

# EINDRAPPORT

## Smart Growers WP4

# Intelligente aansturing van irrigatie bij asperge, blauwe bes en laanbomen

Februari 2023

### Auteurs:

Noémie Hisette, Renik Van den Eynde - Proefstation voor de Groenteteelt vzw (PSKW)

Joke Vandermaesen, Bart Vanhoutte – proefcentrum fruitteelt vzw (pcfruit)

Jeroen Lambin - Proefcentrum voor Sierteelt (PCS)

Bram Peulen - Blue Engineering

Tom Bovee, Bas Tulkens - Compas Agro

Erik van de Vin - Blueberry Innovators



### Wijze van refereren

Hisette, N., Van den Eynde, R., Vanhoutte, B., Lambin, J., Peulen, B., Bovee, T., Tulkens, B., van de Vin, E., Vandermaesen, J. (2023) Intelligente aansturing van irrigatie bij asperge, blauwe bes en laanbomen. Rapport Interreg project 'Smart Growers', 55 p.

## Inhoud

1	Inleiding .....	3
2	Sensornetwerk.....	3
2.1	Sensoren .....	4
2.2	Sensornodes en Communicatiesysteem .....	5
2.3	Evaluatie sensornetwerk .....	6
	Betrouwbaarheid sensornetwerk .....	6
	Bodemvochtspanning meten met Watermarksensoren .....	7
	Volumetrisch bodemvochtgehalte (VWC) meten met 10HS- en TEROS-12-sensoren .....	8
	Stamdiameter meten met dendrometers .....	8
3	Irrigatieadviesmodel en online platform.....	9
3.1	Evaluatie irrigatieadviesmodel .....	11
4	Vanop afstand aansturen van irrigatiesystemen.....	12
4.1	Blauwe bes.....	13
4.2	Laanbomen .....	18
5	Conclusies .....	20
6	Dankwoord .....	21
	Bijlage 1. Resultaten demonstratieperceel 1 – Asperge, Peer (B) .....	22
	Bijlage 2. Resultaten demonstratieperceel 2 – Asperge, Kinrooi (B).....	26
	Bijlage 3. Resultaten demonstratieperceel 3 – Asperge, Booischot (B) .....	29
	Bijlage 4. Resultaten demonstratieperceel 4 – Asperge, Venlo (NL) .....	33
	Bijlage 5. Resultaten demonstratieperceel 5 – Prunus, Venlo (NL).....	35
	Bijlage 6. Resultaten demonstratieperceel 6 – Laanbomen, Zele (B).....	37
	Bijlage 7. Resultaten demonstratieperceel 7 – Asperge, Leveroy (NL).....	42
	Bijlage 8. Resultaten demonstratieperceel 8 - Blauwe bes, Oudsbergen (B) .....	44
	Bijlage 9. Resultaten demonstratieperceel 9 - Blauwe bes, America (NL) .....	51

## 1 Inleiding

Door de klimaatsverandering komen in onze contreien langdurige droogteperiodes frequenter voor, alsook periodes met intensieve neerslag. Bij intensieve neerslag stroomt het water sneller af, waardoor grondwaterreserves minder snel aangevuld worden. Dit alles maakt het efficiënt omgaan met water een belangrijk aandachtspunt in alle sectoren. Om de oogst veilig te stellen wordt het bovendien meer en meer aangewezen voor land- en tuinbouwers om te investeren in irrigatiesystemen. Het meest efficiënte systeem daarvoor, waarbij de minste waterverliezen optreden, is druppelirrigatie. Druppelirrigatie biedt vele voordelen t.o.v. haspels en sproeiers en kan bovendien gekoppeld worden met fertigatie, waarbij opgeloste meststoffen door hetzelfde buizensysteem aan de plant worden toegediend. Er is echter een grote vraag naar meer doordachte beslissingsondersteunende systemen voor het aansturen van druppelirrigatie. Er wordt nog te weinig rekening gehouden met de actuele vochtstatus van het betreffende perceel en met de variatie binnen het perceel. Deze parameters kunnen realtime opgevolgd worden met verschillende types sensoren, in combinatie met een weerstation. De sensortoepassingen die momenteel worden aangeboden op de markt voldoen echter niet aan de noden van de land- en tuinbouwsector. Er is nog veel onduidelijkheid hoe de sensordata te interpreteren en of de baten opwegen tegen de investerings- en abonnementskosten.

Daarom onderzochten we hoe irrigatiesystemen op een intelligente manier aangestuurd kunnen worden. We ontwikkelden een sensornetwerk waarbij sensoren verspreid over het perceel draadloos communiceren met een centrale gateway die alle data verzamelt en doorstuurt naar de cloud. Vervolgens ontwikkelden we een beslissingsondersteunend model dat irrigatieadviezen formuleert op basis van realtime, lokale bodem-, gewas- en weersgegevens. Tot slot demonstreerden we de mogelijkheid om irrigatiesystemen vanop afstand aan te sturen op basis van het realtime irrigatieadvies.

## 2 Sensornetwerk

Bij de start van het project werd er reeds een breed scala aan bodemvochtsensoren, weerstations en uitleessystemen aangeboden op de markt. Wat betreft de bodemvochtsensoren is er echter nog veel onduidelijkheid: Welke sensoren zijn geschikt voor een bepaalde teelt? Hoe moeten deze geplaatst worden, op welke diepte? Zijn de metingen betrouwbaar? Bij welke grenswaarde moet ik irrigeren? ... Daarnaast moet elke sensor aangesloten worden op een uitleessysteem dat de sensor aanstuurt en het signaal omzet naar een interpreteerbare meetwaarde. De goedkoopste optie is een handmatige uitlezing waarbij de sensor op bepaalde tijdstippen wordt aangesloten op een meettoestel en de meetwaarde wordt afgelezen. Dit is echter erg arbeidsintensief en geeft onvoldoende zicht op de vochtdynamiek doorheen de tijd. Om deze in beeld te krijgen zijn continue tijdsreeksen met een vast meetinterval nodig, bv. elk half uur. Hiervoor bestaan ook reeds verschillende oplossingen, waarbij de sensor wordt aangesloten op een vast meettoestel voorzien van een internetconnectie. De sensor wordt dan uitgelezen op vaste tijdstippen en het resultaat wordt doorgestuurd naar de cloud. De meeste van deze systemen zijn echter beperkt in het aantal en type sensoren dat kan worden aangesloten. Door ruimtelijke variatie in het perceel (vb. bodemeigenschappen en aanwezige gewassen/variëteiten) is het echter aangewezen om sensoren te plaatsen op verschillende locaties verspreid over het perceel. Indien er per locatie een apart data-abonnement moet worden afgesloten kunnen de kosten van deze monitoring echter sterk oplopen. Daarom ontwikkelden we in dit project een sensornetwerk bestaande uit sensornodes waarop verschillende types sensoren kunnen worden aangesloten, die elk communiceren met een centrale gateway die op zijn beurt alle data tegelijk doorstuurt naar de cloud.

## 2.1 Sensoren

Bij de opstart van het project werd een aantal bodemvochtsensoren geselecteerd op basis van praktijkrelevantie, prijs, meetprincipe en aanbod op de markt op dat moment. De volgende drie types kunnen worden aangesloten op de sensornodes (zie Figuur 1):

- **Watermarksensor** van het bedrijf Irrrometer, meet de zuigspanning of waterpotentiaal van de bodem in kPa.
- **10HS-sensor** van Metergroup, meet het volumetrisch vochtgehalte.
- **TEROS-12-sensor** van Metergroup, meet naast het volumetrisch vochtgehalte ook de EC en de temperatuur van de bodem.

Naast bodemvochtsensoren werd op de sensornodes voor elke Watermarksensor ook een **NTC-temperatuursensor** aangesloten en geplaatst in dezelfde bodemlaag. Deze zijn noodzakelijk om de output van de Watermarksensor correct te verwerken.

Bij blauwe bes werden ook **DDS-2 dendrometers** van Ecomatic geplaatst om de stamdiameter op te volgen doorheen de tijd (Figuur 2). Door gewasverdamping doorheen de dag krimpt namelijk de stamdiameter. Wanneer deze krimp 's nachts niet gecompenseerd wordt door voldoende vochtopname uit de bodem spreken we van droogtestress.

De sensoren werden getest op 9 verschillende demonstratiepercelen zoals beschreven in Bijlage 1 tot Bijlage 9. Elk perceel beschikte tevens over een **weerstation** van WolkyTolky dat de belangrijkste weersparameters realtime registreerde en doorstuurde naar de cloud (zie Figuur 3).



Figuur 1. Drie types bodemvochtsensoren werden uitgetest op de demonstratiepercelen en uitgelezen door de sensornodes. Van links naar rechts: Watermark, 10HS en TEROS-12.



Figuur 2. Dendrometer Ecomatic DDS-2, in gebruik op demonstratiepercelen 8 en 9.



*Figuur 3. Elk perceel beschikt over een WolkyTolky weerstation.*

## 2.2 Sensornodes en Communicatiesysteem

Om de verschillende sensoren te kunnen testen op verschillende locaties verspreid over het perceel ontwikkelde Blue Engineering sensornodes (zie Figuur 4) en een communicatiemodule met centrale gateway die alle data verzamelt en doorstuurt naar de cloud. Op deze manier vermijden we dat elke sensor handmatig moet worden uitgelezen of dat voor elke sensor een apart (duur) data-abonnement betaald moet worden. Op elke sensornode kunnen de volgende sensoren worden aangesloten:

- 4x Bodemvochtspanning (Watermark)
- 4x Bodemtemperatuur (NTC)
- 1x Stamdiameter (Ecomatic DDS-2)
- 2x Volumetrisch vochtgehalte (10HS)
- 1x Volumetrisch vochtgehalte, EC & bodemtemperatuur (TEROS-12)

Alle sensoren worden door de sensornodes op regelmatige tijdstippen uitgelezen. De sensornodes worden gevoed door batterijen en rekenen de ruwe sensordata om naar leesbare data. Op de printplaat zit ook een antenne, waarmee de node op een vast interval de meetgegevens doorstuurt naar de gateway.

De gateway vertaalt de binnenkomende metingen van de nodes naar data die geschikt zijn voor de cloud server. De gateway wordt gevoed via standaard netspanning en maakt via een netwerkkabel (CAT5e+) automatisch verbinding met het internet. Op de gateway worden geen sensoren aangesloten.

De communicatie tussen de node en gateway loopt via LoRa (Low power Long range) specificatie. Deze techniek wordt standaard gebruikt in Internet of Things (IoT) toepassingen en is geschikt om met weinig energie over grote afstand gegevens te verzenden. Daardoor hebben de nodes geen netspanning nodig om gegevens te verzenden en kunnen ze dus draadloos functioneren.



*Figuur 4. Een sensornode met aangesloten sensoren.*

## 2.3 Evaluatie sensornetwerk

Het sensornetwerk werd elk jaar getest op 9 verschillende demonstratiepercelen. Op de blauwe bessenpercelen werd het sensornetwerk overigens vergeleken met commercieel beschikbare sensorsystemen, meer bepaald het Wolky Tolky weerstation met Watermarksensoren, de sensoren van Farm21 voor meting van het volumetrisch bodemvochtgehalte op 10, 20 en 30 cm diepte, een GeoBas bodemstation met Watermark- en Decagon-5TE-sensoren voor meting van de bodemvochtspanning en het volumetrisch bodemvochtgehalte, de Reporters van Crodeon met Watermarksensoren en de stamdiameter- en sapstroomsensoren van 2Grow. De resultaten per demonstratieperceel worden in detail besproken in Bijlage 1 t.e.m. Bijlage 9.

Wanneer we de resultaten voor bodemvochtsensoren op verschillende dieptes vergelijken zien we dat de bovenste bodemlagen sneller uitdrogen tijdens periodes van langdurige droogte en sneller reageren op regenbuien/irrigatiebeurten. Dit geldt voor zowel de 10HS- als de Watermarksensoren. Per teelt moet echter steeds de relevante worteldiepte in overweging genomen worden om de ideale sensordiepte te bepalen.

### Betrouwbaarheid sensornetwerk

Voor een draadloos sensornetwerk is het van belang dat de sensoren correct worden uitgelezen en de sensordata ten allen tijde beschikbaar zijn, zonder onderbrekingen. Daarvoor is een goede, continue werking van zowel de gateway als de sensornodes vereist. In 2020 waren er echter veel problemen met de opstart van het sensornetwerk op de verschillende percelen, te wijten aan o.a. de internet- en stroomvoorziening. Pas na verschillende verbeteringen aan zowel de gateway als de sensornodes werden goede datareeksen bekomen. Voor alle demonstratiepercelen werden de gegevens van de Watermarksensoren pas vanaf eind augustus 2020 correct uitgelezen en verwerkt. Soms waren er ook individuele sensoren verkeerd aangesloten of defect zoals op de proefpercelen in Venlo (Bijlage 4 en Bijlage 5) en op het laanbomenperceel in Zele (Bijlage 6). In 2021 werden er in het algemeen wel overall goede datareeksen bekomen, behalve voor de demonstratiepercelen te Venlo (Bijlage 4 en Bijlage 5). In 2022 waren er opnieuw veel problemen met het sensornetwerk. Deze waren vooral te wijten aan

de batterijen van de sensornodes, die sneller leeg raakten dan de vorige twee seizoenen. Bovendien waren er nieuwe connectieproblemen tussen de gateway en de sensornodes, zoals bijvoorbeeld op het aspergeperceel te Leveroy (Bijlage 7). Hierdoor zijn er voor 2022 enkel onderbroken datareeksen beschikbaar.

Voor de commercieel beschikbare sensorsystemen die getest werden op de blauwe bessenpercelen zijn doorgaans wel goede, continue datareeksen beschikbaar. In vergelijking met het Smart Growers sensornetwerk zijn ze dus betrouwbaarder. De meeste commerciële sensorsystemen kunnen echter slechts op één plaats in het perceel het bodemvochtgehalte monitoren. Wanneer er veel variatie is in eigenschappen van de bodem en/of de aanwezige gewassen/variëteiten is het aangewezen sensoren te plaatsen op verschillende locaties. Meestal moet hiervoor een extra data-abonnement worden afgesloten, waardoor de kostprijs sterk oploopt. Zo betaal je voor één stamdiameter- en sapstroomsensor van 2Grow (op één tak van één plant) ruim 2000 euro abonnementskosten per jaar. Enkel de sensoren van Farm21 kunnen op verschillende locaties geplaatst worden en communiceren net als het Smart Growers sensornetwerk met een centrale gateway die alle data verzamelt. Zo blijft de kostprijs beperkt tot één data-abonnement. Net als bij het Smart Growers sensornetwerk zagen we echter ook bij Farm21 onderbrekingen in de datareeksen door connectieproblemen of lege batterijen. Bovendien meten deze sensoren enkel het volumetrisch bodemvochtgehalte, waarvan de betrouwbaarheid beperkt is (zie verder).

### Bodemvochtspanning meten met Watermarksensoren

Bij het meten van de bodemvochtspanning door de Watermarksensoren aangesloten op de sensornodes waren er veel problemen, zelfs na de verbeteringen in 2020 (zie bovenstaande). Op de asperge- en laanbomenpercelen werden goede resultaten bekomen onder relatief vochtige omstandigheden. Er was ook een goede replicerbaarheid van het signaal voor verschillende sensornodes op eenzelfde perceel. Wanneer het bodemvochtgehalte daalt en de bodemvochtspanning dus oploopt, stijgt echter steeds de hoeveelheid ruis op het signaal van de Watermarks. Deze data kunnen we niet meer interpreteren en zijn dus onbruikbaar. De sensor meet ook geen verschil tussen saturatie en veldcapaciteit (0 en  $\pm 10$  kPa). Onder zeer droge omstandigheden, wanneer door uitdroging de bodem rond de sensor krimpt, ontstaat er bovendien slecht contact met de sensor. Als er daarna een hevige regenbui volgt, kan er preferentiële waterstroming ontstaan langs de sensor en krijgen we een vertekend beeld van het bodemvochtgehalte zoals in de zomer van 2022 op de aspergepercelen in Booschoot (Bijlage 3) en Venlo (Bijlage 4). Daarnaast kunnen de Watermarksensoren in zeer droge periodes falen, waarbij het signaal oploopt tot  $\pm 200$  kPa en niet meer daalt bij regenval. Dit is mogelijk een gevolg van een te sterke uitdroging van het gipsblok in de sensor. Ook bij vochtigere omstandigheden kan het verloop verder verstoord blijven. Een oplossing is om de sensoren opnieuw op saturatie te brengen en terug te installeren. Tot slot kan het signaal dag-nacht fluctuaties vertonen die gelinkt zijn aan temperatuurverschillen. Dit doet zich voor als de kalibratie van de watermark met de temperatuursensor niet optimaal is.

In tegenstelling tot de sensoren in asperge en laanbomen, werden in de blauwe bessen de Watermarksensoren ook bij gemiddelde vochtcondities niet correct uitgelezen door de sensornodes. Vooral onder vochtige omstandigheden ( $< 10$  kPa, veel regen) was dit probleem nog meer uitgesproken. De reden hiervoor is tot op heden onbekend. We vermoeden dat dit probleem zich niet voordeed bij asperge/laanbomen omdat de bodem hier doorgaans droger is. Bovendien worden blauwe bessen in substraat geteeld, wat kan leiden tot een slecht contact met de Watermarksensor. Een slecht contact (luchtholtes) tussen substraat en sensor lijkt in dit geval echter onwaarschijnlijk door de relatief fijne structuur van het bovendien erg vochtige substraat.

De technische problemen met de Watermarksensoren aangesloten op de sensornodes bij blauwe bes staan in contrast met de probleemloze toepassing van Watermarksensoren aangesloten op Reporters van Crodeon en het Wolky Tolky weerstation (zie Bijlage 8 en Bijlage 9). Met een goed functionerend registratiesysteem kunnen Watermarksensoren dus wel degelijk voldoende accuraat de bodemvochttoestand in de substraatrug bij blauwe bes registreren. Bij de sensornodes ligt het probleem waarschijnlijk bij de manier waarop de sensoren worden uitgelezen door de sensornode of bij hardware-problemen van de printplaten zelf (vb. onvoldoende afgeschermd voor de luchtvochtigheid).

### **Volumetrisch bodemvochtgehalte (VWC) meten met 10HS- en TEROS-12-sensoren**

Zowel de 10HS- als de TEROS-12-sensoren geven nauwkeurig de vochtdynamiek in de bodem weer, zowel in droge als in vochtige omstandigheden. De 10HS-sensoren overschatten echter vaak het werkelijke bodemvochtgehalte gemeten in bodemstalen, zoals voor de demonstratiepercelen Peer (Bijlage 1), Kinrooi (Bijlage 2), Booischot (Bijlage 3) en Oudsbergen (Bijlage 8). Voor de TEROS-12-sensoren zien we eerder een onderschatting van het werkelijke bodemvochtgehalte, zoals voor het laanbomenperceel te Zele (Bijlage 6). Bovendien zien we vaak grote variaties tussen verschillende sensoren op hetzelfde perceel. Hierbij moeten we echter opmerken dat de sensor de dynamiek weergeeft van een specifieke locatie, terwijl de bodemstalen het bodemvochtgehalte weergeven in de volledige 0-30, 30-60 of 60-90 cm laag. Tijdens de staalname kunnen deze lagen bovendien met elkaar gemengd raken. Het lokaal irrigeren d.m.v. druppelirrigatie induceert daarnaast extra ruimtelijke variatie in bodemvochtgehalte. Hierdoor zijn de resultaten van de bodemstalen in absolute waarde moeilijk te vergelijken met de waardes van de sensoren. De verschillen tussen locaties kunnen voortkomen uit de kalibratie van individuele sensoren, maar ook uit reële lokale verschillen tussen deze locaties in de pF-karakteristiek van de substraatlaag of kleine verschillen in de plaatsing van de sensoren, bv. de diepte of de afstand t.o.v. het druppelpunt of de (wortels van) de plant.

Door bovenstaande beperkingen is de absolute waarde die wordt weergegeven door de VWC-sensoren weinig betrouwbaar. Dit geldt ook voor de Farm21-sensoren en de Decagon 5TE-sensor op het GeoBas bodemstation (zie Bijlage 8 en Bijlage 9). VWC-sensoren zijn daarom vooral zinvol om de vochtdynamiek in de bodem op te volgen. Om het absolute vochtgehalte te bepalen is het echter aangewezen om de sensordata te kalibreren a.d.h.v. bodemstalen.

In vergelijking met de Watermarksensoren zijn de VWC-sensoren doorgaans sensitiever voor neerslag en zien we dus sneller de impact van een regenbui zoals op het aspergeperceel te Leveroy (Bijlage 7). Dit is te verklaren door het werkingsprincipe van beide sensoren. De gipsblok van de watermarksensor zal vocht trager opnemen waardoor deze de vochtomstandigheden uitvlakt ten opzichte van de 10HS-sensor met een capacitieve werking.

### **Stamdiameter meten met dendrometers**

De resolutie waarmee het analoge signaal van de dendrometers door de sensornodes werd uitgelezen bleek te grof om de dagelijkse krimp/groei van een hoofdtak van een blauwe bessenstruik voldoende nauwkeurig te registreren (zie Bijlage 8 en Bijlage 9). De gemiddelde amplitude van de dagelijkse krimp/groei van deze takken ( $\pm 1$  cm diameter) is  $\pm 50$   $\mu\text{m}$ . Om deze te registreren met een dendrometer met een meetbereik van 10 mm en voldoende nauwkeurig uit te lezen is daarom een registratie-unit met een 12-bit resolutie (of hoger) nodig. Anders kan een eventuele netto krimp en dus watertekort niet voldoende nauwkeurig gedetecteerd worden. De sensornodes kunnen analoge signalen niet met deze resolutie uitlezen.



De stamdiametersensor van 2Grow geeft wel voldoende nauwkeurige resultaten. Het blijft echter grotendeels onduidelijk hoe deze data gebruikt kunnen worden door telers om irrigatiesystemen realtime aan te sturen. Indien de krimp van overdag niet gecompenseerd wordt door de groei 's nachts is er namelijk de vorige dag droogtestress opgetreden en kan de irrigatie enkel nadien worden bijgestuurd. Bij dagelijks variërende weersomstandigheden lijkt deze methode echter weinig zinvol. Voor onderzoeksdoeleinden zijn stamdiameter-data echter wel zeer waardevol, bijvoorbeeld om te vergelijken met bodemvochtmetingen en zo op zoek te gaan naar de drempelwaardes waarbij droogtestress optreedt.

### 3 Irrigatieadviesmodel en online platform

PSKW ontwikkelde een irrigatieadviesmodel dat het bodemvocht in de wortelzone simuleert. Het model geeft aan op welke dag een bepaalde hoeveelheid water best wordt toegediend zodat het bodemvocht niet onder een kritieke drempelwaarde daalt bij dewelke het gewas stress ondervindt. Het model is gebaseerd op een waterbalansmodel (FAO) dat in- en uitgaande waterstromen kwantificeert. We vullen de 'balans' tussen beide stromen aan met de juiste hoeveelheid irrigatie om het bodemvochtgehalte tussen veldcapaciteit (doorspoeling) en de maximaal tolereerbare uitdroging te houden. Gaandeweg paste PSKW bepaalde berekeningen of parameters aan zodat de simulaties zo goed mogelijk overeenkomen met de waargenomen metingen op proefvelden.

In samenwerking met Thomas More ontwikkelde PSKW bovendien een online dataplatform (<https://irrigatie.proefstation.be/>) waar gebruikers de sensordata, weersgegevens en het irrigatieadvies voor hun percelen kunnen raadplegen. Het platform maakt het mogelijk om het complexe model op lokale en actuele gegevens te laten draaien. Hoe lokaler de gegevens, hoe beter het advies. Zo komt de wetenschappelijke kennis een grote stap dichterbij het gebruik in de praktijk.

Bij de opstart van de teelt vult de gebruiker een paar basisgegevens aan (zie Figuur 5). Hij kan selecteren uit een lijst gewassen en bodems. Ook geeft hij aan welk weerstation en sensornetwerk betrekking heeft op dit perceel. Deze koppelingen zijn noodzakelijk om vervolgens automatisch de juiste grafieken en berekeningen weer te geven voor dat specifieke perceel. Bij de start van het seizoen worden de waterretentiecurve en dus de exacte bodemeigenschappen van dat perceel bepaald in het labo. Deze kan de gebruiker selecteren uit een lijst. Tijdens het seizoen kan de gebruiker of adviseur het model vervolgens voeden met bijkomende lokale gegevens van het perceel, zoals de toegediende irrigatiegiften, gemeten bodemvochtstalen of grondwaterpeilmetingen.

De weersgegevens van het Wolky Tolky weerstation en de data van het Smart Growers-sensornetwerk worden dagelijks door het platform opgeladen via een Application Programming Interface (API). Vervolgens wordt het irrigatieadvies herrekend o.b.v. de nieuwe beschikbare data. Het resultaat wordt weergegeven op een grafiek die de depletie in de wortelzone weergeeft in l/m<sup>2</sup> of mm (zie Figuur 6). Deze mag niet onder de interventiedrempel komen om droogtestress te voorkomen. Indien bodemvochtstalen beschikbaar zijn, worden ze ook geplot op de grafiek. Achter de stippellijn volgt het voorspellende luik waar je kan zien op welke datum er best geïrrigeerd wordt om droogtestress te vermijden. Het irrigatieadvies wordt ook nog eens vereenvoudigd weergegeven links bovenaan het scherm (zie Figuur 7).

**Perceel**

Eigenaar: proefstationadmin

Perceelsnaam: Kinrooi2022

Bodemparameter: BE-Limburg-Kinrooi

Gewas: Asperges\_test

Plantdatum: 2022-06-21

Verwachte oogstdatum: 2022-11-01

Initiële depletie wortelzone (mm): 80

Weerstation: Wolkytolky - BE-Limburg-Kinrooi

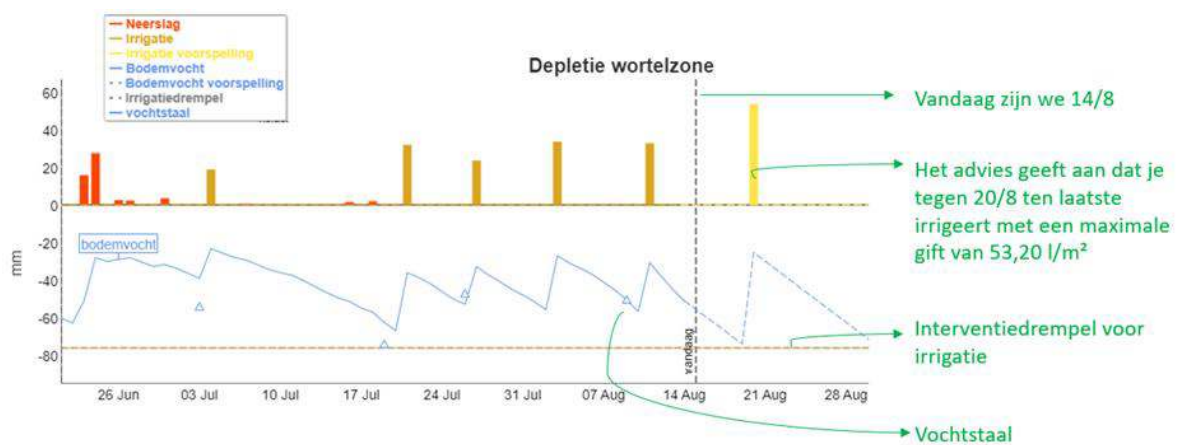
Vochtsensoren: BE-Limburg-Kinrooi

Shiny applicatie folder: Kinrooi 2022

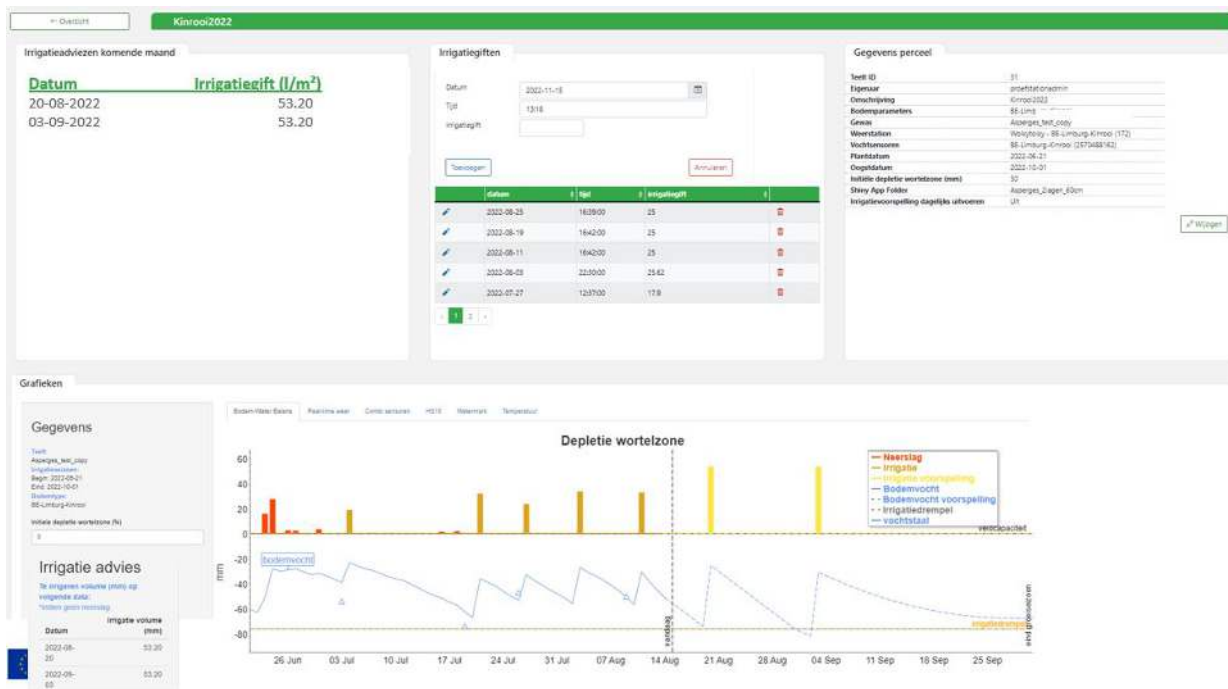
Irrigatievoorspelling dagelijks uitvoeren:  UIT

**Opslaan** **Annuleren**

Figuur 5. Bij de opstart van het irrigatieadvies geeft de gebruiker een aantal gegevens in over het perceel



Figuur 6. Resultaat van het irrigatieadviesmodel voor het aspergeperceel te Kinrooi. De depletie in de wortelzone (blauwe lijn) wordt berekend door het model. Dit vormt de basis om een irrigatieadvies uit te sturen.



Figuur 7. Screenshot van het online irrigatieplatform dat een overzicht geeft van het irrigatieadvies (links boven), de toegediende irrigatiegiften (midden boven) en visualisatie van het irrigatieadviesmodel (onder).

### 3.1 Evaluatie irrigatieadviesmodel

Om de nauwkeurigheid van het irrigatieadviesmodel te evalueren werd de gemodelleerde depletie in de wortelzone vergeleken met het werkelijke bodemvochtgehalte gemeten in bodemstalen. De meest uitgebreide gegevens zijn beschikbaar voor asperge. Daarmee kon het model voor asperge nauwgezet gekalibreerd worden. Het resultaat is een nauwkeurige voorspelling van het werkelijke bodemvochtgehalte (Figuur 8) en dit zowel voor de droge zomers van 2020 en 2022 als voor de natte zomer van 2021 (zie Bijlage 1 t.e.m. Bijlage 4). Dit is veelbelovend voor het verdere gebruik van het model in de irrigatiesturing van asperges.

Voor de laanbomenpercelen kon het model enkel vergeleken worden met bodemvochtstalen in de periode april – juni 2022 op het perceel te Zele en voor de periode juni – november op het proefperceel te PCS. Hoewel de beschikbare gegevens voor kalibratie van het model voor laanbomen dus beperkter zijn, komen de voorspellingen voor Zele toch al goed overeen met het gemeten bodemvochtgehalte (Figuur 8). Op het proefperceel te PCS, waar de irrigatie automatisch gestuurd werd o.b.v. het irrigatieadviesmodel (zie verder), kwam het model echter minder goed overeen met de werkelijkheid. Voor laanbomen is er dus nog verdere verfijning nodig van de modelparameters (o.a. gewascoëfficiënten, worteldiepte...). Voor het prunusperceel te Venlo zijn er onvoldoende gegevens beschikbaar om het irrigatieadviesmodel te evalueren.

Voor het blauwe bessenperceel te Oudsbergen kan het model enkel vergeleken worden met het werkelijke bodemvocht vanaf eind juli 2022, wanneer de irrigatie automatisch gestuurd werd o.b.v. het model (zie verder). Vanaf dan zijn er namelijk pas irrigatiegegevens beschikbaar als vereiste input van het model. Hoewel sensordata de vochtdynamiek zoals voorspeld door het model bevestigen, komt het gemodelleerde bodemvochtgehalte nog niet goed overeen met het werkelijke bodemvochtgehalte (Figuur 8). Net als voor laanbomen moeten de modelparameters voor blauwe bes dus nog verder verfijnd worden. Voor de blauwe bessenpercelen te America en Weeze zijn er onvoldoende gegevens beschikbaar om het irrigatieadviesmodel te evalueren.

Een aandachtspunt voor toekomstige irrigatiesturing op basis van de huidige versie van het irrigatieadviesmodel blijft dat het momenteel geen rekening houdt met neerslagvoorspellingen. Het model zou gekoppeld kunnen worden aan een neerslagradar om zo de geadviseerde irrigatiegiften uit te stellen als er die dag een hoge kans is op neerslag.



Figuur 8. Simulatie van het bodemvocht in de wortelzone (blauw) vergeleken met bodemstalen (driehoekjes) in 2022 voor het aspergeperceel te Kinrooi (boven), het laanbomenperceel te Zele (midden) en het blauwe bessenperceel te Oudsbergen (onder).

## 4 Vanop afstand aansturen van irrigatiesystemen

Aangezien het irrigatieadviesmodel nauwkeurig de bodemvochttoestand kan voorspellen biedt het veel potentieel voor telers om exact de juiste hoeveelheid water toe te passen op het juiste tijdstip. Het irrigatieadvies kan echter dagelijks wijzigen. Bovendien is het niet altijd eenvoudig om het irrigatiesysteem op het juiste tijdstip aan en uit te zetten, bijvoorbeeld wanneer de teler verschillende percelen beheert die soms ver van het hoofdbedrijf gelegen zijn. Als oplossing hiervoor kan de sturing van het irrigatiesysteem geautomatiseerd worden, waarbij het irrigatieadvies vanuit het irrigatieadviesmodel via de cloud dagelijks gecommuniceerd wordt met de irrigatiecomputer die op zijn beurt de kranen op het juiste moment aan- en uitschakelt. Dit demonstreerden we voor twee verschillende irrigatiesystemen, nl. op het blauwe bessenperceel te Oudsbergen en op het proefperceel laanbomen van PCS.

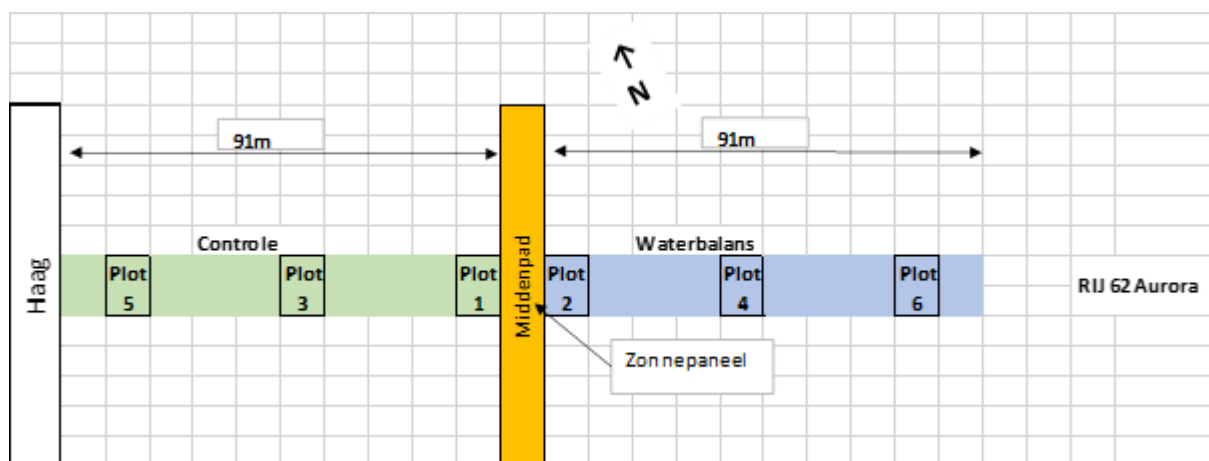
## 4.1 Blauwe bes

Op het blauwe bessenperceel te Oudsbergen werd van 26/07/2022 tot 17/09/2022 de irrigatie automatisch gestuurd o.b.v. het irrigatieadvies. In overeenkomst met de teler werd dit slechts toegepast op een enkele rij van 91m 'Aurora' door de dagelijks toegediende standaardirrigatie te beperken tot de gift berekend door het model. De tegenovergelegen rij identieke planten diende als controle. Zes sensornodes werden verdeeld over plots van 3 planten (Figuur 9), waarvan de vruchten apart geogst werden en de opbrengst en kwaliteit bepaald werd bij de eerste 3 plukbeurten.

Het beperken van de irrigatie tot de geadviseerde gift werd uitgevoerd door het irrigatieadviesmodel via een extern programma (ontwikkeld door Diagro) te laten communiceren met een Crodeon Reporter. Deze Reporter registreerde de gegevens van een waterteller geplaatst op de irrigatiedarm, en bediende via een relaismodule een elektrische kogelkraan op dezelfde irrigatiedarm (Figuur 10). De communicatie tussen het irrigatieadviesmodel, het externe programma en de Crodeon Reporter verliep automatisch, via API's. Elke dag werd dag het volgende protocol doorlopen:

- 1) **04u00**: online dataplatform haalt weerdata op van Wolky Tolky weerstation
- 2) Irrigatieadviesmodel berekent de nodige irrigatiegift voor vandaag
- 3) Programma Diagro haalt de nodige irrigatiegift op van het online dataplatform
- 4) Programma Diagro laat de kogelkraan aangesloten op de Crodeon reporter open zetten
- 5) Programma Diagro haalt continu data op van de debietmeter op de Crodeon reporter
- 6) Programma Diagro sluit de kraan wanneer de nodige irrigatiegift bereikt is
- 7) **23u00**: Programma Diagro geeft de effectief uitgevoerde irrigatiegift door aan het online dataplatform

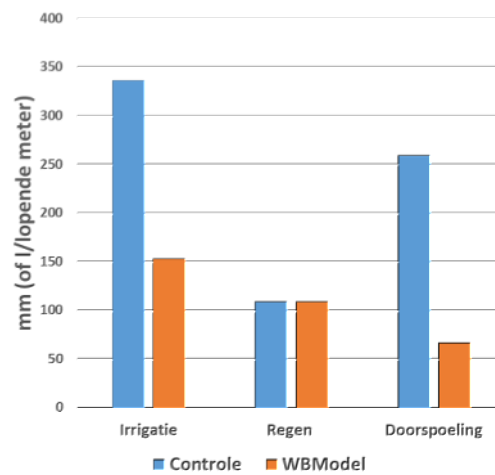
Van 26/07/2022 tot 17/09/2022 kon op deze manier 54% irrigatiewater bespaard worden t.o.v. de standaard irrigatie op het bedrijf (153 l t.o.v. 336 l per lopende meter, Figuur 11). De berekende doorspoeling (van zowel regen- als irrigatiewater) werd gereduceerd met 74%. Ondanks de grote waterbesparing waren er geen significante invloeden op opbrengst (Figuur 12), kwaliteit (Figuur 13) of minerale samenstelling van de vruchten (Figuur 14). Zeker bij de tweede pluk zien we zelfs een positieve trend wat betreft hardheid en suikergehalte, dus minder waterige bessen door een te hoge wateropname.



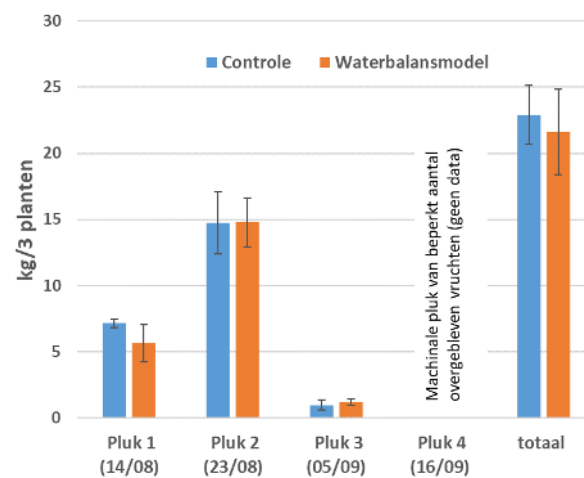
Figuur 9. Proefplan voor de irrigatiesturing op het blauwe bessenperceel te Oudsbergen.



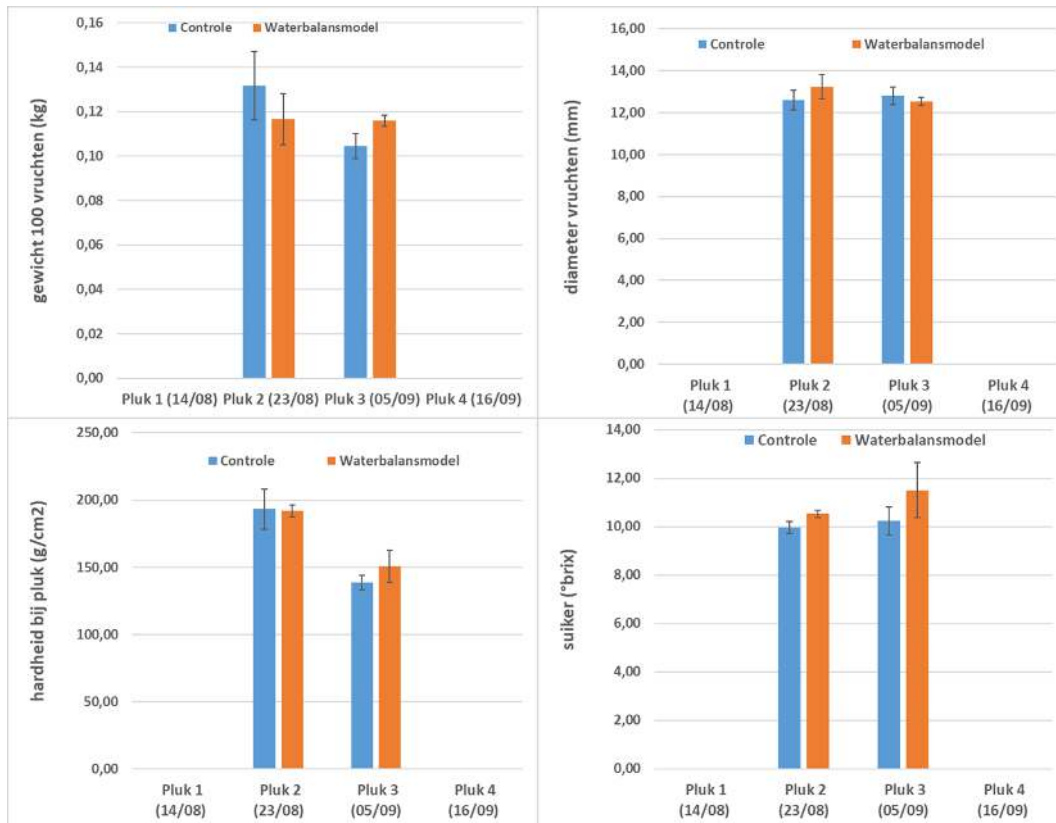
Figuur 10. Hardware voor automatische sturing van de irrigatie op het blauwe bessenperceel te Oudsbergen. Links: Crudeon Reporter met relaismodule en extern zonnepaneel/batterijsysteem. Rechts: waterteller en elektrische kogelkraan op de irrigatiedarm.



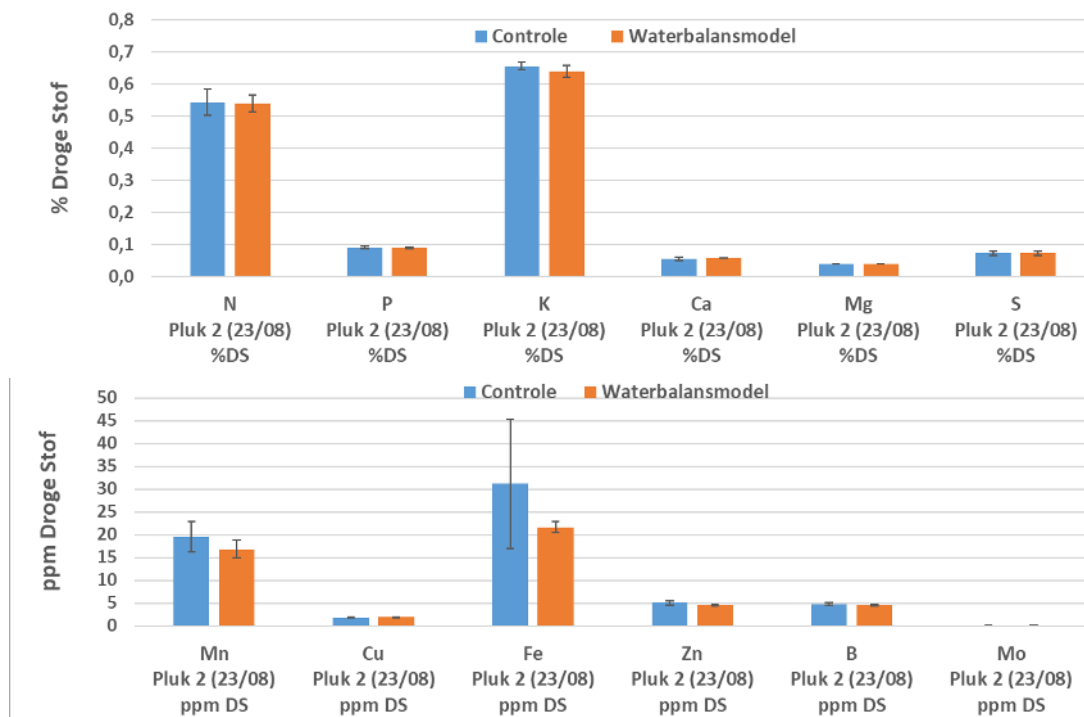
Figuur 11. Irrigatie en doorspoeling wanneer geïrrigeerd werd volgens het irrigatieadviesmodel (WBMModel, oranje) en volgens de standaardirrigatie (Controle, blauw) op het blauwe bessenperceel te Oudsbergen.



Figuur 12. Opbrengst wanneer geïrrigeerd werd volgens het irrigatieadviesmodel (Waterbalansmodel, oranje) en volgens de standaardirrigatie (Controle, blauw) op het blauwe bessenperceel te Oudsbergen. De foutbalken geven de standaarddeviatie weer voor 3 planten per plot.



Figuur 13. Kwaliteit (gemiddeld vruchtgewicht, vruchtmaat, hardheid en suikergehalte) wanneer geïrrigeerd werd volgens het irrigatieadviesmodel (Waterbalansmodel, oranje) en volgens de standaardirrigatie (Controle, blauw) op het blauwe bessenperceel te Oudsbergen. De foutbalken geven de standaarddeviatie weer voor 3 planten per plot.



Figuur 14. Minerale samenstelling van de vruchten wanneer geïrrigeerd werd volgens het irrigatieadviesmodel (Waterbalansmodel, oranje) en volgens de standaardirrigatie (Controle, blauw) op het blauwe bessenperceel te Oudsbergen. De foutbalken geven de standaarddeviatie weer voor 3 planten per plot.

De standaard irrigatiegift was elke dag aanzienlijk hoger dan de berekende gewasverdamping, waardoor de bodem continu op veldcapaciteit (0 mm depletie) was en dagelijks doorspoeling optrad van 40-50% van de toegediende irrigatie. Dit kunnen we duidelijk afleiden wanneer het irrigatieadviesmodel toegepast wordt op de rij blauwe bessen met standaard irrigatie (Figuur 15 bovenaan). Ook de Watermarksensoren geplaatst in de substraatrug op 25-30 cm diepte, aangesloten op Crodeon Reporters, registreerden een vrijwel continue bodemvochtspanning van  $\pm 10$  kPa, wat overeenkomt met veldcapaciteit (Figuur 16 bovenaan). De hoeveelheid water aangevoerd door regenbuien spoelde vrijwel volledig door naar de ondergrond.

Door de irrigatiegift te beperken tot deze berekend door het irrigatieadviesmodel werd systematische doorspoeling vermeden (Figuur 15 onderaan). Ook na regenbuien trad beduidend minder doorspoeling op dan bij de controle. Volgens de Watermarksensoren steeg de bodemvochtspanning tot aan de vooropgestelde interventiedrempel van 20 kPa en bleef deze relatief stabiel voor meerdere weken (Figuur 16 onderaan). Wanneer van 15 tot 20 augustus accidenteel te veel geïrrigeerd werd en vanaf 6 september een aanzienlijke hoeveelheid regen viel, daalde de bodemvochtspanning tot 10 kPa en trad doorspoeling op, wat de gemodelleerde depletie van 0 mm in deze periodes (Figuur 15) bevestigt.

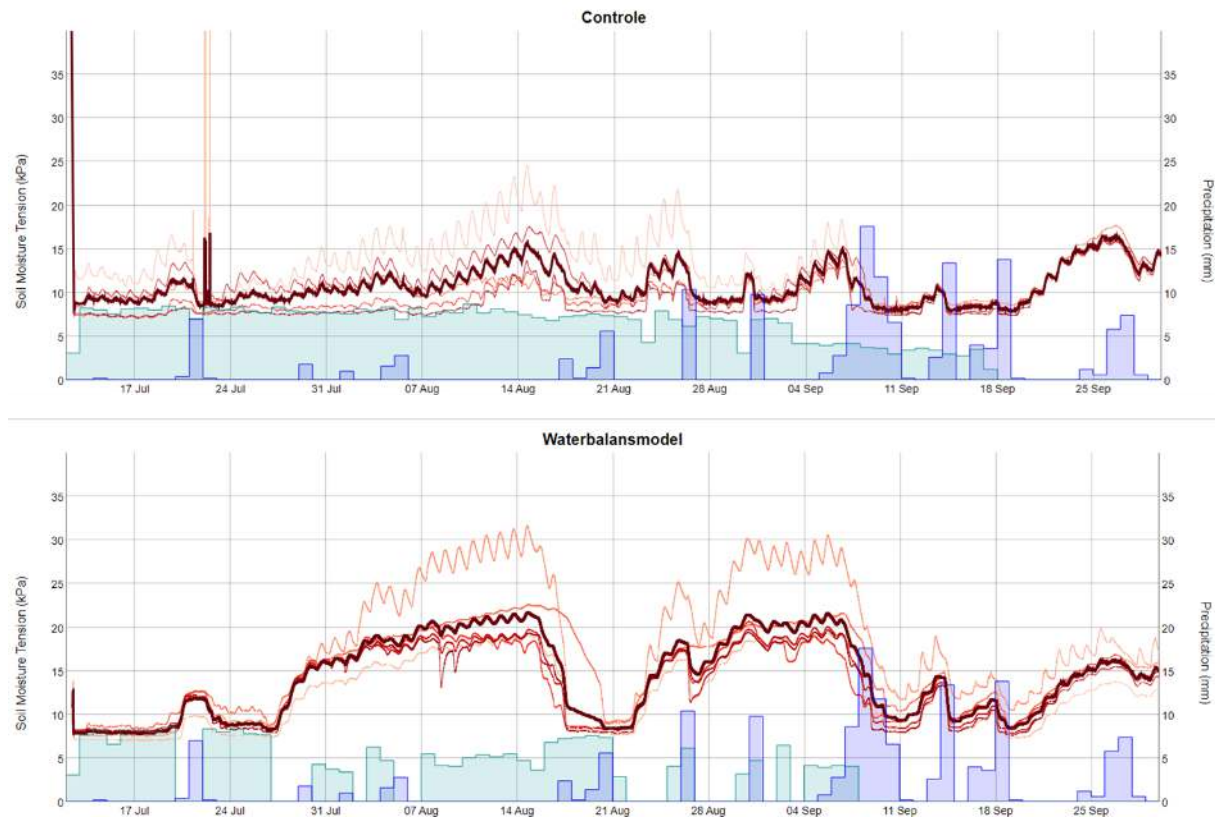
Hoewel de irrigatie met succes werd aangestuurd o.b.v. het irrigatieadviesmodel en zo ruim de helft aan water werd bespaard, zonder nadelige effecten op opbrengst en kwaliteit, zijn er wel nog grote verschillen tussen het gemodelleerde bodemvochtgehalte en het bodemvochtgehalte gemeten in bodemstalen (Figuur 15). De werkelijke bodemvochttoestand was namelijk droger dan berekend door het model. Op korte termijn werd dit opgelost door de berekende depletie rechtstreeks aan te passen. Om dit te verbeteren moeten de parameters van het model (o.a. de "Saturated Hydraulic Conductivity" ( $K_{sat}$ ) en afspoeling (runoff)) nog verder afgestemd worden op de specifieke condities van de blauwe bessenteelt.

Deze demonstratie toonde dat vlotte communicatie tussen het DSS, externe programma's en irrigatie-hardware mogelijk is een proefopstelling. De grote waterbesparing door te irrigeren volgens het irrigatieadviesmodel, zonder negatieve effecten op opbrengst en kwaliteit, toont het potentieel van deze irrigatiebenadering bij blauwe bes. Watermarksensoren bleken voldoende accuraat om de bodemvochttoestand in de substraatrug te monitoren en op te merken wanneer het model afwijkt van de werkelijkheid, waarna een correctie kan worden uitgevoerd. Volgende nodige stappen zijn demonstraties bij blauwe bes op andere substraten gedurende een volledig teeltseizoen en de koppeling met commerciële irrigatiesoftware.





Figuur 15. Simulatie van het bodemvocht in de wortelzone (blauw) vergeleken met bodemstalen (driehoekjes) wanneer geïrrigeerd werd volgens de standaardirrigatie (Controle, boven) en volgens het irrigatieadviesmodel (WBmodel, onder) op het blauwe bessenperceel te Oudsbergen in 2022. Wanneer de depletie in de wortelzone > 0 mm bedraagt, treedt doorspoeling op.



Figuur 16. Resultaten van de 6 Watermarksensoren aangesloten op Crodeon Reporters wanneer geïrrigeerd werd volgens de standaardirrigatie (Controle, boven) en volgens het irrigatieadviesmodel (waterbalansmodel, onder) op het blauwe bessenperceel te Oudsbergen in 2022. De dikke donkerrode lijn geeft telkens het gemiddelde van de 6 individuele Watermarksensoren (dunne, lichtere lijnen). Regen en irrigatiegiften worden respectievelijk weergegeven door donker- en lichtblauwe balken.

## 4.2 Laanbomen

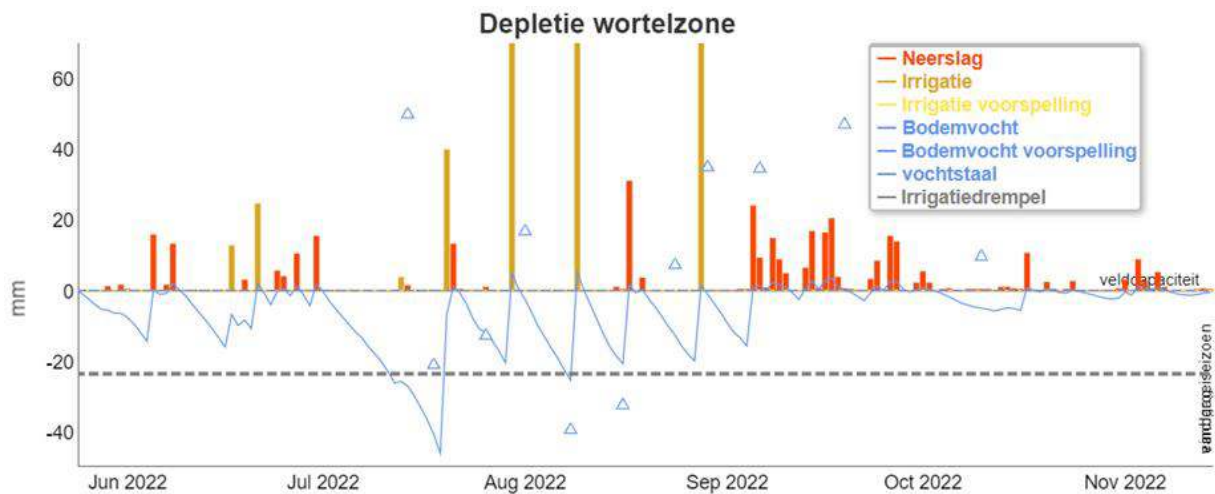
Omdat op het laanbomenperceel te Zele geen elektrische kraan aanwezig is, werd gekozen om de sensor-nodes en het Wolky Tolky weerstation te verhuizen naar een proefperceel van PCS vanaf juni 2022. Het gaat om één rij van een 50 tal beukenbomen, geplant in het voorjaar van 2022.

Berekening gebeurde via druppelirrigatie die werd aangestuurd door een automatische kraan met MAXIMA-irrigatiecomputer. Om de irrigatiebeurten geadviseerd door het irrigatieadviesmodel door de irrigatiecomputer te laten uitvoeren werd een API ontwikkeld door het bedrijf MEREK. Aangezien de API pas actief was begin augustus, heeft er in de maand juli geen irrigatie plaatsgevonden (Figuur 17). Samen met het gebrek aan neerslag begin juli, daalde hierdoor het bodemvochtgehalte onder de drempelwaarde.

Vanaf augustus 2022 was er wel een volautomatische irrigatie, dus zonder menselijke inferentie. Dagelijks werden volgende stappen uitgevoerd: om 4u 's ochtends wordt de irrigatiegift van de dag berekend aan de hand van het irrigatiemodel; daarna wordt deze via de API opgeladen op de MAXIMA-irrigatiecomputer van het PCS; om 13u start de druppelirrigatie aan de hand van het opgeladen irrigatieadvies. Dit geeft de mogelijkheid om in de ochtend na te gaan of het advies correct is ingeladen of - mocht het regenen - in de ochtend in te grijpen en de irrigatiegift te annuleren. Om 23u zal de API terugkoppelen hoeveel effectief werd berekend, zodat het model hier rekening mee kan houden voor het irrigatieadvies van de volgende dag.

De API bevatte echter een vermenigvuldigingsfout, waardoor initieel een tienvoud van de geadviseerde irrigatiegift werd gegeven. Deze fout werd pas verholpen eind september. De terugkoppeling naar het model was wel correct, wat resulteerde in periodes van 10 dagen zonder irrigatie om te compenseren voor de te grote irrigatiegift. Vanaf september begon het voldoende te regenen waardoor geen irrigatie meer nodig was.

Het gemodelleerde bodemvochtverloop in de wortelzone komt niet goed overeen met de bodemvochtstalen, vooral in de nattere periodes (Figuur 17). De bodemstalen tonen extremere schommelingen dan het model. Het model werkt echter op dagbasis en vlakt de waarden af op een gemiddeld vochtgehalte van die dag, terwijl de bodemvochtstalen momentopnames zijn. Dit kan verklaren waarom het bodemvochtgehalte gemeten in bodemstalen vaak hoger is dan ingeschat door het model.



Figuur 17. Simulatie van het bodemvocht bij PCS in 2022

## 5 Conclusies

In dit project ontwikkelden we ten eerste een sensornetwerk waarbij diverse sensoren aangesloten op sensornodes verspreid over het perceel draadloos communiceren met een centrale gateway die alle data verzamelt en doorstuurt naar de cloud. Enkel de gateway heeft een internetconnectie nodig, waardoor de operationele kost beperkt blijft. Op elke sensornode kunnen vier Watermarksensoren (Irrrometer) met bijhorende NTC-temperatuursensor worden aangesloten voor meting van de bodemvochtspanning, twee 10HS-sensoren en één TEROS-12-sensor voor meting van het volumetrisch bodemvochtgehalte (VWC) en één DDS-2 dendrometer (Ecomatic) voor meting van de stamdiameter. De werking van de sensoren, de sensornodes en de gateway werd gedurende drie seizoenen getest op 9 demonstratiepercelen voor asperge, laanbomen en blauwe bes. Na een moeizame start werden er pas vanaf augustus 2020 voor alle types sensoren goede datareeksen bekomen. Voor het seizoen 2021 zijn er voor de meeste demonstratiepercelen wel goede datareeksen beschikbaar. In 2022 doken er nieuwe batterij- en connectieproblemen op en zijn voor de meeste demonstratiepercelen slechts onderbroken datareeksen beschikbaar.

Het uitlezen van de Watermarksensoren bleek een hele uitdaging. Zelfs na verschillende optimalisaties werden voor blauwe bes geen goede Watermarkdata bekomen met de sensornodes. Onder zeer droge of juist natte omstandigheden werden ook bij asperge en laanbomen de Watermarkdata weinig betrouwbaar. Met commercieel beschikbare uitleessystemen (Crodeon Reporter en Wolky Tolky) werden echter wel goede Watermarkdata bekomen voor blauwe bes. De geteste VWC-sensoren gaven wel een betrouwbaar beeld van de vochtdynamiek in de bodem, zowel onder droge als natte omstandigheden. Om de exacte waarde te kunnen interpreteren is een goede kalibratie van deze sensoren aan de lokale bodem echter een absolute vereiste! Hoewel de dagelijkse variaties en toename van de stamdiameter doorheen het seizoen duidelijk af te leiden waren uit de dendrometerdata, was de resolutie van de metingen door de sensornodes te beperkt om deze te kunnen interpreteren m.b.t. droogtestress.

Gezien de goede resultaten van 2021 biedt het Smart Growers sensornetwerk dus wel degelijk veel potentieel om de bodemvochttoestand nauwgezet op te volgen, op een betaalbare manier voor verschillende locaties verspreid over het perceel. Er moeten echter nog verbeteringen worden doorgevoerd aan het huidige prototype om de continuïteit op langere termijn te garanderen, de betrouwbaarheid van de Watermarkdata te verbeteren en de resolutie van de dendrometerdata te verhogen.

Om de irrigatie nauwgezet te kunnen aansturen ontwikkelden we vervolgens een beslissingsondersteunend model dat irrigatieadviezen formuleert op basis van realtime bodem-, gewas- en weersgegevens. Als resultaat van het model zie je de evolutie van het bodemvochtgehalte doorheen de tijd, inclusief een voorspelling voor de komende dagen. Wanneer het bodemvochtgehalte onder een kritieke drempelwaarde dreigt te dalen adviseert het model om een bepaalde hoeveelheid water toe te dienen. Alle in- en outputgegevens kunnen geraadpleegd worden op een online dataplatform (<https://irrigatie.proefstation.be/>). Voor asperge komt het voorspelde bodemvochtgehalte reeds zeer goed overeen met het werkelijke bodemvochtgehalte, gemeten a.d.h.v. bodemstalen, zowel voor de droge zomers van 2020 en 2022 als voor de natte zomer van 2021. Voor asperge verwachten we het model dus op korte termijn in de praktijk te kunnen toepassen. Voor laanbomen en blauwe bes zijn echter nog bijkomende testen nodig om de respectievelijke irrigatieadviesmodellen verder te verfijnen.

Tot slot demonstreerden we de mogelijkheid om irrigatiesystemen vanop afstand aan te sturen op basis van het irrigatieadviesmodel, zowel bij blauwe bes als bij laanbomen. Bij de laanbomen werd het irrigatieadvies dagelijks gecommuniceerd met de irrigatiecomputer van PCS. Bij de blauwe bessen werd een extra kraan geplaatst om één rij blauwe bessen apart aan te sturen. In beide gevallen werden de geadviseerde watergiftten met succes gecommuniceerd en toegediend en werd de toegediende irrigatie ook teruggekoppeld naar het model. Bij de blauwe bessen werd zo tot 54% irrigatiewater bespaard zonder nadelige invloeden op opbrengst of kwaliteit. Dit bewijst dat er veel potentieel is om het schaars beschikbare irrigatiewater in tijden van droogte efficiënter in te zetten. Het gebruik van realtime bodem- en weersgegevens en het irrigatieadviesmodel ontwikkeld in dit project dragen hier in grote mate aan bij.

## 6 Dankwoord

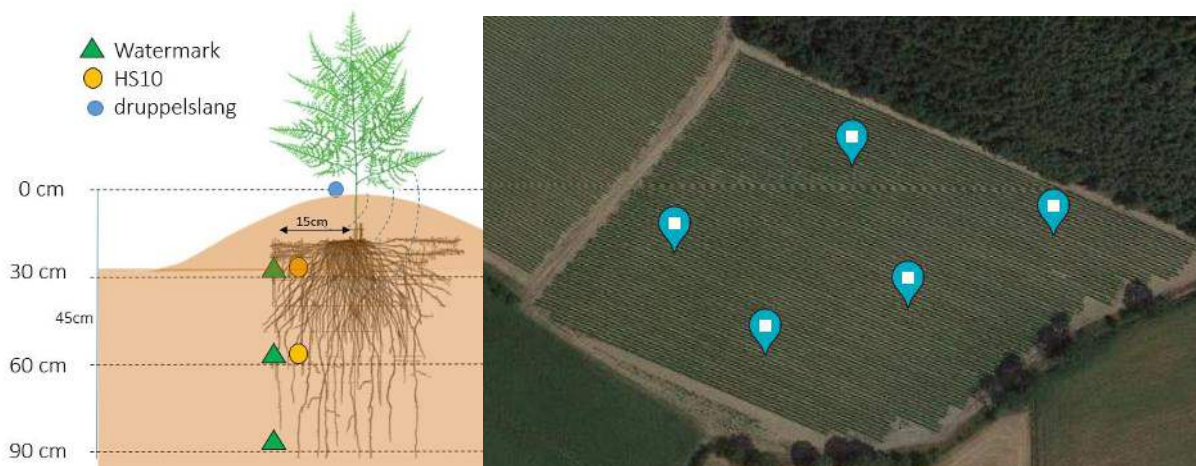
Het project Smart Growers werd gefinancierd binnen Interreg V Vlaanderen-Nederland, het grensoverschrijdend samenwerkingsprogramma met financiële steun van het Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling, VLAIO en de provincies Limburg, Antwerpen en Oost-Vlaanderen. De proeven op de demonstratiepercelen werden uitgevoerd in samenwerking met Hilde Tijskens, Landbouwbedrijf Henckens, Emile Goris, Teboza Productions BV, ADM Greentraders bvba, Blauwe bessen Schrijnwerkers bvba, Hortus Blueberry VOF en Blueberry Giant GmbH & Co. KG. Voor het testen van commercieel beschikbare sensorsystemen werd samengewerkt met de firma's Vantage Agrometius, Farm21, 2Grow, Crodeon en Wolky Tolky. De automatische aansturing van irrigatiesystemen werd gedemonstreerd in samenwerking met de firma's Crodeon, Diagro en AEM/Mereg. Het online dataplatform werd ontwikkeld in samenwerking met Thomas More Campus De Nayer.

## Bijlage 1. Resultaten demonstratieperceel 1 – Asperge, Peer (B)

Het aspergeperceel in Peer werd nieuw aangeplant in 2020. De ruggen zijn relatief hoog ( $\pm 40$  cm, zie Figuur B. 1) en de beregening gebeurt via druppelirrigatie aan de top van de rug. De rijafstand is 1,80 m. Vijf sensornodes werden gespreid over het perceel (zie Figuur B. 2). Per node waren er telkens 3 Watermarksensoren en 3 temperatuursensoren. Deze werden op 15 cm van de plantenrij geplaatst, op 30, 60 en 90 cm diepte onder de top van de rug. Daarnaast werden er twee 10HS-sensoren aangesloten op twee van de vijf nodes, op 30 en 60 cm diepte. Het netwerk was elk jaar operationeel van eind juni (na de oogst van de asperges) tot oktober/november wanneer het aspergeloof verwijderd werd. De sensornodes werden elk jaar in dezelfde zones teruggeplaatst. In 2022 werd beslist om de sensoren te verplaatsen naar 15 cm, 45 cm en 75 cm diepte, om beter te kunnen vergelijken met de standaard bodemvochtstaalnames op 0-30 cm, 30-60 cm en 60-90 cm.



Figuur B. 1. Installatie van de sensoren op het aspergeperceel te Peer.



Figuur B. 2. Plaatsing van de sensoren op het aspergeperceel te Peer in de diepte (links) en verspreid over het perceel (rechts).

### Evaluatie sensoren

#### Databeschikbaarheid

In 2020 was het sensornetwerk operationeel van 8/7/2020 tot 15/10/2020. Het grootste deel van deze periode werden er data geregistreerd van alle 5 de sensornodes. De 10HS-sensoren werden gedurende de hele periode correct uitgelezen. Het signaal van de Watermarks werd in het begin echter fout geregistreerd, waardoor er pas vanaf 25/08/2020 betrouwbare data beschikbaar zijn.

In 2021 was het netwerk operationeel van 2/7/2021 tot 6/10/2021 en werden goede data bekomen voor 4 sensornodes.

In 2022 werd het netwerk geïnstalleerd op 1/07/2022 en afgebroken op 15/10/2022. Alhoewel de gateway en de nodes op exact dezelfde locatie en afstand van mekaar geplaatst werden, was het signaal echter zeer slecht. Van 3 nodes kwam er sporadisch data binnen, maar onvoldoende voor een kwaliteitsvolle tijdsreeks. Er is geen oorzaak gevonden voor dit probleem met de communicatie. Bovendien waren er problemen bij de teler met het correct registreren van de irrigatiegiften. Hierdoor waren niet alle inputvariabelen voor het waterbalansmodel beschikbaar en kon deze geen correcte berekening uitvoeren. De resultaten van het waterbalansmodel in 2022 worden dan ook niet verder besproken.

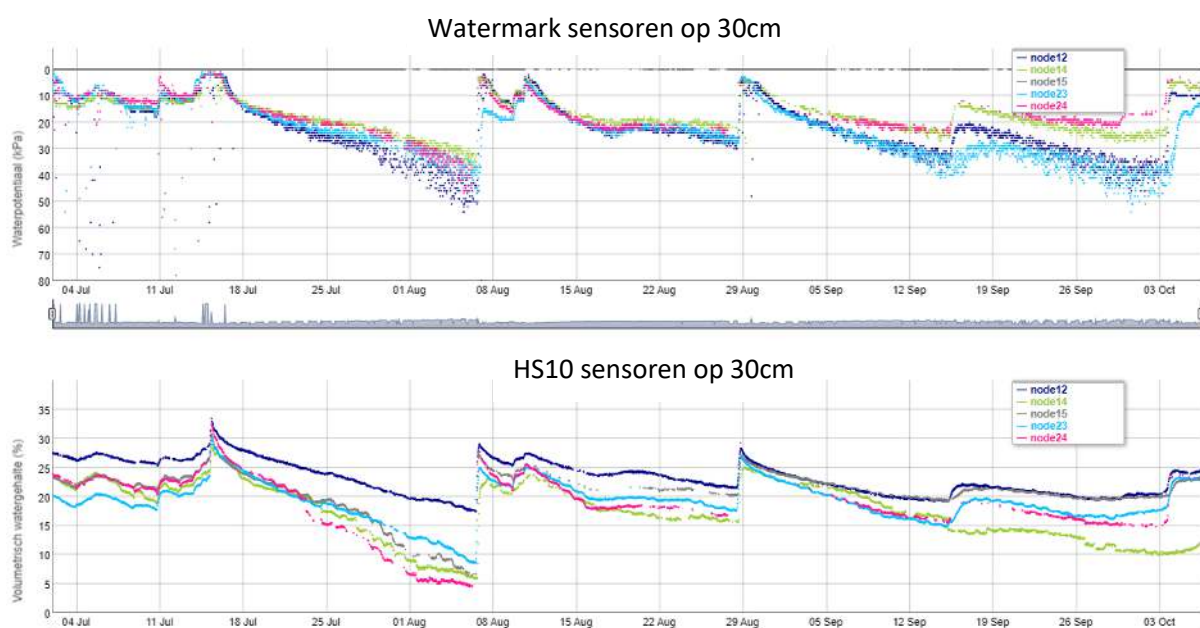
### Watermark- vs. 10HS-sensor

Alhoewel de vochtdynamiek gelijkaardig is voor beide types sensoren, zien we ook verschillen (Figuur B. 3). Zo vertoont het signaal van de Watermark iets meer ruis, en deze stijgt naarmate de bodem uitdroogt. De 10HS geeft zowel in droge als natte omstandigheden een nauwkeuriger signaal. Het signaal van de Watermark is echter robuuster en consistentere tussen de verschillende locaties.

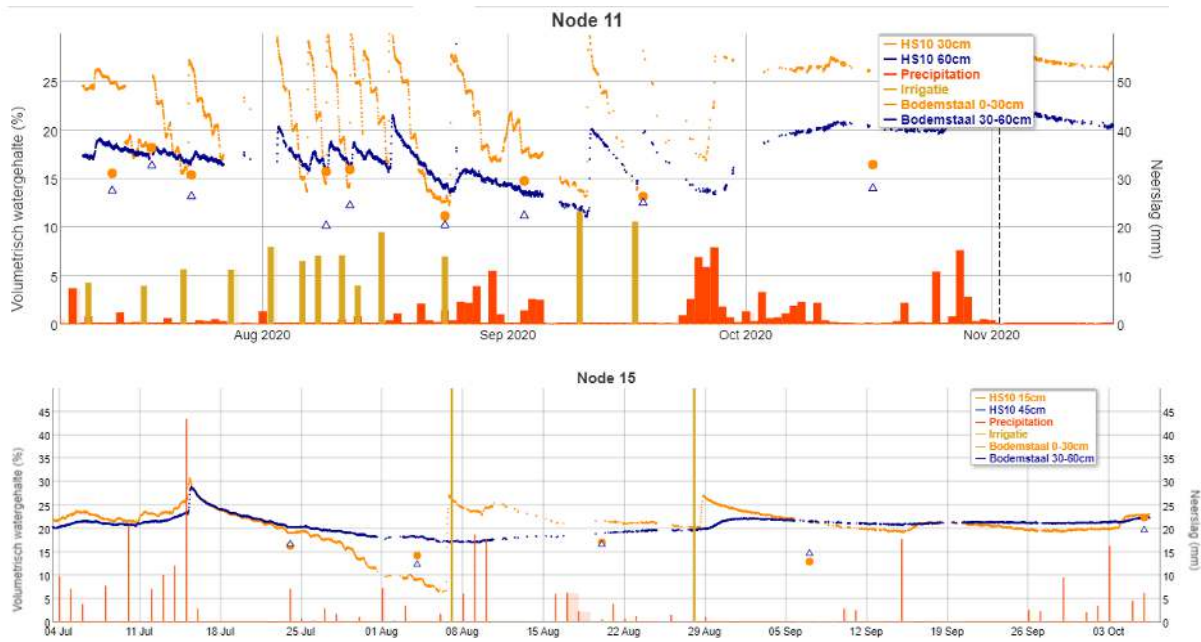
### 10HS-sensoren vs. bodemvochtstalen

De data van de 10HS-sensoren geven aan dat het bodemvochtgehalte in de 30 cm bodemlaag het snelste daalt en terug stijgt bij irrigatiegiften en neerslag (Figuur B. 4). De sensor op 60 cm toont dezelfde vochtdynamiek, maar minder uitgesproken en iets trager dan de bovenste bodemlaag.

Als de sensorwaarden vergeleken worden met het bodemvochtgehalte gemeten in bodemstalen zien we niet op elke locatie een éénduidig patroon. Bij node 11 (Figuur B. 4 bovenaan) komt de 30 cm sensor vrij goed overeen met de bodemstalen, terwijl de sensor geplaatst op 60 cm het bodemvochtgehalte systematisch lijkt te overschatten in vergelijking met de bodemstalen. Bij node 15 (Figuur B. 4 onderaan) is er dan weer nauwelijks een logisch patroon te vinden tussen de bodemvochtstalen en de sensorwaarden.



Figuur B. 3. Resultaten van de Watermarksensoren (boven) en 10HS-sensoren (onder) voor het aspergeperceel te Peer in 2021. De verschillende kleuren stellen de vijf sensornodes voor.



Figuur B. 4. Resultaten van de 10HS-sensoren, vergeleken met het bodemvochtgehalte gemeten d.m.v. bodemstalen, voor node 11 (boven) en node 15 (onder) op het aspergeperceel te Peer in 2021.

### Evaluatie irrigatieadviesmodel

Zowel voor 2020 als voor 2021 geeft het model een vrij goede simulatie van het bodemvocht in de wortelzone in vergelijking met de bodemvochtstalen (Figuur B. 5). Bij de staalname op 17/10/2020 is er een groot verschil tussen het gemeten en het gesimuleerde bodemvochtgehalte. Het gemeten bodemvochtgehalte lijkt hier niet correct en is mogelijks te wijten aan een fout bij staalname of verwerking in het labo. Bovendien gaven de bodemvochtsensoren aan dat het vochtgehalte vanaf oktober 2020 terug op veldcapaciteit was, wat wel overeenkomt met het model.

In 2022 werden de irrigatiegiften niet correct geregistreerd door de teler en kan het gesimuleerde bodemvochtgehalte niet worden vergeleken met het werkelijke bodemvochtgehalte.





Figuur B. 5. Simulatie van het bodemvocht in de wortelzone (blauw) vergeleken met bodemstalen (driehoekjes) voor het aspergeperceel te Peer in 2020 en 2021.

## Bijlage 2. Resultaten demonstratieperceel 2 – Asperge, Kinrooi (B)

Het aspergeperceel in Kinrooi wordt beregend via druppelirrigatie. Er zijn geen verhoogde ruggen rond de aspergeplanten (Figuur B. 6). De afstand tussen de rijen is 1,80 m. De opzet van het sensoretnetwerk is gelijkaardig aan het demonstratieperceel in Peer (Bijlage 1, Figuur B. 7).



Figuur B. 6. Het aspergeperceel in Kinrooi heeft geen verhoogde ruggen en wordt beregend met druppelirrigatie.



Figuur B. 7. Plaatsing van de sensoren op het aspergeperceel te Kinrooi in de diepte (links) en verspreid over het perceel (rechts).

## Evaluatie sensoren

### Databeschikbaarheid

In 2020 was het netwerk operationeel van 8/7/2020 tot 15/11/2020. Er was het grootste deel van de periode signaal tussen de nodes en de gateway. Het signaal van de Watermarks werd eerst fout geregistreerd, pas vanaf 25/08/2020 werden er betrouwbare data gemeten. Alle 5 geïnstalleerde nodes stuurden signalen door. In 2020 waren er geen 10HS-sensoren op het perceel in Kinrooi

In 2021 was het netwerk operationeel van 2/7/2021 tot 15/11/2021. Het netwerk heeft goede data opgeleverd voor 4 nodes, zowel voor 10HS als watermarks.

In 2022 werd het sensorennetwerk geïnstalleerd op 29/06/2022 en afgebroken op 15/11/2022. De batterijen van de nodes raakten echter snel leeg. Er is een goede tijdsreeks van 2 nodes tussen 29/06/2022 en 7/08/2022 van de watermark en 10-HS sensoren.

### Watermark- vs. 10HS-sensor

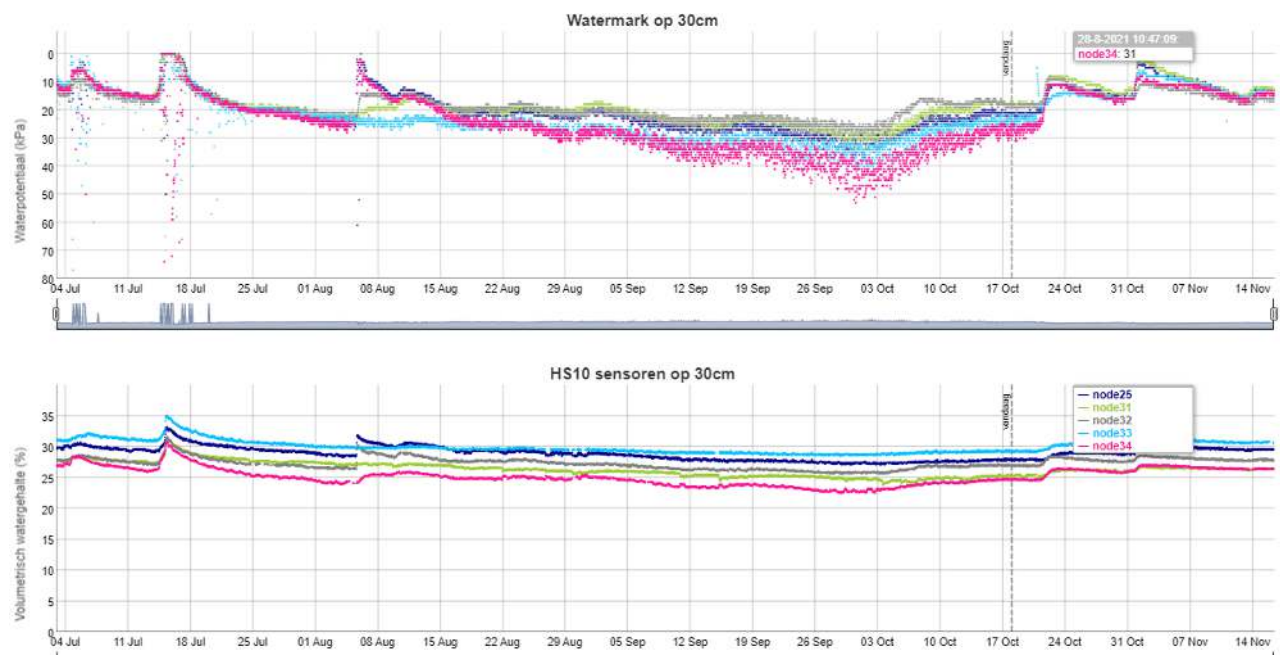
Net als voor het aspergeperceel te Peer (Bijlage 1) zijn de Watermarksensoren robuuster, maar vertonen ze meer ruis in vergelijking met de 10HS-sensoren (Figuur B. 8).

### 10HS-sensoren vs. bodemstalen

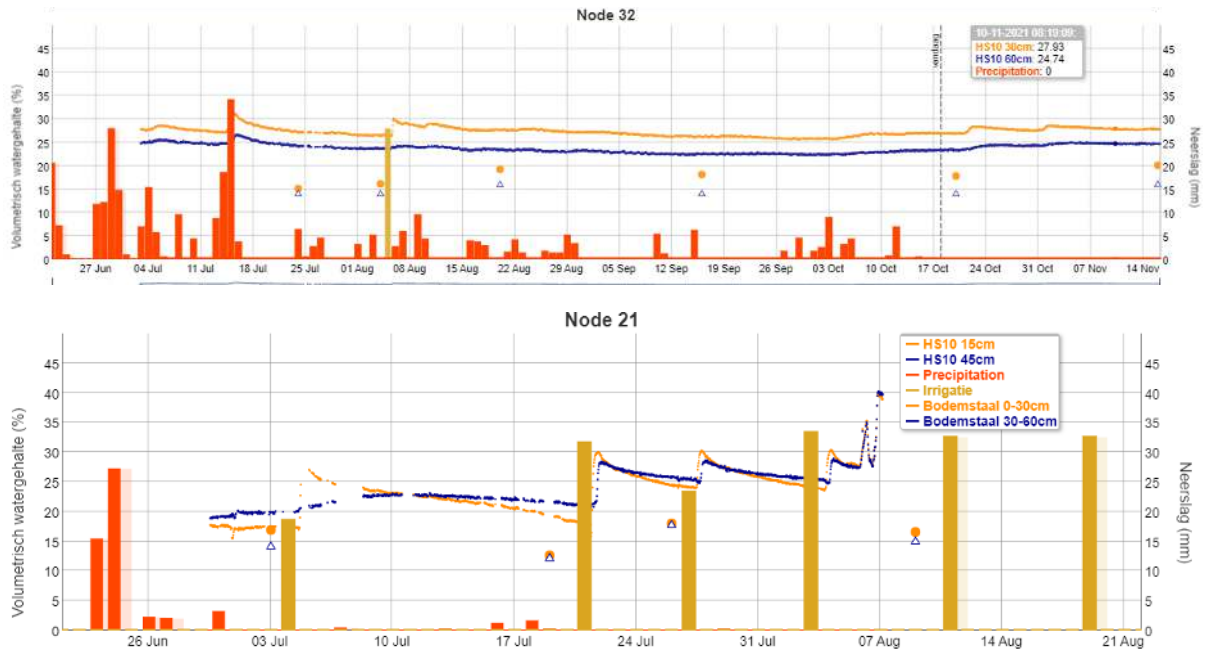
Zowel in 2021 als in 2022 overschatten de 10HS-sensoren het volumetrisch bodemvochtgehalte in vergelijking met het bodemvochtgehalte gemeten d.m.v. bodemstalen (Figuur B. 9). De 10HS-sensoren reageren zoals verwacht op regenbuien en irrigatiebeurten.

## Evaluatie irrigatieadviesmodel

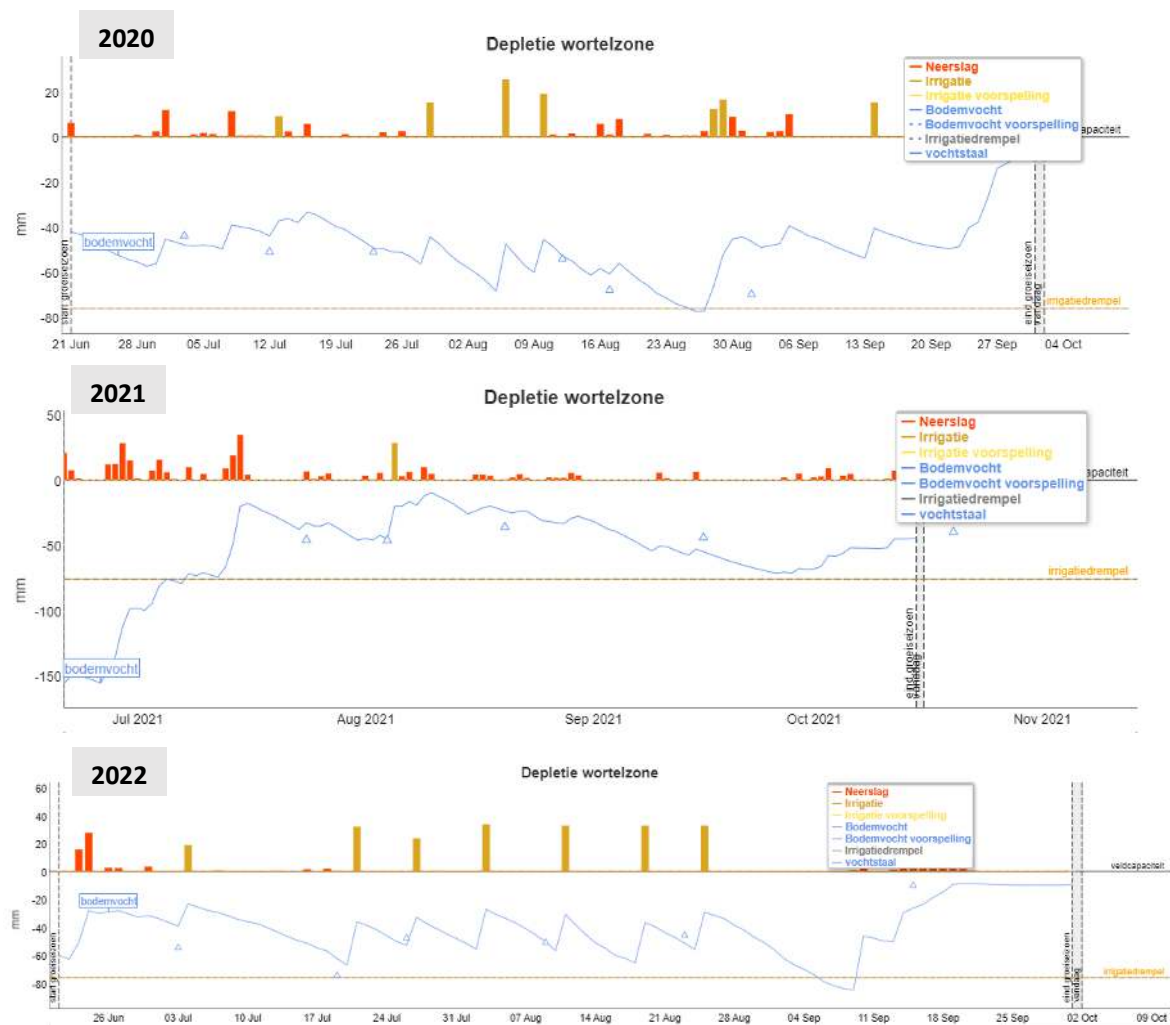
Voor de drie seizoenen 2020-2022 geeft het model een vrij goede simulatie van het bodemvocht in de wortelzone, vergeleken met de bodemvochtstalen (Figuur B. 10).



Figuur B. 8. Resultaten van de Watermarksensoren (boven) en 10HS-sensoren (onder) voor het aspergeperceel te Kinrooi in 2021. De verschillende kleuren stellen de vijf sensornodes voor.



Figuur B. 9. Resultaten van de 10HS-sensoren, vergeleken met het bodemvochtgehalte gemeten d.m.v. bodemstalen, voor node 32 (boven) en node 21 (onder) op het aspergeperceel te Kinrooi in 2021.



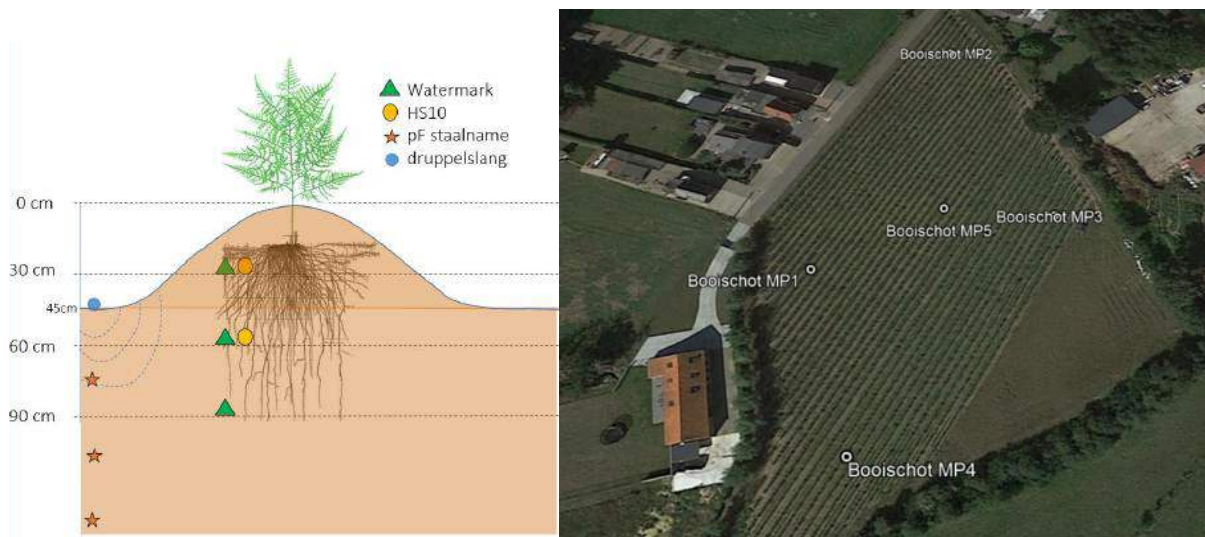
Figuur B. 10. Simulatie van het bodemvocht in de wortelzone (blauw) vergeleken met bodemstalen (driehoekjes) voor het aspergeperceel te Kinrooi in 2020, 2021 en 2022.

## Bijlage 3. Resultaten demonstratieperceel 3 – Asperge, Booischtot (B)

Op het aspergeperceel in Booischtot staan de planten op ruggen (Figuur B. 11). Het perceel wordt nauwelijks beregend omdat er geen goede beschikbare waterbron is in de buurt. Enkel in 2020 werden er een paar keer beregend. De druppelsslagen lagen toen niet op, maar tussen de ruggen. Dit demonstratieperceel is interessant om het model en de sensoren te observeren in (extreem) droge omstandigheden. De opzet van het sensornetwerk (Figuur B. 12) is gelijkaardig aan het demonstratieperceel te Peer (Bijlage 1). Aangezien de druppelsslagen tussen de rijen zijn geplaatst, liggen de sensoren verder van de watertoevoer en zullen ze minder snel reageren op de druppelirrigatie.



Figuur B. 11. Demonstratieperceel asperge te Booischtot.



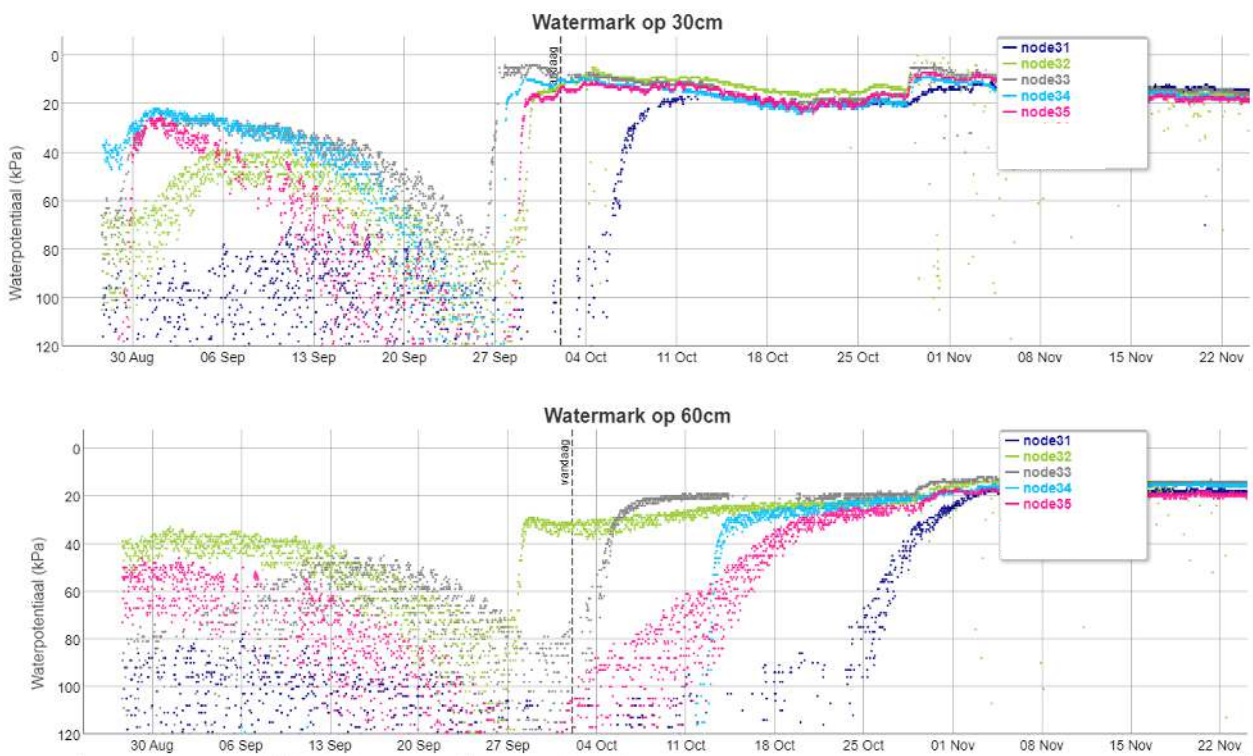
Figuur B. 12. Plaatsing van de sensoren op het aspergeperceel te Booischtot in de diepte (links) en verspreid over het perceel (rechts).

### Evaluatie sensoren

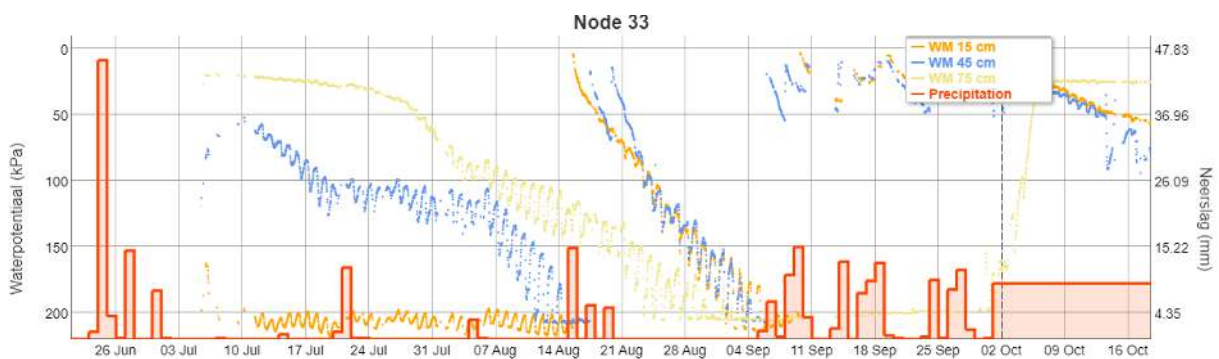
#### **Watermarksensoren**

Voor de watermarks zijn er slechts data vanaf eind augustus 2020. In droge omstandigheden is er heel veel ruis op het signaal (Figuur B. 13). Pas wanneer de regenbuien rond 26/09/2020 vallen en de bodem terug vochtiger wordt geven ze een eenduidiger signaal.

In Boischot werd er tijdens de droge zomer van 2022 niet beregend waardoor de vochtgehalten zeer laag waren. De watermark op 15 cm fluctueert begin juli al rond de 200 kPa (Figuur B. 14), wat op de grens van het meetbereik ligt voor de sensor. De sensoren op 45 cm en 75 cm drogen in de periode daarop stevig uit. Wat opvalt is dat de watermarks bij de neerslag van 15/08/2022 aanduiden dat de bodemlaag terug op veldcapaciteit is. De reactiviteit op die regenbui(en) in die periode lijkt nogal hevig. Dit doet ons vermoeden dat het water preferentieel langs de sensor heeft gevloeid en lokaal de bodem rond de sensor vochtiger heeft gemaakt. Daardoor meten de watermarks in de periode na 15/08/2022 een hoger bodemvochtgehalte dan de werkelijke toestand op het veld. Tot slot zien we ook dat er een sterke dag-nacht fluctuatie is bij de watermarks die waarschijnlijk door temperatuurverschillen wordt veroorzaakt. We kunnen hieruit besluiten dat Watermarksensoren niet ideaal zijn voor gebruik onder te droge omstandigheden.



Figuur B. 13. Resultaten van de Watermarksensoren op 30 cm (boven) en 60 cm (onder) voor het aspergeperceel te Boischot in 2020. De verschillende kleuren stellen de vijf sensornodes voor.



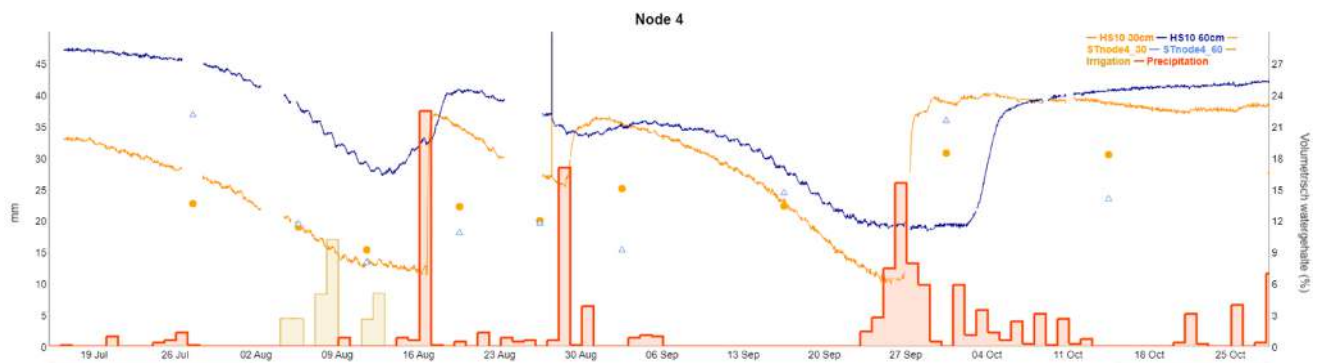
Figuur B. 14. Resultaten van de Watermarksensoren voor de verschillende bodemlagen op eenzelfde node voor het aspergeperceel te Boischot in 2022.

### 10HS-sensoren vs. bodemstalen

Uit de resultaten van de 10HS-sensoren zien we dat de 30 cm laag veel sneller uitdroogt in droge omstandigheden, maar ook sneller terug vochtig wordt bij de intense regenbuien op 16/08/2020, 28/08/2020 en 26/09/2020 (Figuur B. 15). De 60 cm laag volgt vertraagd hetzelfde patroon. De sensoren geven een gedetailleerde vochtdynamiek in droge omstandigheden.

Opmerkelijk is dat het bodemvochtgehalte op 60 cm begint te stijgen nog voor de regenbui van 18/08/2020 valt. Dit kan mogelijks verklaard worden door het effect van de irrigatiegiften van de dagen ervoor die dan in de 60 cm laag worden gedetecteerd. De bovenste sensor in de rug ligt hoger dan de druppelsslagen tussen de ruggen, waardoor de irrigatiegiften hier niet worden gedetecteerd.

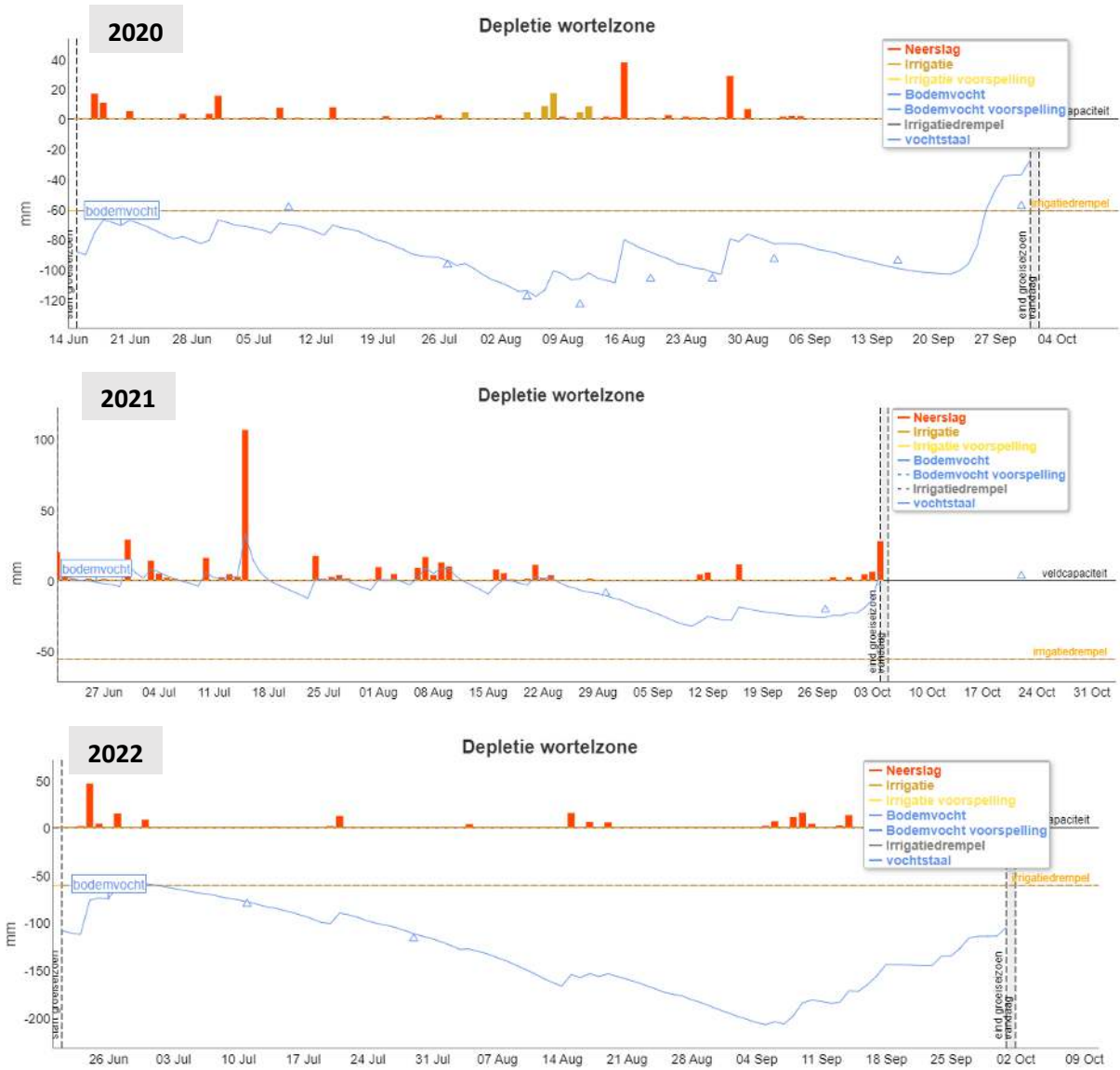
Zoals geobserveerd voor de aspergepercelen Peer (Bijlage 1) en Kinrooi (Bijlage 2), is er een duidelijke overschatting van het volumetrisch bodemvochtgehalte van de 10-HS sensoren in vergelijking met de bodemvochtstalen. De dynamiek van de vochtstalen volgt op sommige momenten niet de curve van de sensoren. Hier heeft er mogelijks inmenging van de 30 cm en 60 cm laag plaatsgevonden bij de staalname



Figuur B. 15. Resultaten van de 10HS-sensoren, vergeleken met het bodemvochtgehalte gemeten d.m.v. bodemstalen, voor node 4 op het aspergeperceel te Booischot in 2020.

### Evaluatie irrigatieadviesmodel

Voor de drie seizoenen 2020-2022 geeft het model een vrij goede simulatie van het bodemvocht in de wortelzone, vergeleken met de bodemvochtstalen (Figuur B. 16).

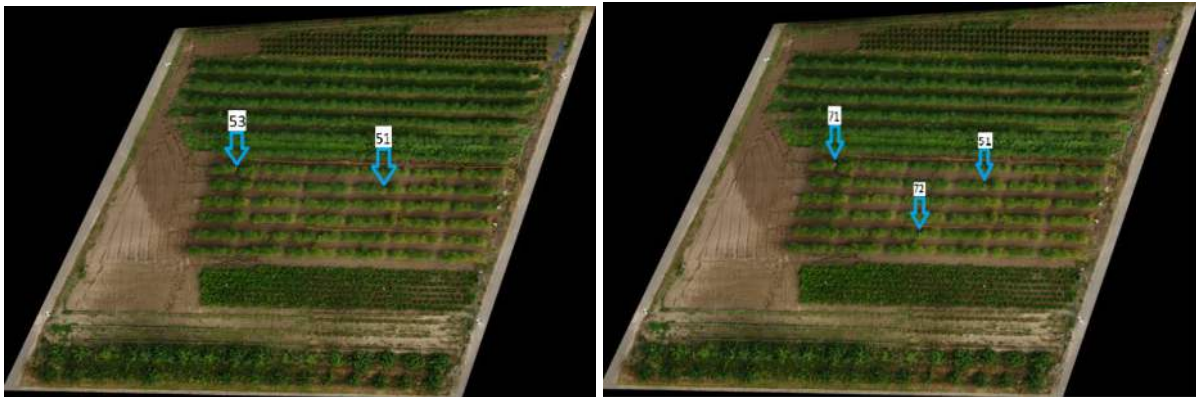


Figuur B. 16. Simulatie van het bodemvocht in de wortelzone (blauw) vergeleken met bodemstalen (driehoekjes) voor het aspergeperceel te Booschot in 2020, 2021 en 2022.



## Bijlage 4. Resultaten demonstratieperceel 4 – Asperge, Venlo (NL)

Op het aspergeperceel in Venlo staan de planten op ruggen. Het perceel wordt gering beregend omdat er in de buurt geen beschikbare waterbron ligt. In 2020 tot en met 2022 werden er slechts enkele beregeningsbeurten gegeven door middel van een sproeier. Dit demonstratieperceel is interessant om het model en de sensoren te observeren in droge omstandigheden. In 2021 en 2022 werden respectievelijk 2 of 3 sensornodes geïnstalleerd met op elke node drie Watermarksensoren (op 30, 60 en 90 cm diepte), en twee 10HS-sensoren (op 30 en 60 cm) op telkens 1 sensornode (Figuur B. 17). In 2022 werd beslist om de sensoren te verplaatsen naar 15 cm, 45 cm en 75 cm diepte, om beter te kunnen vergelijken met de standaard bodemvochtstaalnames op 0-30 cm, 30-60 cm en 60-90 cm.



Figuur B. 17. Plaatsing van de sensoren op het aspergeperceel te Venlo in 2021 (links) en 2022 (rechts). In 2021 werden node 51 en node 53 geïnstalleerd, in 2022 node 51, 71 en 72.

### Evaluatie sensoren

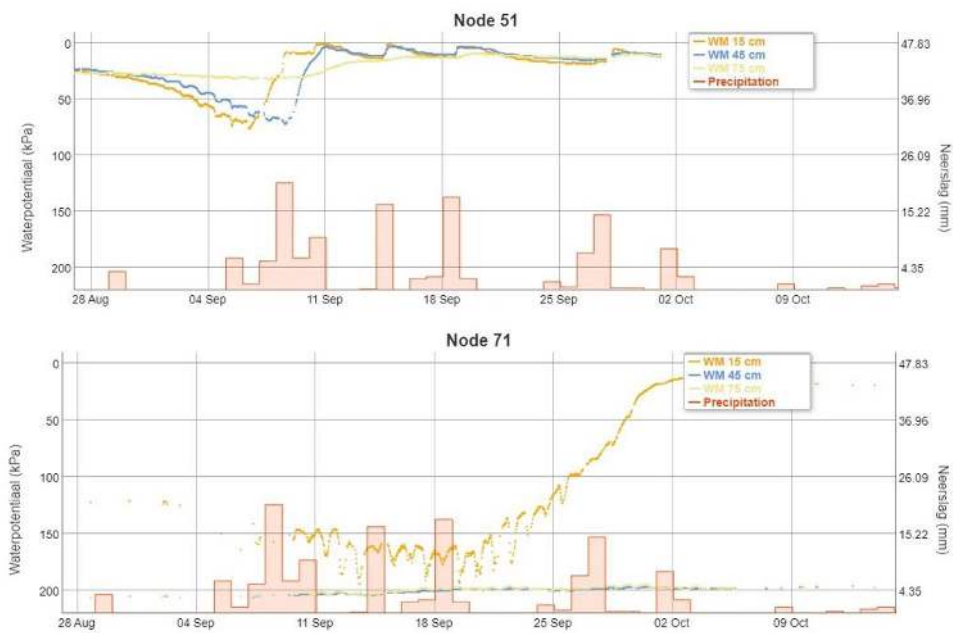
#### Databeschikbaarheid

Het netwerk werd geïnstalleerd op 5/5/2021 en stuurde data door van beide geïnstalleerde sensornodes. De aansluiting van 10HS-sensoren waren verkeerd aangesloten en de gipsblok in de watermark was sterk uitgedroogd, waardoor zowel Watermarks als de 10HS-sensoren onbetrouwbare resultaten gaven.

In 2022 werd het netwerk opnieuw geïnstalleerd op 21/6/2022. De aansluiting van 10HS-sensoren waren onstabiel aangesloten en de batterijen waren leeg, waardoor opnieuw de 10HS-sensoren van node 51 gedurende de volledige teeltperiode onbetrouwbare volumetrische bodemvochtgehalten gaven. De Watermarks van node 51 waren operationeel van 21/08/2022 t.e.m. 01/10/2022 en hebben goede data opgeleverd.

#### Watermarksensoren

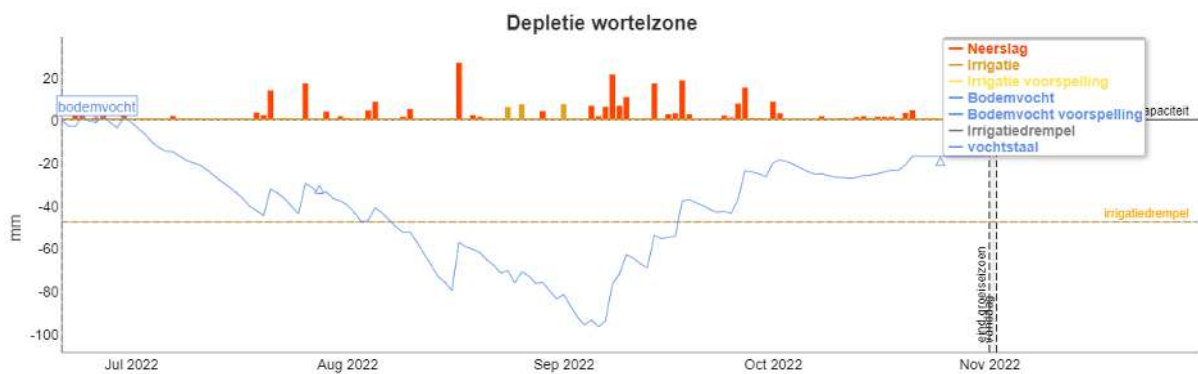
De droge zomer van 2022 en de kleine irrigatiebeurten zorgden op dit perceel voor zeer droge omstandigheden in de loop van augustus en september. De resultaten van de watermarksensoren op node 51 geven dit duidelijk weer, met waardes die tot 75 kPa zakken (Figuur B. 18). Na de regenbuien begin september zien we dat eerst de bodem op 15 cm diepte terug vochtiger wordt, gevolgd door 45 cm en daarna 75 cm diepte – zoals verwacht. De Watermarks op node 71 geven dan weer geen goed beeld. Hier zien we vermoedelijk hetzelfde voorkomen als in Boischot (Bijlage 3) in 2022, waarbij de vochtomstandigheden te droog zijn voor de watermark om goede signalen weer te geven. In te droge omstandigheden kunnen de Watermarksensoren dus falen om de bodemvochttoestand goed weer te geven.



Figuur B. 18. Resultaten van de Watermarksensoren voor node 51 (boven) en node (71) (onder) voor het aspergeperceel te Venlo in 2022.

### Evaluatie irrigatieadviesmodel

De twee vochtstalen op 28/7/2022 en 25/10/2022 komen goed overeen met het gesimuleerde bodemvocht in de wortelzone (Figuur B. 19). Het model toont duidelijk aan dat er droogtestress was. Zo zakte het bodemvocht begin augustus onder de kritische interventiedrempel. Ondanks de irrigatiegiften eind augustus – begin september bleef het bodemvochtgehalte ook in de loop van september heel laag.

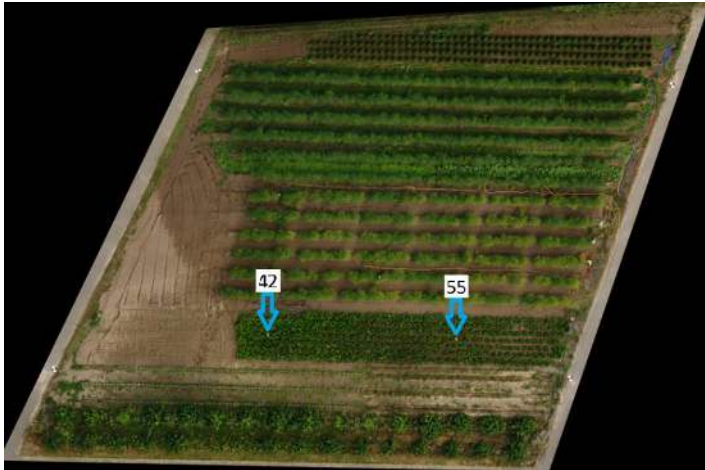


Figuur B. 19. Simulatie van het bodemvocht in de wortelzone (blauw) vergeleken met bodemstalen (driehoekjes) voor het aspergeperceel te Venlo in 2022.

## Bijlage 5. Resultaten demonstratieperceel 5 – Prunus, Venlo (NL)

### Beschrijving perceel

Op het perceel in Venlo staat *Prunus laurocerasus* 'Rotundifolia', vlak naast de asperges. De context is volledig gelijkaardig aan de beschrijving in 4.4. In 2021 en 2022 werden 2 sensornodes geplaatst (Figuur B. 20) met elk drie Watermarksensoren (op 30, 60 en 90 cm diepte). Op node 42 werden daarnaast ook twee 10-HS sensoren aangesloten (op 30 en 60 cm diepte). In 2022 werd beslist om de sensoren te verplaatsen naar 15 cm, 45 cm en 75 cm diepte, om beter te kunnen vergelijken met de standaard bodemvochtstaalnames op 0-30 cm, 30-60 cm en 60-90 cm.



Figuur B. 20. Plaatsing van de sensoren op het prunusperceel te Venlo.

### Evaluatie sensoren

#### **Databeschikbaarheid**

Het netwerk werd geïnstalleerd op 5/5/2021 en stuurde data door van beide geïnstalleerde sensornodes. De 10HS-sensoren waren verkeerd aangesloten en de gipsblok in de watermark was sterk uitgedroogd, waardoor zowel de Watermarks als de 10HS-sensoren onbetrouwbare resultaten gaven.

In 2022 werd het netwerk opnieuw geïnstalleerd op 21/6/2022. Op 16/8/2022 werden de batterijen van de sensornodes vervangen. Er zijn data beschikbaar van de Watermarks van 16/08/2022 t.e.m. 17/10/22, maar gaven echter onbetrouwbare resultaten. Er zijn wel goede data beschikbaar voor de 10HS-sensoren van node 42 16/08/2022 t.e.m. 8/10/2022.

#### **10HS-sensoren**

In de resultaten van de 10HS-sensoren zien we een duidelijke stijging van het bodemvochtgehalte na regenbuien. Deze stijging is het sterkst op 15 cm en met een kleine vertraging ook te zien is op 45 cm (Figuur B. 21).

Op 28/7/2022 en 25/10/2022 werden er bodemstalen genomen voor bepaling van het volumetrisch bodemvochtgehalte. Omdat er voor deze periodes geen data beschikbaar zijn van de 10HS-sensoren kunnen deze echter niet met elkaar vergeleken worden.



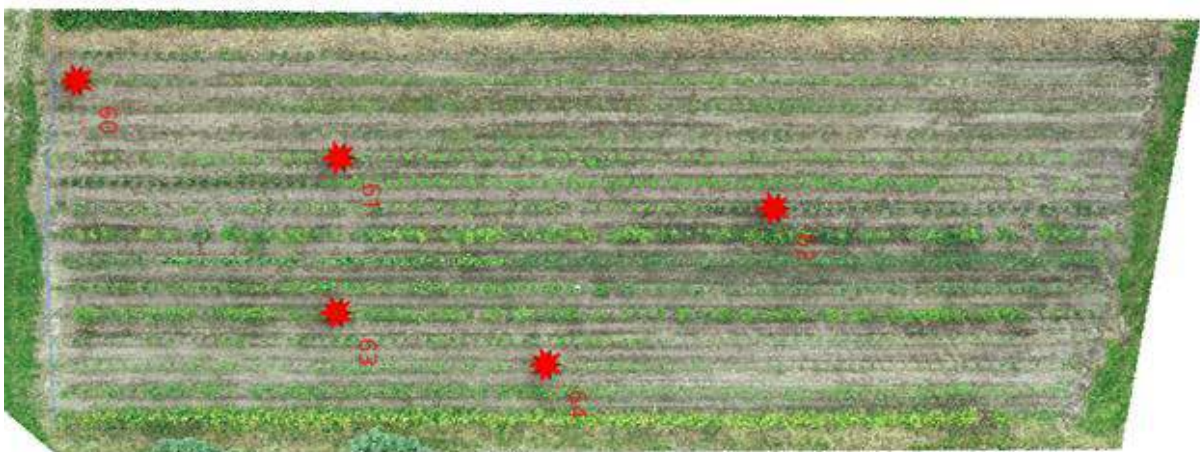
Figuur B. 21. Resultaten van de 10HS-sensoren voor node 42 op het prunusperceel te Venlo in 2022. De twee sensoren werden omgewisseld: blauw = 15 cm diepte, oranje = 45 cm diepte.

## Bijlage 6. Resultaten demonstratieperceel 6 – Laanbomen, Zele (B)

Het laanbomenperceel bij ADM Greentraders bvba (Zele, België) bestaat uit 0,2 hectare en is verdeeld over 15 rijen van verschillende boomsoorten. De plant- en rijafstand zijn 90 x 180 cm (Figuur B. 22). Irrigatie wordt toegediend via een druppelleiding die wordt aangesloten aan een tankwagen. Vier sensornodes werden gespreid over het perceel (Figuur B. 23). Per node zijn er telkens twee watermarks, één temperatuur sensor, twee 10HS-sensoren en één TEROS-12-sensor aangesloten. De sensoren werden tussen de laanbomen geplaatst op 30 cm en 60 cm diepte. De TEROS-12 en temperatuursensor werden enkel geplaatst op 30 cm. Het doel van het netwerk was operationeel te zijn van september 2020 tot mei 2022 met een focus op de zomermaanden. In het voorjaar 2022 werd beslist om de sensoren van 30 en 60 cm diepte te verplaatsen naar respectievelijk 15 en 45 cm om beter te kunnen vergelijken met de standaard bodemvochtstaalnames op 0-30 cm en 30-60 cm. In mei 2022 werden de sensoren verplaatst naar een proefveld van PCS om het aansturen van een automatische kraan te demonstreren.



Figuur B. 22. Het laanbomen perceel te Zele.



Figuur B. 23. Plaatsing van de sensoren op het laanbomenperceel te Zele.

## Evaluatie sensoren

### **Databeschikbaarheid**

In 2020 was het netwerk enkel operationeel van 17/09/2020 tot 24/09/2020 en van 17/11/2020 tot 08/12/2020. In deze periode was er een goed signaal tussen de nodes en de gateway. Alle sensornodes stuurden data door en het signaal van de Watermarks was betrouwbaar. Eén van de 10HS-sensoren leek defect te zijn. Deze stuurde namelijk over de hele drie jaar geen meetwaarden door. Voor de TEROS-12-sensoren zijn er in 2020 enkel data van node 64.

In 2021 was het netwerk operationeel van 12/03/2021 tot 01/04/2021 en van 04/06/2021 tot 11/12/2021. Het netwerk heeft goede data opgeleverd voor 4 nodes met enkele uitzonderingen. De watermark op 60 cm diepte aangesloten op node 62 gaf in deze periode nooit een betrouwbaar signaal (ook niet in 2022). De TEROS-12-sensoren gaven alle 4 goede data vanaf 29/06/2021.

In 2022 was het netwerk actief van 11/03/2022 tot 30/05/2022. Node 61 gaf een goed signaal vanaf 06/04/2022 met uitzondering de Watermarksensor op 60 cm diepte. Voor de 10HS-sensoren zijn er enkel data van nodes 62 en 64.

### **Watermarksensoren**

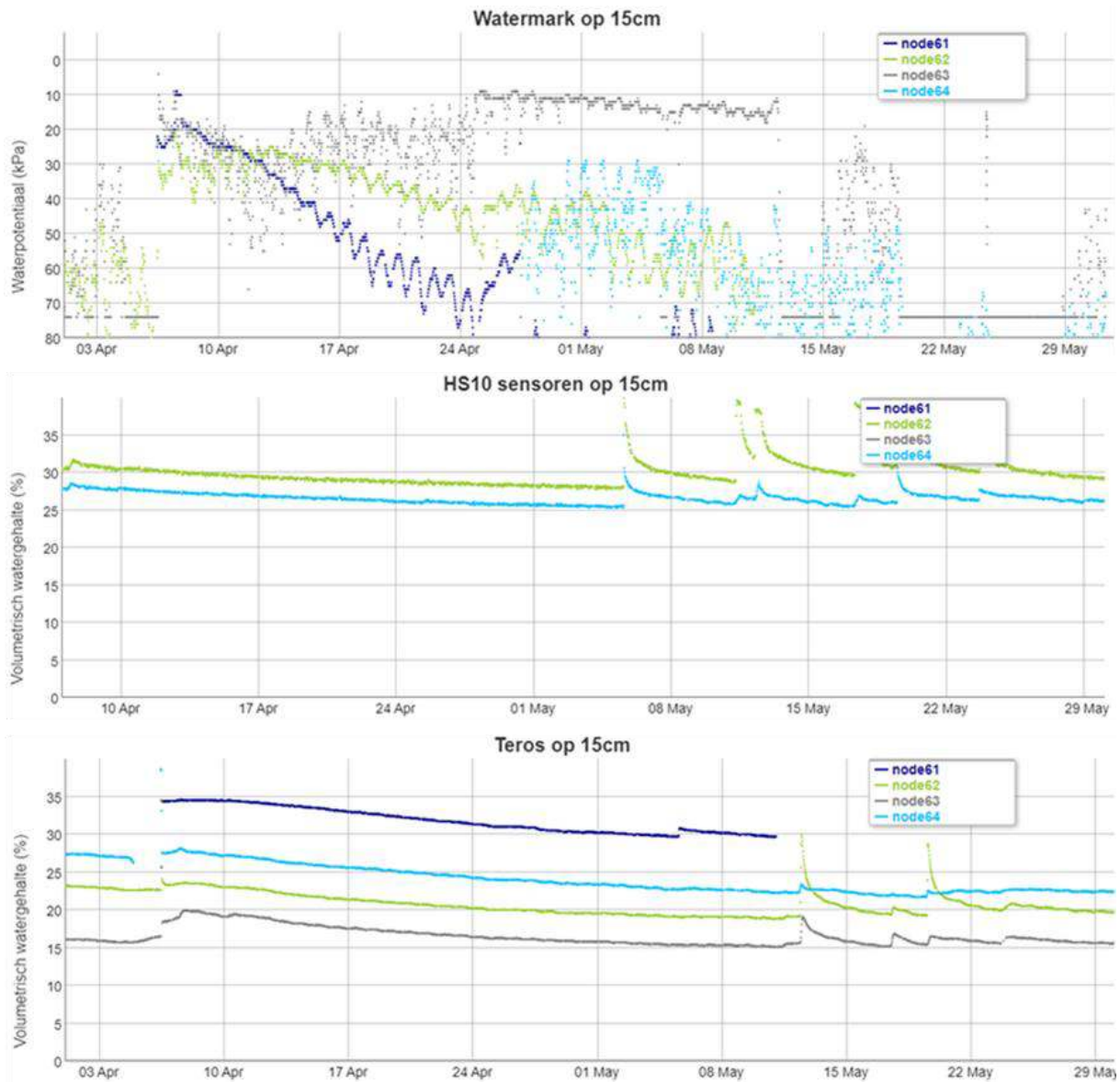
Door de grote hoeveelheid ruis op de data van de Watermarksensoren blijken deze data niet bruikbaar (Figuur B. 24).

### **10HS- en TEROS-12-sensoren vs. bodemstalen**

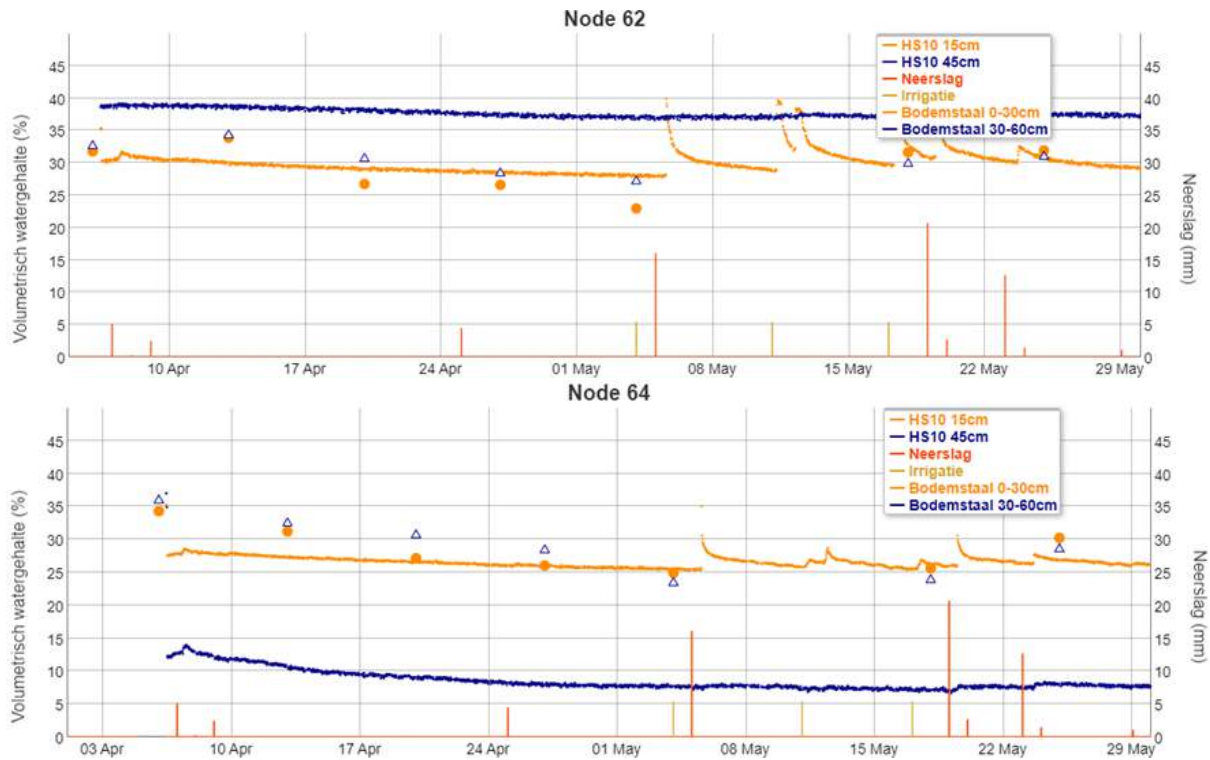
De resultaten van de 10HS- en TEROS-12-sensoren volgen wel een logisch verloop, onafhankelijk van de vochtomstandigheden (droog vs. nat), met weinig vochtschommelingen en kortstondige pieken bij regenbuien (Figuur B. 24). De vochttoestand waarrond het schommelt zou de velcapaciteit van de bodem moeten voorstellen. Voor beide types sensoren valt op dat het vochtgehalte van veldcapaciteit sterk verschilt tussen de sensoren/locaties. Of deze verschillen te wijten zijn aan ruimtelijke variatie door verschillen in bodemtype of de boomsoort die erop geplant werd is hier moeilijk te achterhalen. De sensordata zijn daarom vooral zinvol om de vochtdynamiek in de bodem op te volgen. Om het absolute vochtgehalte te bepalen is het echter aangewezen om de sensordata te kalibreren a.d.h.v. bodemstalen.

Wanneer we het volumetrisch bodemvochtgehalte gemeten door de 10HS-sensoren vergelijken met het bodemvochtgehalte gemeten in bodemstalen, dan zien we een goede overeenkomst op 15 cm (Figuur B. 25). Voor de sensoren op 45 cm zien we echter een respectievelijke over- en onderschatting van het bodemvochtgehalte voor sensornodes 62 en 64.

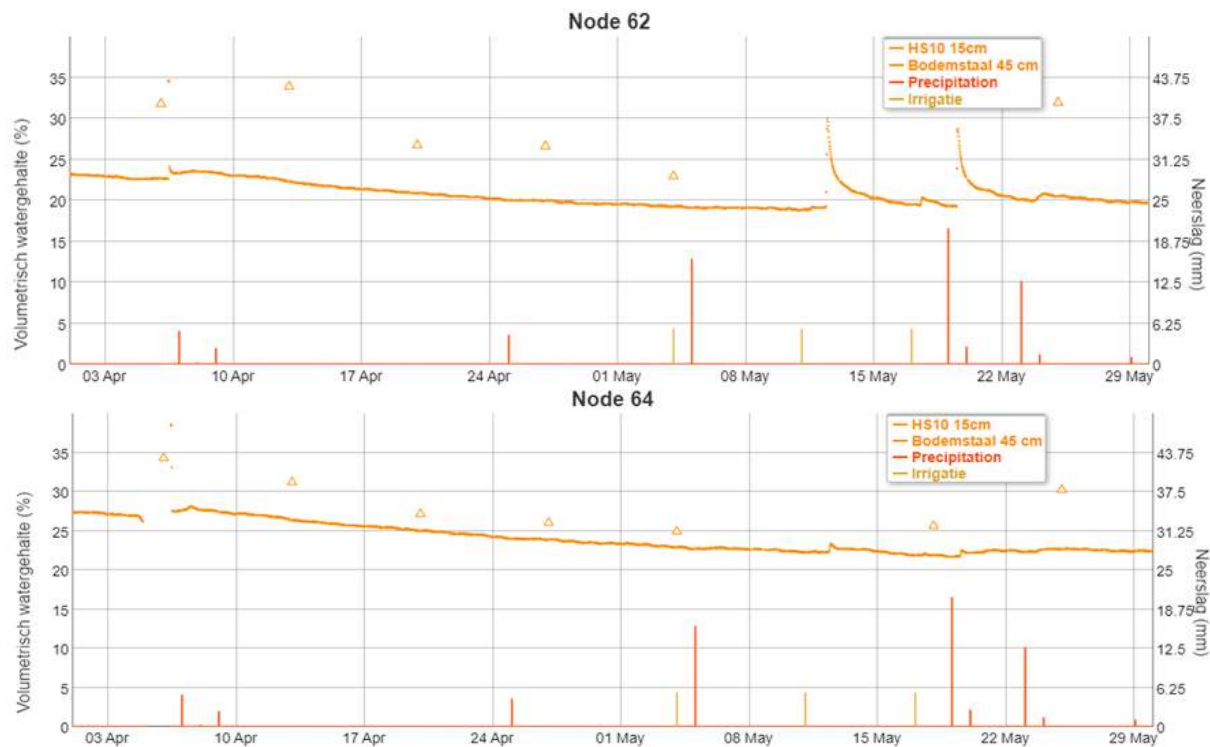
Voor de TEROS-12-sensoren zien we daarentegen een systematische onderschatting van het bodemvochtgehalte gemeten in bodemstalen (Figuur B. 26).



Figuur B. 24. Resultaten van de Watermarksensoren (boven), de 10HS-sensoren (midden) en de TEROS-12-sensoren (onder) op 15 cm diepte voor het laanbomenperceel te Zele in 2022. De verschillende kleuren stellen de vier sensornodes voor.



Figuur B. 25. Resultaten van de 10HS-sensoren, vergeleken met het bodemvochtgehalte gemeten d.m.v. bodemstalen, voor node 62 (boven) en node 64 (onder) op het laanbomenperceel te Zele in 2022.

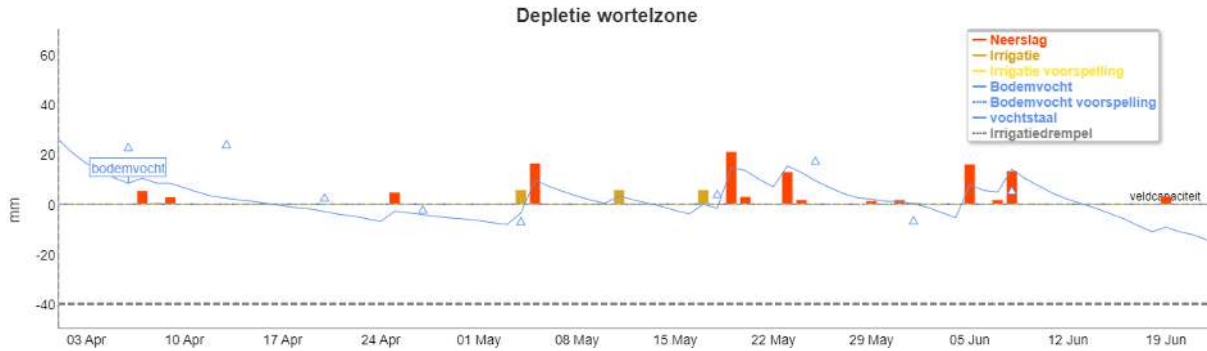


Figuur B. 26. Resultaten van de TEROS-12-sensoren, vergeleken met het bodemvochtgehalte gemeten d.m.v. bodemstalen, voor node 62 (boven) en node 64 (onder) op het laanbomenperceel te Zele in 2022.



### Evaluatie irrigatieadviesmodel

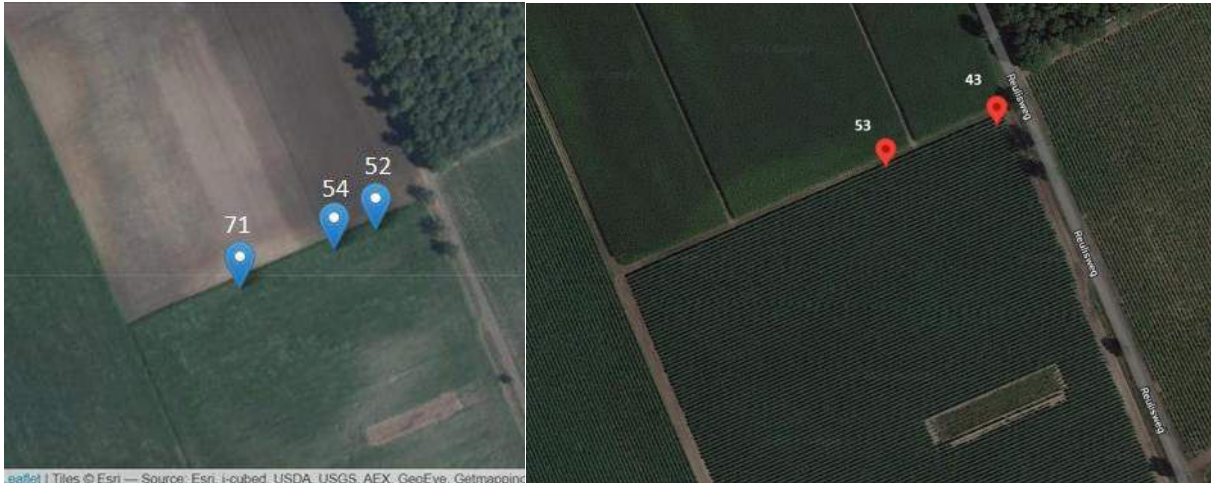
Voor het voorjaar van 2022 kunnen we de simulaties van het irrigatiemodel vergelijken met een reeks wekelijkse bodemvochtstalen (Figuur B. 27). Het valt op dat de meeste vochtstalen aanduiden dat het bodemvochtgehalte boven veldcapaciteit zit in die periode. Het model bevestigt deze vochtige omstandigheden en komt vrij goed overeen met de meetwaarden.



Figuur B. 27. Simulatie van het bodemvocht in de wortelzone (blauw) vergeleken met bodemstalen (driehoekjes) voor het laanbomenperceel te Zele in 2022.

## Bijlage 7. Resultaten demonstratieperceel 7 – Asperge, Leveroy (NL)

Op het demoperceel in Leveroy liggen de aspergeplanten op ruggen. Het perceel werd met druppelirrigatie geïrrigeerd gedurende de projectperiode. In 2021 en 2022 werden respectievelijk 2 of 3 sensornodes geïnstalleerd (Figuur B. 28) met op elke node drie Watermarksensoren (op 30, 60 en 90 cm diepte), en twee 10HS-sensoren (op 30 en 60 cm) op telkens 1 sensornode.



Figuur B. 28. Plaatsing van de sensoren op het aspergeperceel te Leveroy in 2021 (links) en 2022 (rechts). In 2021 werden node nodes 52, 54 en 71 geïnstalleerd, in 2022 nodes 53 en 43.

### Evaluatie sensoren

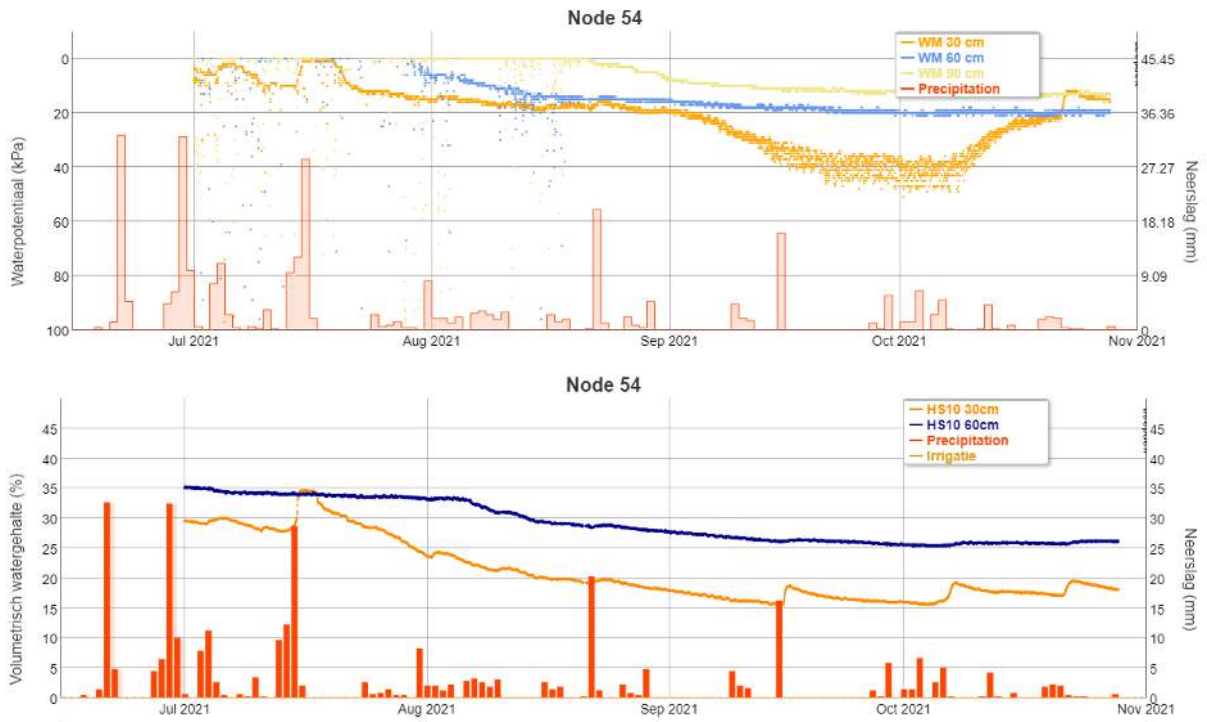
#### **Databeschikbaarheid**

In 2021 werd het netwerk geïnstalleerd op 29/06/2021. Het netwerk stuurde data door van alle drie de geïnstalleerde nodes. Zowel voor de 10HS- als de Watermarksensoren zijn er goede datareeksen beschikbaar voor de relevante teeltperiode.

In 2022 werd het netwerk geïnstalleerd op 29/06/2022. Voor beide sensornodes zijn er echter nauwelijks data beschikbaar. Dit is mogelijk te wijten aan een slechte verbinding tussen de gateway en de sensornodes.

#### **Watermark- vs. 10HS-sensor**

De maand juli 2021 was uitzonderlijk nat. Alle Watermarksensoren duiden in deze periode waarden tussen 0 en 10 kPa aan, wat op verzadiging van de bodem wijst (Figuur B. 29). Vanaf augustus tonen de sensoren op 30 cm een snellere uitdroging in de bovenste laag, terwijl de bodem op 60 cm en 90 cm vrij vochtig blijft gedurende de rest van het seizoen. Deze trend zien we bij zowel de watermark als de 10HS-sensor. De 10HS-sensor is sensitiever voor neerslag, terwijl de watermark vertraagd reageert.



Figuur B. 29. Resultaten van de Watermarksensoren (boven) en de 10HS-sensoren (onder) voor het aspergeperceel te Leveroy in 2021. De verschillende kleuren stellen de vier sensornodes voor.

## Bijlage 8. Resultaten demonstratieperceel 8 - Blauwe bes, Oudsbergen (B)

Het perceel bij Blauwe bessen Schrijnwerkers bestaat uit 16 ha aaneengesloten blauwe bessen in substraatrug (Figuur B. 30) van verschillende variëteiten en plantdata verdeeld over 10 irrigatieblokken (Figuur B. 31). Irrigatie wordt gepulst toegediend via een druppelleiding als meerdere irrigatiebeurten per dag (van 3 of 5 min aan 9.8 l/m.u) op basis van de zonnestraling gemeten door een weerstation op het bedrijf. De planten groeien in een substraatrug van witveen en 'bosveen' (bij natuurbeheer afgeschraapte toplaag bosbodem). De wortels groeien enkel in de substraatrug, niet tot in de onderliggende (zand)bodem (Figuur B. 32). Het grondwaterpeil in de peilbuizen bevond zich ook in de zeer natte zomer van 2021 steeds op 2 m of dieper onder het maaiveld.

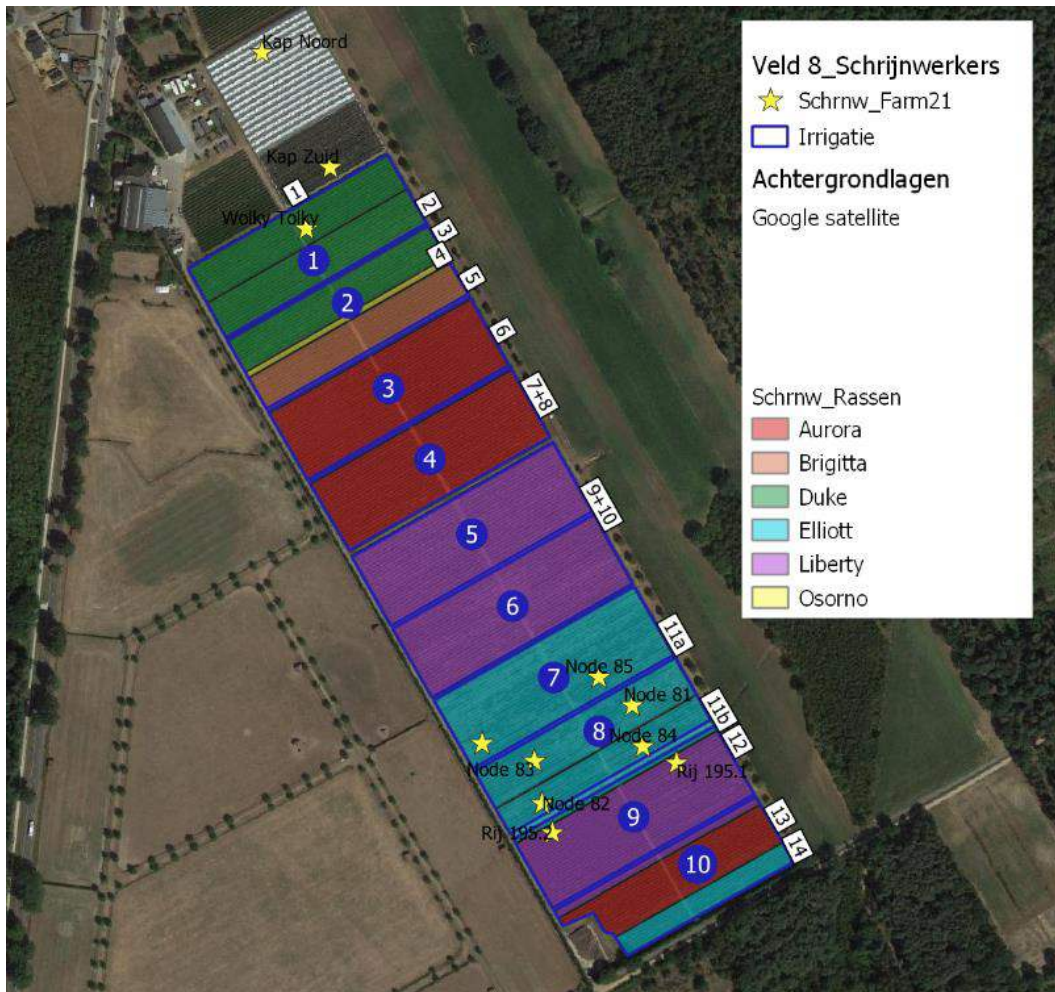
Er werden in totaal 6 sensornodes geplaatst. Op elke sensornode werden 2 watermarks en 1 TEROS-12-sensor aangesloten. Bijkomend werden drie nodes (81, 83 en 86) voorzien van één 10HS-sensor en twee nodes (81 en 83) van een dendrometer op een hoofdtak van een blauwe bessenstruik. In 2020 werden de bodemvochtsensoren geplaatst op 50 en 100 cm diepte onder de top van de substraatrug, maar deze diepte bleek niet relevant voor wateropname (geen wortels tot op deze diepte). Daarom werden vanaf 2021 alle bodemsensoren in het substraat geplaatst ( $\pm 30$  cm diepte).

In 2020 en 2021 werden de nodes geplaatst in irrigatieblokken 7 en 8 (variëteit 'Elliott', Figuur B. 31). Het doel was om vast te stellen of de heterogene plantenontwikkeling in deze zone te maken heeft met lokaal te natte omstandigheden, veroorzaakt door variatie in de natuurlijke bodem onder de substraatrug (Figuur B. 33). Er was echter geen duidelijke link tussen de watertoestand van de substraatrug gemeten door de sensoren en de variatie in de ondergrond. Ook in de zones met de hoogste EC bleef het grondwater minstens 2 m onder het maaiveld in de zeer natte zomer van 2021. De verschillen in plantenontwikkeling bleken uiteindelijk niet gerelateerd met de natuurlijke bodem in deze zone, maar wel met vraatschade (knaagdieren en/of insecten) in de substraatrug.

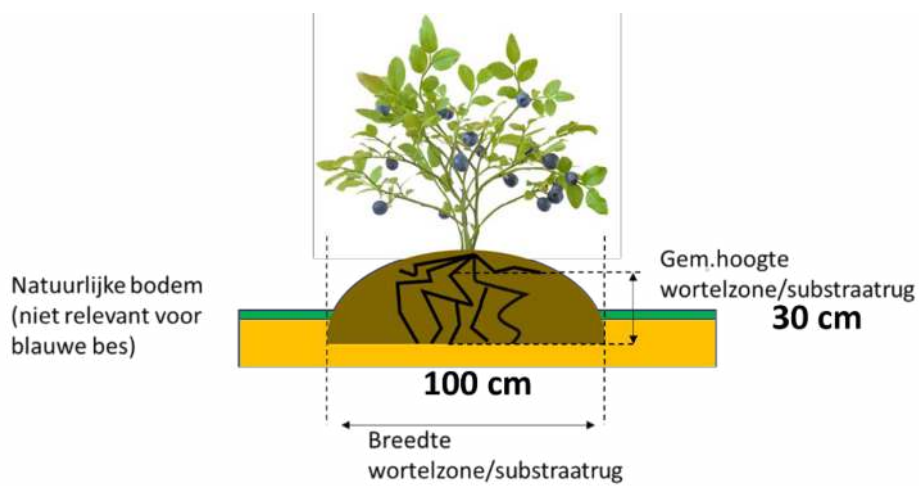
In 2022 werden de sensornodes verplaatst om ingezet te worden voor de evaluatie van het irrigatieadviesmodel in cultivar 'Aurora'.



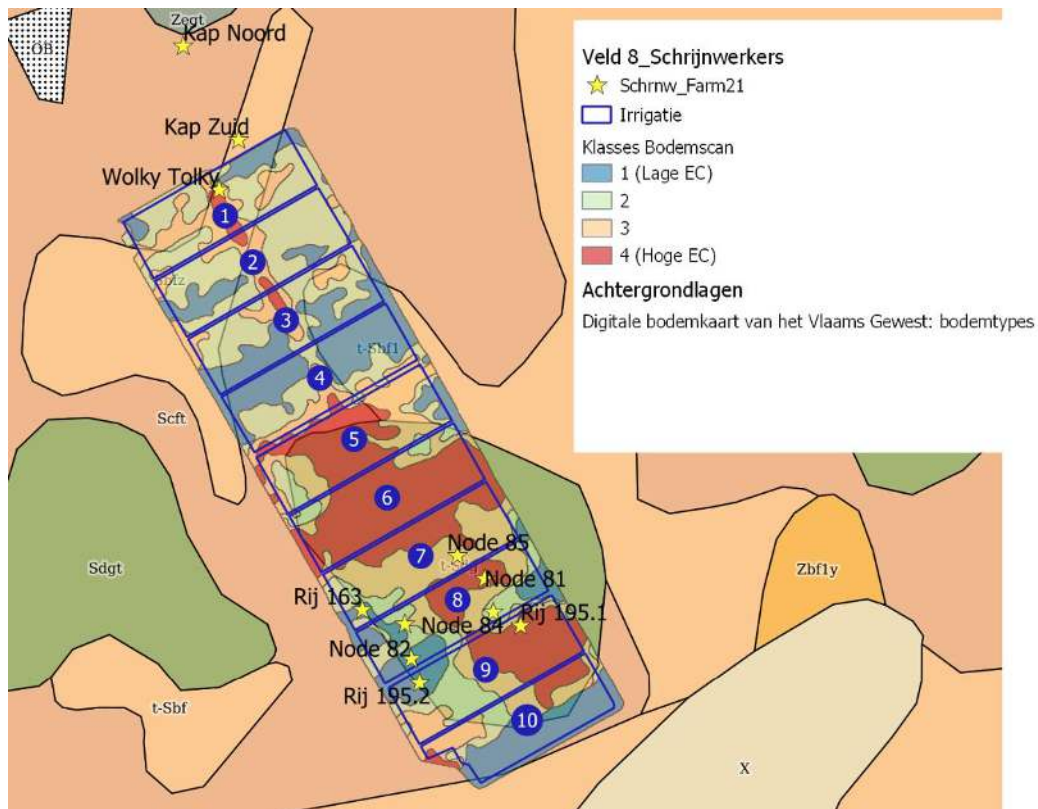
Figuur B. 30. Blauwe bes 'Aurora' in substraatrug op het blauwe bessenperceel te Oudsbergen.



Figuur B. 31. Verdeling van Irrigatieblokken en variëteiten op het blauwe bessenperceel te Oudsbergen. De locaties van de sensornodes en Farm21-Sensoren in 2020 en 2021 worden aangeduid als sterren.



Figuur B. 32. Schematische voorstelling van de substraatrug op het blauwe bessenperceel te Oudsbergen.



Figuur B. 33. Vergelijking tussen de bodemscan (Soilmasters) en de bodemkaart van Vlaanderen (Geopunt) voor het blauwe bessenperceel te Oudsbergen. Deze zones van de bodemscan komen ruwweg overeen met de bodemkaart. De zones met hoge EC (rood) bevinden zich middenin een zone “t-Sdg” (Matig natte lemig zandbodem, groen). Zones met lage EC bevinden zich meer naar de rand van de t-Sdg zone op de bodemkaart of in de oranje zones “Scft”/”t-Sbf1” (Matig droge / droge lemige zandbodem).

Behalve de sensornodes werden op dit perceel ook andere, commercieel beschikbare sensorsystemen getest:

- Wolky Tolky weerstation met drie Watermarksensoren en één Decagon 5TE-sensor voor meting van het volumetrisch bodemvochtgehalte
- 10 Farm21-sensoren. Deze meten het volumetrisch bodemvochtgehalte op 10, 20 en 30 cm diepte onder de top van de substraatrug.
- Geobas: twee Watermarksensoren en één Decagon 5TE-sensor
- 2 Crodeon Reporters met elk 6 Watermarksensoren
- 2Grow: één stamdiameter (dendrometer)- en sapstroomsensor

## Evaluatie sensoren

### Databeschikbaarheid

Het sensornetwerk werd geplaatst op 18/06/2020. In 2020 waren er echter veel problemen met de connectiviteit en defecten aan de nodes en gateway waardoor de beschikbare data beperkt zijn tot enkele korte periodes tussen 07/08/2020 en 17/11/2020.

Ook voor het voorjaar 2021 zijn er slechts beperkte sensordata beschikbaar. Enkel vanaf 28/06/2021, na vervangen van de batterijen van de senornodes zijn er goede datareeksen beschikbaar.

Hoewel alle 6 nodes bij de start van het seizoen 2022 (26/04) van nieuwe batterijen werden voorzien, waren deze batterijen na resp. 2 maanden (2 nodes), 4 maanden (2 nodes) en 5-6 maanden (2 nodes)

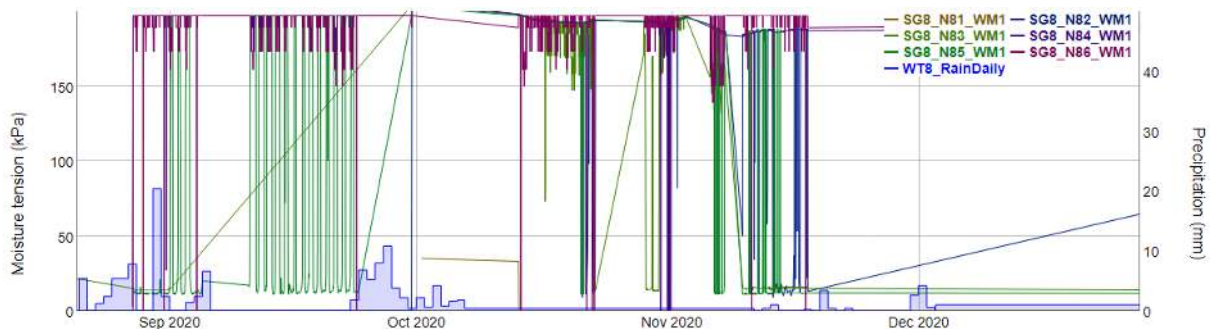
volledig opgebruikt wat leidde tot data-onderbrekingen. Na 1x wisselen werden deze batterijen niet meer opnieuw vervangen wanneer ze vervolgens opnieuw opgebruikt waren.

Voor het Wolky Tolky weerstation zijn er continu data beschikbaar van 01/01/2020 tot 3/11/2022, behalve voor de winterperiodes en april 2022. De onderbrekingen zijn te wijten aan lege batterijen. Voor vijf van de tien Farm21-sensoren zijn continu data beschikbaar van 18/02/2021 tot 9/12/2021. Voor de andere Farm21-sensoren zijn er ook goede datareeksen beschikbaar maar voor kortere periodes. Het vroegtijdig uitvallen van de sensoren is hier te wijten aan batterij- en/of connectieproblemen. Voor het Geobassysteem zijn er continu data beschikbaar van 01/01/2020 tot 07/01/2022. Voor de Crodeon Reporter zijn er continu data beschikbaar van 16/07/2020 tot het einde van het project, behalve van eind januari 2021 tot begin mei 2021 omwille van een defect in de hardware van het uitleessysteem voor de Watermarksensoren. Voor de dendrometer van 2Grow zijn er continu data beschikbaar van 02/07/2022 tot het einde van het project.

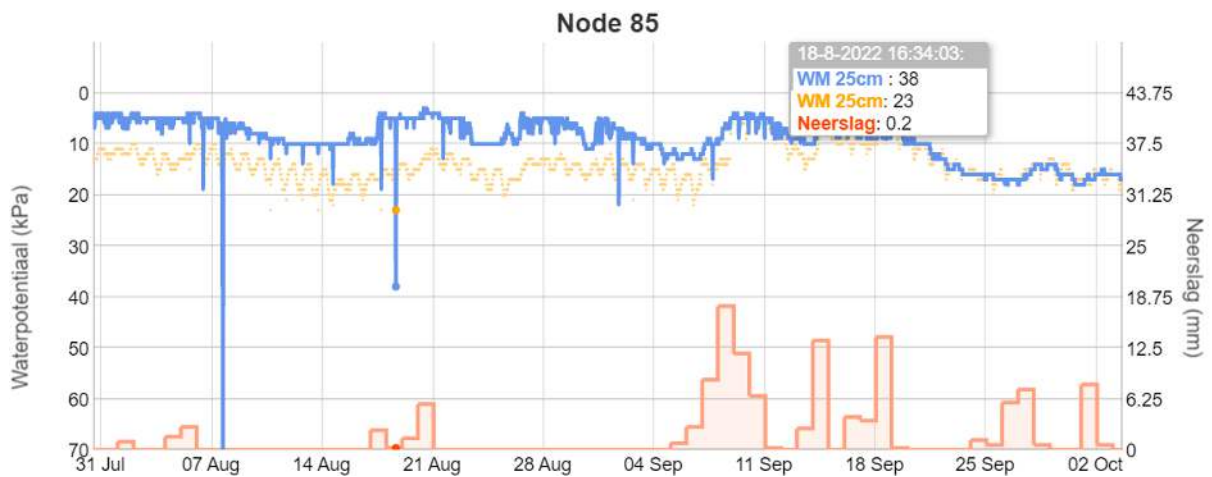
### Bodemvochtspanning: Watermarksensoren

In 2020 waren er veel problemen met de watermarksensoren, waarbij normale meetwaarden ( $\pm 10$  kPa) constant afgewisseld worden door onrealistische meetwaarden ( $\pm 200$  kPa) (Figuur B. 34). Vanaf augustus 2021 zijn er wel meer betrouwbare data beschikbaar. In de loop van het seizoen 2022 werden alle watermarksensoren vervangen en voorzien van een bodemtemperatuursensor op dezelfde diepte. Er werden echter enkel voor node 85 betrouwbare data geregistreerd (Figuur B. 35).

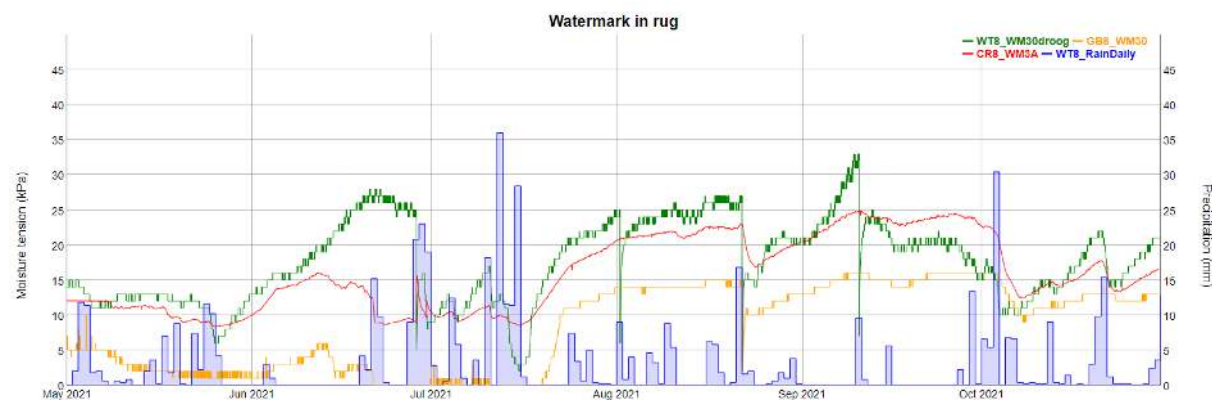
Voor de watermarksensoren aangesloten op de systemen van zowel Wolky Tolky, Geobas als Crodeon werden wel goede data bekomen (Figuur B. 36). Alle drie de sensorsystemen geven een gelijkaardige vochtdynamiek weer, waarbij de bodemvochtspanning oploopt bij onvoldoende neerslag en terug daalt bij grote regenbuien. De data van het Geobas-systeem lijken echter weinig betrouwbaar. Hier zien we in de periode mei – juli 2021 namelijk veel waardes  $< 5$  kPa, wat op verzadiging van de bodem wijst. Dit zien we niet bij de andere sensorsystemen. Verder leest het systeem van Crodeon de data uit met een hogere resolutie dan de Wolky Tolky.



Figuur B. 34. Resultaten van de Watermarksensoren op 50 cm diepte voor het blauwe bessenperceel te Oudsbergen in 2020. De verschillende kleuren verschillende sensornodes voor. De blauwe balken geven de neerslag weer.



Figuur B. 35. Resultaten van de Watermarksensoren op 25 cm diepte van node 85 voor het blauwe bessenperceel te Oudsbergen in 2022.

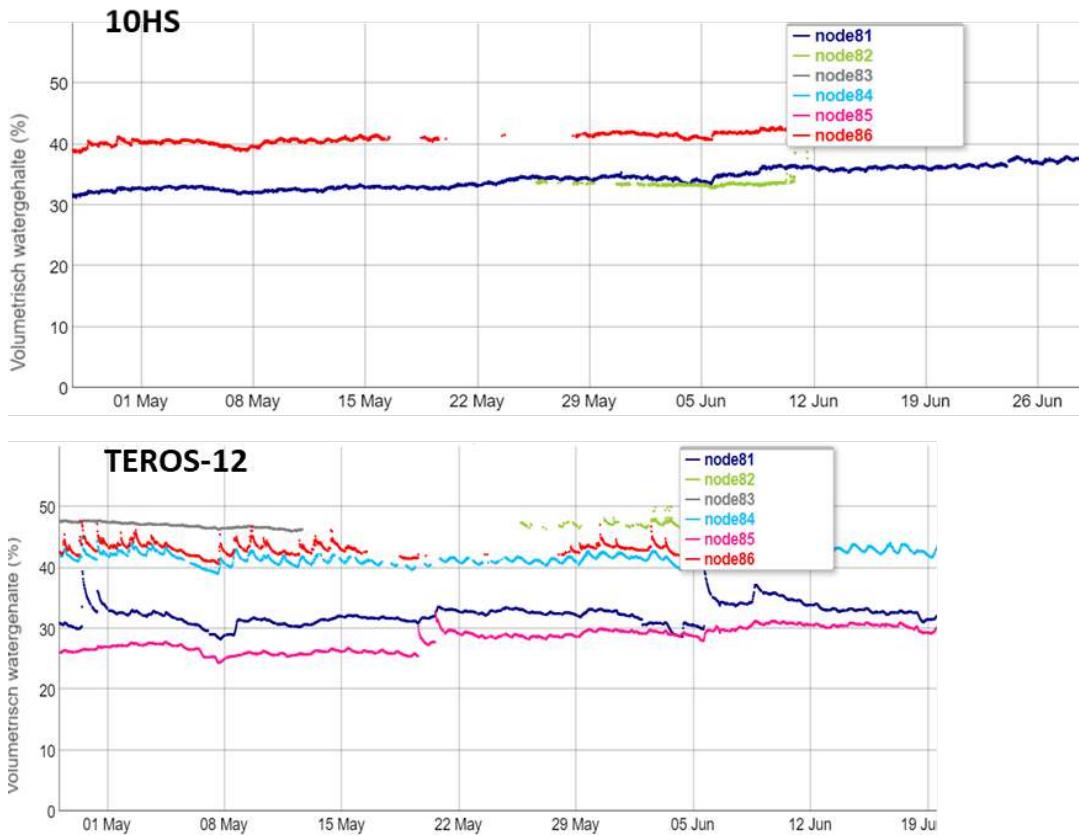


Figuur B. 36. Resultaten van de Watermarksensoren aangesloten op het systeem van Wolky Tolky (groen), Geobas (oranje) en Crodeon (rood) voor het blauwe bessenperceel te Oudsbergen in 2022. De blauwe balken geven de neerslag weer.

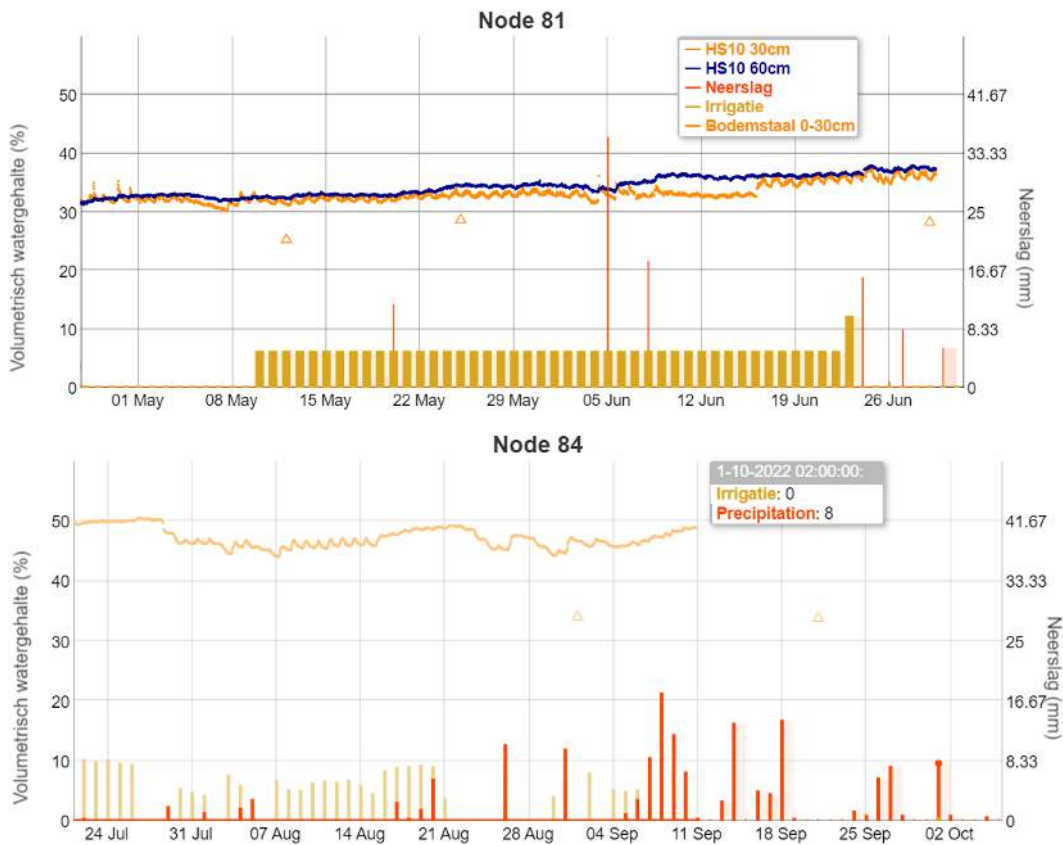
### Volumetrisch bodemvochtgehalte: 10HS, TEROS-12, Farm21, Geobas

Zowel de 10HS- als de TEROS-12-sensoren weerspiegelen doortreffend de vochtdynamiek in de substraatrug. We zien echter veel variatie tussen verschillende locaties in het perceel (Figuur B. 37), zelfs wanneer het gaat om locaties met identiek substraat, planten en irrigatiegift (Figuur B. 31). Dit is ook het geval voor de Farm-21 sensoren (data niet weergegeven). Daarnaast zien we voor beide types sensoren doorgaans een overschatting van het bodemvochtgehalte gemeten in bodemstalen (Figuur B. 38). Ook de andere sensorsystemen vertonen eenzelfde dynamiek voor het volumetrisch bodemvochtgehalte (Figuur B. 39). De verschillende curves liggen in absolute waarde echter vrij ver van elkaar verwijderd. Er werd geen kalibratie toegepast van deze sensoren voor dit specifieke substraat, wat mogelijk de resultaten had kunnen verbeteren.

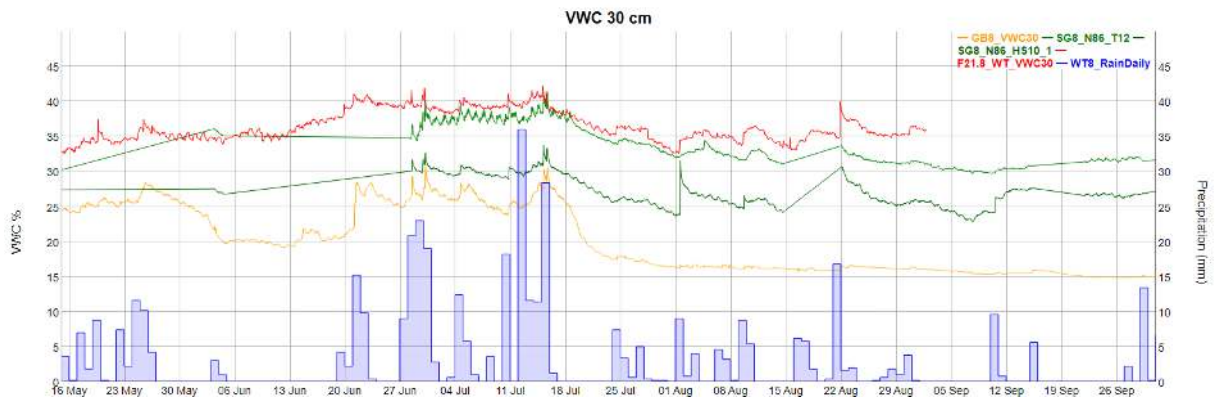




Figuur B. 37: Resultaten van de 10HS-sensoren (boven) en TEROS-12-sensoren (onder) op 25 cm diepte voor het blauwe bessenperceel te Oudsbergen in 2022. De verschillende kleuren verschillende sensornodes voor.



Figuur B. 38. Resultaten van twee 10HS-sensoren (node 81, boven) en TEROS-12-sensor (node 84, onder) op 25 cm diepte, vergeleken met het bodemvochtgehalte gemeten d.m.v. bodemstalen, voor het blauwe bessenperceel te Oudsbergen in 2022.

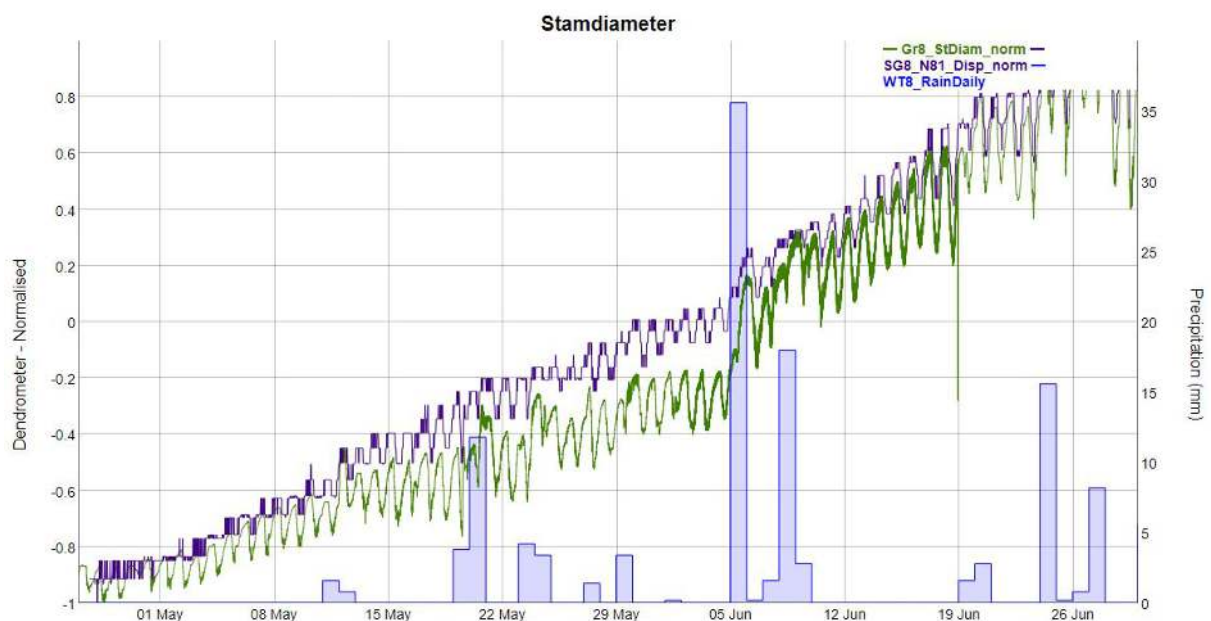


Figuur B. 39. Resultaten voor het volumetrisch bodemvochtgehalte (VWC) op 30 cm diepte gemeten door een Decagon 5TE-sensor op het Geobassysteem (oranje), een Farm-21 sensor (rood) en een 10HS- en TEROS-12-sensor op sensornode 86 (resp. donker- en lichtgroen) voor het blauwe bessenperceel te Oudsbergen in 2021. De blauwe balken geven de neerslag weer.

### Stamdiameter: Dendrometers

Voor de dendrometer op sensornode 81 zien we een duidelijke toename van de stamdiameter doorheen het seizoen 2022 (Figuur B. 40), alsook een dagelijkse cyclus, waarbij overdag de stamdiameter krimpt door gewasverdamming en 's nachts terug toeneemt door vochtopname uit de bodem. Door de beperkte resolutie waarmee het analoge signaal van de dendrometers door de nodes werd uitgelezen is deze dagelijkse groei/krimp echter moeilijk te interpreteren en blijft het onduidelijk of er droogtestress is opgetreden. De hogere resolutie van de 2Grow-sensor laat een nauwkeurigere interpretatie toe.

Ondanks de doorgaans droge zomer van 2022 trad er bijna nergens droogtestress op. De dagelijkse krimp van de stamdiameter werd steeds 's nachts terug voldoende gecompenseerd en het gebrek aan neerslag werd dus voldoende aangevuld door irrigatie. Enkel in de periode 21 mei tot 5 juni zien we voor de sensor van 2Grow netto krimp / stagnatie van de stamdiameter wat zou kunnen wijzen op droogtestress. De bodemvochtsensoren in de buurt van de sensor van 2Grow tonen voor deze periode echter geen daling van het bodemvochtgehalte.

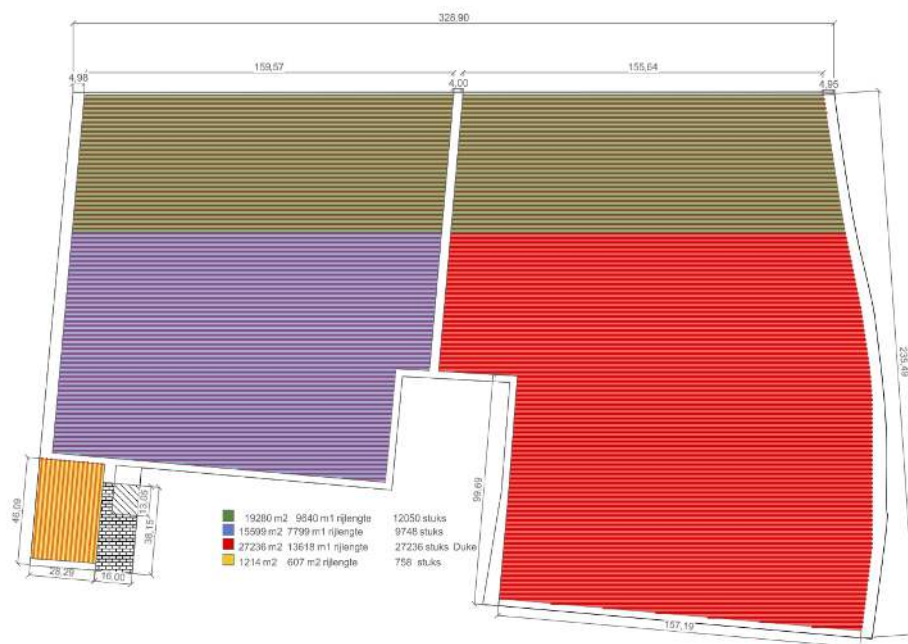


Figuur B. 40. Resultaten van de dendrometer op node 81 (paars) en de dendrometer van 2Grow (groen) op het blauwe bessenperceel te Oudsbergen in 2022. De blauwe balken geven de neerslag weer.

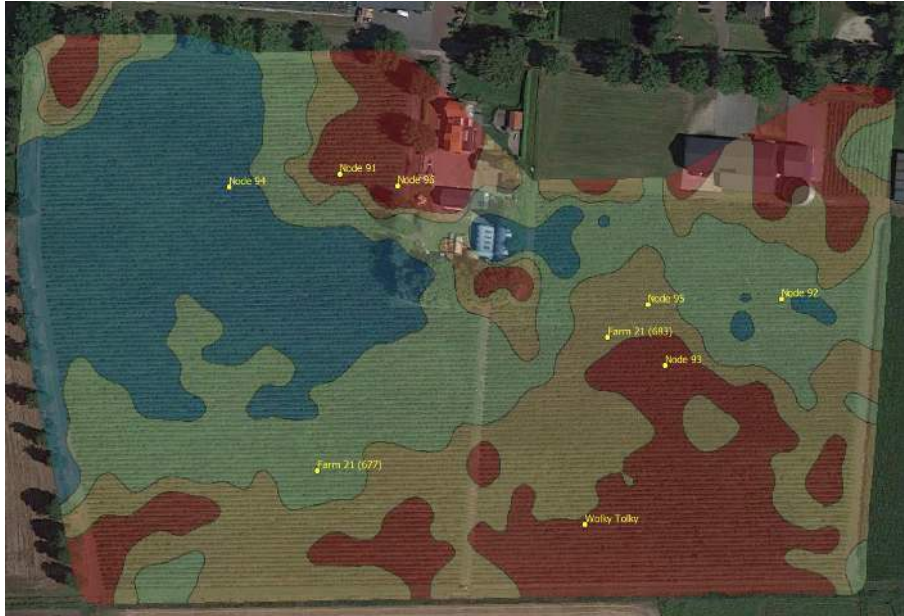
## Bijlage 9. Resultaten demonstratieperceel 9 - Blauwe bes, America (NL)

Het perceel van pilootbedrijf Hortus Blueberry in America (NL) bestaat uit 6,3 ha aaneengesloten blauwe bessen in substraatrug van verschillende variëteiten (Figuur B. 41). Irrigatie gebeurt via een dubbele druppelleiding aan de top van de rug. De ruggen bestaan uit witveen en worden afgedekt met antiworteldoek. Er werden in totaal 6 sensornodes geplaatst, in 2 irrigatieblokken met de variëteiten 'Duke' en 'Aurora', verspreid o.b.v. de bodemscankaart (Figuur B. 42). Op elke sensornode werden 2 watermarks en 1 Teros-12-sensor aangesloten. Bijkomend werden twee nodes (92 en 96) voorzien van één 10HS-sensor en twee nodes (95 en 96) van een dendrometer op een hoofdtak van een blauwe bessenstruik. In 2020 werden de bodemvochtsensoren geplaatst op 50 en 60 cm diepte onder de top van de substraatrug, maar deze diepte bleek niet relevant voor wateropname (geen wortels tot op deze diepte). Daarom werden vanaf 2021 alle bodemsensoren in het substraat geplaatst ( $\pm 30$  cm diepte).

In maart 2022 werd het bedrijf verpacht aan een collega tuinder, die geen partner is binnen Blueberry Innovators. Daarom werden alle sensornodes verplaatst naar een blauwe bessenperceel van pilootbedrijf Blueberry Giant, in Weeze (Duitsland).



Figuur B. 41. Indeling van het blauwe bessenperceel te America in verschillende variëteiten: Duke (bruin), Liberty (paars), Aurora (rood) en Draper (geel).



Figuur B. 42. Bodemscankaart (Soilmasters) van het blauwe bessenperceel te America met aanduiding van de sensorlocaties.

Behalve de sensornodes werden op dit perceel ook andere, commercieel beschikbare sensorsystemen getest. Zo werden op het Wolky Tolky weerstation niet enkel weersensoren geplaatst, maar ook drie Watermarksensoren, op 10, 20 en 30 cm diepte onder de top van de substraatrug. Ten tweede werden drie sensoren van Farm21 geplaatst. Deze meten het volumetrisch bodemvochtgehalte op 10, 20 en 30 cm diepte onder de top van de substraatrug. Tenslotte werd één stamdiameter- en sapstroomsensor van 2Grow geplaatst.

### Evaluatie sensoren

#### **Databeschikbaarheid**

Van 08/09/2020 tot 09/11/2020 zijn er continu data beschikbaar. Daarna zijn er grote onderbrekingen in de data door problemen met de netwerkvoorziening van de gateway.

Van 18/06/2021 tot 20/12/2021 zijn er continu data beschikbaar. Daarna zijn de sensornodes één voor één uitgevallen wegens lege batterijen.

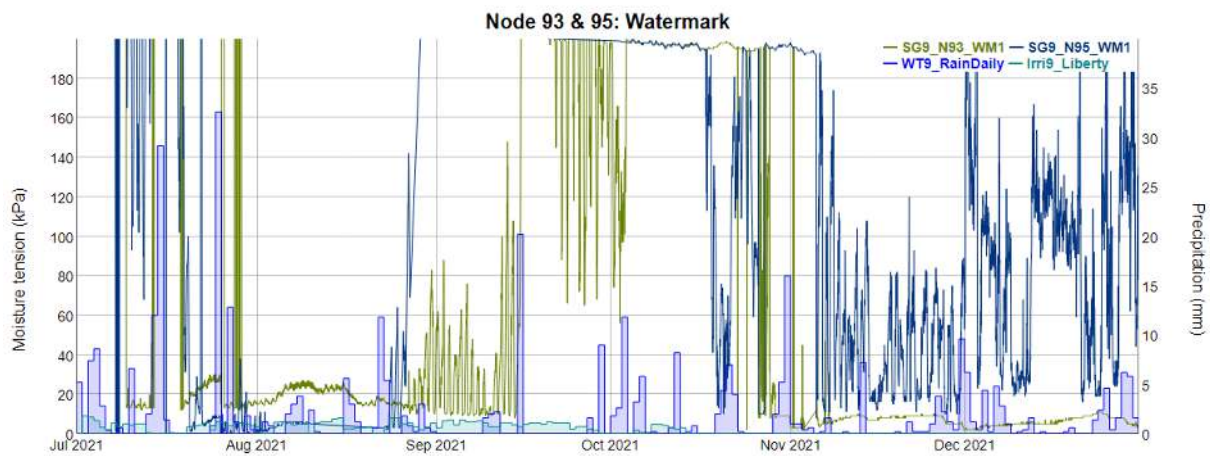
In 2022 werd het sensornetwerk verplaatst naar een ander proefperceel te Weeze. Hiervan zijn echter onvoldoende data beschikbaar wegens connectieproblemen. De proef wordt daarom niet verder besproken.

Voor het Wolky Tolky weerstation zijn er continu data beschikbaar van 02/04/2020 tot 20/04/2022. Voor twee van de drie Farm21-sensoren zijn continu data beschikbaar van 15/06/2020 tot 29/03/2022. Voor de derde Farm21-sensor zijn er grote onderbrekingen in de datareeks. Deze zijn waarschijnlijk te wijten aan connectieproblemen. Voor de dendrometer van 2Grow zijn er continu data beschikbaar van 02/06/2022 tot het einde van het project.

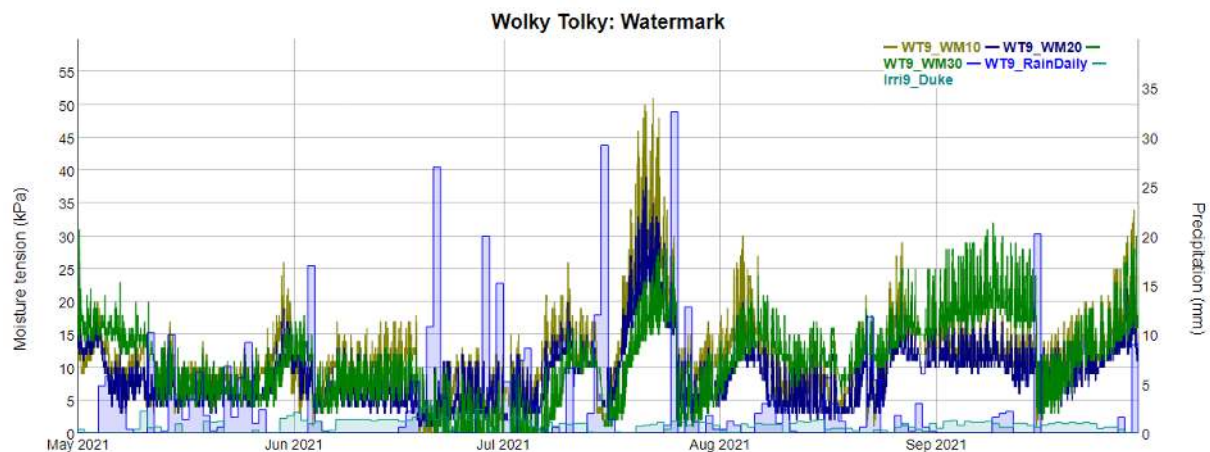
#### **Bodemvochtspanning: Watermarksensoren**

De resultaten van de Watermarksensoren aangesloten op de sensornodes zijn onbetrouwbaar omwille van het grote aantal foutieve data waarbij een meetwaarde van  $\pm 200$  kPa wordt weergegeven (Figuur B. 43).

De Watermarksensoren aangesloten op het Wolky Tolky weerstation geven wel realistische meetwaarden (Figuur B. 44). De sensoren reageren goed op neerslag en irrigatie. In het algemeen is de substraatrug het droogste op 10 cm diepte en stijgt het vochtgehalte naar 20 cm en 30 cm diepte.



Figuur B. 43. Resultaten voor Watermarksensoren aangesloten op nodes 93 (groen) en 95 (blauw) op het blauwe bessenperceel te America in 2021. Neerslag en irrigatie worden weergegeven door respectievelijk donker- en lichtblauwe balken.

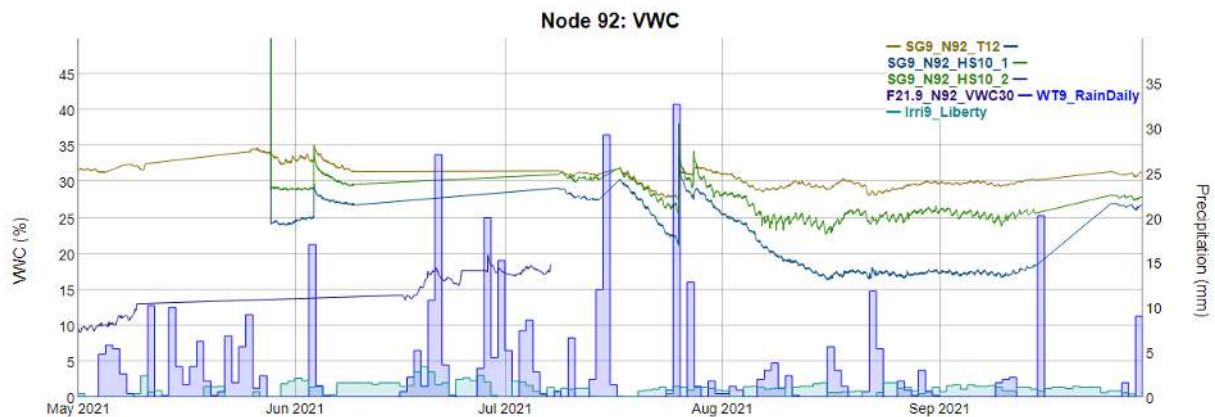


Figuur B. 44. Resultaten voor de Watermarksensoren aangesloten op het Wolky Tolky weerstation op 10 (geel), 20 (blauw) en 30 cm (groen) diepte voor het blauwe bessenperceel te America in 2021. Neerslag en irrigatie worden weergegeven door respectievelijk donker- en lichtblauwe balken.

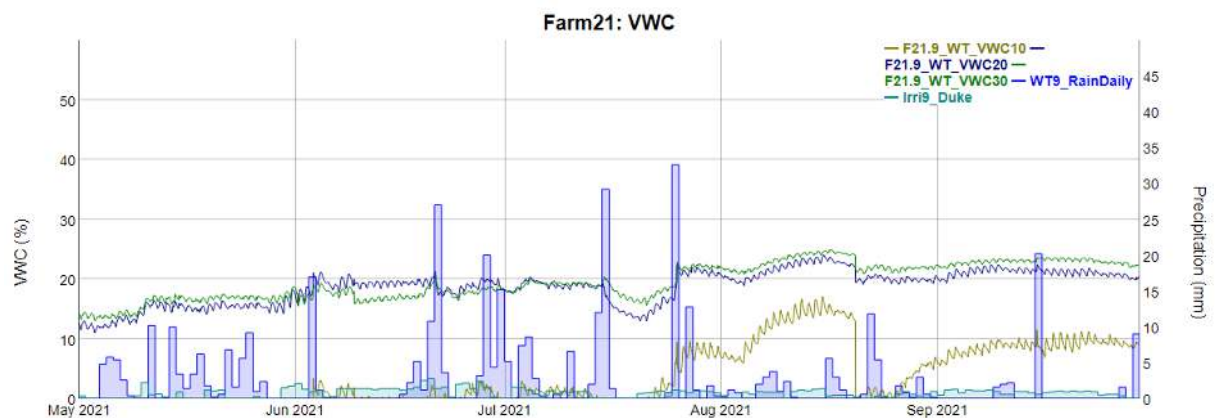
### Volumetrisch bodemvochtgehalte: 10HS, TEROS-12, Farm21

Zowel de 10HS- als de TEROS-12-sensoren weerspiegelen doortreffend de vochtdynamiek in de substraatrug, waarbij ze goed reageren op neerslag en irrigatie (Figuur B. 45). In absolute waarde is er echter een groot verschil tussen het bodemvochtgehalte gemeten door beide types sensoren. Dit verschil stijgt naarmate het substraat uitdroogt. Welke sensor het meest nauwkeurig is, kunnen we voor dit perceel niet nagaan door een gebrek aan bodemvochtstalen.

Bij de Farm21-sensoren zien we dat de waarde voor 10 cm diepte niet altijd betrouwbaar is (Figuur B. 46). In het algemeen is de substraatrug het droogste op 10 cm diepte en stijgt het vochtgehalte naar 20 cm en 30 cm diepte.



Figuur B. 45. Resultaten voor het volumetrisch vochtgehalte (VWC) gemeten door een TEROs-12-sensor op (geel) en twee 10HS-sensoren (blauw en groen) op sensornode 92 en gemeten door een Farm-21 sensor op 30 cm diepte (paars) in de buurt van node 92 op het blauwe bessenperceel te America in 2021. Neerslag en irrigatie worden weergegeven door respectievelijk donker- en lichtblauwe balken.



Figuur B. 46. Resultaten voor het volumetrisch vochtgehalte (VWC) gemeten door een Farm-21 sensor in de buurt van het Wolky Tolkly weerstation op het blauwe bessenperceel te America in 2021 op 10 (geel), 20 (blauw) en 30 cm (groen) diepte. Neerslag en irrigatie worden weergegeven door respectievelijk donker- en lichtblauwe balken.

## Dendrometers

Voor de dendrometers op de sensornodes zijn er enkel goede data beschikbaar van het seizoen 2021, voor 2 nodes. Hoewel de resolutie van de meting relatief laag is, zien we wel een duidelijke toename van de stamdiameter doorheen het seizoen. Voor node 95 is er ook een dagelijkse cyclus te zien, waarbij overdag de stamdiameter krimpt door gewasverdamping en 's nachts terug toeneemt door vochtopname uit de bodem (Figuur B. 47). De resultaten voor de dendrometers op node 95 zijn vergelijkbaar met deze van 2Grow. De hogere resolutie van de 2Grow-sensor laat echter een nauwkeurigere interpretatie toe (Figuur B. 47B).

Vanwege de grote hoeveelheden neerslag, aangevuld met irrigatie, trad er bijna nergens droogtestress op in 2021. De dagelijkse krimp van de stamdiameter werd steeds 's nachts terug voldoende gecompenseerd. Enkel van 12 tot 17 juni was er bij de sensor van 2Grow netto krimp van de stamdiameter te zien en werd er dus te weinig geïrrigeerd. Voor deze periode ontbreken helaas de data van de sensornodes.



Figuur B. 47. Resultaten voor de stamdiameter (herschaald tussen -1 en 1) gemeten door sensornodes 95 (geel) en 96 (blauw) en door de sensor van 2Grow (groen) op het blauwe besenperceel te America in 2021. Neerslag en irrigatie worden weergegeven door respectievelijk donker- en lichtblauwe balken (boven). B. Detail voor de periode juni 2021.