, sensoren

© 2022 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Agrosysteemkunde, Postbus 16, 6700 AA Wageningen; T 0317 48 07 00; [www.wur.nl/plant-research](http://www.wur.nl/plant-research)

KvK: 09098104 te Arnhem

VAT NL no. 8113.83.696.B07

Stichting Wageningen Research. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Stichting Wageningen Research.

Stichting Wageningen Research is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Openbaar Rapport WPR-1129

Foto omslag: WPR

---

# Inhoud

<b>Begrippenlijst</b>	<b>5</b>
<b>Samenvatting</b>	<b>6</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>7</b>
1.1 Sensoren	7
1.2 Meetprincipes	8
1.2.1 Zuigspanning	8
1.2.2 Bodemvocht	8
1.2.3 Overzicht	9
1.2.4 Satellietmetingen	9
1.3 Kalibratie	9
<b>2 Materiaal en methoden</b>	<b>10</b>
2.1 Proefopzet	10
2.1.1 Proefpercelen	10
2.1.2 Plaatsing sensoren	11
2.1.3 Validatiemetingen	11
2.1.4 Waterretentiecurve (pF-curve)	11
2.2 Overzicht geplaatste sensoren	12
2.3 Vergelijkingsmethode nauwkeurigheid van de sensoren	17
2.4 Vergelijkingsmethode gebruik van de sensoren	18
2.4.1 Technisch	18
2.4.2 Platform	19
<b>3 Resultaten</b>	<b>21</b>
3.1 Grondmonsters	21
3.1.1 pF-curven	21
3.1.2 Bodemvocht	22
3.2 Vergelijking nauwkeurigheid van de sensoren	24
3.2.1 Dronten	24
3.2.2 Wageningen	26
3.2.3 Nauwkeurigheid en afwijking van validatiemonsters	26
3.3 Vergelijking gebruik van de sensoren	28
3.3.1 Zuigspanning	29

---

	3.4	Totaalscore	30
<b>4</b>		<b>Discussie</b>	<b>32</b>
	4.1	Plaatsing sensoren	32
	4.2	Opvallende resultaten	32
	4.3	Omstandigheden	32
	4.4	Validatiemonsters versus pF-curven Dronten	33
	4.5	Aandachtspunten vervolgonderzoek	33
<b>5</b>		<b>Conclusies</b>	<b>34</b>
<b>6</b>		<b>Literatuur</b>	<b>35</b>
<b>Bijlage 1</b>		<b>Reacties leveranciers</b>	<b>36</b>
<b>Bijlage 2</b>		<b>Grafieken bodemvocht Dronten</b>	<b>39</b>
<b>Bijlage 3</b>		<b>Grafieken bodemvocht Wageningen</b>	<b>42</b>
<b>Bijlage 4</b>		<b>Grafieken zuigspanning Dronten en Wageningen</b>	<b>45</b>

---

# Begrippenlijst

**Bodemvochtpercentage:** Het percentage van de bodem dat uit water (vocht) bestaat. Dit kan zowel het percentage van de massa als het percentage van het volume zijn. Het volumepercentage is de meest gebruikelijke grootte.

**Drukhoogte:** Maat voor de zuigspanning uitgedrukt in cm onder maaiveld. Zie ook zuigspanning.

**EC:** *Electrical Conductivity* is de elektrische geleidbaarheid van een medium. Dit geeft aan hoe goed dit medium, bijvoorbeeld grond, elektriciteit geleidt. Dit is het tegenovergestelde van de elektrische weerstand van een medium.

**FDR:** *Frequency-Domain Reflectometry* bepaalt de impedantie door een wisselstroom met een vaste hoge frequentie door de bodem te sturen en de spanning hierover te bepalen. Hieruit kunnen onder andere het bodemvochtgehalte en de EC van de bodem worden afgeleid.

**pF:** Logaritmische eenheid om het aantal cm drukhoogte in uit te drukken. Een pF van 2 betekent een drukhoogte van  $10^2 = 100$  cm. Beide zijn een maat voor de zuigspanning die een plant moet overwinnen.

**RV:** Relatieve luchtvochtigheid is een maat voor de hoeveelheid waterdamp die in de lucht aanwezig is ten opzichte van de maximale hoeveelheid vocht die in de lucht aanwezig kan zijn bij een bepaalde temperatuur en luchtdruk.

**TDR:** *Time-Domain Reflectometry* meet de tijd die het kost voordat een elektrische puls weerkaatst wordt. Hieruit kunnen onder andere het bodemvochtgehalte en de EC van de bodem worden afgeleid.

**VWC:** *Volumetric Water Content* is een variant voor het weergeven van het bodemvochtpercentage. Hierin wordt het totaal volume van de grond bepaald en het volume aan water dat zich hierin bevindt.

**Zuigspanning:** De moeite die een plant moet doen om water aan de bodem te onttrekken. Een hoge zuigspanning betekent dat het moeilijk is om water aan de bodem te onttrekken en een lage zuigspanning dat het water eenvoudig beschikbaar is voor de plant.

---

# Samenvatting

Water in het algemeen, en bodemvocht in het bijzonder, is cruciaal voor de groei en productiviteit van gewassen. Een aantal droge jaren in de recente geschiedenis hebben dit belang onderstreept. Om effectief en efficiënt te beregenen kan het waardevol zijn om door middel van sensoren informatie over de bodemvochttoestand te verzamelen. Dit is te zien aan het grote aantal sensoren dat inmiddels op de markt is. Deze vergelijkingsproef is opgezet om een indicatie te geven van de meetnauwkeurigheid van een aantal van deze sensoren en om telers inzicht te geven in de verschillen op het gebied van gebruiksgemak, meetprincipe, connectiviteit, prijs, platform en uitrusting. Hierbij hebben wij een teler die nog geen ervaring met bodemvochtsensoren heeft voor ogen gehad.

Wereldwijd zijn er honderden bodemvochtsensoren verkrijgbaar. Ook in Nederland is er een groot scala aan sensoren beschikbaar. Tien leveranciers zijn bereid gevonden mee te werken aan dit vergelijkingsonderzoek.

De systemen zijn zowel in Wageningen als in Dronten na het aanaarden in een praktijkperceel met aardappelen geplaatst. Gedurende het seizoen hebben deze sensoren continu data verzameld en zijn op meerdere momenten ringmonsters gestoken om de gemeten bodemvochtpercentages te valideren. In de analyse is de afwijking van de sensoren ten opzichte van deze monsters bepaald. Dit is gekoppeld aan een score van 1 tot 10.

Ook het gebruik van de sensoren is beoordeeld. Daarvoor zijn de sensoren op een heel aantal onderdelen gescoord (van 1 tot 5). Al deze onderdelen kennen verschillende weegfactoren op basis van het belang voor praktisch gebruik, interpretatie en de tijdige beschikbaarheid van nieuwe data. Ook dit geeft een score tussen 1 en 10.

De totaalscore per sensor is het gemiddelde van de score voor meetnauwkeurigheid en die voor het gebruik.

De scores op de verschillende onderdelen van het gebruik lopen behoorlijk uiteen. Dit hangt natuurlijk sterk af van de individuele eisen van een teler. Als deze veel belang hecht aan een simpele weergave en eenvoudig gebruik zullen de gekozen criteria en weegfactoren behoorlijk overeenkomen. Als een teler echter op zoek is naar een sensorsysteem om aan een andere oplossing te koppelen zal de uitkomst mogelijk heel anders zijn.

De score voor meetnauwkeurigheid lijkt dan een stuk ondubbelzinniger. Een belangrijke kanttekening die hierbij geplaatst moet worden is dat hierin alleen de metingen in Wageningen zijn meegenomen. Dit is te wijten aan problemen met de validatiemonsters in Dronten.

De problemen met deze validatiemonsters laten ook zien dat bodemvocht niet eenvoudig te meten is. Zeker als de focus ligt op absolute vochtpercentages. Vrijwel alle sensoren laten gedurende de hele meetserie dezelfde trends zien. Dat sommige sensoren dan toch relatief slecht scoren ligt met name aan een periode van zes weken (in Wageningen) waarin alle sensoren afwijkend gedrag vertonen en aan de kalibratie van de sensoren. In deze vertaling naar vochtpercentages of andere bruikbare waarden voor een teler ligt de uitdaging voor leveranciers.

In een vervolgonderzoek zou het waardevol zijn meerdere sensoren van hetzelfde type te plaatsen en de beoordeling meer te richten op trends dan op absolute niveaus. Nu liggen de gemeten vochniveaus in de validatiemonsters relatief dicht bij elkaar. Hierdoor kan in theorie een sensor die de trends matig volgt, maar wel gemiddeld het goede absolute niveau aangeeft een goede score halen.

---

# 1 Inleiding

De Nederlandse landbouwsector is een van de meest productieve en efficiënte wereldwijd. Om op dit niveau te blijven, probeert men op allerlei manieren de efficiëntie van de teelt te verbeteren en te verduurzamen door de groeiomstandigheden te optimaliseren. De ontwikkelingen rondom precisielandbouw spelen daarbij momenteel een belangrijke rol. Precisietechnieken blijken echter op agrarische bedrijven soms nog minder praktijkrijp dan waarmee ze in de markt zijn gezet. Uiteindelijk gaat het vanuit gebruikersperspectief (de telers) om de mogelijkheden in de praktijk. Het project Nationale Proeftuin Precisie Landbouw (NPPL) helpt boeren en tuinders met het toepassen van deze technieken.

Het doel van precisielandbouw is om ieder gewas op een zo klein mogelijk deel van het perceel exact te geven wat het nodig heeft voor optimale groei. Het is onder andere het inspelen op de variatie in ruimte en tijd die er is in bodem- en klimaatparameters. Zo is optimale groei afhankelijk van onder andere de juiste vochtvoorziening. Daarom is het van belang om het gewas te voorzien van voldoende vocht tijdens droge perioden en af te wateren tijdens nattere perioden. Echter om hierop te sturen, is het van belang om te weten wanneer het te droog of juist te nat is. Van oudsher wordt deze beslissing vaak gemaakt door op het veld te gaan kijken en een inschatting te maken van het bodemvocht. Dit is echter subjectief en lastig bij te houden naarmate de beteelde oppervlaktes groter worden. Daarnaast is het moeilijk om nauwkeurig te sturen als er geen nauwkeurige metingen worden verricht. Nauwkeurige metingen kunnen worden gedaan door een grondmonster te nemen en door middel van droging te bepalen hoeveel vocht er in de bodem zit. Dit is een tijdrovende methode die in de praktijk nauwelijks wordt toegepast. Bodemvochtsensoren bieden hierin uitkomst. Deze sensoren worden op een perceel geplaatst en meten meerdere keren per dag het vochtpercentage of de zuigspanning in de bodem. Hiermee wordt gemakkelijk inzicht gegeven in de bodemvochtsituatie. De meetgegevens kunnen vaak via een internetplatform, portal of app op een smartphone worden uitgelezen. Daarmee is op afstand het vochtgehalte in de bodem inzichtelijk voor een teler.

In de loop der jaren zijn er steeds meer aanbieders van bodemvochtsensoren op de markt gekomen. Dit geeft aan dat er veel vraag is naar een gemakkelijke manier om het bodemvochtgehalte nauwkeurig in kaart te brengen. Echter zijn er in de sector nog veel vragen over de bruikbaarheid, kwaliteit en de kosten en baten van al deze verschillende sensoren. Daarom is er binnen NPPL in 2021 een vergelijkingsonderzoek uitgevoerd in het veld naar negen verschillende bodemvochtsensoren en één satellietstelsel op twee verschillende grondsoorten. Hierbij zijn de verschillende sensoren vergeleken met nauwkeurige vochtgehaltebepalingen aan de hand van bodemmonsters.

Het hoofddoel van dit onderzoek is: **Het vergelijken van verschillende bodemvochtsensoren in het veld aan de hand van vochtbepaling op basis van grondmonsters. Daarnaast zullen andere verschillen tussen sensoren in kaart worden gebracht op het gebied van gebruiksgemak, meetprincipe, connectiviteit, prijs, platform en uitrusting.**

## 1.1 Sensoren

Wereldwijd zijn er honderden bodemvochtsensoren beschikbaar. Ook in Nederland is er een groot aantal sensoren beschikbaar. Tien leveranciers zijn bereid gevonden mee te werken aan dit vergelijkingsonderzoek. Zij hebben de volgende tien sensoren (of diensten in het geval van IrriWatch) aangeleverd voor deze proef:

- Agro bodemvochtsensor (RMA Company, 2021)
- FieldGuard (Estede Technologies bv, 2021)
- FS11 (Farm21, 2021)
- GeoBas LoRain Soil (Vantage Agrometius, 2021)
- IrriWatch (IrriWatch, 2021)
- Poseidon WET sensor (Quantified, 2021)

- 
- (Viridix) Root Sense (Aquafeed, 2021)
  - Sensoterra (Sensoterra International BV, 2021)
  - SoilExact Pro (AgroExact, 2021)
  - TerraSen Pro (Dacom, 2021)

Telers zijn op zoek naar inzicht in de vochttoestand van hun bodem, omdat vochttekorten de belangrijkste beperkende factor zijn voor de opbrengst van veel gewassen. Door deze tekorten tijdig op te merken, te kwantificeren en te registreren kan dus op het juiste moment de juiste hoeveelheid water worden toegediend. Omdat de afgelopen jaren door aanhoudend droge periodes de watervoorziening in sommige gebieden zeer beperkt bleek is het van belang om het water wat beschikbaar is zo gericht mogelijk op het land te brengen. Hiervoor kan betrouwbare sensortechniek een belangrijke meerwaarde vormen. Door gerichter te beregenen kunnen de gewasopbrengsten worden verhoogd of de kosten worden verlaagd. Dit biedt dus ook een mogelijk economisch voordeel. Vochtsensoren en irrigatiemodellen moeten dan wel voorzien in waar, wanneer en hoeveel te beregenen.

## 1.2 Meetprincipes

De tien systemen in deze vergelijking werken met verschillende meetprincipes. Het belangrijkste onderscheid wordt gemaakt tussen sensoren die **zuigspanning** meten en sensoren die **bodemvocht** meten. Tot slot is er het systeem van Irrivatch dat op basis van **satellietmetingen** werkt.

### 1.2.1 Zuigspanning

Zuigspanning is de moeite die een plant moet doen om water aan de bodem te onttrekken. Zo betekent een hoge zuigspanning dat het moeilijk is om water aan de bodem te onttrekken en een lage zuigspanning dat het water eenvoudig beschikbaar is voor de plant. Hoe eenvoudig water beschikbaar is heeft te maken met de hoeveelheid water die in de bodem beschikbaar is, maar ook met de samenstelling van de bodem: een plant moet meer moeite doen om water te onttrekken aan een kleigrond met een vochtgehalte van 20% dan aan een zandgrond met hetzelfde bodemvochtgehalte. Een belangrijk voordeel van het gebruik van een zuigspanningssensor is dus dat direct gemeten wordt waar een gewas aan blootgesteld wordt. De zuigspanning waarbij planten (vrijwel) geen water meer kunnen opnemen uit de bodem, verschilt per gewas en bodemtype. (Remmelink, Middelkoop, Ouweltjes, & Wemmenhove, 2020)

### 1.2.2 Bodemvocht

Sensoren die het bodemvochtgehalte meten, benaderen de bodem als een elektrisch systeem en meten de elektrische impedantie van de bodem tussen twee of meer meetpennen of -ringen. Ze meten de in de bodem aanwezige ionen en/of het bodemvocht, beide beïnvloeden het elektrisch gedrag van de bodem. De gemeten weerstand is te relateren aan de geleidbaarheid van de bodem (*electrical conductivity* of EC) en de gemeten elektrische capaciteit (*dielectric permittivity* of  $\epsilon$ ) is te relateren aan het watergehalte. Door de elektrische capaciteit te meten is het mogelijk onderscheid te maken tussen de invloed van de ionen en die van het bodemvocht, bij het meten van de weerstand niet. Als de ionensamenstelling van de bodem verandert, door nutriënten die worden toegediend of opgenomen, en het vochtgehalte blijft gelijk zal een sensor die alleen de EC meet niet juist reageren.

1. Weerstandssensoren meten dus de geleiding van de bodem relateren dit aan het bodemvochtgehalte. Dit is relatief simpel en goedkoop en het kost weinig energie. Wel is deze methode om bodemvochtgehalte te bepalen erg gevoelig voor (veranderingen in) het zoutgehalte van de bodem en het gebruikte (irrigatie-)water.

De overige bodemvochtsensoren meten dus elektrische capaciteit. Deze aanpak kan grofweg worden onderverdeeld in drie methoden:

2. Het bepalen van de elektrische capaciteit door de bodem als condensator te beschouwen en te meten hoeveel capaciteit hierin kan worden opgebouwd als gedurende een vast tijdinterval een bepaalde spanning op de bodem wordt gezet.



3. Time-Domain Reflectometry (TDR) meet de tijd die het kost voordat een elektrische puls weerkaatst wordt. Hieruit kunnen onder andere het bodemvochtgehalte en de EC van de bodem worden afgeleid.
4. Frequency-Domain Reflectometry (FDR) bepaalt de impedantie door een wisselstroom met een vaste hoge frequentie door de bodem te sturen en de spanning hierover te bepalen. Hieruit kunnen onder andere het bodemvochtgehalte en de EC van de bodem worden afgeleid.

### 1.2.3 Overzicht

In **Tabel 1** zijn enkele globale verschillen tussen de beschikbare meetprincipes opgesomd. De zoutgevoeligheid is niet alleen van belang in de kustgebieden waar mogelijk verzilting optreedt. Ook kunstmest en dierlijke mest bestaan uit zouten, hierdoor kunnen de gemeten waardes worden beïnvloed. Dit effect is echter relatief klein, belangrijker is een degelijke installatie in zo min mogelijk verstoorde grond.

**Tabel 1** Overzicht verschillende meetmethoden voor bodemvocht en hun voor- en nadelen. De beste prestatie op een bepaald onderdeel betekent een ++ en de minste prestatie een -- (naar (METER Group, Inc, 2021)).

Meetprincipe	Kosten	Energieverbruik	Zoutgevoeligheid
Zuigspanning	o	o	+
Weerstand	++	++	--
Capaciteit	+	+	o
TDR	-	-	o
FDR	-	-	o

### 1.2.4 Satellietmetingen

Het systeem van IrriWatch werkt in tegenstelling tot alle andere systemen in deze vergelijking niet met een of meerdere fysieke sensoren in het veld, maar op basis van thermische satellietmetingen. Hiermee wordt de gewastemperatuur van een volledig perceel met een resolutie van 10 x 10 meter in kaart gebracht. Vervolgens wordt onder andere de vochttoestand van de bodem berekend. Omdat dit op basis van metingen aan het gewas gebeurt geldt dit automatisch voor de gehele worteldiepte van de planten, ongeacht wat deze diepte is.

## 1.3 Kalibratie

Zuigspanningssensoren kunnen de vochttoestand in de bodem bepalen zonder kalibratieprofiel. De gemeten zuigspanning zegt immers direct iets over de vochttoestand in de bodem, ongeacht de grondsoort waar deze op geplaatst wordt. Als de zuigspanning moet worden vertaald in een bodemvochtpercentage of een beregeningsadvies zal ook bij zuigspanningssensoren een kalibratieprofiel nodig zijn. (METER Group, Inc, 2021)

Bodemvochtsensoren moeten altijd door middel van een kalibratieprofiel worden vertaald naar de toestand op een specifiek grondsoort, ook dit gebeurt op basis van kalibratieprofielen. Deze profielen worden normaal gesproken door de verschillende sensorfabrikanten/-leveranciers verstrekt op het platform. In de meeste gevallen kun je als gebruiker kiezen uit de beschikbare profielen. Bij een enkele leverancier worden deze profielen enkel op aanvraag achter de schermen aangepast.

## 2 Materiaal en methoden

In dit hoofdstuk worden eerst de proefopzet en de meetmethoden beschreven (2.1). Vervolgens worden de belangrijkste eigenschappen van de verschillende sensoren naast elkaar gelegd, zodat een goed beeld gevormd kan worden van de basisverschillen tussen de sensoren (2.2). Tot slot wordt ingegaan op de analyse die we toepassen op de meetgegevens en het gebruik van de sensoren (2.3 en 2.4).

### 2.1 Proefopzet

#### 2.1.1 Proefpercelen

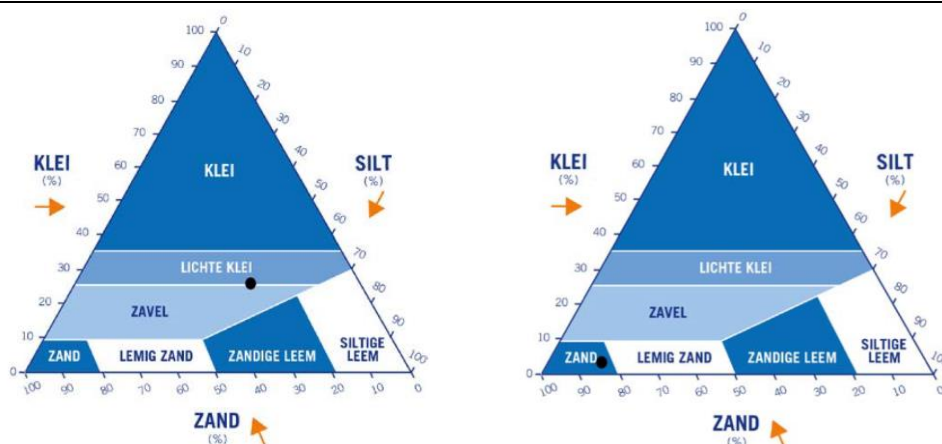
Dit onderzoek is uitgevoerd in praktijkpercelen met aardappelen op twee verschillende grondsoorten. Het eerste perceel lag op een lichte klei-/zavelgrond in Dronten en het tweede op een zandgrond in Wageningen. De exacte samenstelling van de bodem is verkregen vanuit een Eurofins Agro bodemmonster (**Tabel 2**). Op beide percelen is aan de hand van satellietbeelden en praktijkervaring, een egaal stuk van het perceel geselecteerd waarop de sensoren geplaatst zijn om de invloeden van bodemvariatie zo veel mogelijk uit te sluiten. Op beide percelen heeft in 2020 tarwe gestaan, waarna er direct in de stoppel een groenbemester (gele mosterd en Japanse haver) is gezaaid. Deze groenbemester is in de winter omgeploegd.

Vanwege de natte en koude omstandigheden in het voorjaar van 2021 zijn de aardappelen laat gepoot en de ruggen laat aangeaard. Hierdoor zaten er grote verschillen tussen de plaatsing van de sensoren in Wageningen en de plaatsing van de sensoren in Dronten. In Wageningen zijn de aardappels gepoot op 19 april 2021 en zijn de ruggen aangeaard op 30 april 2021. In Dronten zijn de aardappels gepoot op 27 april 2021 en zijn de ruggen aangeaard op 4 juni.

**Tabel 2** Bodemsamenstelling in Wageningen en Dronten op basis van grondmonsters door Eurofins.

	Dronten (%)	Wageningen (%)
Klei (<2 µm)	23	3
Silt (2-50 µm)	42	14
Zand (>50 µm)	25	81
Organische stof	3.0	2.5
Koolzure kalk	6.8	<0.2

Structuurdriehoek



In de proefpercelen is niet beregend of bevoeid en heeft neerslag voor de enige aanvulling van het bodemvocht gezorgd.

### 2.1.2 Plaatsing sensoren

Zodra de aardappelruggen waren aangeeard, zijn de sensoren geplaatst. In Wageningen zijn zeven van de negen sensoren geplaatst op 3 mei. Twee sensoren (FS11 van Farm21 en Poseidon WET sensor van Quantified) zijn later geplaatst: op 10 mei. In Dronten zijn acht van de negen sensoren geplaatst op 8 juni. De Aquafeed Root Sense is één week later geplaatst op 14 juni

Zowel in Dronten als in Wageningen zijn alle sensoren in één aardappel rug geplaatst om eventuele bodem- en teeltmanagementvariatie zo veel mogelijk uit te sluiten (**Figuur 1**). Tussen de sensoren is twee meter afstand gehouden om eventuele onderlinge storing te voorkomen. Alle sensoren zijn door de leveranciers zelf geplaatst. Hierdoor kan aangenomen worden dat deze zo goed als mogelijk geplaatst zijn.

### 2.1.3 Validatiemetingen

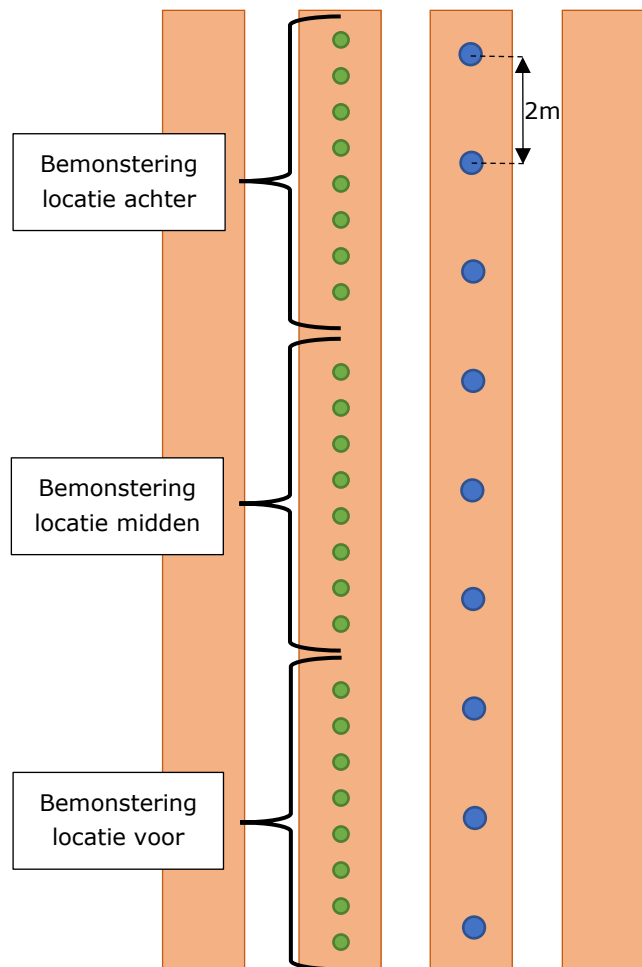
Nadat de sensoren geplaatst zijn, zijn er tweewekelijks ringmonsters gestoken waarmee het volumetrisch bodemvochtpercentage is bepaald ter validatie van de sensorwaarden. Deze ringmonsters zijn genomen in de rug naast de bodemvochtsensoren, die in dezelfde werkgang is bewerkt als de rug waarin de sensoren geplaatst zijn. De bemonstering gebeurde in drie vlakken, bij de voorste sensoren, de middelste en de achterste. De monsters zijn op drie dieptes genomen: 10-20cm, 20-30cm en 30-40cm. In totaal zijn er dus elke 2 weken 9 monsters genomen. Daarnaast zijn gedurende de meetperiode 2x extra bemonsteringen gedaan tussen de 2 weken in. Dit is gebeurd in een periode waarin het na een natte tijd langere tijd droog zou blijven. In totaal zijn er 8 validatiemetingen gedaan.

De ringmonsters voor de vochtbepaling door indroging zijn genomen in ringen van 100 cm<sup>3</sup>. Direct na de bemonstering zijn de ringen met de grond gewogen (nat gewicht) en 24 uur in de oven gedroogd op 105 °C. Vervolgens is de grond in de ringen weer gewogen (droog gewicht). Met gebruik van het bekende volume (100 cm<sup>3</sup>) is het volumetrisch vochtgehalte ( $\theta_v$ ) bepaald met behulp van de formule:

$$\theta = \frac{\text{nat gewicht} - \text{droog gewicht}}{\text{droog gewicht} - \text{ring gewicht}} * \frac{\text{droog gewicht} - \text{ring gewicht}}{\text{volume}}$$

### 2.1.4 Waterretentiecurve (pF-curve)

Naast de ringmonsters voor de vochtbepaling zijn er ook in 2 lagen, ringmonsters in duplo genomen om een nauwkeurige waterretentiecurve (pF-curve) te bepalen. Deze monsters zijn 1,5 maand na het poten genomen op een diepte van 10-20 cm en 30-40cm. De pF-curve is vastgesteld met behulp van de zandbak-, drukpan- en luchtdroogmethode in het Bodem Hydro-Fysisch Laboratorium van de WUR. Deze pF-curve is gebruikt om sensoren die zuigspanning meten te kunnen vergelijken met sensoren die vochtpercentage meten.



**Figuur 1** Schematische weergave van de ruimtelijke plaatsing van de sensoren (blauwe cirkels, rechts) en de genomen ringmonsters ter validatie (groene cirkels, links).

## 2.2 Overzicht geplaatste sensoren

In **Tabel 3** staat een opsomming van de verschillende systemen die in deze vergelijking gebruikt zijn. Per sensor is aangegeven welke variabelen worden gemeten en in sommige gevallen op welke manier. Ondergronds kunnen onder andere temperatuur (°C), zuigspanning (pF) en bodemvocht (EC (weerstand), ε (capaciteit), FDR (capaciteit) en/of TDR (capaciteit)) worden gemeten. Per sensor is ook aangegeven op hoeveel en welke dieptes dit gebeurt of kan. Bovengronds kunnen onder andere de neerslag (mm), temperatuur (°C), relatieve luchtvochtigheid (RV) en de hoeveelheid PAR-licht worden gemeten.

**Tabel 3** Een overzicht van alle sensoren in de vergelijking en de variabelen die door deze sensoren worden gemeten. Voor de ondergrondse variabelen is hier ook bij vermeld op hoeveel en welke dieptes dit gemeten kan worden.

Merk	Type	Ondergrond gemeten						Aantal dieptes	Diepte cm	Bovengronds gemeten				Connectie		
		°C	pF	EC	E	FDR	TDR			mm	°C	RV	PAR	Type	Interval	Mogelijke opties
RMA	Agro bodemvochtsensor	x				x		5	10, 20, 30, 40, 50	x				4G	30 min	pF, EC, °C, RV, LoRa
Estede	FieldGuard	x		x		x		2	0 – 200 <sup>1</sup>		x	x		LoRa	15 min	PAR, bladnat, UV
Farm21	FS11	x			x			3	10, 20, 30		x	x		LoRa	1 uur	
Vantage Agrometius	GeoBas LoRain Soil	x	x		x			1	0 – 50 <sup>1</sup>	x	x	x		NB IoT	15 min	PAR, bladnat, wind
IrriWatch	IrriWatch								Wortelzone	x	x			n.v.t.	24 uur	Meet indirect
Quantified	Poseidon WET sensor	x		x			x	2	0 – 200 <sup>1</sup>		x	x	x	LoRa	5 min	Weerstation, °C geventileerd, flexibele <i>multidepth</i> sensor
Aquafeed	Root Sense		x					2	0 – 50 <sup>1</sup>					3G	30 min	
Sensoterra	Sensoterra			x				1	15, 30, 60, 90 <sup>2</sup>					LoRa	1 uur	<i>Multidepth</i> sensor
AgroExact	SoilExact Pro	x	x					1	0 – 50 <sup>1</sup>	x	x	x		LoRa	30 min	Meetdiepte tot 200 cm
Dacom	TerraSen Pro	x				x		5	10, 20, 30, 40, 50	x				3G/4G	1 uur	



<sup>1</sup> Variabel te plaatsen in aangegeven dieptebereik.

<sup>2</sup> De single depth sensoren kunnen per sensor slechts één van deze dieptes meten.

In de onderstaande tabellen (**Tabel 4** tot en met) worden de verschillende sensoren in wat meer detail getoond met een foto, de gemeten variabelen en de kosten. Naast de direct gemeten waarden in de tabellen kunnen ook nog parameters worden afgeleid. Deze zijn in dit overzicht niet meegenomen. Voorbeelden zijn het dauwpunt of de gewasverdamping. Uitzondering zijn de indirecte parameters die IrriWatch bepaalt aan de hand van hun model.

Bij de kosten wordt een onderscheid gemaakt in eenmalige kosten voor de aanschaf van een sensor en de jaarlijkse kosten voor toegang tot het platform. Een aantal leveranciers biedt goedkopere versies aan van de sensoren in deze vergelijking (onder andere Estede, Vantage Agrometius, AgroExact, Dacom) die ook volstaan om enkel het bodemvocht te bepalen. In veel gevallen zijn bovengronds gemeten variabelen als luchttemperatuur, relatieve luchtvochtigheid en een regenmeter de extra opties.




**Tabel 4** Overzicht van de geteste sensoren met een foto en de gemeten variabelen en op welke diepte dit is gemeten (bij bodemparameters). Dikgedrukte gemeten waarden hebben betrekking op de bepaling van de bodemvochttoestand. Daarnaast zijn ook de eenmalige kosten voor de aanschaf en de jaarlijkse kosten voor het gebruik van het platform vermeld.

Naam	Foto	Gemeten waarden	Aanschafkosten	Jaarlijkse kosten
Agro bodemvochtsensor – RMA		<b>Bodemvocht (FDR) (%)</b> op 10, 20, 30, 40 en 50 cm <sup>1</sup> <b>Bodemtemperatuur (°C)</b> op 10, 20, 30, 40 en 50 cm <sup>1</sup> Neerslag (mm)	€ 1.625,00	€ 175,00
FieldGuard – Estede		<b>Bodemvocht (FDR) (%)</b> op 20 en 40 cm <sup>2</sup> <b>Bodemtemperatuur (°C)</b> op 20 cm <sup>2</sup> <b>Bodem EC (mS/cm)</b> op 20 cm <sup>2</sup> Lucht temperatuur (°C) Luchtvochtigheid (%)	€ 450,00	€ 59,00

1 Vaste afstand tussen sensoren.

2 Variabele diepte en afstand tussen sensoren.

**Tabel 5** Overzicht van de geteste sensoren met een foto en korte omschrijving van de relevante gemeten variabelen. Dikgedrukte gemeten waarden hebben betrekking op de bepaling van de bodemvochttoestand. (vervolg **Tabel 4**)

Naam	Foto	Gemeten waarden	Aanschafkosten	Jaarlijkse kosten
FS11 – Farm21		<b>Bodemvocht (ε)</b> (%) op 10, 20 en 30 cm <sup>1</sup> <b>Bodemtemperatuur</b> (°C) op 10 cm <sup>1</sup> Luchttemperatuur (°C) Luchtvochtigheid (%)	€ 89,00 <sup>2</sup>	€ 63,00 <sup>3</sup>
GeoBas LoRain Soil – Vantage Agrometius		<b>Zuigspanning</b> (kPa) op 30 cm <sup>4</sup> <b>Bodemtemperatuur</b> (°C) op 30 cm <sup>4</sup> Neerslag (mm) Luchttemperatuur (°C) Luchtvochtigheid (%)	€ 775,00	€ 95,00
IrriWatch – IrriWatch		Gewasbedekking (%) Bodemtemperatuur (°C) aan oppervlakte <b>Virtueel bodemvocht</b> (%) voor hele wortelzone <sup>5</sup> <b>Virtuele zuigspanning</b> (kPa) voor hele wortelzone <sup>5</sup>	€ -	€ 325,00 <sup>6</sup>

1 Vaste afstand tussen sensoren.

2 Minimaal 5 sensoren, in dat geval bedraagt de aanschaf € 445,00.




3 Minimaal 5 sensoren, in dat geval bedragen de platformkosten € 315,00 per jaar.

4 Variabele diepte.

5 Niet direct gemeten, maar modelmatig bepaald op basis van satellietbeelden.



6 € 13,00 per ha per jaar, minimaal 25 ha.

**Tabel 6** Overzicht van de geteste sensoren met een foto en korte omschrijving van de relevante gemeten variabelen. Dikgedrukte gemeten waarden hebben betrekking op de bepaling van de bodemvochttoestand. (vervolg **Tabel 5**)

Naam	Foto	Gemeten waarden	Aanschafkosten	Jaarlijkse kosten
Poseidon WET sensor – Quantified		<b>Relatieve bodem permittiviteit (TDR)</b> ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) op 15 en 30 $\text{cm}^1$ <b>Bodem EC (EC)</b> ( $\text{dS}/\text{m}$ ) op 15 en 30 $\text{cm}^1$ <b>Bodemtemperatuur</b> ( $^{\circ}\text{C}$ ) op 15 en 30 $\text{cm}^1$ Neerslag (mm) Luchttemperatuur ( $^{\circ}\text{C}$ ) Relatieve vochtigheid (%) PAR-lichtintensiteit ( $\text{uMol}/\text{m}^2\text{s}$ ) Wind (snelheid en richting) GPS	€ 324,37	€ 36,01
Root Sense – Aquafeed		<b>Zuigspanning</b> (cbar) op 15 en 30 $\text{cm}^1$ <b>Bodemtemperatuur</b> ( $^{\circ}\text{C}$ ) op 15 en 30 $\text{cm}^1$	€ 1.150,00	€ 160,00 <sup>2</sup>
Sensoterra 15 en 30 cm – Sensoterra		<b>Bodemvocht (EC)</b> (%) op 15 en 30 $\text{cm}^3$	€ 400,00	€ 54,00 <sup>4</sup>

1 Variabele diepte en afstand tussen sensoren.  
 2 Eerste jaar gratis.  
 3 Per diepte is één sensor geplaatst.  
 4 Eerste twee jaar gratis.

**Tabel 7** Overzicht van de geteste sensoren met een foto en korte omschrijving van de relevante gemeten variabelen. Dikgedrukte gemeten waarden hebben betrekking op de bepaling van de bodemvochttoestand. (vervolg **Tabel 6**)

Naam	Foto	Gemeten waarden	Aanschafkosten	Jaarlijkse kosten
SoilExact Pro – AgroExact		<b>Zuigspanning</b> (kPa) op 30 cm <sup>1</sup> <b>Bodemtemperatuur</b> (°C) op 30 cm <sup>1</sup> Neerslag (mm) Luchttemperatuur (°C) Relatieve vochtigheid (%)	€ 549,00	€ 120,00
TerraSen Pro – Dacom		<b>Bodemvocht (FDR)</b> (mm) op 10, 20, 30, 40, 50 cm <sup>2</sup> <b>Bodemtemperatuur</b> (°C) op 10, 20, 30, 40, 50 cm <sup>2</sup> Neerslag (mm)	€ 2.160,00	€ 276,00

1 Variabele diepte en afstand tussen sensoren.

2 Vaste afstand tussen sensoren.



## 2.3 Vergelijkingsmethode nauwkeurigheid van de sensoren

Iedere sensor zendt de gemeten waarde(n) met een vast tijdsinterval naar een platform waar de data voor de teler inzichtelijk wordt gemaakt. Voor de vergelijking tussen de verschillende sensoren, zijn de data vanaf dit platform gedownload. Per leverancier verschilt het of de toestand van het bodemvocht wordt weergegeven in vochtpercentage, aantal mm bodemvochtvoorraad, zuigspanning of iets anders.

Omdat met de validatiemonsters het volumetrisch bodemvochtgehalte is bepaald wordt de vergelijking uitgevoerd op basis van deze grootte. Alle gemeten waarden van sensoren die geen bodemvochtpercentage tonen zijn hier naartoe omgerekend. Hiervoor is gebruik gemaakt van de pF-curven, specifiek bepaald voor deze vergelijkingsproef. Hierin is de zuigspanning uitgezet tegen het bodemvochtpercentage dat hierbij hoort. De pF-waarde die hierin wordt gebruikt is een logaritmische weergave van de drukhoogte. De drukhoogte staat gelijk aan het aantal cm waterkolom dat moet worden overwonnen om het water aan te zuigen. Zo is een drukhoogte van 100 cm gelijk aan pF 2,0 ( $\log(100) = 2,0$ ) en 500 cm aan pF 2,7 ( $\log(500) = 2,7$ ). (Rommelink, Middelkoop, Ouweltjes, & Wemmenhove, 2020)

De zuigspanning op de verschillende platformen wordt echter niet in cm drukhoogte, maar in cbar of kPa uitgedrukt. 1 cbar staat gelijk aan 10 cm waterkolom, oftewel 10 cm drukhoogte. Met deze gegevens kan dus de zuigspanning aan een vochtpercentage worden gekoppeld. Eén leverancier (Dacom) geeft het beschikbare bodemvocht weer in het aantal mm. Dit is ook om te rekenen naar bodemvochtpercentage met behulp van de pF-curve. Deze omrekening is door Dacom op ons verzoek zelf uitgevoerd en aangeleverd.

Vervolgens zijn alle sensorwaarden vergeleken met de validatiemonsters genomen op de diepte waarop de sensoren geplaatst zijn (**Tabel 8**). De validatiemonsters kennen een bepaalde bandbreedte waarbinnen, met 95% zekerheid, het vochtgehalte op dat moment valt. Valt een gemeten waarde hierbuiten dan geldt per procentpunt afwijking van de grens van dit gebied een aftrek van 2 punten op een maximumscore van 10. Per sensor is over de 6 uur rondom het monstermoment (3 uur eerder tot 3 uur later) een gemiddeld vochtgehalte berekend, om te voorkomen dat sensoren die toevallig 1 of 2 uur geen data hebben verstuurd hier ook in deze vergelijking op afgerekend worden. Dit alles geeft een indicatie van de nauwkeurigheid van de sensoren.

Als een sensor op de grens tussen twee dieptes van validatiemonsters is geplaatst is het validatiemonster gekozen dat het gunstigst uitpakt voor de sensor. Zo kan het dat sommige sensoren die op 30cm diepte meten vergeleken worden met validatiemonsters op 20-30 cm diepte en andere met monsters op 30-40 cm diepte.

**Tabel 8** Sensoren met bijbehorende meetdieptes en het gebruikte validatiemonster dat correspondeert met deze diepte.

Merk	Type	Sensordiepte	Diepte validatiemonster
RMA	Agro bodemvochtsensor	Bodemvocht (%) 20cm	10-20
		Bodemvocht (%) 30cm	20-30
		Bodemvocht (%) 40cm	30-40
Estede	FieldGuard	Bodemvocht (%) 20cm	20-30
		Bodemvocht (%) 40cm	30-40
Farm21	FS11	Bodemvocht (%) 20cm	10-20
		Bodemvocht (%) 30cm	20-30
Vantage Agrometius	GeoBas LoRain Soil	Zuigspanning (kPa) 20cm	20-30
		Bodemvocht (%) 30cm	30-40
IrriWatch	IrriWatch	Zuigspanning (kPa) wortelzone	20-30
		Bodemvocht (%) wortelzone	20-30
Quantified	Poseidon WET sensor	Relatieve bodempermittiviteit (-) 15cm	10-20
			30-40

Merk	Type	Sensordiepte	Diepte validatiemonster
		Relatieve bodempermittiviteit (-) 30cm	
Aquafeed	Root Sense	Zuigspanning (cbar) 15cm	10-20
		Zuigspanning (cbar) 30cm	20-30
Sensoterra	Sensoterra	Bodemvocht (%) 15cm	10-20
		Bodemvocht (%) 30cm	20-30
AgroExact	SoilExact Pro	Zuigspanning (kPa) op 30cm	20-30
Dacom	TerraSen Pro	Bodemvocht (%) 20cm	10-20
		Bodemvocht (%) 30cm	20-30
		Bodemvocht (%) 40cm	30-40

## 2.4 Vergelijkingsmethode gebruik van de sensoren

Om het gebruik van de sensoren te beoordelen, is een aantal punten bepaald waarop deze gescoord worden. Uitgangspunt is dat sensoren eenvoudig geïnstalleerd en uitgelezen kunnen worden en betrouwbaar inzicht bieden. De concreetheid van het advies is hierbij een belangrijke factor. Bovenal wil een teler gedurende het seizoen op elk gewenst moment snel de bodemtoestand kunnen inzien. Daarvoor is het belangrijk dat sensoren betrouwbaar nieuwe gegevens versturen en dat bij voorkeur op een mobiele telefoon met weinig handelingen de status van het perceel kan worden ingezien. Uiteraard spelen ook de kosten een rol in deze beoordeling. Voor al deze facetten zal een score tussen 1 (--) en 5 (++) worden toegekend. Daarnaast krijgen alle facetten individuele wegingsfactoren mee, op basis van belang voor eenvoudig en betrouwbaarheid.

### 2.4.1 Technisch

Allereerst zijn er drie technische punten meegenomen:

#### 2.4.1.1 Installatie

De installatie is onderverdeeld in 3 subcategorieën die onderling gelijk meetellen en in totaal een weefactor van 3 krijgen:

- Het fysiek plaatsen van de sensor in het veld.
- Het toevoegen van de sensor in het platform
- Het instellen van de grenzen waarbij gewaarschuwd wordt.

#### 2.4.1.2 Onderhoud

Het benodigde onderhoud verschilt van helemaal geen onderhoud (++) tot jaarlijkse revisie van verschillende onderdelen (--). De weefactor voor dit onderdeel is 1.

#### 2.4.1.3 Connectie

Om als beslissingsondersteuning bij berekening te dienen moet een sensorsysteem regelmatig nieuwe data leveren, een betrouwbare connectie is dus cruciaal. Hiertoe is per systeem van ieder datapunt bepaald hoeveel tijd is verstreken sinds het voorgaande datapunt. Vervolgens is het gemiddelde en de standaardafwijking van al deze intervallen bepaald. Zo kan men inschatten hoelang het in 95% van de gevallen duurt voor nieuwe data beschikbaar is. Dit wordt beïnvloed door het zendinterval voor nieuwe data en door de stabiliteit van de verbinding en de sensor zelf. Voor de maximale score (5) mag de berekende tijd maximaal 1 uur zijn, per 2 uur extra wordt er 1 punt afgetrokken tot een minimum van 1. De weefactor voor dit onderdeel is 5.

---

#### **2.4.1.4 Aantal dieptes**

Door op verschillende dieptes in de wortelzone (of zelfs daarbuiten) te meten op dezelfde plaats wordt extra informatie verzameld. Hier geldt dus meer is beter en het aantal dieptes wordt rechtstreeks vertaald naar een score: 5 dieptes betekent een 5 en 1 diepte een 1. De weegfactor voor dit onderdeel is 3.

#### **2.4.2 Platform**

Het tweede thema is het platform, waar telers om bodemvochtinformatie in te zien het meeste tijd zullen doorbrengen. Hier is beoordeeld op de onderdelen:

##### **2.4.2.1 Weergave**

De weergave op het platform kan worden gedaan door het gebruik van kleurschalen, waarbij duidelijk wordt of de bodem te droog, te nat of voldoende vochtig is (score 4). Ook kan met een wat simpelere lijn worden gewerkt, waarbij in sommige gevallen zelf grenzen aangegeven kunnen worden (score 3). Tot slot kan met zowel een lijn voor de hoeveelheid vocht als een kleurcode ter indicatie van de grondtoestand worden gewerkt (score 5). De weegfactor voor dit onderdeel is 3.

##### **2.4.2.2 Advies**

Hoe concreter het advies, zeker voor een teler die met zijn eerste bodemvochtsensor wil starten, hoe beter. Daarom krijgt een advies in mm te beregenen de maximale score (5), als alleen een advies wordt gegeven om te beregenen, maar niet hoeveel scoort het systeem een 4. Als helemaal geen advies wordt gegeven een 1. De weegfactor voor dit onderdeel is 5.

##### **2.4.2.3 App**

Als een mobiele app beschikbaar is zijn de gegevens sneller inzichtelijk. Ook een klein aantal klikken om te komen tot de daadwerkelijke vochtdata op het bijbehorende platform/app dragen hieraan bij. De weegfactor voor dit onderdeel is 3.

##### **2.4.2.4 Aantal klikken**

Als bij het opstarten van de app/inloggen op de website direct de relevante data in beeld komt geldt dat 0 klikken nodig zijn en hiermee scoort een platform de maximale score (5). Per extra klik gaat hier 1 punt af. De weegfactor voor dit onderdeel is 4.

##### **2.4.2.5 Melding**

Als het systeem de mogelijkheid biedt om bij overschrijding van een bepaalde grens een melding naar de gebruiker te sturen zijn hier 5 punten te verdienen. Als deze mogelijkheid ontbreekt scoort het betreffende systeem een 1. De weegfactor voor dit onderdeel is 2.

In **Tabel 9** zijn alle beoordelingscriteria en weegfactoren nog eens op een rijtje gezet.

**Tabel 9** Beoordelingscriteria en weegfactoren voor alle bodemvochtssystemen naar onderwerp.

Onderwerp	Criterium	Weegfactor
Technisch	Installatie	2
	Onderhoud	1
	Connectie	5
	Aantal dieptes	3
Platform	Weergave	3
	Advies	5
	App	3
	Aantal klikken	4
	Melding	2

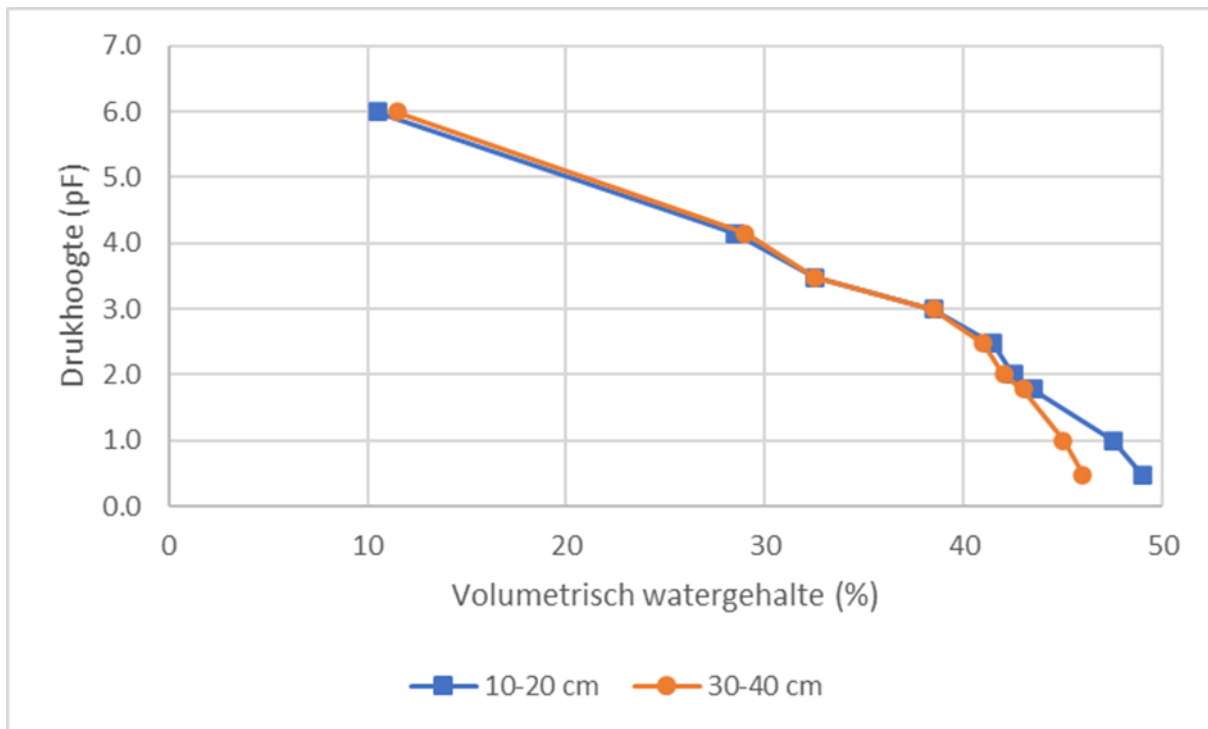
# 3 Resultaten

In dit hoofdstuk presenteren we de meetgegevens en analyses. In paragraaf 3.1 presenteren we de resultaten van de grondmonsteranalyses die we gebruiken als referentie voor de beoordeling van de sensoren. Daarna volgen de resultaten van de beoordeling van de nauwkeurigheid (3.2) en het gebruik (3.3) van de sensoren.

## 3.1 Grondmonsters

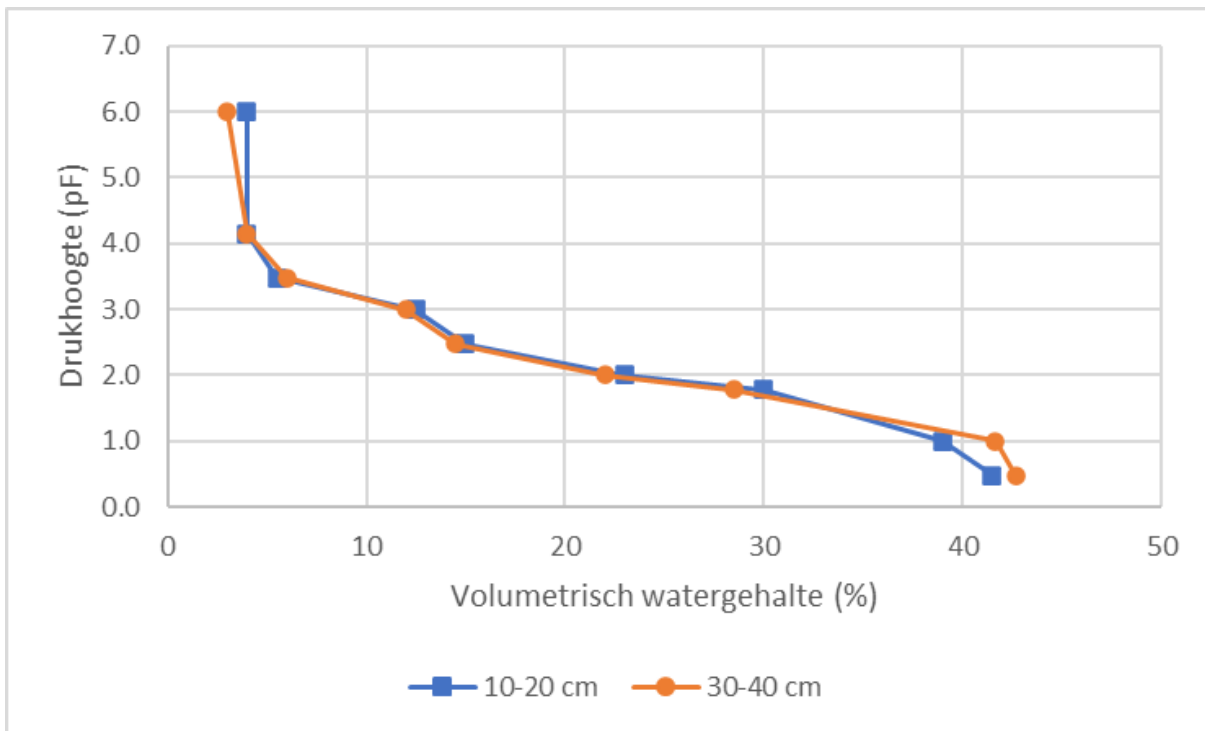
### 3.1.1 pF-curven

De pF curven werden bepaald aan de hand van vier grondmonsters op twee diepten per locatie. Ze worden per proeflocatie getoond en besproken.



**Figuur 2** pF-curven voor de grond uit Dronten waarin op twee verschillende dieptes het vochtgehalte in relatie tot de zuigspanning wordt weergegeven.

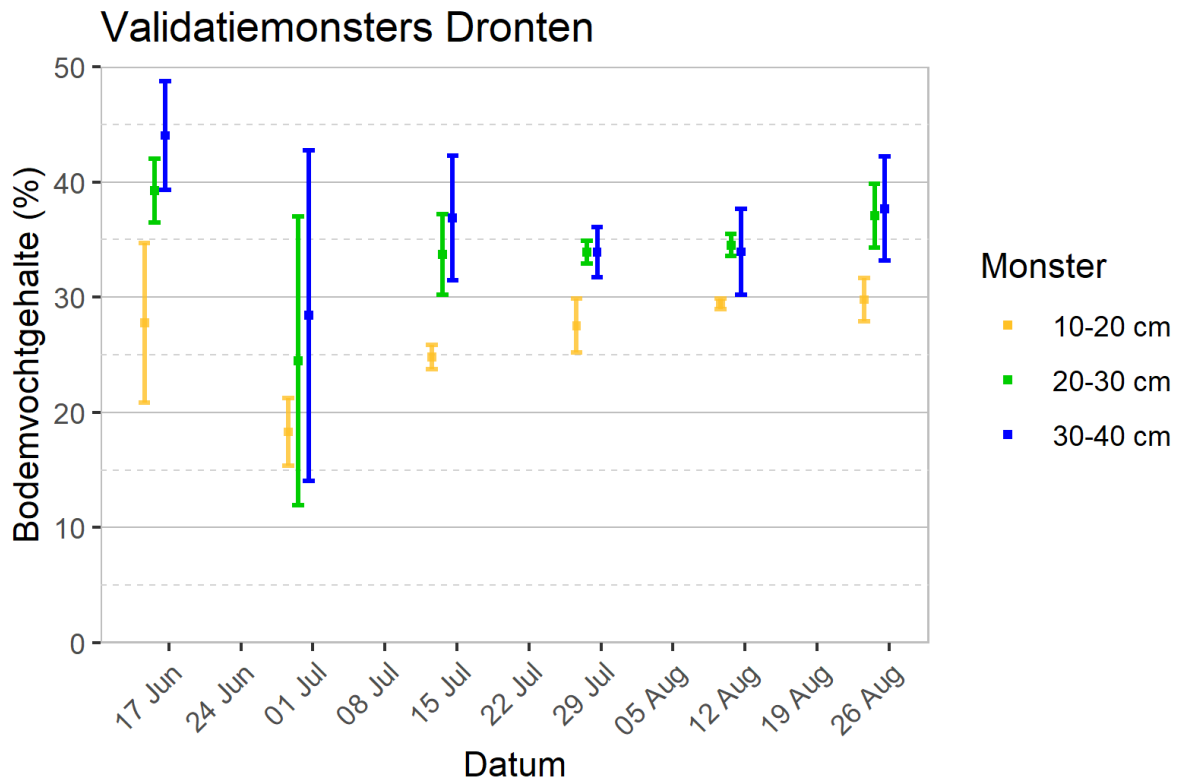
In **Figuur 2** zijn de pF-curven van de grondmonsters uit Dronten weergegeven. Duidelijk is dat de verschillen tussen 10-20 cm en 30-40 cm zeer klein zijn. Des te groter is het verschil met de pF-curven bepaald met de grondmonsters uit Wageningen in **Figuur 3**. Het profiel in Wageningen is duidelijk minder steil, dit betekent dat de zuigspanning relatief gelijkmatig oploopt naar gelang het vochtpercentage afneemt. In Dronten geldt dat de grond bij geringe verandering van het vochtpercentage een veel sterkere stijging van de zuigspanning geeft. Met name in het gebied boven de 40% bodemvocht of onder pF 3,0.



**Figuur 3** pF-curve voor de grond uit Wageningen waarin op twee verschillende dieptes het vochtgehalte in relatie tot de zuigspanning wordt weergegeven.

### 3.1.2 Bodemvocht

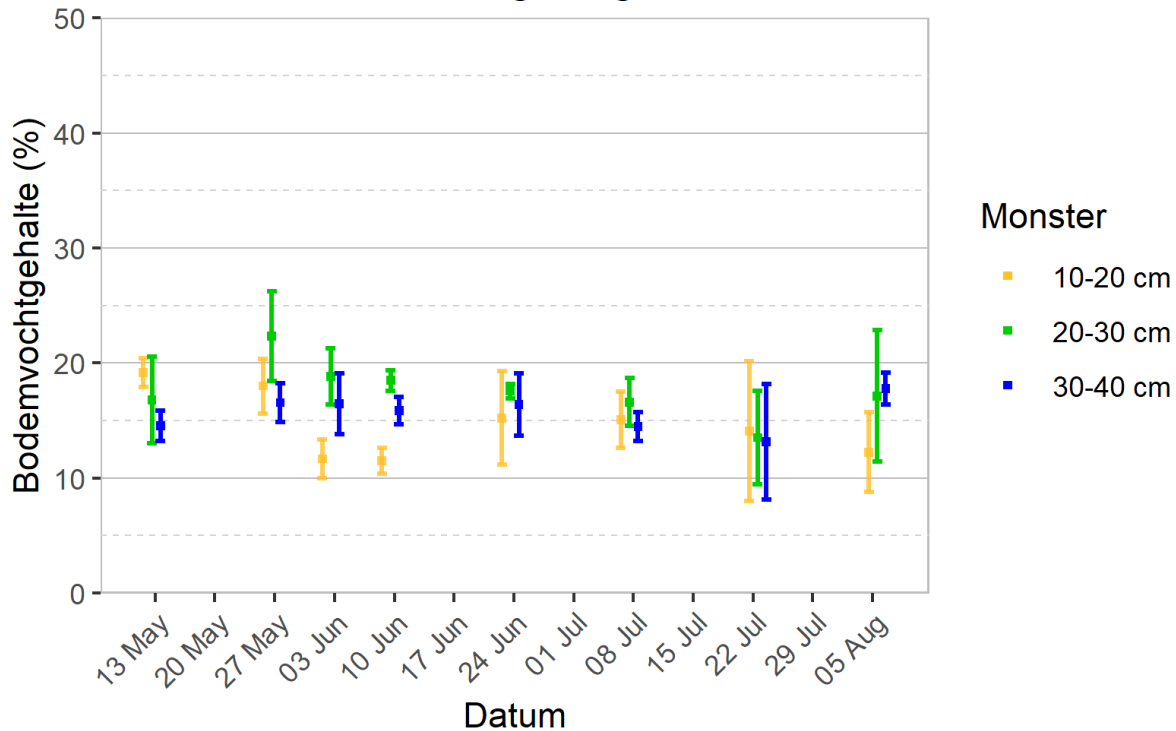
In onderstaande twee figuren wordt het verloop van het bodemvochtpercentage in ringmonsters op de twee proeflocaties getoond. Opvallende zaken relevant voor gebruik van de data in paragraaf 3.2 en verder worden geïdentificeerd.



**Figuur 4** Bodemvochtgehalten bepaald met behulp van ringmonsters op verschillende dieptes in Dronten. Boxen tonen het gemeten gemiddelde in combinatie met het 95% betrouwbaarheidsinterval. Ten behoeve van de leesbaarheid zijn verschillende dieptes (geel, groen en blauw) per monsternoment naast elkaar getoond. Monsters van verschillende dieptes zijn echter steeds op hetzelfde moment gestoken.

In de ringmonsters uit Dronten (**Figuur 4**) is de standaardafwijking met name voor het tweede monster van 29 juni zeer groot. De monsters vanaf het midden van juli kennen een veel kleinere onzekerheid. In Dronten zijn mede door het late potentieel slechts zes ringmonsters gestoken gedurende het seizoen. Het vochtgehalte gemeten op 30-40 cm diepte valt binnen de grenzen die we verwachten op basis van de pF-curve voor deze diepte. Echter zouden we op basis van de pF-curve voor 10-20 cm diepte een veel hoger vochtgehalte verwachten dan uit deze ringmonsters naar voren komt. Door deze onverwachte en slecht verklaarbare verschillen kunnen we de ringmonsters uit Dronten helaas niet als bruikbare referentie beschouwen. Hierdoor kunnen we ook alleen in Wageningen de prestaties van de sensoren op het gebied van meetnauwkeurigheid bepalen. Zie ook paragraaf 3.2.1.

## Validatiemonsters Wageningen



**Figuur 5** Bodemvochtgehalten bepaald met behulp van ringmonsters op verschillende dieptes in Wageningen. Boxen tonen het gemeten gemiddelde in combinatie met het 95% betrouwbaarheidsinterval. Ten behoeve van de leesbaarheid zijn verschillende dieptes (geel, groen en blauw) per monsternmoment naast elkaar getoond. Monsters van verschillende dieptes zijn echter steeds op hetzelfde moment gestoken.

De ringmonsters uit Wageningen zijn op acht momenten verspreid over het teeltseizoen genomen (**Figuur 5**). De monsters uit juni en de eerste helft van juli hebben een redelijk lage standaardafwijking en dus de hoogste betrouwbaarheid. Met name de laatste twee monsternmomenten hebben relatief onbetrouwbare monsters opgeleverd. Door de natte omstandigheden in 2021 zijn de verschillen tussen de monsternmomenten klein.

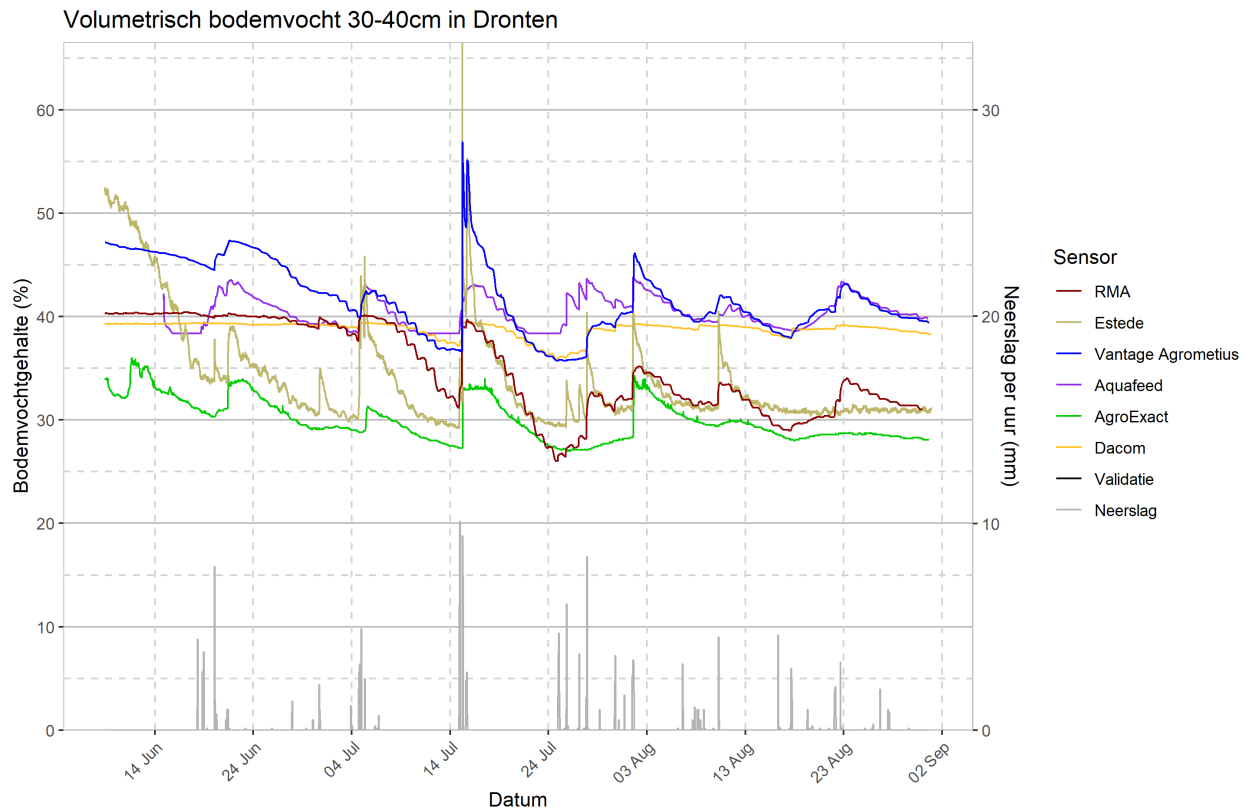
## 3.2 Vergelijking nauwkeurigheid van de sensoren

Alle grafieken met de bodemvochtpercentages en zuigspanning op verschillende dieptes zijn te zien in Bijlage 2, Bijlage 3 en Bijlage 4. Zoals in paragraaf 2.3 is omschreven is voor alle sensoren bepaald hoe goed ze de resultaten van de grondmonsters benaderen.

### 3.2.1 Dronten

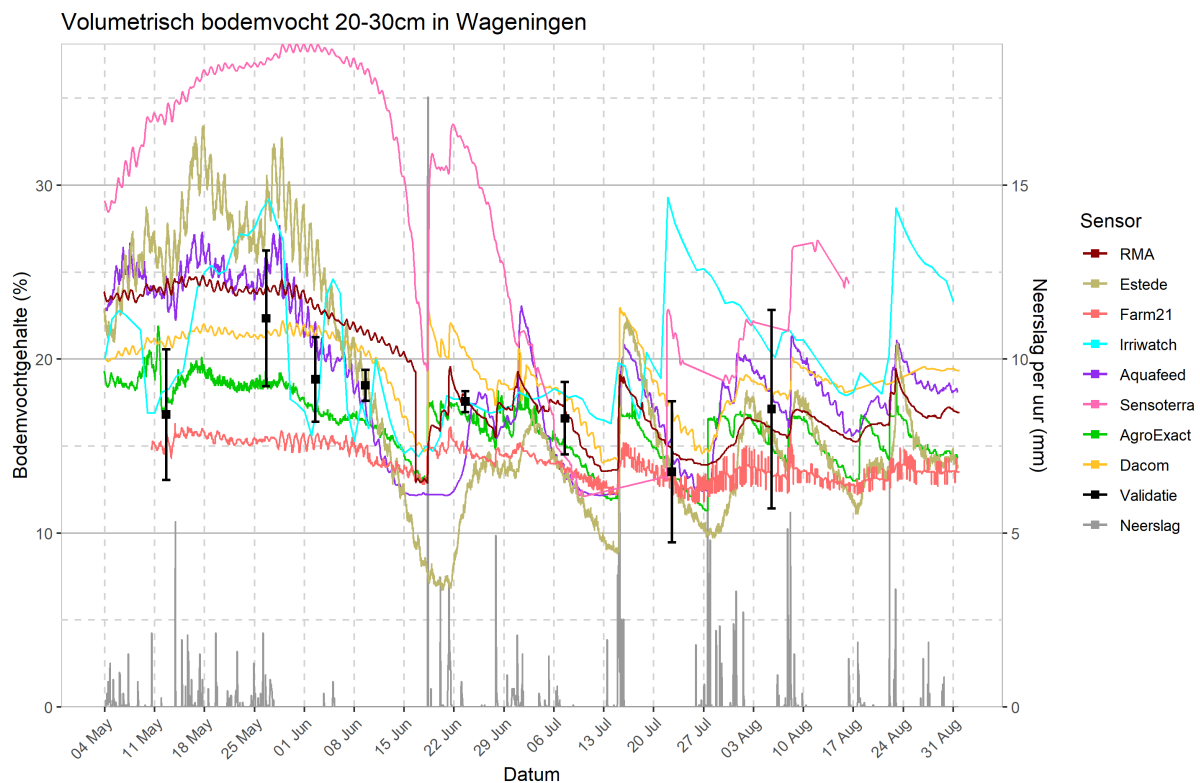
Voor Dronten is eerder al benoemd dat de gevonden vochtpercentages in de ringmonsters slecht lijken te corresponderen met de pF-curven die voor dit perceel zijn bepaald (paragraaf 3.1.2). Ook in de grafieken van de vochtgehalten blijken de sensoren zeer verschillende vochtpercentages te meten. In **Figuur 6** is te zien dat de sensoren die op basis van pF-curven zijn omgerekend (Vantage Agrometius, Aquafeed en Dacom), relatief hoge vochtpercentages aangeven. Dit was ook te verwachten door de vorm van de pF-curve. Daarnaast lijkt er een duidelijk verschil tussen deze drie systemen die zijn omgerekend en de overige systemen. Dit lijkt erop te duiden dat de fout ligt in de bepaalde pF-curven of de geanalyseerde monsters. Door het verschil tussen ringmonsters en pF-curven is niet duidelijk wat het daadwerkelijke vochtpercentage is geweest. Daarom is ervoor gekozen de resultaten uit Dronten niet mee te nemen in de conclusies en dus ook geen nauwkeurigheid voor de metingen in Dronten te berekenen.





**Figuur 6** Volumetrisch bodemvocht op het proefperceel in Dronten op een diepte van 30-40 cm. Naast de gemeten vochtpercentages door de verschillende sensoren zijn ook de validatiemonsters (zwart) en neerslag in mm per uur (lichtgrijs) in deze grafiek getoond. Sensoren die niet in deze grafiek worden getoond (Farm21, IrriWatch Quantified en Sensoterra) zijn vergeleken op een andere diepte. De grafieken voor alle vergeleken dieptes in Dronten zijn geplaatst in Bijlage 2.

### 3.2.2 Wageningen



**Figuur 7** Volumetrisch bodemvocht op het proefperceel in Wageningen op een diepte van 20-30 cm. Naast de gemeten vochtpercentages door de verschillende sensoren zijn ook de validatiemonsters (zwart) en neerslag in mm per uur (lichtgrijs) in deze grafiek getoond. Sensoren die niet in deze grafiek worden getoond (Vantage Agrometius en Quantified) zijn vergeleken op een andere diepte. De grafieken voor alle vergeleken dieptes in Wageningen zijn geplaatst in Bijlage 3. In Wageningen liggen de gemeten bodemvochtpercentages veel dichter bij elkaar (**Figuur 7**). Daarnaast liggen de waarden die door middel van de ringmonsters bepaald zijn over het algemeen ook rond het gemiddelde van de verschillende sensoren. Wat bij de zandgrond in Wageningen opvalt is de relatief lange periode na het plaatsen van de sensoren waarop ze vrijwel allemaal afwijkend meetgedrag vertonen. Tot halverwege juni vertonen de data van vrijwel alle sensoren een soort grote boogbeweging. Waarna ze tot een bepaald punt afzakken om vervolgens een heel andere beweging te laten zien die beter past bij reacties op periodes van neerslag en droogte.

### 3.2.3 Nauwkeurigheid en afwijking van validatiemonsters

Zoals beschreven in paragraaf 2.3 zijn alle systemen beoordeeld op hun nauwkeurigheid door te kijken hoe ver ze naast de validatiemonsters zitten. Dit is met name belangrijk voor systemen die het vochtpercentage weergeven op hun platform. Omdat slechts drie monsters per diepte per moment genomen zijn is het betrouwbaarheidsinterval over het algemeen vrij groot. Desalniettemin meten sommige sensoren alsnog waarden die hierbuiten vallen.

**Tabel 10** toont de resultaten en daarin is te zien dat de meeste systemen ruim voldoende scores op dit onderdeel: hoger dan een 7. Opvallende uitzondering is de enorme afwijking van de sensoren van Sensoterra, waardoor de nauwkeurigheid echt onvoldoende is. De sensoren van RMA en Aquafeed en presteren wat meer in de middenmoot en die van Estede blijft daar iets op achter. Aquafeed wijkt het meest af in de 10-20 cm zone. RMA en Estede juist vooral op 30-40 cm diepte.

**Tabel 10** De score op het gebied van nauwkeurigheid voor de verschillende gemeten dieptes per sensor in Wageningen. De gemiddelde score op deze dieptes bepaalt de totaalscore voor de nauwkeurigheid.

Merk	Type	10-20 cm	20-30 cm	30-40 cm	Score nauwkeurigheid
RMA	Agro bodemvochtsensor	7,3	8,1	3,1	6,2

<b>Merk</b>	<b>Type</b>	<b>10-20 cm</b>	<b>20-30 cm</b>	<b>30-40 cm</b>	<b>Score nauwkeurigheid</b>
Estede	FieldGuard		5,6	3,9	4,7
Farm21	FS11	8,6	7,2		7,9
Vantage Agrometius	GeoBas LoRain Soil			7,8	7,8
IrriWatch	IrriWatch		8,1		8,1
Quantified	Poseidon WET sensor	7,8		8,7	8,3
Aquafeed	Root Sense	5,5	8,0		6,7
Sensoterra	Sensoterra	3,9	1,1		2,5
AgroExact	SoilExact Pro		9,7		9,7
Dacom	TerraSen Pro	7,0	9,1	9,0	8,4

### 3.3 Vergelijking gebruik van de sensoren

In **Tabel 11** zijn de resultaten van de beoordeling van de verschillende gebruikaspecten van de sensoren te zien. Hier zijn vooral op het gebied van de connectie en het aantal gemeten dieptes behoorlijke verschillen te ontwaren. Op het onderwerp connectiviteit kunnen 5 punten worden verdiend als 95% zeker is dat ieder uur nieuwe data beschikbaar zijn op het platform. Voor elke 2 uur dat dit langer duurt wordt een punt afgetrokken van de score.

Vrijwel alle sensoren leveren ten minste ieder uur nieuwe data. De FieldGuard van Estede en Poseidon WET sensor van Quantified lukt dit zelfs binnen een half uur. Aan de andere kant van het spectrum staat Sensoterra, bij hun sensoren kan het ruim 15 uur duren voor nieuwe data beschikbaar is (in 95% van de gevallen). Dacom en Farm21 scoren met hun TerraSen Pro en FS11 middelmatig. In het geval van de TerraSen Pro van Dacom lijkt dit exemplarisch, hier is in Wageningen duidelijk een veel grotere spreiding (tot 7,5 uur) te zien dan in Dronten (binnen 1,5 uur). IrriWatch krijgt een gemiddelde score. Dagelijks is van dit systeem een meet- of modelwaarde beschikbaar. Dat interval is langer dan het gestelde maximum van 7 uur, echter is dit interval wel constant en betrouwbaar.

**Tabel 11** Beoordeling van het gebruik van de verschillende sensoren. Kleuren geven aan hoe scores worden vertaald (donkergroen = 5, rood = 1). De totaalscore wordt berekend met behulp van de wegingsfactoren uit paragraaf 2.4.

Merk	Type	Technisch					Platform				Score gebruik
		Installatie	Onderhoud	Connectie	Aantal dieptes	Weergave	Advies	App	Aantal klikken	Melding	
RMA	Agro bodemvochtsensor	+	+	++	5	Kleur	mm	Ja	0	Nee	8,9
Estede	FieldGuard	+	+	++	2	Kleur	Droog/nat	Nee	0	Ja	7,4
Farm21	FS11	+	+	o	3	Lijn	Nee	Ja	0	Ja	6,3
Vantage Agrometius	GeoBas LoRain Soil	+	+	++	1	Kleur	Droog/nat	Ja	1	Ja	7,8
IrriWatch	IrriWatch	+	++	o	1	Kleur	mm	Ja	1	Nee	6,8
Quantified	Poseidon WET sensor	o	+	++	2	Lijn <sup>1</sup>	Nee	Nee	0	Nee	5,1
Aquafeed	Root Sense	+	+	++	2	Kleur	Nee	Ja	0	Ja <sup>2</sup>	7,1
Sensoterra	Sensoterra	+	++	--	2 <sup>3</sup>	Lijn	Nee	Ja	2	Ja <sup>2</sup>	5,0
AgroExact	SoilExact Pro	+	+	++	1	Beide	mm	Ja	0	Ja	8,8
Dacom	TerraSen Pro	+	+	o	5	Beide	mm	Ja	2	Nee	8,0

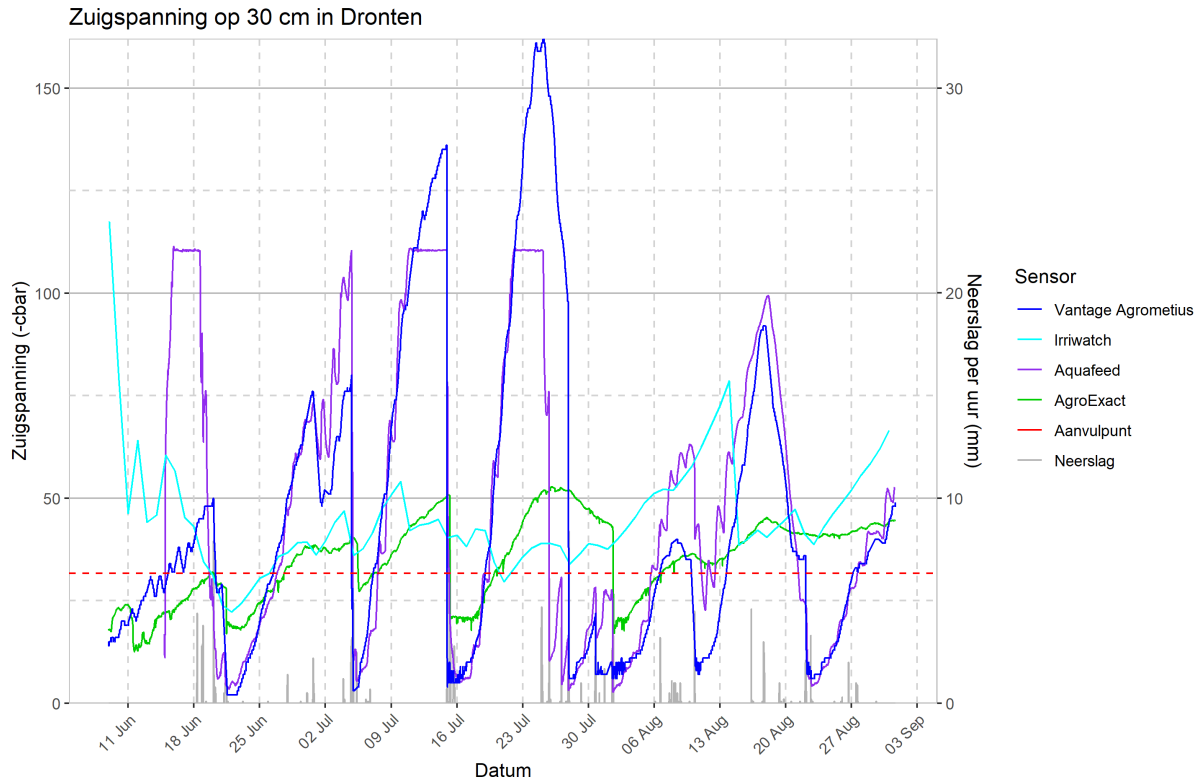
1 Op het platform worden alleen relatieve permittiviteit en EC getoond, niet het vochtpercentage.

2 Melding mogelijk bij het overschrijden van handmatig ingestelde grens.

3 In de proef zijn twee *single-depth* sensoren geplaatst om op twee dieptes informatie te krijgen.

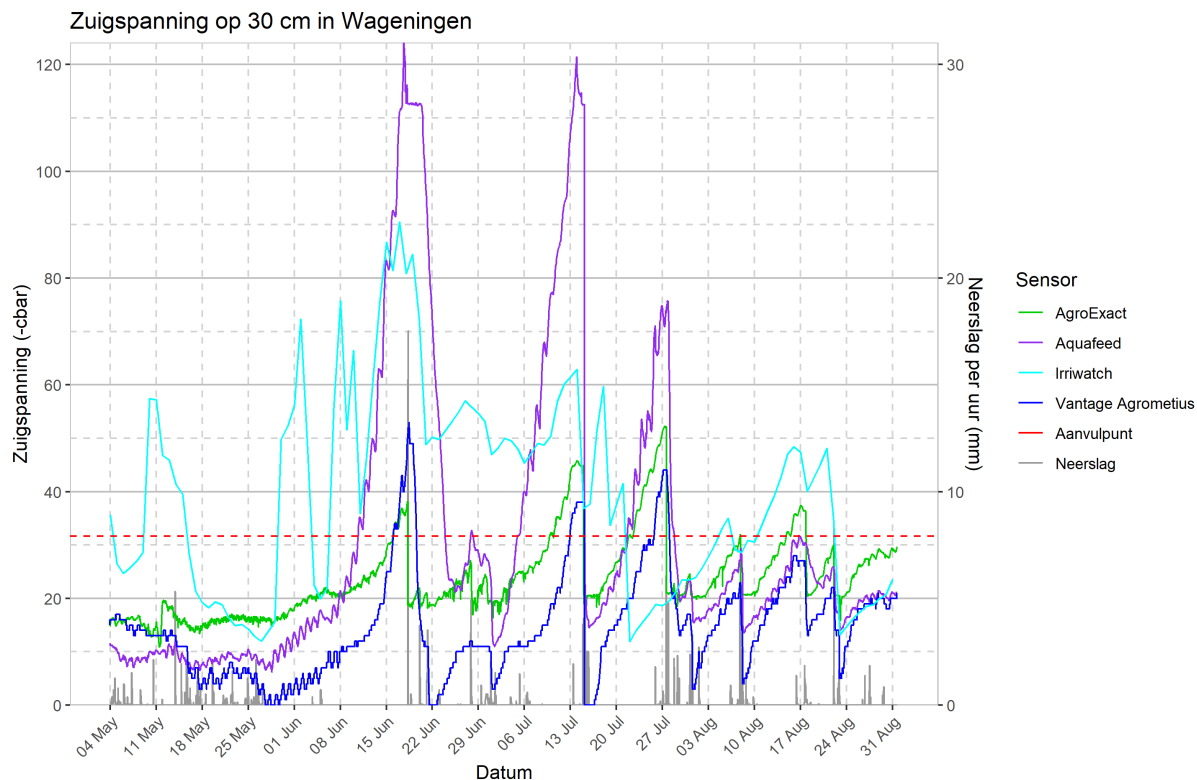
### 3.3.1 Zuigspanning

In de grafiek van de zuigspanning in Dronten (**Figuur 8**) lopen de waarden die Vantage Agrometius en Aquafeed waarnemen redelijk gelijk. Eind juli reageert de sensor van Vantage Agrometius wat later op een gevallen bui na een behoorlijke droogte van twee weken. AgroExact en IrriWatch lijken deze bui zelfs volledig te missen. In een vergelijkbare situatie twee weken eerder was de verlate reactie van Vantage Agrometius niet zichtbaar en daalt ook AgroExact mee.



**Figuur 8** Zuigspanning op het proefperceel in Dronten op een diepte van 20-30 cm. Naast de gemeten zuigspanning door de verschillende sensoren zijn ook het verwachte aanvulpunt (pF 2,6, rood) en de neerslag in mm per uur (lichtgrijs) in deze grafiek getoond.

IrriWatch en AgroExact tonen ook vergelijkbare niveaus van zuigspanning, deze is wel lager en vlakker dan die van de twee concurrenten. Vanaf begin juli loopt de zuigspanning bij IrriWatch op terwijl deze volgens AgroExact en Aquafeed juist sterk afneemt. Zowel AgroExact als IrriWatch lijken een aantal buien niet of nauwelijks waar te nemen, terwijl Aquafeed en Vantage Agrometius deze wel vrijwel gelijktijdig tonen: 25-26 juli, 2 augustus, 10 augustus en 22 augustus.



**Figuur 9** Zuigspanning op het proefperceel in Wageningen op een diepte van 20-30 cm. Naast de gemeten zuigspanning door de verschillende sensoren zijn ook het verwachte aanvulpunt (pF 2,5, rood) en de neerslag in mm per uur (lichtgrijs) in deze grafiek getoond.

In Wageningen is de hoogte van de gemeten zuigspanning sterker verschillend dan in Dronten (**Figuur 9**). Na een flinke bui op 18 juni reageren alle sensoren duidelijk anders dan daarvoor, dit was ook zichtbaar in de grafieken van het volumetrisch bodemvocht. Hier reageert de sensor van AgroExact, in tegenstelling tot wat we in Dronten zagen, juist het snelst op. De drie sensorsystemen vertonen vervolgens gelijksoortig gedrag, zij het bij verschillende waarden. Alle buien resulteren in een snelle daling van de zuigspanning. IrriWatch lijkt in vergelijking tot de andere systemen de zuigspanning iets te overschatten, maar wel dezelfde trend te volgen. Uitzondering is een beweging tegen de andere sensoren in tussen 15 en 27 juli.

### 3.4 Totaalscore

In **Tabel 12** zijn de totaalscores weergegeven die het gemiddelde zijn van de beoordeling voor de meetnauwkeurigheid (**Tabel 10**) en die voor gebruik (**Tabel 11**). Scores lopen van minimaal 1 tot maximaal 10 punten.

**Tabel 12** Totaalscore op basis van de scores voor meetnauwkeurigheid (**Tabel 10**) en gebruik (**Tabel 11**).

<b>Merk</b>	<b>Type</b>	<b>Nauwkeurigheid</b>	<b>Gebruik</b>	<b>Totaalscore</b>
RMA	Agro bodemvochtsensor	6,2	8,9	7,5
Estede	FieldGuard	4,7	7,4	6,1
Farm21	FS11	7,9	6,3	7,1
Vantage Agrometius	GeoBas LoRain Soil	7,8	7,8	7,8
IrriWatch	IrriWatch	8,1	6,8	7,4
Quantified	Poseidon WET sensor	8,3	5,1	6,7
Aquafeed	Root Sense	6,7	7,1	6,9
Sensoterra	Sensoterra	2,5	5,0	3,8
AgroExact	SoilExact Pro	9,7	8,8	9,2
Dacom	TerraSen Pro	8,4	8,0	8,2

---

## 4 Discussie

### 4.1 Plaatsing sensoren

In Wageningen zijn de sensoren onder zeer natte omstandigheden geplaatst. In Dronten was het juist erg droog. Het goed plaatsen van de sensoren leed hier vooral in Dronten onder, omdat aansluiting van de sensor met de bodem slecht gaat in de harde kleigrond.

Een aantal van de sensoren leek na het opkomen van de aardappels erg dicht op de plant te staan. Dit waren de sensoren van RMA, Farm12, AgroExact en Dacom. RMA heeft er hierdoor voor gekozen hun sensor te verplaatsen (op 16 juni).

Aquafeed heeft hun sensor in Dronten op 18 juni vervangen, omdat deze niet de juiste waarden leek aan te geven. Ook in Wageningen leek er iets niet goed te gaan, hier was een reset van de sensor echter voldoende (op 23 juni) om het systeem weer goed te laten reageren.

Sensoterra heeft naar aanleiding van connectiviteitsproblemen op beide locaties extra sensoren geplaatst, waarbij de kop van de sensor 15 tot 30 cm boven de grond uitstak om een betere ontvangst mogelijk te maken. De connectiviteitsproblemen lijken samen te hangen met het sluiten van het loof, waarna het voor de sensoren lastiger wordt data te verzenden. Ondanks de hogere plaatsing hadden ook de in totaal vier extra sensoren hier last van. Daarnaast verschilden de gemeten vochtpercentages van twee sensoren op dezelfde locatie en diepte tot wel 5 procentpunt.

### 4.2 Opvallende resultaten

Ondanks de harde grond in Dronten lijken juist de sensoren in Wageningen vrijwel allemaal de eerste 6 weken slecht het bodemvocht te kunnen meten. Na een natte dag op 18 juni worden duidelijk andere trends getoond dan daarvoor. Ondanks dat de eerste weken van mei ook behoorlijk nat waren. Door dit gedrag lijkt voor de eerste 6 weken de ontvangen data slechts matig betrouwbaar. Omdat dit eigenlijk bij alle sensoren het geval was lijkt dit typisch gedrag op zandgrond, in Dronten is dit effect dan ook niet waargenomen.

In de grafiek van de zuigspanning op 30 cm in Dronten (**Figuur 8**) is de vorm van de lijnen tot de laatste week van juli behoorlijk vergelijkbaar. AgroExact vertoont wel een duidelijk kleinere amplitude, waardoor hier niet direct de zuigspanning lijkt te worden weergegeven. In Wageningen (**Figuur 9**) zien we dit echter niet zo sterk terug. Toch worden pieken en dalen in zuigspanning door alle sensoren op nagenoeg hetzelfde moment weergegeven. Vanaf 25 juli, na bijna twee weken droogte, verandert dit echter. Vanaf dat moment beweegt de sensor van AgroExact ineens niet meer mee met de lijnen van de twee concurrerende sensorsystemen. Wellicht is door de droogte scheurvorming opgetreden in de klei.

### 4.3 Omstandigheden

Het teeltseizoen van 2021 was overwegend nat, dus was er weinig behoefte aan beregening. Het was in deze vergelijking niet de bedoeling om op basis van de sensoren te gaan beregenen. Wat dat betreft had de vochtigheid dus geen invloed op de resultaten. Het aantal meldingen van droogte en een bijbehorend beregeningsadvies bleef hierdoor echter wel beperkt. Dit zorgde er ook voor dat de meeste ringmonsters vergelijkbare bodemvochtgehalten bevatten. Hier zou in een herhaling van deze proef meer mee gevarieerd kunnen worden om zodoende meer uiteenlopende bodemvochtgehalten te valideren.



---

## 4.4 Validatiemonsters versus pF-curven Dronten

Zoals in paragraaf 3.1.2 en paragraaf 3.2.1 is aangegeven konden de resultaten van de validatiemonsters en de pF-curven in Dronten niet in overeenstemming met elkaar worden gebracht. In de grafiek van de zuigspanning op 30 cm in Dronten (**Figuur 8**) is te zien dat voor alle systemen de zuigspanning gedurende de gehele meetperiode tussen de 0 en -100 cbar ligt. Met uitzondering van twee tot vier korte periodes dat deze tot maximaal -160 cbar stijgt in de grafiek. Dit betekent dat over het algemeen de pF-waarde onder 3,0 ligt, wat overeenkomt met -100 cbar zuigspanning. Volgens de pF-curve bepaald voor 30-40 cm diepte (**Figuur 2**) betekent dit een bodemvochtpercentage tussen 38,5 % en 46 %. De gemiddelden in de validatiemonsters op deze diepte liggen echter onder het minimum van 38,5% bodemvocht (**Figuur 4**). Door deze discrepantie die door het gebrek aan een continue referentiemeting niet kon worden verklaard zijn de resultaten van de vergelijking op het gebied van nauwkeurigheid in Dronten niet gebruikt.

## 4.5 Aandachtspunten vervolgonderzoek

In een vervolgonderzoek zou het goed zijn om ook de inhoud van de adviezen die door de verschillende systemen worden gegeven mee te nemen in de beoordeling. De tijdigheid en inhoud van adviezen zal voor veel telers de grootste meerwaarde zijn. Tussen de systemen in dit vergelijk zijn grote verschillen in de mate van zelfredzaamheid die van de boer wordt verwacht. In sommige gevallen wordt vrijwel ruwe data getoond en is het aan een teler gevoel te krijgen voor bijbehorende grenzen en vervolgacties. In andere gevallen wordt de teler compleet ontzorgd en wordt hem precies verteld wat hij op dat moment het beste kan doen. Dat laatste is niet beter of slechter dan het eerste, maar het maakt sensoren wel meer of minder geschikt voor instappende telers. In een vervolgonderzoek zou vooral naar de inhoud en correctheid van de adviezen kunnen worden gekeken.

Het gebruik van een referentiemeting met een gekalibreerde, wetenschappelijke bodemvocht- of zuigspanningssensor had problemen zoals met de validatiemonsters in Dronten kunnen voorkomen. Dit zou in een vervolgonderzoek een meerwaarde bieden. Ook kan het nemen van de validatiemonsters meer worden afgestemd op pieken en dalen in de grafiek, zodat een groter bereik aan vochtgehalten vergeleken kan worden.

De absolute validatiemetingen kunnen ook helemaal worden losgelaten. Een aantal leveranciers gebruikt geen absolute bodemvochniveaus in hun weergave (onder andere RMA, Quantified en Dacom). In dit geval zou een vergelijking op basis van trends meer op zijn plaats zijn. Dit betekent niet direct dat resultaten door leveranciers ook goed vertaald worden, maar het geeft wel meer inzicht in de prestaties van de sensoren. Voor deze beoordeling was in deze vergelijking geen tijd. Met de verzamelde data kunnen wij hier echter later wellicht nog uitspraken over doen.

Het zou goed zijn om deze proef met wat aanpassingen in 2022 te herhalen en daarin ook wat ontbrekende sensoren mee te nemen. Zo missen in de huidige opzet de sensoren van onder andere Agurotech, Beacon Fields, Fixeau, en WolkyTolky.

---

## 5 Conclusies

Op basis van de meetnauwkeurigheid uit **Tabel 10** scoren de meeste sensoren erg goed: Farm21, Vantage Agrometius, IrriWatch, Quantified, AgroExact en Dacom krijgen allemaal minimaal een 7,5. Al zijn de verschillen met sommige concurrenten groot. Dat geldt eveneens voor de scores op het gebied van gebruik: RMA, Vantage Agrometius, AgroExact en Dacom behalen allemaal minimaal een 7,5. In de totale score springt AgroExact eruit met een 9,2, die vooral voortkomt uit de hoge nauwkeurigheid in dit vergelijk. Dacom heeft zowel op het gebied van gebruik als meetnauwkeurigheid veel te bieden, daar staan echter weer de hoogste kosten uit dit vergelijk tegenover. Voor dat geld krijgt een teler wel concreet advies en integratie hun *Farm Management* platform. Ook de systemen van Vantage Agrometius, RMA en IrriWatch halen ruime voldoendes met hun totaalscore.

Wat voor welke teler de beste sensor is hangt af van de eisen die een teler hieraan stelt. Zo kunnen de hier gebruikte weegfactoren per gebruiker nogal verschillen. Daarnaast mogen we aannemen dat dan ook de prijs een rol gaat spelen. Daarbij is het goed om te beseffen dat in dit vergelijk de uitrustingsniveaus van de sensoren en ook de mogelijkheden van de platformen sterk verschillen. Opvallend dat een vrij kale sensor als de SoilExact Pro van AgroExact die alleen zuigspanning en bodemtemperatuur meet op één diepte, in staat is om nauwkeurig de bodemvochttoestand weer te geven. Door het wegvallen van de herhaling in Dronten is niet duidelijk hoe reproduceerbaar dit resultaat is, maar dit geldt uiteraard voor alle sensoren.

---

## 6 Literatuur

- AgroExact. (2021, november 5). *Optimaal beregenen - AgroExact*. Opgehaald van <https://www.agroexact.com/onze-oplossingen/beregeningssensoren%e2%80%a8/>
- Aquafeed. (2021, november 5). *Root Sense - Aquafeed - Dé betrouwbare sensor voor bodemvocht meten*. Opgehaald van <https://aquafeed.nl/services/root-sense/>
- Dacom. (2021, november 5). *TerraSen*. Opgehaald van <https://www.dacom.nl/nl/producten/terrassen/>
- Estede Technologies bv. (2021, november 5). *FieldGuard Stations*. Opgehaald van <https://www.fieldguard-stations.com/>
- Farm21. (2021, november 5). *Farm21 | Meest betaalbare vakgebied & bodemsensor*. Opgehaald van <https://www.farm21.com/sensors?locale=nl>
- IrriWatch. (2021, november 5). *About us - IrriWatch*. Opgehaald van <https://www.irriwatch.com/en/about-us/>
- METER Group, Inc. (2021, oktober 12). *Soil moisture sensors—How they work. Why some are not research-grade*. Opgeroepen op oktober 12, 2021, van [metergroup.com/environment/articles/tdr-fdr-capacitance-compared](http://metergroup.com/environment/articles/tdr-fdr-capacitance-compared)
- METER Group, Inc. (2021, oktober 12). *The researcher's complete guide to water potential*. Opgehaald van [metergroup.com/environment/articles/the-researchers-complete-guide-to-water-potential](http://metergroup.com/environment/articles/the-researchers-complete-guide-to-water-potential)
- Quantified. (2021, november 5). *4d7bf7\_aa6b45a5622d4c08b9426466317acb33.pdf*. Opgehaald van [https://www.quantified.eu/\\_files/ugd/4d7bf7\\_aa6b45a5622d4c08b9426466317acb33.pdf](https://www.quantified.eu/_files/ugd/4d7bf7_aa6b45a5622d4c08b9426466317acb33.pdf)
- Rommelink, G., Middelkoop, J. v., Ouweltjes, W., & Wemmenhove, H. (2020). *Handboek Melkveehouderij 2020/21*. (G. Rommelink, Red.) Wageningen: Wageningen Livestock Research. doi:<https://doi.org/10.18174/529557>
- RMA Company. (2021, november 5). *Agro Bodemvochtsensor*. Opgehaald van <https://www.rmacompany.nl/irrigatie/agro-bodemvochtsensor>
- Sensoterra International BV. (2021, november 5). *Single Depth Sensor | Sensoterra*. Opgehaald van <https://www.sensoterra.com/en/product/single-depth-sensor/>
- Vantage Agrometius. (2021, november 5). *GeoBas LoRain Soil bodemstations - Vantage Agrometius*. Opgehaald van <https://www.vantage-agrometius.nl/product/geobas-lorain-soil-bodemstations/>

---

# Bijlage 1 Reacties leveranciers

In deze bijlage zijn alle leveranciers in de gelegenheid gesteld om kort een reactie te geven op de inhoud van dit rapport.

## RMA

“RMA is blij met de hoogste score op het gebruik van alle systemen. Gebruiksgemak staat bij ons hoog in het vaandel.

Dat de meetnauwkeurigheid minder goed wordt bevonden is voor ons geen verrassing. De grote variatie tussen de gestoken validatiemonsters toont aan dat een exacte meetwaarde niet te bepalen is. Het niveau van veldcapaciteit is wel goed te bepalen uit het gedrag van de sensor en daaraan worden onze waardes gerelateerd. De absolute meetwaarde is dan niet meer relevant. De trend en beweging van de grafieken is vele malen belangrijker dan de meetwaarde om de gebruiker van goed advies te voorzien.

In juni hebben we ervoor gekozen om de sensor in Wageningen opnieuw te plaatsen omdat deze midden in een plant stond. Dit beïnvloedt de metingen negatief. Herplaatsing in een droge grond midden in het seizoen is niet ideaal en dit heeft effect gehad op de kwaliteit van de metingen.”

## Estede

“Als onze klanten een exact bodemvochtpercentage willen weten dan kunnen we de sensor bodemspecifiek kalibreren voor hun grondsoort, de nauwkeurigheid is in dat geval beter dan 2%. Normaal gesproken kijken we echter meer naar het verloop (trend) in het bodemvochtpercentage en stellen we daar per sensor ons advies (budgetlijnen) op in.

Wij hebben op dit moment geen app beschikbaar voor onze stations, echter is onze website ‘responsive’, Hierdoor wordt de website, onafhankelijk van het apparaat (smartphone, tablet of PC), altijd optimaal weergegeven op het betreffende scherm. Door het adres van ons webportaal als icoon op het dashboard te plaatsen heb je eigenlijk hetzelfde gemak als met een app.

In dit onderzoek is wel de diepte van de sensoren in de grond meegenomen, maar niet de positie van de sensor ten opzichte van de wortels, het gewas en het bladerdek. Als een sensor verder van of dichterbij een wortel staat, dan kan dit een behoorlijke invloed hebben op de meetwaarde. Als leverancier moet je dus ook geluk hebben dat jouw sensoren op de goede plek staat ten opzichte van de plant als je kijkt naar de ‘nauwkeurigheid’ van de meting.

Verder een mooi en uitgebreid onderzoek waarin veel facetten zijn meegenomen.”

## Farm21

“Dank voor het doen van de test. We zijn blij met het resultaat. Bij Farm21 krijg je de beste prijs/kwaliteit verhouding, en dat is nu bewezen. Deze test met verschillende sensoren laat al zien welke variatie er kan zijn binnen een perceel en tussen sensoren onderling. Dit onderstreept des te meer de noodzaak om met meer sensoren in één perceel te meten voor een realistisch beeld van de omstandigheden. Alleen met ons systeem is dat rendabel.

---

We werken ondertussen hard aan de punten waarop we minder scoren. Ons platform zal de komende maanden een paar grote veranderingen ondergaan en een nieuwe sensor is binnenkort verkrijgbaar. Met dit nieuwe product zullen we de goede lijn verder doorzetten. Tot de volgende test!”

## Vantage Agrometius

“Wij willen allereerst de onderzoekers bedanken voor het vergelijkingsonderzoek. Dit geeft de teler enig inzicht in de verschillende oplossingen, met name op het technische aspect. Wel hebben wij enkele aanbevelingen en opmerkingen over de test.

Doordat de meetresultaten van Dronten niet meegerekend konden worden heeft de nauwkeurighedsbeoordeling op basis van beperkte data heeft plaatsgevonden. Dit vergroot de kans op toeval en geluk in de resultaten. De zuigspanningssensor van AgroExact is namelijk precies dezelfde als die van de GeoBas en zou dus ongeveer hetzelfde uit de testen moeten komen. Een nieuwe uitgebreidere testopzet zouden wij dan ook aanbevelen en graag aan meedoen.

Daarnaast is vergelijken welke sensor nauwkeurig kan meten belangrijk, maar wij zien dat goed advies en begeleiding essentieel is om het meeste uit sensoren te halen. Daar stoppen wij veel tijd en energie in. We geven de gebruiker een uitgebreide uitleg bij aanvang in woord, documentatie en video en in het seizoen heeft hij onbeperkt telefonische begeleiding door onze teeltspecialisten. Dat is uiteraard moeilijk objectief te meten in een vergelijkingstest, maar in juiste begeleiding zit naar ons idee wel een groot deel van de meerwaarde van een sensor.”

## IrriWatch

“IrriWatch berekent de zuigspanning en het bodemvochtgehalte uit gewastemperatuur en transpiratie.

IrriWatch beschrijft daardoor per definitie elke druppel water die door de wortels worden opgenomen en dit is dus een geïntegreerde worteldiepte. Dat is wat anders dan het meten op slechts één diepte. Meten over de geïntegreerde diepte geeft minder fluctuaties van bodemvocht door de tijd en dat is de verklaring waarom er soms minder dynamiek is.

Omdat er geen sensor in de bodem hoeft te worden gegraven (dus geen bodemverstoring of onderhoud), zou IrriWatch een hogere score voor “gebruik” moeten krijgen (nu 6,8). Gemakkelijker dan het meten met een satelliet die dezelfde nauwkeurigheid heeft als veldsensoren kan het toch niet worden? Bovendien wordt er een beregeningsplanner voor elke 100 m<sup>2</sup> en voor de komende 8 dagen aangeboden. Wellicht een idee om in een volgende studie een boer het “gebruik” te laten inschatten.

Verder levert IrriWatch ook de dagelijkse droge stof productie van het gewas. Zo zien gebruikers het verband tussen bodemvocht, beregenen en productie. Een abonnement geeft data voor elke 10 x 10 meter. Dat is het principe van het virtuele meetsysteem. Het is niet fair om de kosten te vergelijken met één lokale bodemsensor die maar één pixel meet.”

## Quantified

“Quantified dankt Wageningen Universiteit & Research voor dit diepgaand onderzoek. Quantified richt zich op het ontwikkelen van innovatieve IoT sensoren en wij zijn verheugd dat de Poseidon WET sensor als zeer nauwkeurig meetinstrument uit de test komt. Ons platform is niet gericht op het geven van irrigatieadvies, daar scoren we ook lager. Onze uitgebreide API-koppeling maakt alle meetdata toegankelijk voor integratie en data-analyse in externe dashboards mogelijk. Momenteel is ook onze Poseidon WET Multi-sensor leverbaar: waarmee EC, vocht en temperatuurmetingen op meerdere diepten op een nog goedkopere wijze kunnen worden uitgevoerd. Voor onze volledige portefeuille aan sensoren verwijzen we graag naar onze website: [www.quantified.eu2](http://www.quantified.eu2). Voor vragen en/of toelichting zijn we graag beschikbaar.”

---

## Aquafeed

“We zien dat de Rootsense minder scoort op de bovenste sensor. Dit patroon hebben we meer gezien als de sensoren vrij ondiep geplaatst worden. De sensor verliest dan het contact met de grond en meet op die manier een hoge zuigspanning wat zorgt voor de pieken. Zoals te zien is geeft de sensor op 30 cm wel een constante betrouwbare lijn aan. De oplossing hiervoor is om de sensoren iets dieper te plaatsen zodat het contact goed blijft.”

## Sensoterra

“Alle Sensoterra sensoren zijn ontwikkeld vanuit een revolutionaire filosofie en op basis van disruptieve (gepatenteerde) technologie. Het kost veel onderzoek, tijd en inspanning om dat in zijn kracht te zetten. Hiervoor werken wij regelmatig samen met onderzoeksinstituten zoals Wageningen Universiteit. Ondanks de mindere resultaten uit de praktijkproef zijn we blij met de verkregen inzichten, die zijn gebruikt om het product grondig te herzien. Stapsgewijze innovatie is normaal bij nieuwe hoogwaardige technologie, een proces wat ieder bedrijf dat bezig is met nieuwe techniek zal herkennen.

Juist deze nieuwe techniek maakt dat er flinke sprongen gemaakt kunnen worden in de goede richting. En dat is nu precies waar Sensoterra in 2021 met een geheel nieuw team hard aan heeft gewerkt. Met trots introduceren wij de 2022 generatie 2.5 van de sensoren. Hiermee heeft de techniek een enorme sprong gemaakt betreft connectiviteit, betrouwbaarheid en grondanalyse en waarmee met vertrouwen gezegd kan worden dat de Sensoterra sensoren staan voor: ‘low cost, easy to deploy and built to integrate’.”

## AgroExact

“De resultaten van dit onderzoek bevestigen ons streven: hoge gebruiksvriendelijkheid en kwaliteit voor een schappelijke prijs. Het is een grote erkenning dat onze SoilExact sensor gemiddeld het beste scoort, waarbij de aantrekkelijke prijs nog niet is meegenomen. Het onderzoek vermeldt de prijs van de Pro uitvoering met de optionele neerslag en gewasklimaat metingen die geen invloed hebben op de bodemvochtmeting. De Starter uitvoering met dezelfde kwaliteit bodemvochtmetingen en adviezen is al beschikbaar vanaf €279,- eenmalig en €80/jaar.

Niet belicht in het onderzoek is de integratie in de AgroExact App. Met ons landelijke weermeetnetwerk is ook overal het lokale weer inzichtelijk. Weersafhankelijke beslissingen, van berekening tot gewasbescherming, zijn te baseren op gegevens in de applicatie. Vanaf €195/jaar volgt u 5 meetpunten. Nog geen meetpunt dicht in de buurt? Dan stellen wij kosteloos een extra meetpunt beschikbaar. Doe de locatiecheck op [www.agroexact.com](http://www.agroexact.com) en bekijk of u in aanmerking komt voor een extra meetpunt.”

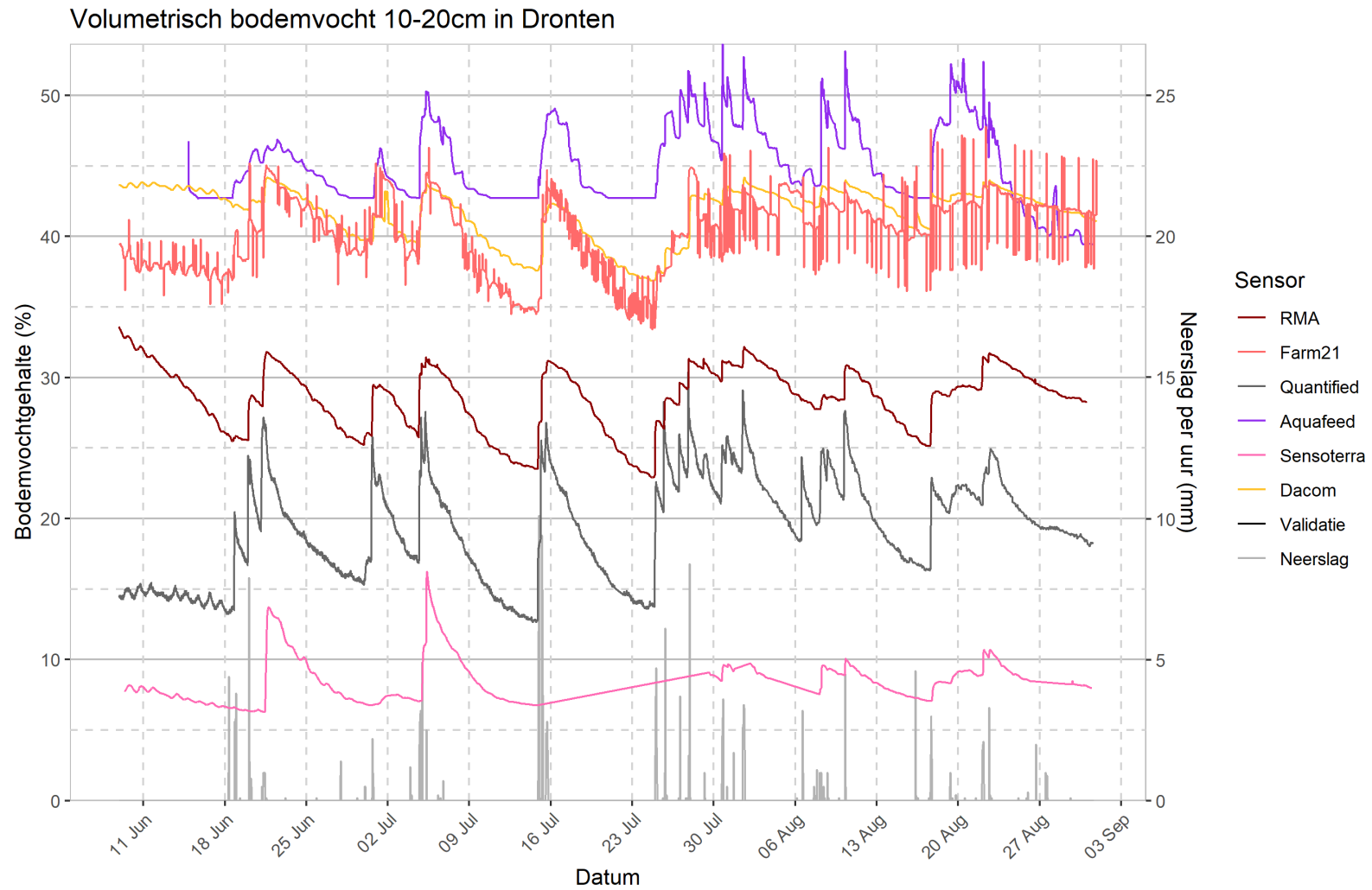
## Dacom

“De goede score van de TerraSen Pro is een bevestiging van onze ervaringen met de sensor.

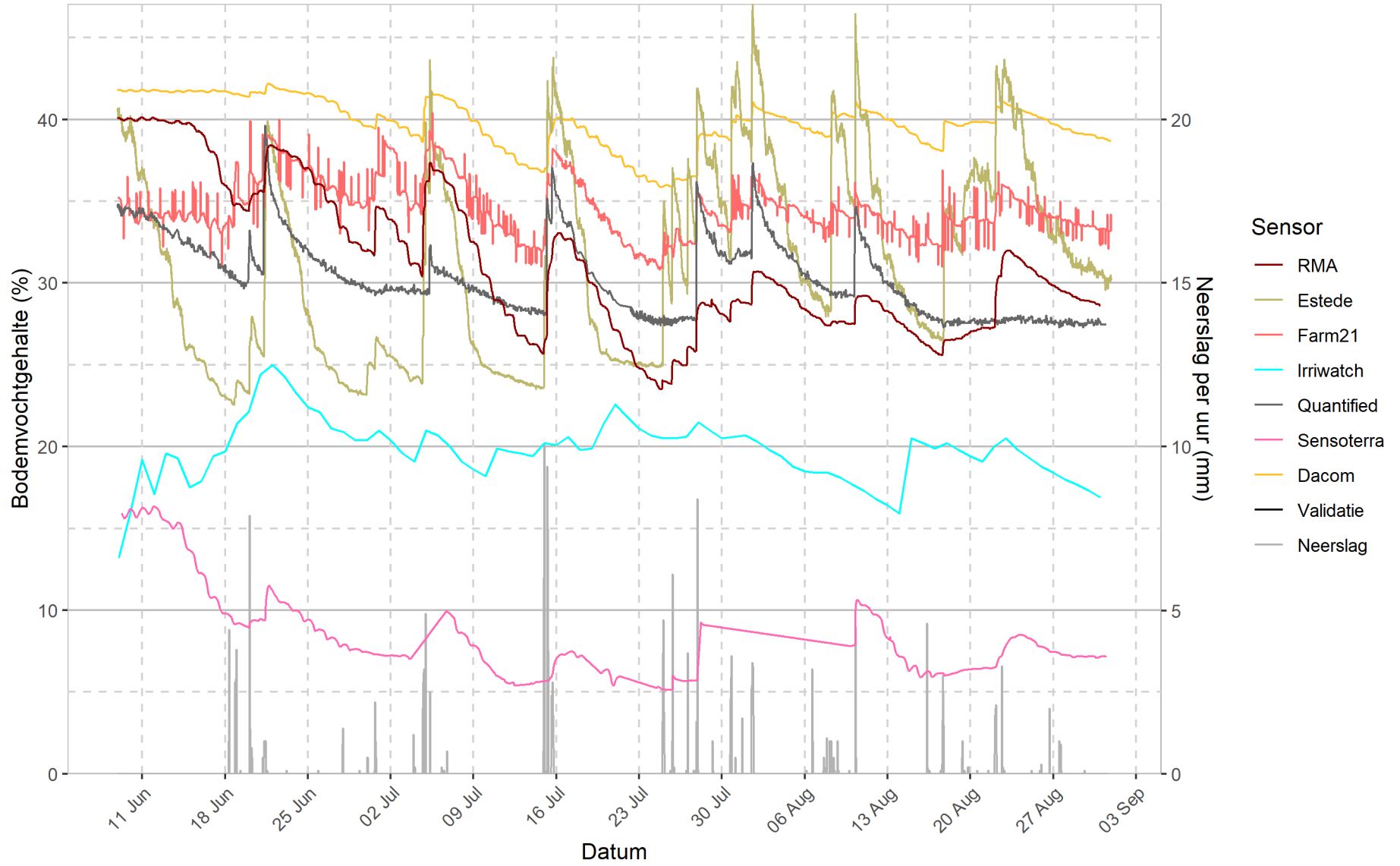
Het is goed om te zien dat dit nu ook bevestigd is in dit onafhankelijke onderzoek.

Dacom ziet uit naar een vervolg op deze proef, waarbij we ook graag onze CropX bodemvochtsensor zouden inbrengen.”

## Bijlage 2 Grafieken bodemvocht Dronten

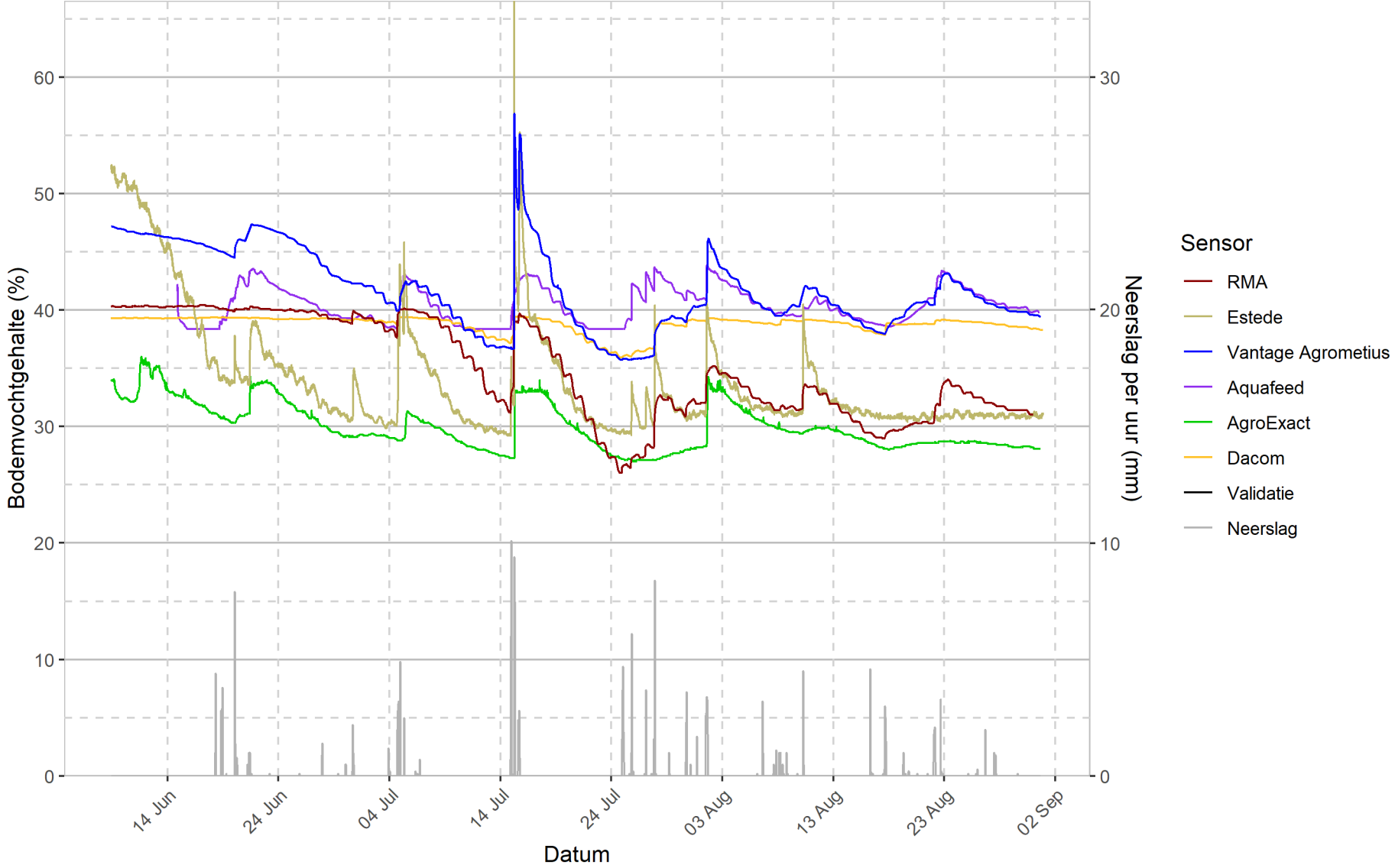


## Volumetrisch bodemvocht 20-30cm in Dronen

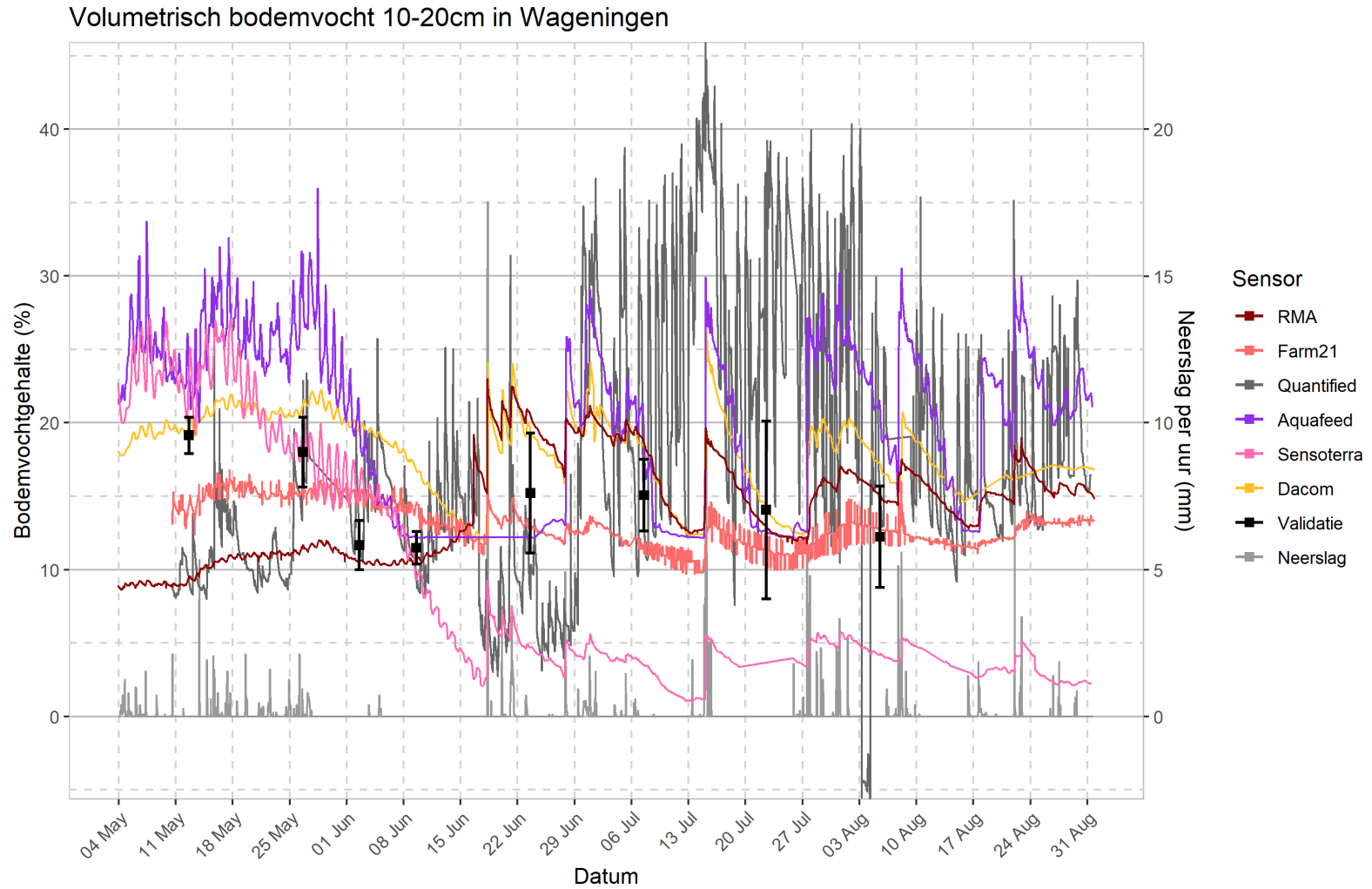




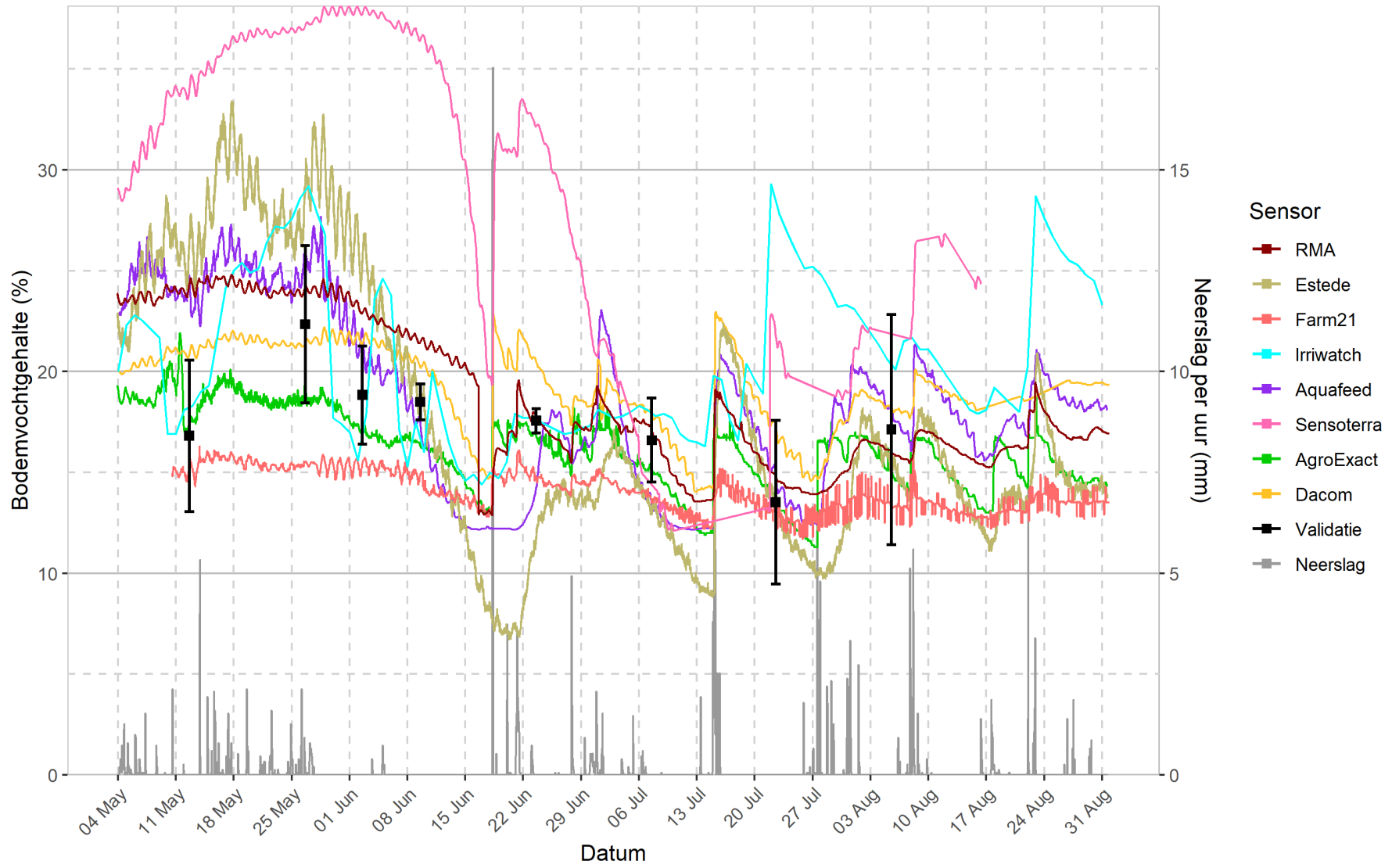
# Volumetrisch bodemvocht 30-40cm in Dronten



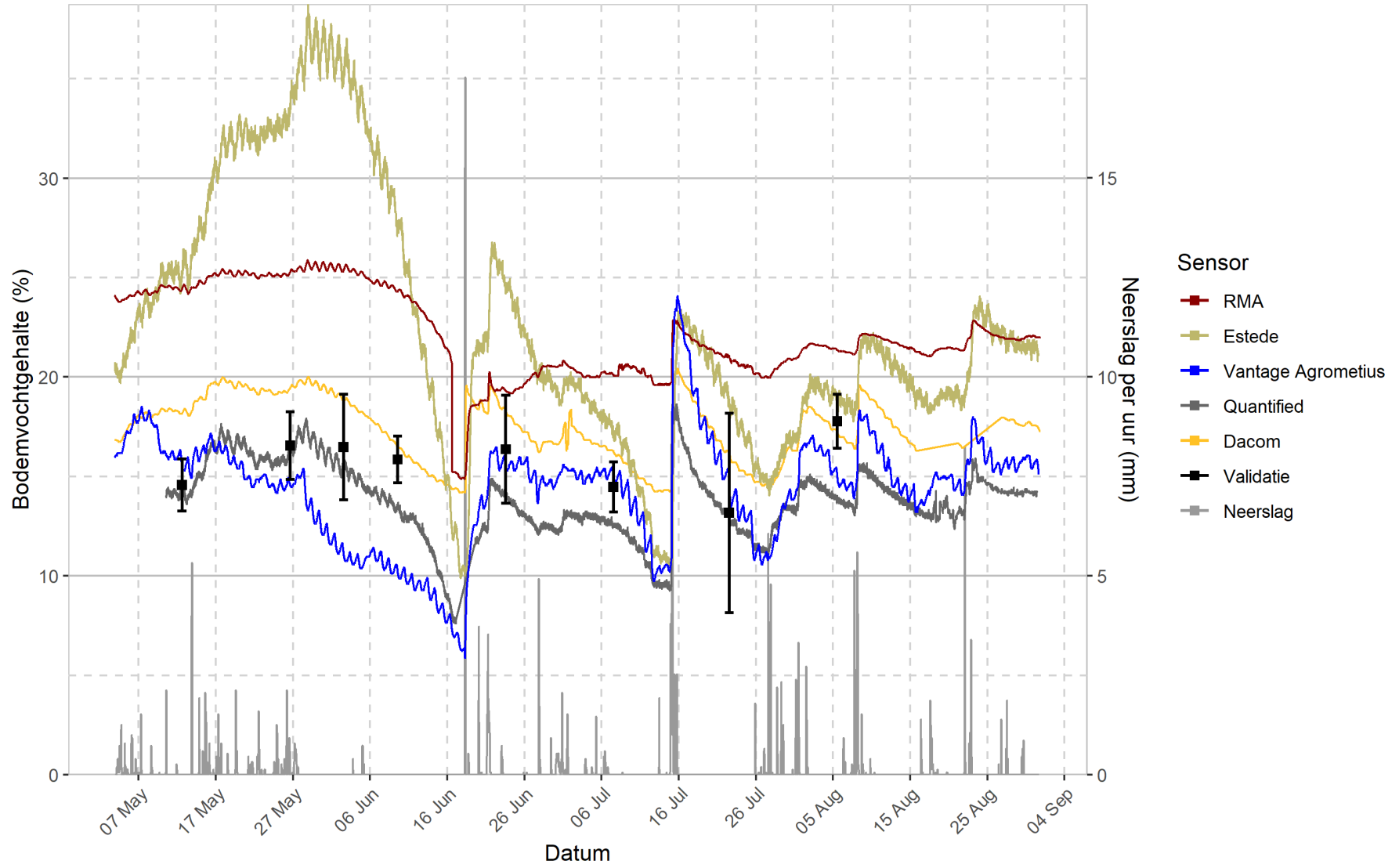
## Bijlage 3 Grafieken bodemvocht Wageningen



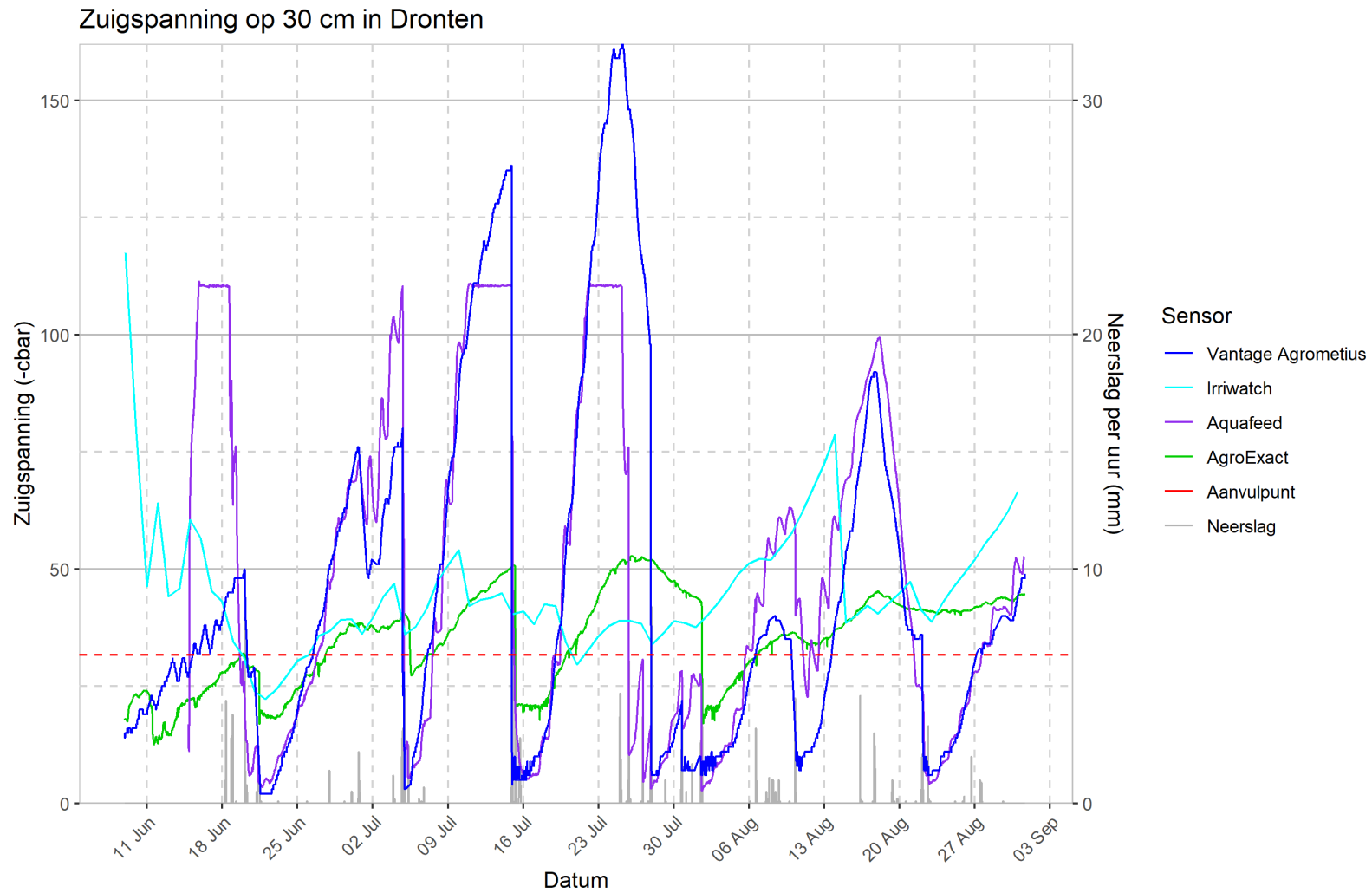
# Volumetrisch bodemvocht 20-30cm in Wageningen

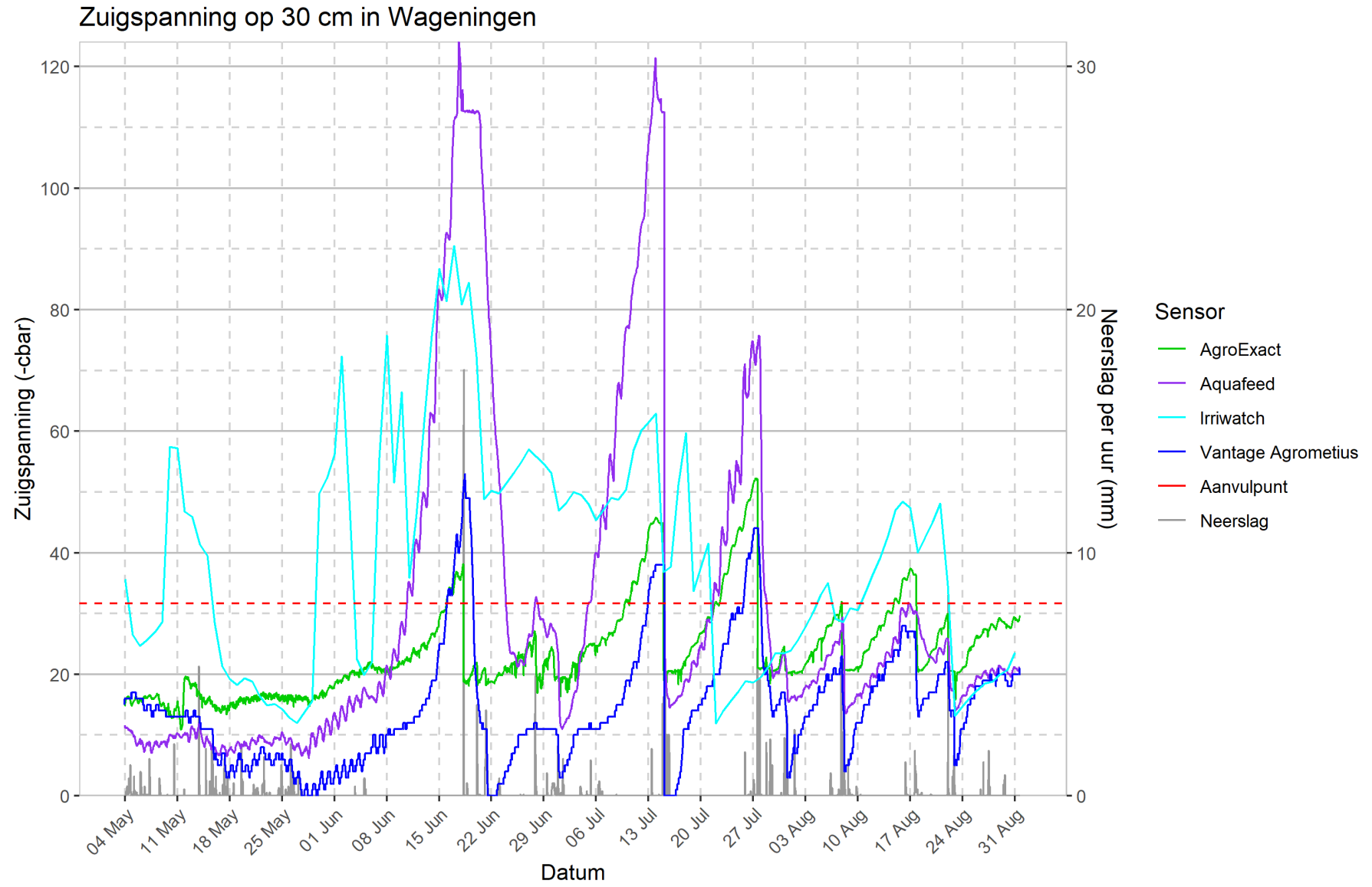


### Volumetrisch bodemvocht 30-40cm in Wageningen



## Bijlage 4 Grafieken zuigspanning Dronten en Wageningen







---

Correspondentieadres voor dit rapport:

Postbus 16

6700 AA Wageningen

T 0317 48 07 00

[wur.nl/plant-research](http://wur.nl/plant-research)

Openbaar Rapport WPR-1129

---

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.800 medewerkers (6.000 fte) en 12.900 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.