



# Grow with the Flow

Lokale modelsimulaties met SWAP

Modelvalidatie en -verbetering

Pim Dik, Ab Veldhuizen



**WAGENINGEN**  
UNIVERSITY & RESEARCH



# Grow with the Flow

Lokale modelsimulaties met SWAP

Modelvalidatie en -verbetering

Pim Dik, Ab Veldhuizen

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Environmental Research en maakt deel uit van het *Grow with the Flow*-project (projectnummer 5200045743).

Wageningen Environmental Research  
Wageningen, juni 2022

---

Gereviewd door:

Joost Iwema, onderzoeker hydrologie (WENR)

Akkoord voor publicatie:

Mirjam Hack, teamleider BWL (WENR)

Rapport 3165  
ISSN 1566-7197

Dit rapport beschrijft het gebruik van lokale modellen binnen het project Grow with the Flow (GwtF). Dit heeft als doel om voor de telers de meerwaarde van lokale modellering in beeld te brengen ten opzichte van een regionale modelaanpak en voor waterschappen in beeld te brengen wat nodig is om het watersysteem (op perceelsniveau) te modelleren. De lokale modellen zijn opgezet met het model SWAP (Soil, Water, Atmosphere, Plant). De modellen zijn gevalideerd voor het stroomgebied van waterschap Aa en Maas, waar bodemvocht is gemeten op verschillende locaties en andere gegevens beschikbaar zijn. De validatie geeft inzicht voor welke situaties het lokale model in staat is de werkelijkheid te benaderen en tevens hoe het lokale model perceel-specifieker gemaakt kan worden. Daar zitten vele kanten aan, waaronder meer detail, flexibiliteit in parametrisatie, de mogelijkheid om feedback mee te nemen en meer mogelijkheden om het model te kalibreren (om te komen tot een betere overeenkomst met meetgegevens).

This report describes the use of local models within the Grow with the Flow (GwtF) project. The aim of this is to show farmers the added value of local modelling compared to the regional model approach and to map out for water boards what is needed to model the water system (at plot level). The local models are set up with the SWAP model (Soil, Water, Atmosphere and Plant). The models have been validated for the catchment area of the Aa en Maas water board, where soil moisture has been measured on several locations and other data are available. The validation provides insight into which situations the local model is able to approach reality and also if the local model can be made more field specific. There are many sides to this, including more detail, flexibility in parameterization, the ability to take feedback into account, and more possibilities to calibrate the model (resulting in a better match with measured data).

Trefwoorden: SWAP, regionaal model, onverzadigde zone, bodemvocht, metingen

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/571325> of op [www.wur.nl/environmental-research](http://www.wur.nl/environmental-research) (ga naar 'Wageningen Environmental Research' in de grijze balk onderaan). Wageningen Environmental Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

CC-BY-NC 4.0 licentie

© 2022 Wageningen Environmental Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, [www.wur.nl/environmental-research](http://www.wur.nl/environmental-research). Wageningen Environmental Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

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

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



Wageningen Environmental Research werkt sinds 2003 met een ISO 9001 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem.

In 2006 heeft Wageningen Environmental Research een milieuzorgsysteem geïmplementeerd, gecertificeerd volgens de norm ISO 14001.

Wageningen Environmental Research geeft via ISO 26000 invulling aan haar maatschappelijke verantwoordelijkheid.

---

# Inhoud

<b>Verantwoording</b>	<b>5</b>
<b>Woord vooraf</b>	<b>7</b>
<b>Samenvatting</b>	<b>9</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>11</b>
1.1 Algemeen	11
1.2 Doelstelling	11
1.3 Aanpak	11
1.4 Leeswijzer	12
<b>2 Basisgegevens</b>	<b>13</b>
2.1 Gewassen percelen	13
2.2 Maaiveldhoogte	13
2.2.1 Veld en regionaal model	13
2.3 Bodemopbouw	14
2.3.1 Veldmetingen	14
2.4 Bodemvocht	14
2.4.1 Veldmetingen	14
2.4.2 Satellietbepalingen	16
2.4.3 MetaSWAP-simulaties	20
2.5 Grondwaterstand	20
2.5.1 Veldmetingen	20
2.5.2 MetaSWAP-simulaties	21
<b>3 SWAP-simulatie</b>	<b>22</b>
3.1 Algemeen	22
3.2 Opzet SWAP-model	22
3.2.1 Simulatieperiode	22
3.2.2 Parametrisatie op basis van regionale model	22
3.3 Validatie	23
3.3.1 Invoer: gewas model en praktijk	24
3.3.2 Invoer: bodemopbouw model en praktijk	24
3.3.3 Invoer: maaiveldhoogten model en praktijk	28
3.3.4 Invoer: grondwaterstand model en praktijk	29
3.3.5 Uitvoer: bodemvocht SWAP en MetaSWAP	31
3.3.6 Uitvoer: bodemvocht model en in-situ metingen	32
3.4 Overzicht validatie	37
3.4.1 Invoer	37
3.4.2 Uitvoer	38
3.5 Verbetering SWAP-modellen	38
3.5.1 Aanpassing onderrandvoorwaarde	38
3.5.2 Aanpassing bodemschematisatie	46
3.5.3 Aanpassing gewas	49
3.5.4 Aanpassing irrigatie	51
<b>4 Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>52</b>
4.1 Conclusies	52
4.2 Aanbevelingen	54
<b>Literatuur</b>	<b>55</b>

---

---

# Verantwoording

Rapport: 3165

Projectnummer: 5200045743

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

Akkoord Referent die het rapport heeft beoordeeld,

functie:      Onderzoeker hydrologie

naam:          Joost Iwema

datum:        4 mei 2022

Akkoord teamleider voor de inhoud,

naam:          Mirjam Hack

datum:        9 mei 2022





---

# Woord vooraf

Dit rapport is opgesteld als onderdeel van het TKI-project *Grow with the Flow*. Het behandelt de modelvalidatie en -verbetering van lokale SWAP-modellen.



---

# Samenvatting

Het project *Grow with the Flow* (GwtF) betreft een geïntegreerd monitoring- en voorspellingsplatform voor water en gewas. Bij het ontwikkelen is gebruikgemaakt van de laatste technologische ontwikkelingen op het gebied van ICT, door het combineren van hydrologische modellen (iMOD-MetaSWAP en SWAP), gewasgroeimodellen (WOFOST), satellietgegevens, meetsensoren en kunstmatige intelligentie. Het geeft inzicht in de actuele status en de verwachting van waterbeschikbaarheid en gewasproductie, maar biedt ook mogelijkheden voor informatie-uitwisseling tussen agrariërs en het waterschap.

Dit rapport beschrijft de validatie en verbetering van de lokale modellen die binnen GwtF gebruikt worden. Deze lokale modellen zijn opgezet met het SWAP-model (Soil-Water-Atmosphere-Plant, bron: Kroes et al., 2017). Met de modellen wordt inzicht verkregen in de potenties voor het gebruik door telers, bijvoorbeeld voor het bepalen van beregeningsmomenten. Het is een aanvulling op de inzet van het regionale model (Waterschap Aa en Maas, versie GRAM3.0). Het regionale model is gebaseerd op iMOD/MetaSWAP en aangevuld met de gewasgroei-module WOFOST.

De validatie en verbetering van de lokale modellen rusten op de volgende pijlers:

- Opzet SWAP-modellen vergelijkbaar met regionale parametrisatie.  
Het betreft het opzetten van SWAP-modellen voor de locaties waar gedetailleerde metingen worden uitgevoerd (maaiveldhoogte, bodemopbouw, bodemvocht, grondwaterstanden).
- Vergelijking van SWAP-invoer en SWAP-resultaten met meetgegevens/veldgegevens.  
Op basis hiervan zijn hypothesen opgesteld voor het verbeteren van de modellen.
- Aanpassing van SWAP-modellen op basis van lokale gegevens en bepalen in hoeverre de simulatie verbetert/verandert.
- Conclusies en aanbevelingen voor vervolg.

Uit de validatie en verbeteringen van de SWAP-modellen volgt dat:

- Lokale gegevens voor het opstellen van de SWAP-modellen een welkome aanvulling zijn.  
Dit geldt voor het gewas, de bodemopbouw, de maaiveldhoogte en de grondwaterstand.
- De dynamiek in het gemeten bodemvochtgehalte beter gereproduceerd kan worden als de lokale modellen aangepast worden aan de lokale werkelijkheid. Dit betreft aanpassing van het gewas, de bodemopbouw, de maaiveldhoogte en de grondwaterstand.
- Het aanpassen van lokale modellen eenvoudig kan worden uitgevoerd.
- Voor de gemeten bodemvochtgehalten geldt dat deze behept zijn met onzekerheid, mede doordat het een indirecte meting betreft. Herschaling is daarom uitgevoerd. Dit levert een betere vergelijkbaarheid op van simulaties en meetgegevens.

Voor de meetgegevens van bodemvocht is gebruikgemaakt van verschillende bronnen: satelliet en in-situ. De reeksen met bodemvochtgehalten van satelliet en in-situ meetapparaten verschillen lokaal behoorlijk van elkaar. Daar zijn verschillende verklaringen voor mogelijk:

- Preferente stroombanen en hydrofobie  
Dit kan ervoor zorgen dat op bepaalde plaatsen geen en op andere locaties juist veel water infiltreert. Als een in-situ meetsensor juist op een plek staat waar weinig water infiltreert dan blijft de grond droger dan op de plek waar juist veel water infiltreert. De meting hoeft niet representatief te zijn voor het hele perceel.
- Meetstoornissen in de in-situ meetsensoren  
Oorzaken kunnen onder andere verplaatsing sensor, verstoring sensor en problemen met de stroomvoorziening zijn.
- Onderscheidend vermogen in het signaal van satellieten  
Satellieten meten een gebiedsgemiddelde respons met een resolutie van 25 km en na neerschaling door VanderSat 100 m. De satellieten meten ongeveer in de bovenste 5 cm van de bodem. Opvallend in de neergeschaalde reeksen is voornamelijk het beperkte verschil in de lengte van het groeiseizoen.

---

De sterke kant van in-situ metingen is dat het een directe meting op locatie is. De sterke kant van satellietmeting is juist het verkrijgen van inzicht in de dynamiek van een gebiedsgemiddeld vochtgehalte.

MetaSWAP is een vereenvoudigde versie van SWAP en is opgezet om ook in regionale modellen de onverzadigde zone te kunnen doorrekenen. In het regionale model rekt MetaSWAP een bodemvochtgehalte uit. De lokale SWAP-modellen leveren eveneens deze uitvoer. Vergelijking van beide vochtsimulaties laat zien dat deze goed met elkaar overeenkomen, maar dat SWAP meer detail over de diepte geeft, wat een gevolg is van de fijnere laagdiscretisatie. De bodemvochtmetingen strekken zich uit tot een diepte van circa 80 cm -mv.

---

# 1 Inleiding

## 1.1 Algemeen

Dit rapport beschrijft het gebruik van lokale modellen binnen het project *Grow with the Flow* (GwtF). De lokale modellen zijn opgezet met het model SWAP (Soil, Water, Atmosphere and Plant, Kroes et al., 2017). Met deze validatie is de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van de modellen voor het stroomgebieden van waterschap Aa en Maas onderzocht. Waterschap Vallei & Veluwe zou ook participeren in dit onderzoek, maar beschikte nog niet over voldoende lange reeksen met meetgegevens om hier daadwerkelijk onderdeel van uit te kunnen maken. Zij zijn wel betrokken geweest bij deze studie. Deze validatie geeft inzicht voor welke situaties het lokale model in staat is de werkelijkheid te benaderen en tevens hoe het lokale model perceel-specifieker gemaakt kan worden.

## 1.2 Doelstelling

De doelstelling is:

*Voor de telers in beeld brengen van de meerwaarde van lokale modellering ten opzichte van regionale modelaanpak en voor waterschappen in beeld brengen wat nodig is om het watersysteem (op perceelniveau) te modelleren.*

Aan de toepassing van lokale modellering zitten conceptuele kanten (meer detail, flexibiliteit in parametrisatie, mogelijkheid om feedback mee te nemen), maar ook inhoudelijke (mogelijkheden om gericht te kalibreren op meetgegevens).

## 1.3 Aanpak

De regionale modellen (Waterschap Aa en Maas, versie GRAM3.0) geven gebiedsbreed inzicht in de dynamiek in grondwaterstanden en bodemvochtgehalten. Het regionale model is gebaseerd op iMOD/MetaSWAP en aangevuld met de gewasgroeimodule WOFOST. Lokaal kan de situatie verschillen van de simulaties met het regionale model. Om dit te kunnen onderzoeken, zijn lokaal metingen uitgevoerd en zijn voor deze locaties lokale modellen opgezet met SWAP.

De aanpak rust op de volgende pijlers:

1. Opzetten SWAP-modellen vergelijkbaar met regionale model.  
Het betreft het opzetten van SWAP-modellen voor de locaties waar gedetailleerde metingen worden uitgevoerd (bodempbouw, bodemvocht, grondwaterstanden). Voor de parametrisatie zijn de gegevens gebruikt uit het regionale model. Vergelijking van de resultaten van het lokale en regionale model geeft inzicht in de verschillen tussen een simulatie met SWAP dan wel metaSWAP.
2. Vergelijking van SWAP-invoer en SWAP-resultaten met meetgegevens/veldgegevens.
3. Opstellen van hypothesen voor het verbeteren van de modellen op basis van de uitgevoerde vergelijking.
4. Aanpassen van SWAP-modellen en checken in hoeverre de simulatie verbetert.
5. Conclusies en aanbevelingen voor vervolg.

---

## 1.4 Leeswijzer

Het onderzoek richt zich op proeflocaties gelegen in het beheergebied van Waterschap Aa en Maas. Het Waterschap Vallei en Veluwe verzamelt eveneens gegevens voor een aantal proeflocaties: de tijdreeksen zijn echter nog niet voldoende lang om te gebruiken in een analyse, zoals uitgevoerd in dit rapport.

Hoofdstuk 2 beschrijft de basisgegevens: maaiveldhoogten, bodemopbouw, bodemvochtgehalte en grondwaterstanden. In hoofdstuk 3 is de opzet van het SWAP-model op basis van het regionale model beschreven. De SWAP-modellen zijn eveneens gevalideerd, zowel voor de invoer als de berekende vochtgehalten. Vervolgens is in dit hoofdstuk een aantal verbeteringen doorgevoerd en geëvalueerd. Ten slotte zijn in hoofdstuk 4 de conclusies en aanbevelingen beschreven.

## 2 Basisgegevens

### 2.1 Gewassen percelen

De gewasgegevens per meetlocatie zijn niet voor alle jaar- en locatiecombinaties bekend, zie Tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Gewassen per meetlocatie.

Locatie	Gewas 2016	Gewas 2017	Gewas 2018	Gewas 2019	Gewas 2020
BOVO001	Gras				
BOVO002	Suikerbieten				
BOVO003	Gras	Gras/waspeen	Gras	Gras/mais	Gras/mais
BOVO004	Gras	Gras	Gras	Gras	Gras
BOVO005	Rode uien				
BOVO006	Gras				
BOVO007	Mais	Mais	Mais	Mais	Mais
BOVO008	Suikerbieten				
BOVO009	Suikerbieten				
BOVO010	Gras				
BOVO011		Mais	Tarwe	Mais	Mais
BOVO012	Gras/mais				
BOVO013		Gras	Aardappelen	Mais	Mais
BOVO014	Gras				
BOVO015	Gras				

### 2.2 Maaiveldhoogte

#### 2.2.1 Veld en regionaal model

In Tabel 2.2 zijn de maaiveldhoogten weergegeven, zoals bepaald in het veld, volgens de AHN2 (Algemeen Hoogtebestand Nederland 2) en gebruikt in het regionale model. Voor het bodemvochtgehalte is de maaiveldhoogte van belang, omdat deze de afstand tot de grondwaterstand bepaalt.

**Tabel 2.2** Meetpunten maaiveldhoogten (Veld: mv-hoogte gemeten in het veld, AHN25: AHN2 met een 25 m grid, gridcel: maaiveldhoogte regionale model).

Meetpunt	Maaiveld (m+NAP)		
	Veld	AHN25	Gridcel
BOVO001		9.38	
BOVO002	20.38	20.33	20.42
BOVO003	17.19	17.13	17.13
BOVO004	15.58	15.58	15.82
BOVO005	19.84	19.92	19.83
BOVO006	8.90	8.92	
BOVO007	11.20	11.24	11.36
BOVO008	25.80	25.81	25.87
BOVO009	22.99	22.89	23.00
BOVO010		19.97	19.95
BOVO011	20.99	20.80	20.77
BOVO012	16.46	16.46	16.85
BOVO013	13.25	13.25	13.34
BOVO014	10.90	10.78	10.74
BOVO015	10.37	10.36	10.60

## 2.3 Bodemopbouw

### 2.3.1 Veldmetingen

Het waterschap Aa en Maas heeft voor vier locaties boorprofielen aangeleverd. De vier profielen tonen een toplaag met een dikte van 35 tot 70 cm bestaande uit matig fijn zand, zwak tot sterk humeus. Daaronder bevindt zich wederom zand met een afwisseling van matig fijn tot matig grof zand, waarbij eveneens grind kan voorkomen. In paragraaf 3.3.2 zijn enkele profielen (de bovenste 120 cm) opgenomen.

## 2.4 Bodemvocht

### 2.4.1 Veldmetingen

In Tabel 2.3 zijn de gegevens van de locaties met bodemvochtmetingen weergegeven plus enige aanvullende informatie. Metingen zijn beschikbaar van april 2016 tot 1 april 2019. Locatie BOVO010 is op 5 april 2017 circa 1100 m verplaatst (in de simulaties is de nieuwe locatie gehanteerd). Daarnaast heeft begin april 2019 tevens een instrument-inspectie plaatsgevonden, waarna de metingen afwijken van de periode daarvoor. In deze studie zijn de gegevens tot 1 april 2019 gebruikt. De bodemvochtmetingen zijn uitgevoerd op de volgende diepten: 5, 10, 20, 40, 80 cm -mv.

**Tabel 2.3** Gegevens bodemvocht metingen (Decagon 5TM). X- en Y-coördinaten zijn in RD-New.

ID	X-coördinaat	Y-coördinaat	Maaiveldhoogte m+NAP	Startdatum	Einddatum
BOVO001	178746	416080		2016-04-05	2021-09-23
BOVO002	174576	410701	20.38	2016-04-05	2021-09-23
BOVO003	177267	411515	17.19	2016-04-05	2021-09-23
BOVO004	177863	413975	15.58	2016-04-05	2021-09-23
BOVO005	174047	412930	19.84	2016-04-05	2021-09-23
BOVO006	182348	414484	8.90	2016-04-05	2021-09-23
BOVO007	188282	412614	11.20	2016-04-05	2021-09-23
BOVO008	184089	396122	25.80	2016-04-05	2021-09-23
BOVO009	181516	400101	22.99	2016-04-05	2021-09-23
BOVO010	181064	405147		2017-04-05	2021-09-23
BOVO010old	179978	405124		2016-04-05	2017-04-04
BOVO011	189582	400334	20.99	2016-04-05	2021-09-23
BOVO012	185453	405695	16.46	2016-04-05	2021-09-23
BOVO013	189261	406406	13.25	2016-04-05	2021-09-23
BOVO014	186824	409720	10.90	2016-04-05	2021-09-23
BOVO015	182681	412176	10.37	2016-04-05	2021-09-23

Door verschillende oorzaken kunnen metingen minder betrouwbaar zijn. Zo kan het instrument verplaatst zijn, er kan drift optreden in de weerstandsmeting of er treedt lekkage op. Een visuele controle op de plausibiliteit van de reeksen heeft plaatsgevonden. Op basis hiervan zijn de volgende reeksen of delen daarvan buiten beschouwing gelaten.

Locatie	Filter	Periode verwijderd
BOVO003	2	geheel
BOVO014	5	vanaf 2017-07-01
BOVO010	4	geheel
BOVO010	5	geheel



De metingen zijn uitgevoerd met Decagon 5TM-sensoren. De sensor gebruikt een elektromagnetisch veld om de diëlektrische permittiviteit van het omringende medium te meten. De permittiviteit geeft in principe alleen inzicht in de relatieve vochtgehalten, oftewel natter en droger. De meting wordt vervolgens geschaald op basis van bodemtype tot een bodemvochtgehalte. Het bodemvochtgehalte heeft daardoor een bepaalde onzekerheid. Een andere methodiek is dat monsters genomen worden om het vochtgehalte te bepalen en op basis hiervan een locatiespecifieke kalibratie uit te voeren. Dit is behoorlijk bewerkelijk en in dit onderzoek niet uitgevoerd. Gezien deze onzekerheden in bodemvochtgehalten kunnen de bodemvochtgehalten ook naderhand aangepast of herschaald worden.

De volgende schalingsformule is in dit onderzoek gehanteerd:

$$\theta_{o,scaled} = \frac{perc90(\theta_m) - perc10(\theta_m)}{perc90(\theta_o) - perc10(\theta_o)} \cdot (\theta_o - perc10(\theta_o)) + perc10(\theta_m)$$

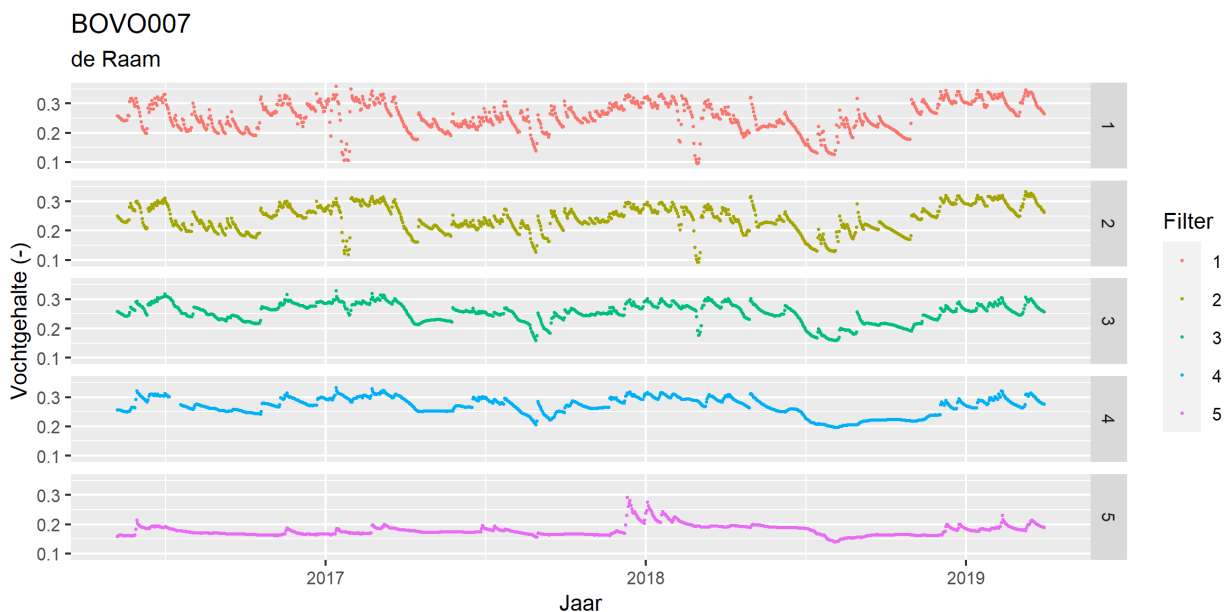
met  $\theta_m$ : vochtgehalte van de simulatie (model) en  $\theta_o$ : vochtgehalte van de meting (observation). En *perc90* en *perc10* respectievelijk het 90%- en 10%-percentiel.

Deze methode met schaling op basis van twee percentielwaarden heeft als voordeel dat 1) uitbijters (die minder voorkomen dan 10%) niet worden meegenomen en 2) ook bij scheve verdelingen de schaling van hogere en lagere waarden goed wordt meegenomen (en voor bodemvocht is een scheve verdeling vaak realiteit doordat in de winter vaak de maximale waarde wordt bereikt).

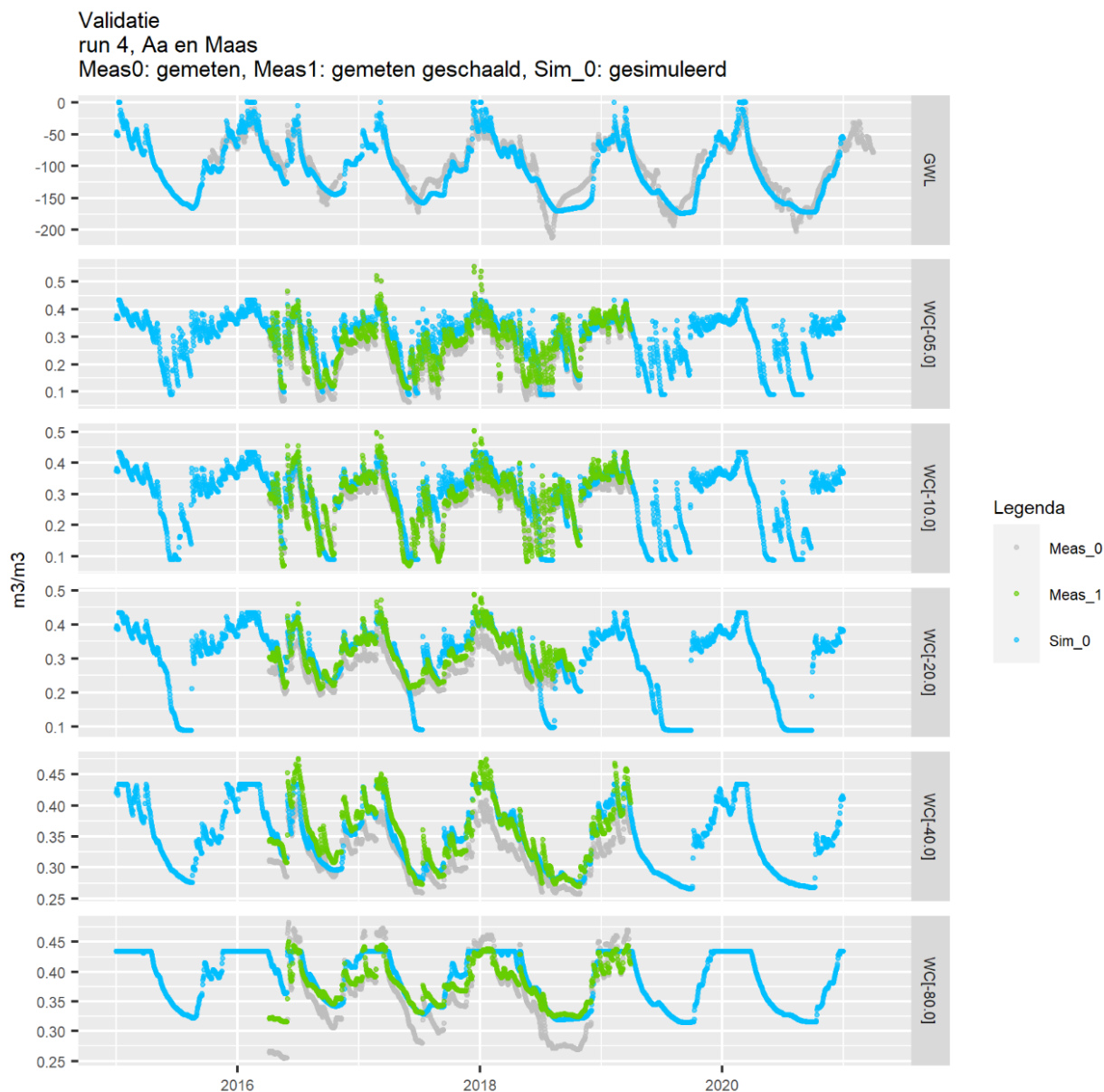
Een alternatief is schaling op basis van het gemiddelde en de standaarddeviatie (deze methodiek is hier dus niet gebruikt):

$$\theta_{o,scaled} = \frac{stdev(\theta_m)}{stdev(\theta_o)} \cdot (\theta_o - mean(\theta_o)) + mean(\theta_m)$$

Een voorbeeld van het verloop van de bodemvochtmetingen is opgenomen in Figuur 2.1. Uit deze figuur lijkt de meting voor filter 5 aan de lage kant. Om een voorbeeld van de herschaling te geven, is alvast een resultaat van de metingen en de simulaties weergegeven. Op basis van de uitgevoerde simulatie met SWAP zijn de metingen herschaald ('her', omdat al eerder de weerstandsmetingen zijn geschaald op basis van het bodemtype). Uit Figuur 2.2 blijkt dat in het bijzonder filter 5 ([WC-80.0]) na herschaling een hoger watergehalte krijgt. De herschaling is zo uitgevoerd dat het 90%-percentiel en 10%-percentiel van de geschaalde metingen overeenkomen met die van de simulaties (voor de tijdstippen waar zowel metingen als simulaties zijn uitgevoerd).



**Figuur 2.1** Bodemvochtmetingen (Decagon 5TM-sensoren) op vijf diepten (5, 10, 20, 40 en 80 cm -mv).



**Figuur 2.2** Voorbeeld herschaling op basis van de simulaties: bodemvochtmetingen op vijf diepten (Meas\_0 (grijs): niet-geschaalde metingen, Meas\_1 (groen): geschaalde metingen, Sim\_0 (blauw): gesimuleerde vochtgehalte).

#### 2.4.2 Satellietbepalingen

Naast metingen met bodemvochtsensoren zijn ook gegevens afkomstig van satellieten verkregen. Deze gegevens zijn door VanderSat geïnterpreteerd en omgezet naar bodemvochtgehalten. VanderSat gebruikt een neerschalingstechniek waardoor de gegevens op een resolutie van 100 x 100 m beschikbaar zijn (terwijl de satellietdata een resolutie van circa 25 km heeft).

Idealiter komen de gegevens van satelliet en bodemvocht-sensor met elkaar overeen. De vergelijking van beide reeksen kan op basis van:

- De jaarlijks trend

In Figuur 2.3 zijn deze per locatie met elkaar vergeleken. Hierbij zijn de metingen van het waterschap (5 cm diepte) t.o.v. de satellietdata geschaald, zodanig dat de standaarddeviatie en het gemiddelde van de beide reeksen met elkaar overeenkomen (zie paragraaf 2.1.4). Opvallend is dat de gegevens van VanderSat voor de verschillende locaties een sterk synchroon lopende dynamiek geven.

---

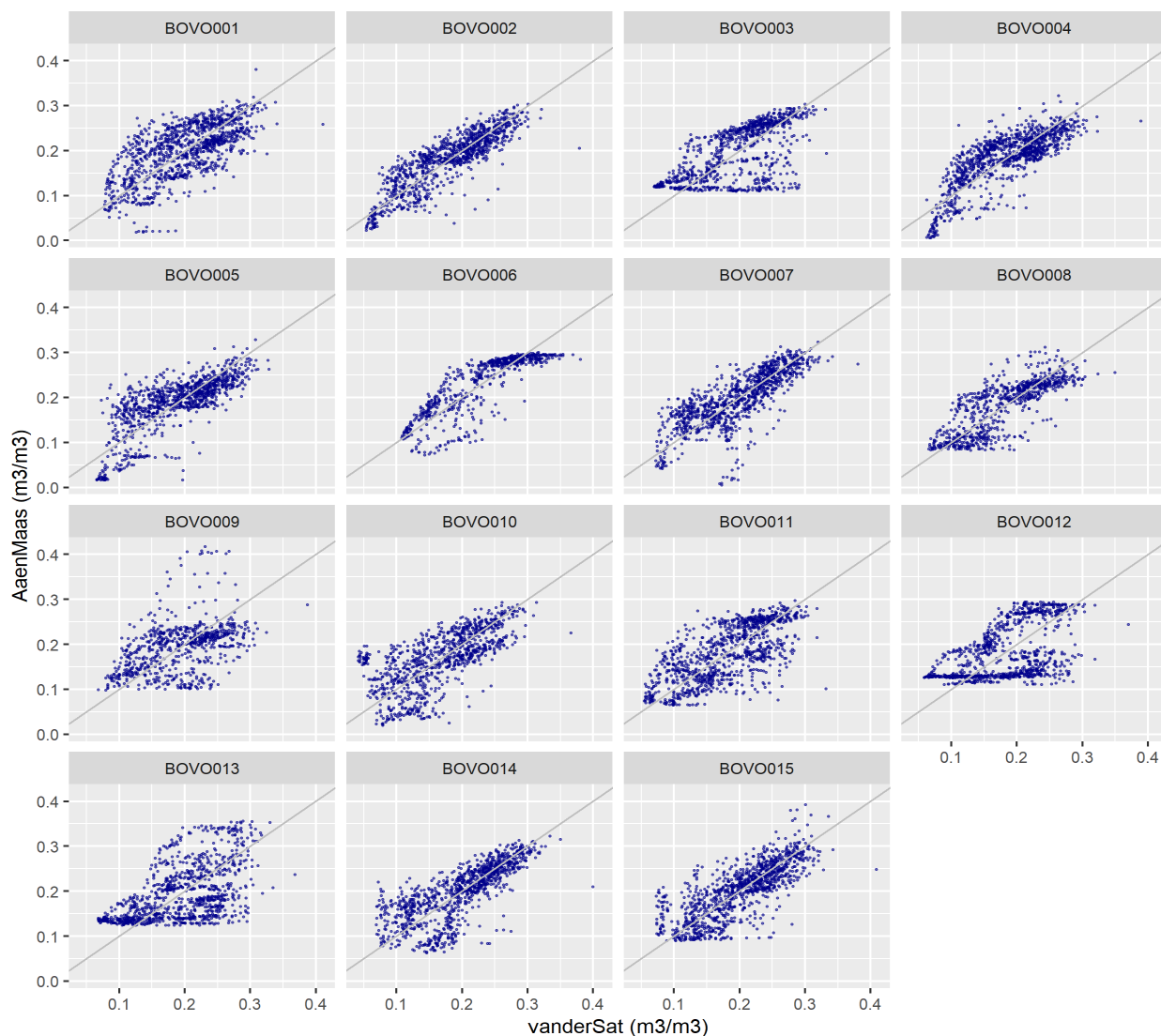
- De afwijkingen per datum

In Figuur 2.4 zijn de VanderSat-gegevens tegen de bodemvochtmetingen van het waterschap uitgezet. Hieruit blijken grote overeenkomsten, maar voor een aantal locaties ook grote verschillen. Zo komen de gegevens van VanderSat en het waterschap voor BOVO002 heel goed met elkaar overeen. De jaarlijkse trend blijkt goed gesimuleerd te worden, want de punten volgen mooi de een-op-een lijn. De afwijkingen per datum zijn beperkt, want de afstand van de punten tot die lijn is aanzienlijk kleiner dan de spreiding in de metingen zelf.



**Figuur 2.3** Bodemvochtgegevens satelliet (VanderSat) en in-situ metingen (Aa en Maas, geschaald).

## Vochtgehalte vanderSat en Aa en Maas de Raam



**Figuur 2.4** Scatterplot bodemvochtgegevens satelliet (VanderSat) en in-situ metingen (Aa en Maas, geschaald).

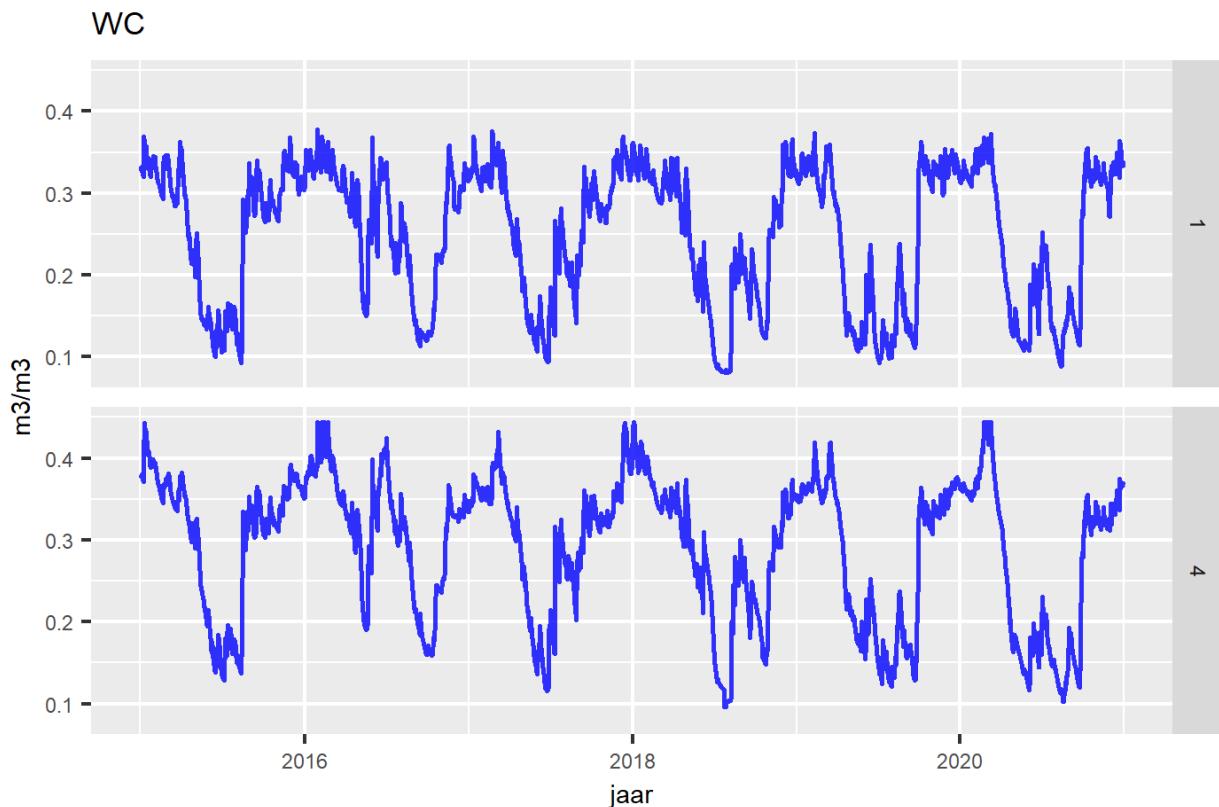
De reeksen van satelliet en in-situ meetapparaten verschillen lokaal behoorlijk van elkaar. Daar zijn verschillende verklaringen voor mogelijk:

- Preferente stroombanen en hydrofobie.  
Dit kan ervoor zorgen dat op bepaalde plaatsen geen en op andere locaties juist veel water infiltreert. De meting met een in-situ sensor hoeft daardoor niet representatief te zijn voor het hele perceel. De satelliet meet een gebiedsgemiddelde respons.
- Meetdiepte.  
De satelliet meet veelal tot een diepte van 5 cm -mv (afhankelijk van de vochttoestand). De sensoren zitten op circa 5 cm diepte met een meetbereik van circa 10 cm. Dit verschil in dieptebereik kan ook gevolgen hebben voor de grootte van de meetwaarde.
- Meetstoornissen in de in-situ meetsensoren.  
Oorzaken kunnen zijn verplaatsing sensor, verstoring sensor, problemen stroomvoorziening.
- Onderscheidend vermogen in signaal satellieten.  
Het downscalen van de satellietmetingen dient voldoende onderscheidend vermogen te hebben. Opvallend in de reeksen is vooralsnog het beperkte verschil in de lengte van het groeiseizoen.

De sterke kant van de in-situ metingen is dat het een directe meting op locatie is. De sterke kant van satellietmeting is juist het verkrijgen van inzicht in de dynamiek van een gebiedsgemiddeld vochtgehalte.

### 2.4.3 MetaSWAP-simulaties

Bij het simuleren van het regionale grondwatersysteem berekent MetaSWAP voor de wortelzone het watergehalte. Nu is de dikte van de wortelzone in de tijd niet constant, waardoor ook de totale vochthoeveelheid in de tijd varieert. Wel kan vochtgehalte (in  $\text{m}^3/\text{m}^3$ ) bepaald worden en vergeleken worden met het door SWAP berekende vochtgehalte (op een bepaalde diepte). Als voorbeeld is in Figuur 2.5 het verloop van het berekende vochtgehalte voor twee locaties gegeven (run\_id 1: BOVO004 en run\_id 4: BOVO0015).



**Figuur 2.5** Met MetaSWAP berekend vochtgehalte in de wortelzone (gemiddeld over de wortelzone-dikte) voor de locaties BOVO004 (1) en BOVO0015 (4).

## 2.5 Grondwaterstand

### 2.5.1 Veldmetingen

Bij de verschillende locaties met bodemvochtmetingen zijn de nabijgelegen peilfilters voor grondwaterstandmetingen geselecteerd (waarbij van een maximale afstand van 250 m is uitgegaan). In Tabel 2.4 zijn de meetlocaties voor het bodemvocht en de nabijgelegen peilfilters weergegeven plus de afstand tussen meetpunt bodemvocht en meetpunt grondwater. Voor de locaties BOVO002, BOVO003, BOVO010, BOVO013 en BOVO014 is de grondwaterstandmeting op dezelfde locatie als de bodemvochtmeting.

**Tabel 2.4** Afstand tussen meetpunt bodemvocht en grondwaterstand.

<b>Bodemvocht-meetpunt</b>	<b>Mtp Grondwaterstand</b>	<b>Afstand meetpunt grondwaterstand en meetpunt bodemvocht (m)</b>
BOVO001	N.v.t.	
BOVO002	BOVO002_G	<20
BOVO003	BOVO003_G	<20
BOVO004	REFV012_3_G	66
BOVO005	N.v.t.	
BOVO006	N.v.t.	
BOVO007	BOVO007_G	71
BOVO008	N.v.t.	
BOVO009	N.v.t.	
BOVO010	BOVO010_G	<20
BOVO011	B46C0207-001	83
BOVO012	B46C0009-001	74
BOVO013	BOVO013_G	<20
BOVO014	BOVO014_G	<20
BOVO015	B46C0162-001	239

### 2.5.2 MetaSWAP-simulaties

Het regionale model berekent de grondwaterstand. Dit model heeft een gridgrootte van 250 m. Het grondwatermodel rekent voor de verschillende lagen de stijghoogte uit. Voor de freatische grondwaterstand is uitgegaan van de berekende stijghoogte van laag 1 uit het grondwatermodel. Het zwaartepunt van het perceel is gebruikt om een gridcel te kiezen, waarvoor de grondwaterstand is uitgelezen.

---

## 3 SWAP-simulatie

### 3.1 Algemeen

Door combinatie van metingen en simulatieresultaten met SWAP is inzicht te krijgen in de reactie van het watersysteem op meteorologie, waterbeheer en landbouwmanagement. Hierbij wordt een vergelijking gemaakt van de SWAP-resultaten met de meetgegevens en tevens met de resultaten van MetaSWAP. De lokale SWAP-modellen zijn vervolgens aan te passen om zo de huidige situatie beter te simuleren en te begrijpen. Hierbij is het bepalen van gevoeligheden van verandering van modelparameters nuttig om inzicht te krijgen in het effect hiervan op bodemvochtgehalten. De volgende onderdelen en parameters zijn dan interessant:

- Bodemopbouw (zowel profielopbouw als bodemfysische relaties, bv. Mualem van Genuchten-relaties: variaties binnen bouwsteen).
- Maaiveldhoogte (variatie binnen rekengridcel).
- Gewasontwikkeling (basis SWAP, effecten natte en droge omstandigheden).
- Gewastype: bloembollen (tulpen, lelies, narcissen), aardappels (poot of consumptie).

### 3.2 Opzet SWAP-model

#### 3.2.1 Simulatieperiode

Bij de simulaties met SWAP zijn de jaren 2016-2020 doorgerekend met 2015 als inloopjaar, oftewel een inrekenperiode.

#### 3.2.2 Parametrisatie op basis van regionale model

Het regionale model maakt gebruik van algemeen beschikbare gebiedsdekkende informatie, waaronder meteogegevens o.b.v. radar, landgebruik volgens LGN-kaarten (Hazue et al., 2014), bodemopbouw volgens BOFEK (Heinen et al., 2021), ontwateringsmiddelen volgens TOP10 ([www.kadaster.nl](http://www.kadaster.nl)). Deze gegevens zijn overgenomen voor de parametrisatie van de lokale SWAP-modellen. In Tabel 3.1 zijn de kenmerken voor de locaties met bodemvochtmetingen weergegeven, welke in het regionale model zijn toegekend.

Meteorologisch was het jaar 2016 iets nat, 2017 was een redelijk gemiddeld jaar, 2018-2020 waren droog en 2021 gemiddeld.

De toegekende gewassen zijn voornamelijk gras maar ook mais en 'overig' (dat zijn tuinbouwgewassen, koolgewassen, hennep, koolzaad etc.) (Hazue et al., 2014).

In de regionale modellering is voor 7 van de 15 plots van berekening uitgegaan. In de SWAP-modellering is niet van berekening uitgegaan.

Uit de maaiveldhoogten blijkt dat in het gebied aanzienlijke hoogteverschillen bestaan.

De toegekende bodemprofielen betreffen voornamelijk zandgronden en maken deel uit van de BOFEK-eenheden 3005, 3011, 3012, 3014, 3015 en 3016 (Heinen et al., 2021), zie Figuur 3.1.



**Tabel 3.1** Kenmerken uit het regionale model voor de locaties met bodemvochtmetingen.

Locatie	Bodemprofiel (BOFEK)	Gewas	Berekening*	Gridcel x_coördinaat	Gridcel y_coördinaat	Maaiveldhoogte gridcel m+NAP
BOVO002	126 (3012)	overige landbouwgewassen	1	174625	410625	20.42
BOVO003	79 (3015)	gras	1	177375	411625	17.13
BOVO004	82 (3014)	gras	0	177875	413875	15.82
BOVO005	126 (3012)	overige landbouwgewassen	0	174125	412875	19.83
BOVO007	122 (3005)	mais	1	188375	412625	11.35
BOVO008	79 (3015)	overige landbouwgewassen	1	184125	396125	25.87
BOVO009	79 (3015)	gras	0	181625	400125	23
BOVO010	82 (3014)	mais	1	181125	405125	19.95
BOVO011	79 (3015)	gras	1	189625	400375	20.77
BOVO012	79 (3015)	gras	0	185375	405625	16.85
BOVO013	149 (3016)	gras	1	189375	406375	13.34
BOVO014	181 (3011)	gras	0	186875	409625	10.74
BOVO015	127 (3012)	gras	0	182625	412125	10.6

\* In de simulaties is niet van berekening uitgegaan.

Voor de SWAP-simulatie is de keuze van de gebruikte concepten gelijk gehouden aan die van MetaSWAP (regionale model). Met onder andere (zie Kroes et al., 2017):

- Droogteschade: conform Feddes-methodiek.
- Natschade: conform Bartholomeus-methodiek.
- Compensatie: alleen natschade, volgens methode van Walsum.

### 3.3 Validatie

Bij de validatie is onderscheid gemaakt in de gegevens aan:

- De invoerkant van de SWAP-modellen.  
Komen de invoergegevens afkomstig uit het regionale model (gewas, bodemopbouw, maaiveldhoogte, grondwaterstand) overeen met de situatie in het veld?
- De uitvoerkant.  
Komen de gesimuleerde grondwaterstanden en bodemvochtgehalten overeen met de gemeten waarden?

Bij de vergelijking tussen de gesimuleerde en gemeten waarden is gebruikgemaakt van twee maten namelijk de Root Mean Square Error (RMSE) (Hyndman en Koehler, 2006) en de Normalised Nash Sutcliff Efficiency (NNSE) (Nossent en Bauwens, 2012).

De RMSE wordt met de volgende formule berekend:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_o - y_m)^2}{n}}$$

Met n : aantal waarnemingen  
 $y_o$  : gemeten waarde  
 $y_m$  : gesimuleerde waarde

De NNSE wordt met de volgende formules berekend:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_o - y_m)^2}{\sum_{i=1}^n (y_o - \bar{y}_o)^2}$$

$$NNSE = \frac{1}{2 - NSE}$$

Met  $\bar{y}_o$  : gemiddelde van de gesimuleerde waarden

De betekenis van de NNSE is als volgt:

- $\leq 0.5$  betekent dat model minder goed voorspelt dan het gemiddelde van de observaties.
- $> 0.5$  betekent dat model betere voorspellende waarde heeft dan het gemiddelde van de observaties.
- 1 betekent een perfect voorspellende waarde.

### 3.3.1 Invoer: gewas model en praktijk

Het gewas in het regionale model is in lijn gebracht met het landgebruik voor 2020/2021. Natuurlijk zijn er verschillen met gewassen in andere jaren. Ter illustratie is in Tabel 3.2 het gewas uit het regionale model vergeleken met dat wat in 2016 op het veld stond. Gemarkeerd zijn de vier locaties met verschillen: BOVO002, BOVO008, BOVO009 en BOVO010. Voor deze vier locaties kunnen de SWAP-simulatie resultaten voor 2016 afwijken van de veldsituatie doordat er een ander gewas is doorgerekend dan dat op het land stond.

**Tabel 3.2** Gewas in regionale model en in de praktijk in het jaar 2016.

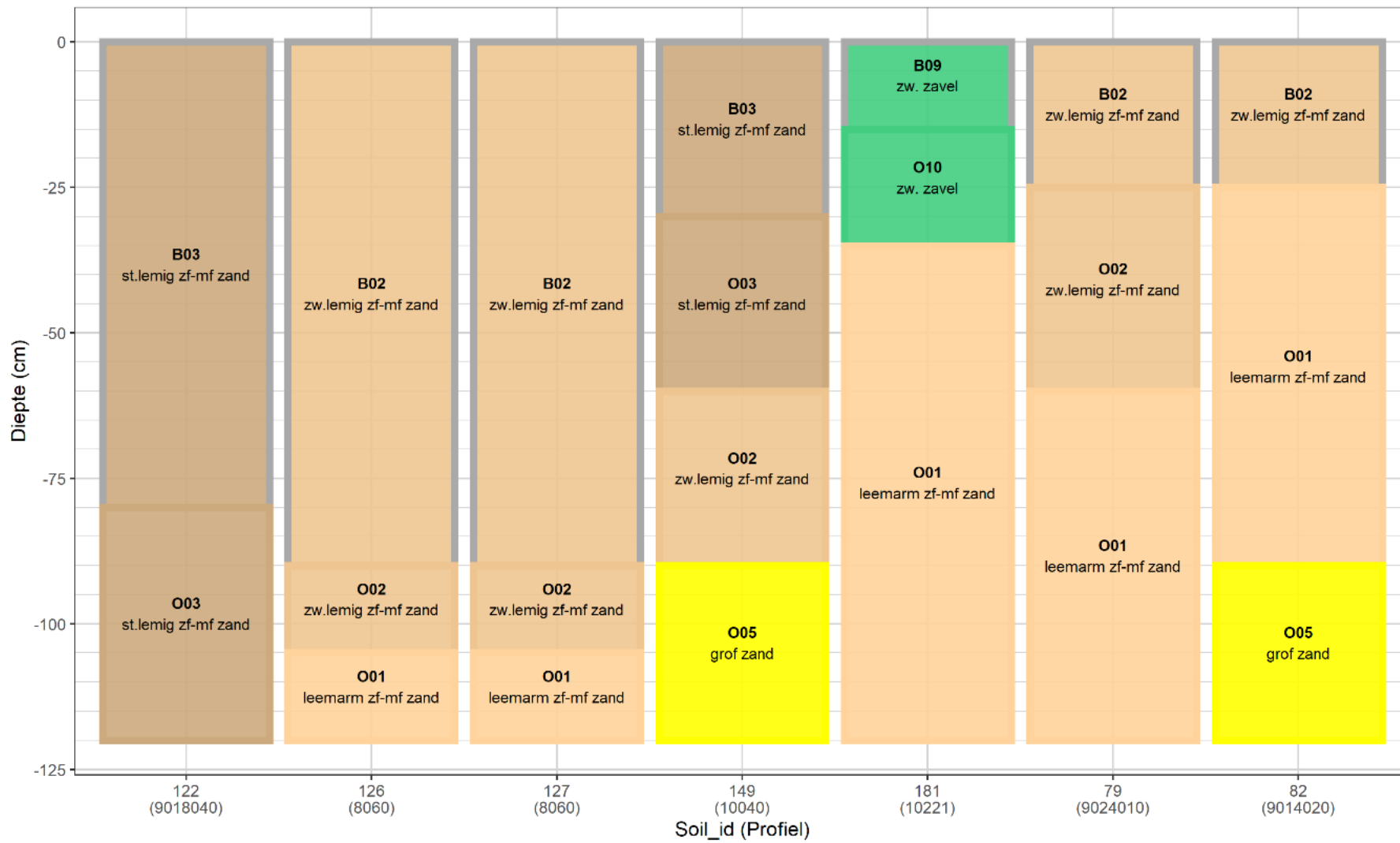
Locatie	Gewas regionale model	Gewas 2016
BOVO001	Geen simulatie	Gras
BOVO002	Overige landbouwgewassen	Suikerbieten
BOVO003	Gras	Gras
BOVO004	Gras	Gras
BOVO005	Overige landbouwgewassen	Rode uien
BOVO006	Geen simulatie	Gras
BOVO007	Mais	Mais
BOVO008	Overige landbouwgewassen	Suikerbieten
BOVO009	Gras	Suikerbieten
BOVO010	Mais	Gras
BOVO011	Gras	Onbekend
BOVO012	Gras	Gras/mais
BOVO013	Gras	Onbekend
BOVO014	Gras	Gras
BOVO015	Gras	Gras

### 3.3.2 Invoer: bodemopbouw model en praktijk

In Figuur 3.1 is de geschematiseerde bodemopbouw van de locaties met bodemvochtmetingen gegeven zoals gebruikt in het regionale model. Deze bodemprofielen zijn overgenomen voor de SWAP-simulaties. Uit de figuur volgt dat de laagopbouw van profiel 126 en 127 met elkaar overeenkomen.

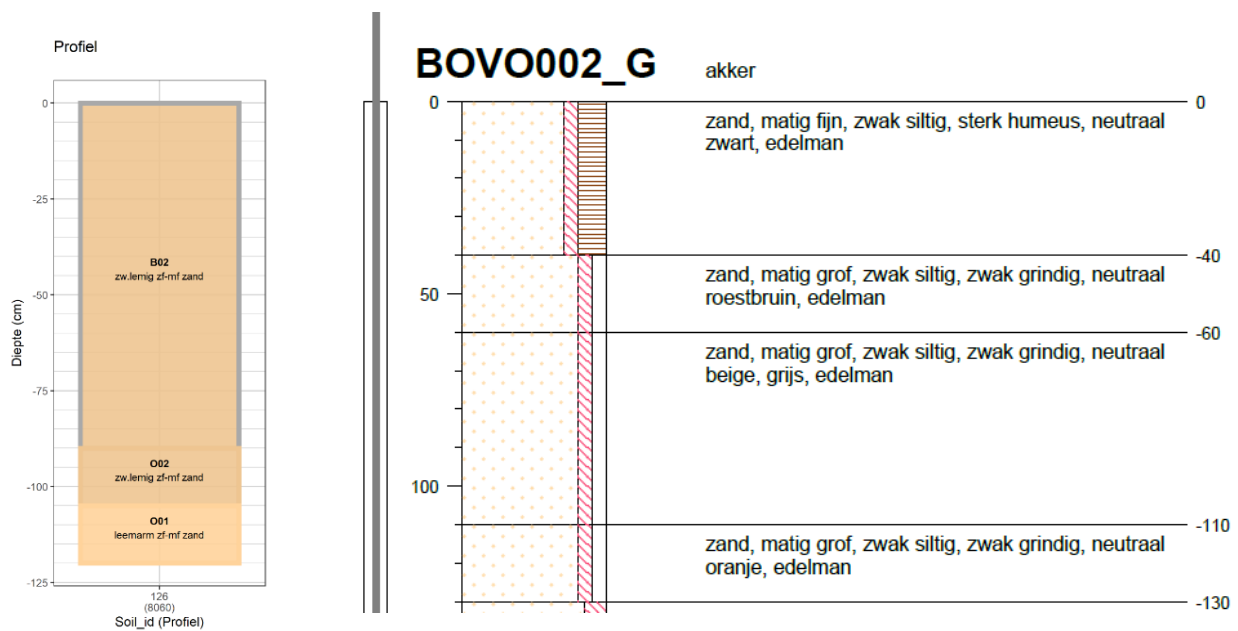
In Tabel 3.1 is weergegeven welk bodemprofiel is gekoppeld aan de bodemvochtlocatie. Twee locaties met bodemvochtmetingen liggen volgens de landgebruiksk kaart niet in landbouwgebied. Dit betreft BOVO001 en BOVO006. De meeste locaties hebben volgens de profielbeschrijvingen fijn zand in de toplaag met uitzondering van BOVO014 met zware zavel. Drie locaties hebben vanaf 90 cm -mv grof zand in de bodem met mogelijk gevolgen voor de capillaire nalevering van water.

## Profiel



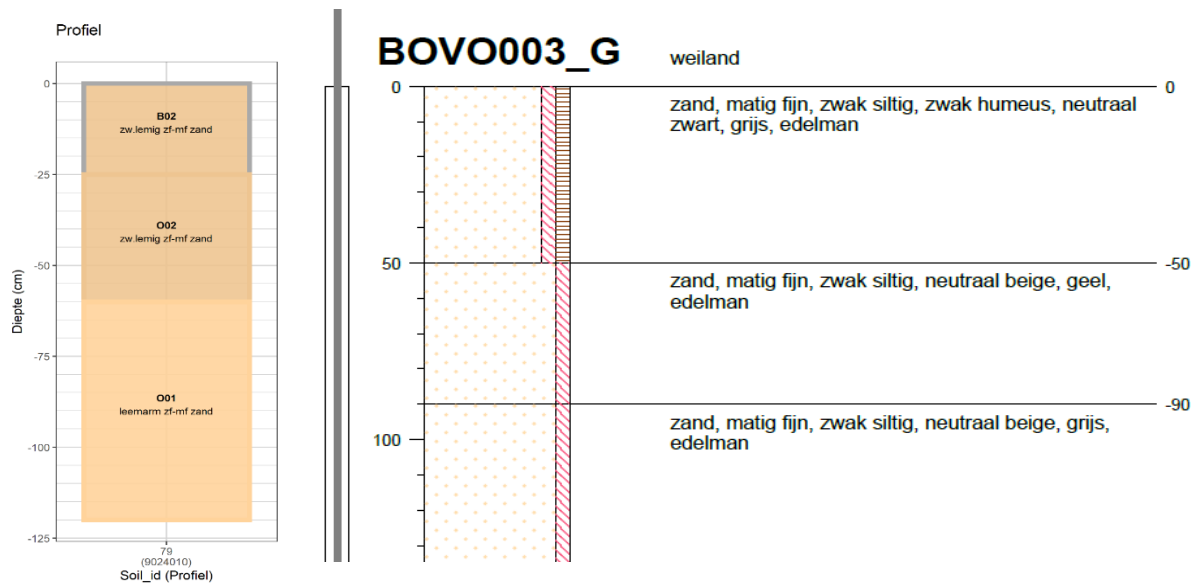
**Figuur 3.1** Bodemprofielen voor de locaties met bodemvochtmetingen met de bouwstenen van de Staringreeks 2020.

Hieronder volgt een vergelijking van het toegekende bodemprofiel uit het regionale model met die uit het veld (voor zover gedetailleerde profielbeschrijvingen beschikbaar zijn).



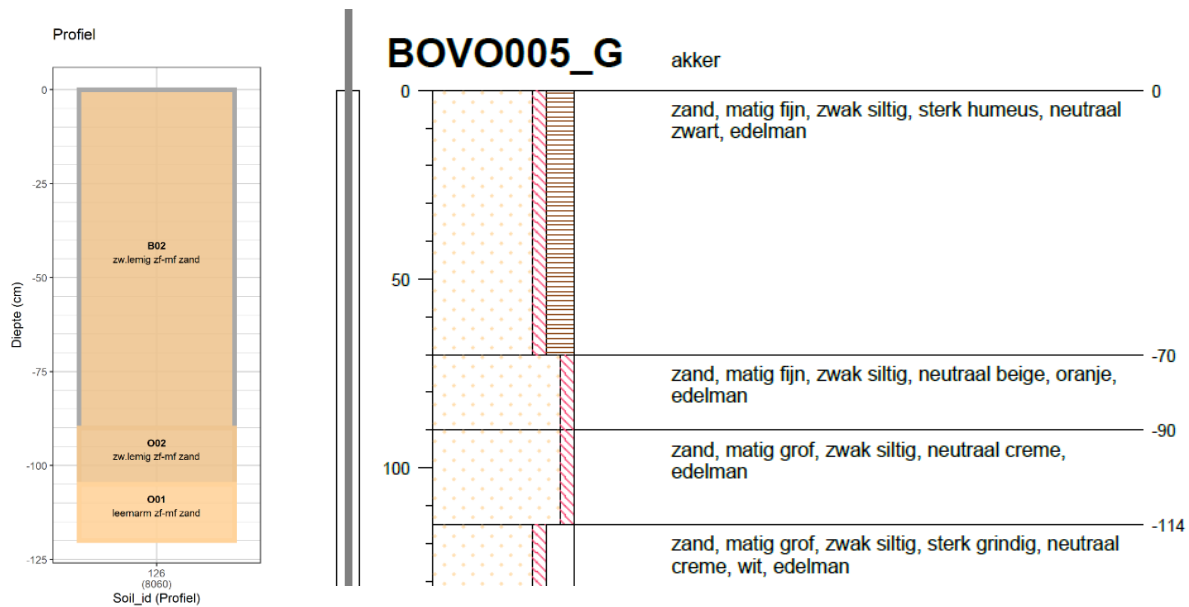
**Figuur 3.2** Vergelijking profiel reg. model en veldprofiel bij BOVO002.

Uit Figuur 3.2 volgt dat voor BOVO002 vanaf 40 cm -mv de bodem in werkelijkheid grover en grindiger is dan voor het regionale model is geparametriseerd.



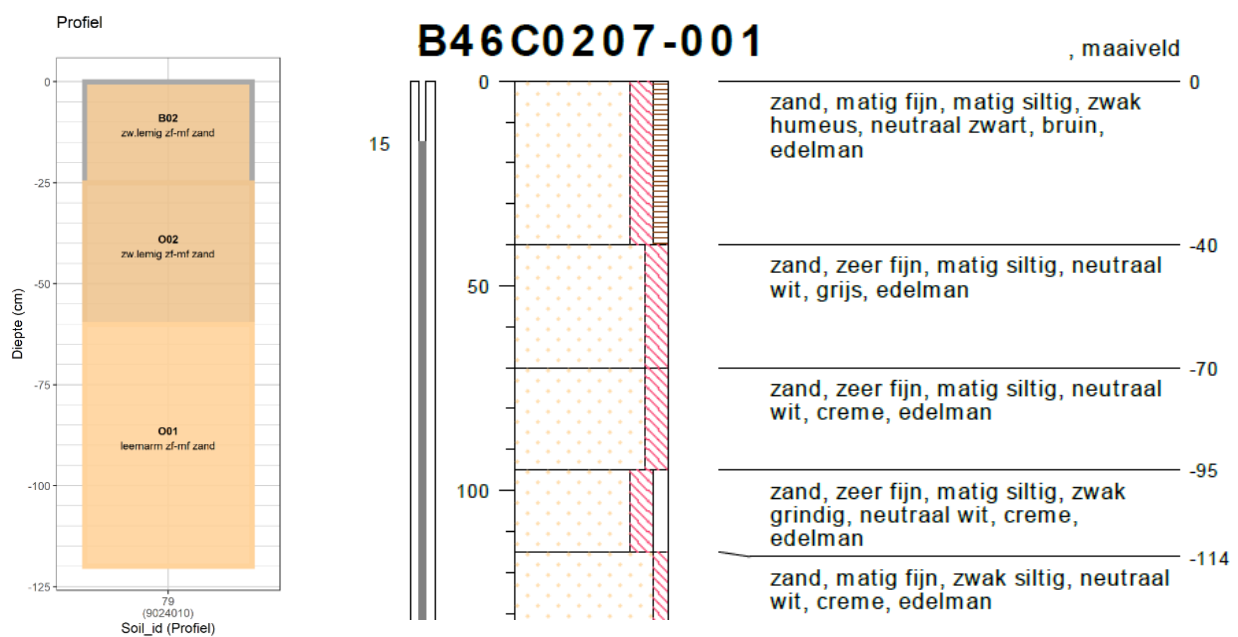
**Figuur 3.3** Vergelijking profiel reg. model en veldprofiel bij BOVO003.

Uit Figuur 3.3 volgt dat voor BOVO003 vanaf 60 cm -mv de bodem in werkelijkheid iets siltiger is dan voor het regionale model is geparametriseerd (al is de classificatie moeilijk te vergelijken doordat het in het ene geval om de leemfractie (< 50mu) en in het andere geval om de siltfractie (2-50 mu) gaat).



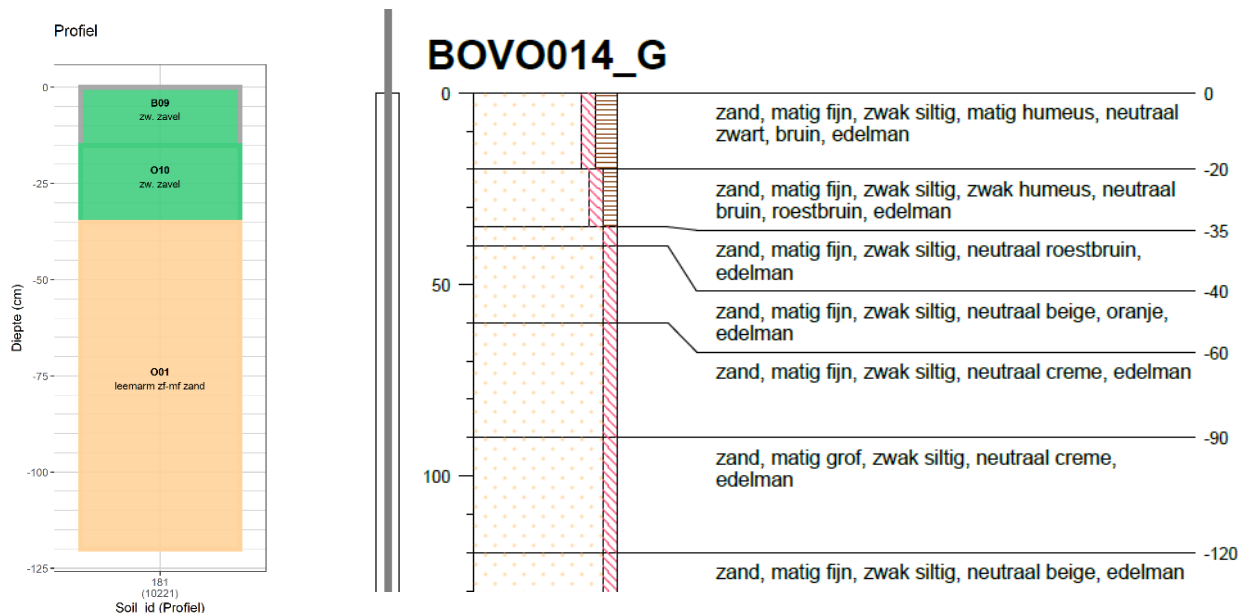
**Figuur 3.4** Vergelijking profiel reg. model en veldprofiel bij BOVO005.

Uit Figuur 3.4 volgt dat voor BOVO005 vanaf 90 cm -mv de bodem in werkelijkheid grover en vanaf 115 cm -mv grindiger is dan voor het regionale model is geparametriseerd.



**Figuur 3.5** Vergelijking profiel reg. model en veldprofiel bij BOVO011.

Uit Figuur 3.5 volgt dat voor BOVO011 het toegekende BOFEK-profiel grotendeels overeenkomt met de boring (B46C0207-001).



**Figuur 3.6** Vergelijking profiel reg. model en veldprofiel bij BOVO014.

Uit Figuur 3.6 volgt dat voor BOVO014 de toplaag in het model bestaat uit zware zavel, wat duidelijk anders is dan de boring toont.

Uit het bovenstaande volgt dat het aanpassen van de bodemschematisatie kan helpen om deze beter te laten aansluiten bij de werkelijkheid.

### 3.3.3 Invoer: maaiveldhoogten model en praktijk

Bij de metingen en de simulaties zijn verschillende maaiveldhoogten gebruikt. De meetpunten voor het bodemvocht hebben een maaiveldhoogte die af kan wijken van de maaiveldhoogte van de gridcel van de modelberekening. In Tabel 2.2 zijn maaiveldhoogten gegeven voor de locaties van de bodemvochtmetingen.

Voor het bodemvocht is de maaiveldhoogte een belangrijke randvoorwaarde, omdat deze mede de afstand tot de grondwaterstand bepaalt en daarmee ook het vochtgehalte beïnvloedt. In Tabel 3.3 zijn maaiveldhoogten uit verschillende bronnen weergegeven. De metingen uit het veld en volgens de gedetailleerde AHN4-gegevens (0.5 m-resolutie) zijn beide puntgegevens: deze hoogten verschillen 2 tot maximaal 16 cm, maar veelal 2 tot 6 cm. Het verschil tussen de AHN2\_25-maaiveldhoogte en die ter plaatse van de bodemvochtmeting is over het algemeen minder dan 10 cm en maximaal -19 cm. Het verschil tussen de maaiveldhoogte bij het meetpunt en die van de gridcel bedraagt -39 cm tot +22 cm.

**Tabel 3.3** Maaiveldhoogten per bodemvochtmeetpunt uit verschillende bronnen (Veld: in het veld gemeten, AHN4\_0.5: AHN4 met 0.5 m resolutie, gridcel: regionale model).

Meetpunt	Maaiveld (m+NAP)		Verskil (m)			
	Veld (AHN4_0.5)	AHN2_25	gridcel	AHN2_25 minus Veld	Veld minus gridcel	AHN2_25 minus grid
BOVO001		9.38				
BOVO002	20.38 (20.49)	20.33	20.42	-0.05	-0.04	-0.09
BOVO003	17.19 (17.27)	17.13	17.13	-0.06	0.06	0.00
BOVO004	15.58 (15.56)	15.58	15.82	0.00	-0.24	-0.24
BOVO005	19.84 (19.92)	19.92	19.83	0.08	0.01	0.09
BOVO006	8.90 (8.87)	8.92		0.02		
BOVO007	11.20 (11.29)	11.24	11.36	0.04	-0.16	-0.12
BOVO008	25.80 (25.64)	25.81	25.87	0.01	-0.07	-0.06
BOVO009	22.99 (23.10)	22.89	23.00	-0.10	-0.01	-0.11
BOVO010		19.97	19.95			0.02
BOVO011	20.99 (21.00)	20.80	20.77	-0.19	0.22	0.04
BOVO012	16.46 (16.38)	16.46	16.85	0.00	-0.39	-0.38
BOVO013	13.25 (13.28)	13.25	13.34	0.00	-0.09	-0.08
BOVO014	10.90 (10.88)	10.78	10.74	-0.12	0.16	0.04
BOVO015	10.37	10.36	10.60	-0.01	-0.23	-0.24

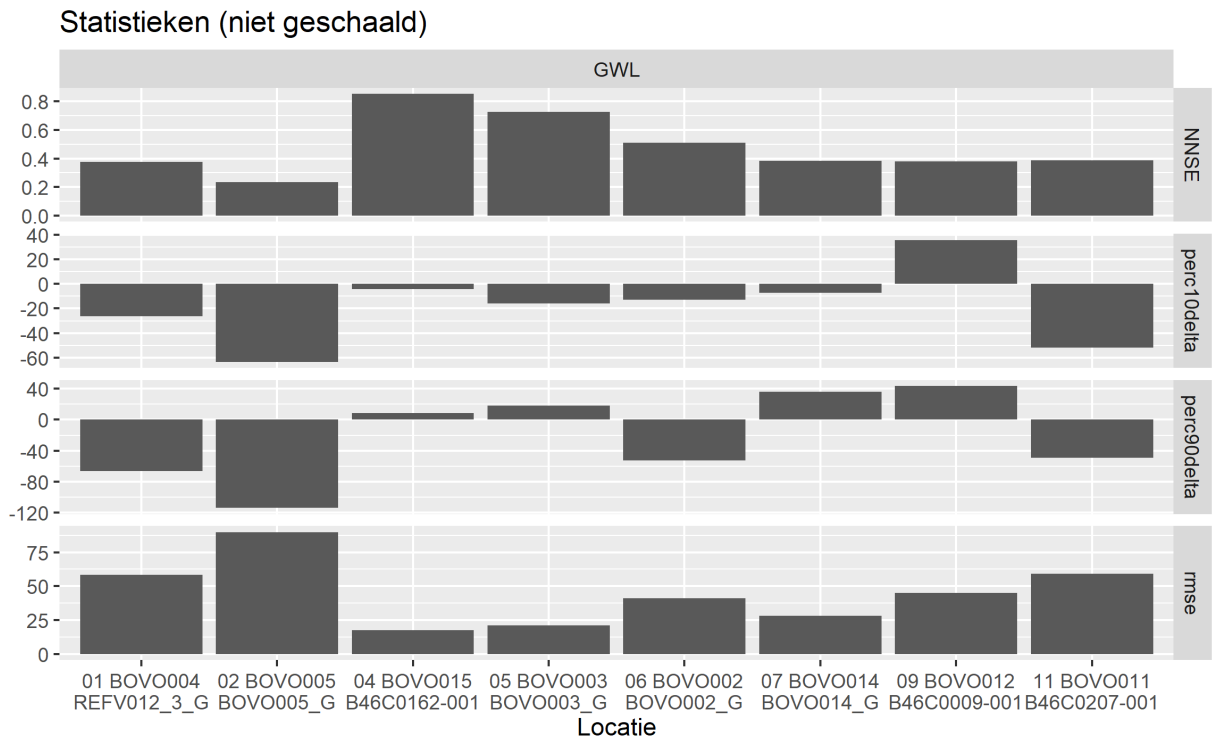
### 3.3.4 Invoer: grondwaterstand model en praktijk

Voor het bodemvocht in de wortelzone is de diepte van de grondwaterstand van belang. In de SWAP-simulatie zijn de grondwaterstanden uit het regionale model randvoorwaarden. Deze zijn vergeleken met gemeten grondwaterstanden. Deze meetpunten liggen niet altijd op de locatie van het meetpunt van het bodemvocht. Aangenomen is dat de gebruikte meetpunten een goed beeld geven van de grondwaterstanddynamiek op de locatie van het bodemvochtmeetpunt.

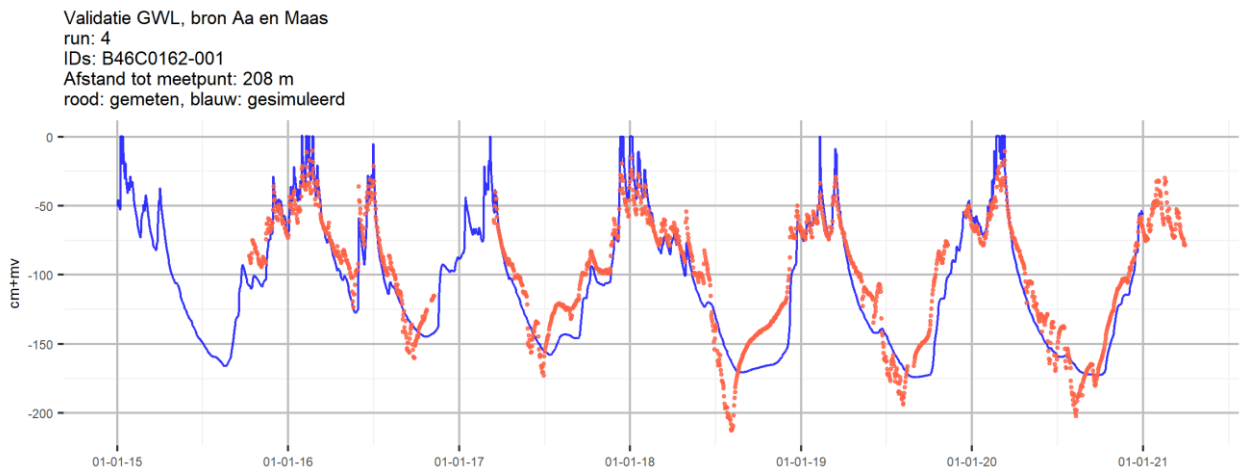
In Figuur 3.7 zijn de statistieken van de vergelijking van de gemeten en met het regionale model gesimuleerde grondwaterstand weergegeven. Hieruit blijkt dat er aanzienlijke verschillen zijn in prestaties per locatie. Het betreft een vergelijking van de grondwaterstanden t.o.v. maaiveld (dus voor het regionale model het maaiveld van de gridcel en voor de bodemvochtmeting de maaiveldhoogte ter plaatse).

Uit de statistieken blijkt dat run 4 BOVO015 en 5 BOVO003 het best presteren (een NNSE > 0.7 en een lage RMSE van minder dan 20 cm). Tevens zijn de verschillen in 10%- en 90%-percentiel gegeven (respectievelijk een lage en hoge grondwaterstand, simulaties minus metingen). Hieruit blijkt dat de verschillen in natte en droge situaties sterk kunnen verschillen.

De gesimuleerde en gemeten grondwaterstand voor run 4 is (met een NNSE = 0.75 en RMSE = 24 cm) weergegeven in Figuur 3.8. Een minder goede fit, run 9, is weergegeven in Figuur 3.9 (NNSE = 0.16 en RMSE = 81 cm).



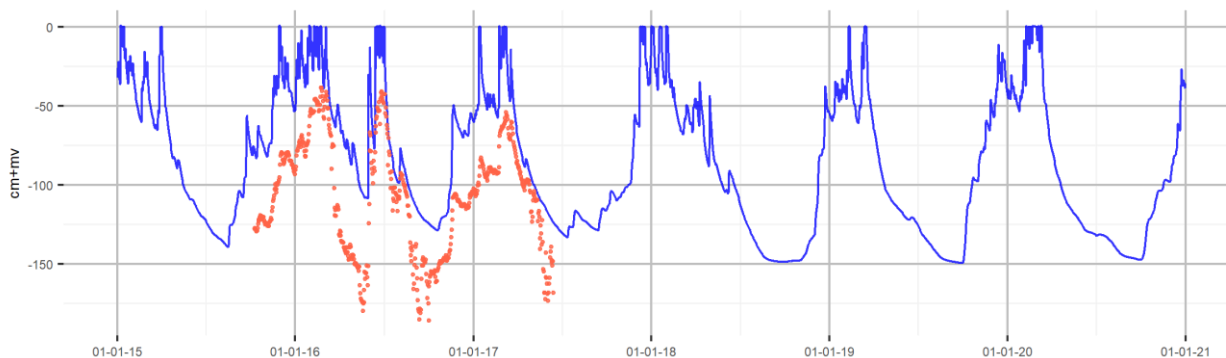
**Figuur 3.7** Statistieken grondwaterstanden voor de locaties met bodemvochtmetingen én grondwaterstandmetingen (eenheid NNSE en RMSE: -, eenheid percentielen: cm).



**Figuur 3.8** Vergelijking van de gemeten met de berekende grondwaterstand voor run 4, BOVO015.



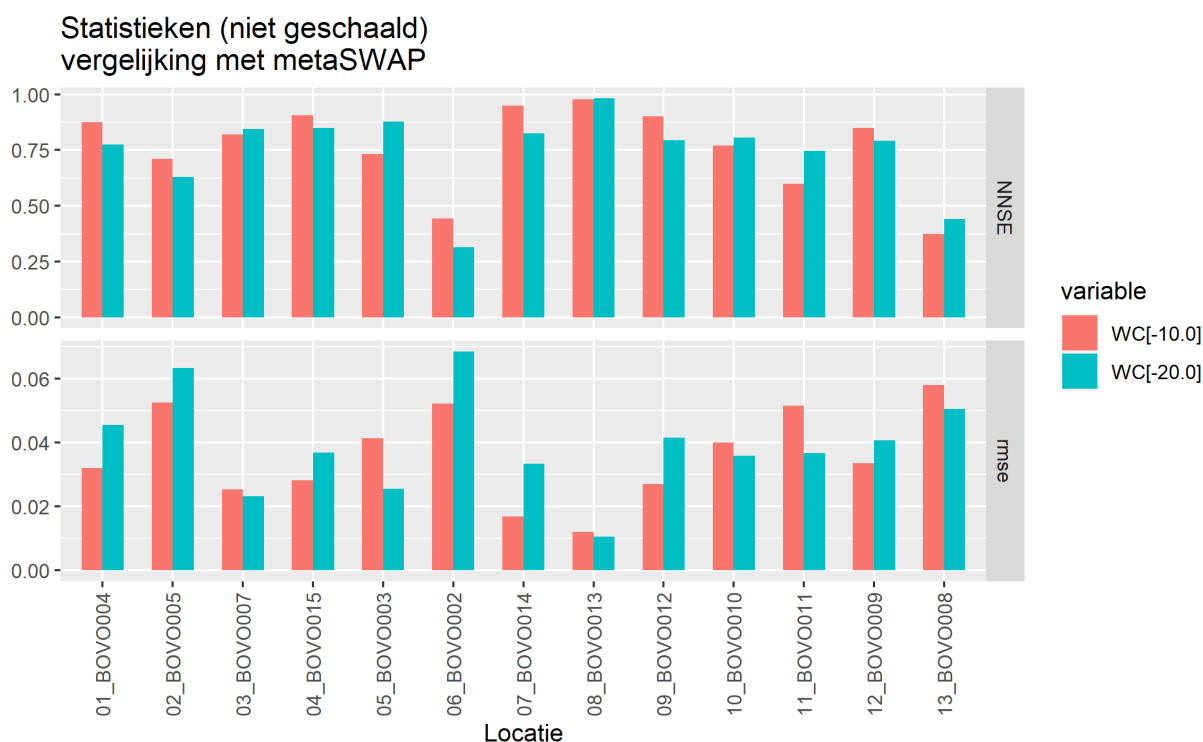
Validatie GWL, bron Aa en Maas  
 run: 9  
 IDs: B46C0009-001  
 Afstand tot meetpunt: 145 m  
 rood: gemeten, blauw: gesimuleerd



**Figuur 3.9** Vergelijking van de gemeten met de berekende grondwaterstand voor run 9, BOVO012.

### 3.3.5 Uitvoer: bodemvocht SWAP en MetaSWAP

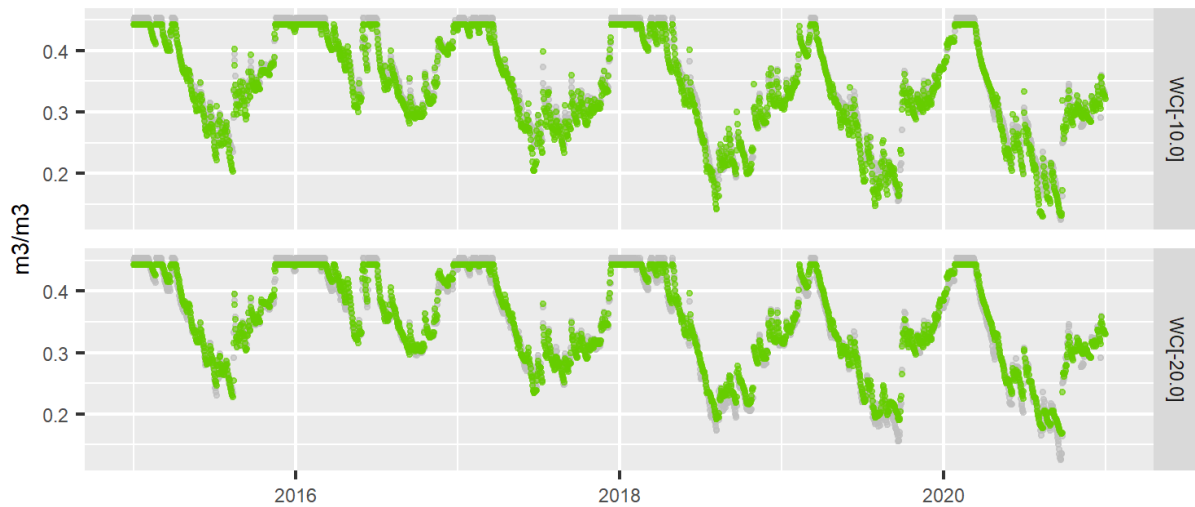
Als eerste zijn de met SWAP berekende bodemvochtgehalten vergeleken met de MetaSWAP-uitvoer. MetaSWAP berekent het bodemvocht voor de gehele wortelzone, SWAP daarentegen voor de verschillende bodemlagen. Om dit toch met elkaar te vergelijken, is voor MetaSWAP een over de worteldiepte gemiddeld bodemvochtgehalte berekend. Deze is vervolgens vergeleken met het door SWAP berekende bodemvochtgehalte op 10 en 20 cm diepte.<sup>1</sup> In Figuur 3.10 zijn de resultaten gegeven. Hieruit blijkt dat de NNSE vaak groter is dan 0.6.



**Figuur 3.10** Statistieken bodemvocht voor de vergelijking van de SWAP-simulatie (op een diepte van 10 en 20 cm -mv) met de MetaSWAP-simulatie (gemiddeld over de wortelzone) (NNSE: normalised modelling efficiency eenheid: -, rmse: root mean square error eenheid: -).

<sup>1</sup> In de SWAP-simulatie verandert de worteldiepte in de tijd. Daardoor is het niet goed mogelijk een gemiddeld bodemvochtgehalte over de gehele worteldikte te berekenen. Daarom zijn de MetaSWAP-bodemvochtgehalten vergeleken met de bodemvochtgehalten berekend met SWAP voor twee diepten.

Een goede overeenkomst is er voor BOVO013 en een minder goede voor BOVO002. Deze zijn weergegeven in Figuur 3.11 en Figuur 3.12. Duidelijk is dat SWAP door de fijnere laagdiscretisatie een gedetailleerder beeld van het vochtprofiel geeft. Voor BOVO002 zijn in natte perioden de verschillen beperkt en in droge perioden zijn er grotere verschillen. Mogelijk is dit een gevolg van meer capillaire nalevering bij MetaSWAP.



**Figuur 3.11** Vergelijking gesimuleerd bodemvochtgehalte van SWAP en MetaSWAP op twee diepten voor BOVO0013, run 8 (grijs: MetaSWAP, groen: SWAP).

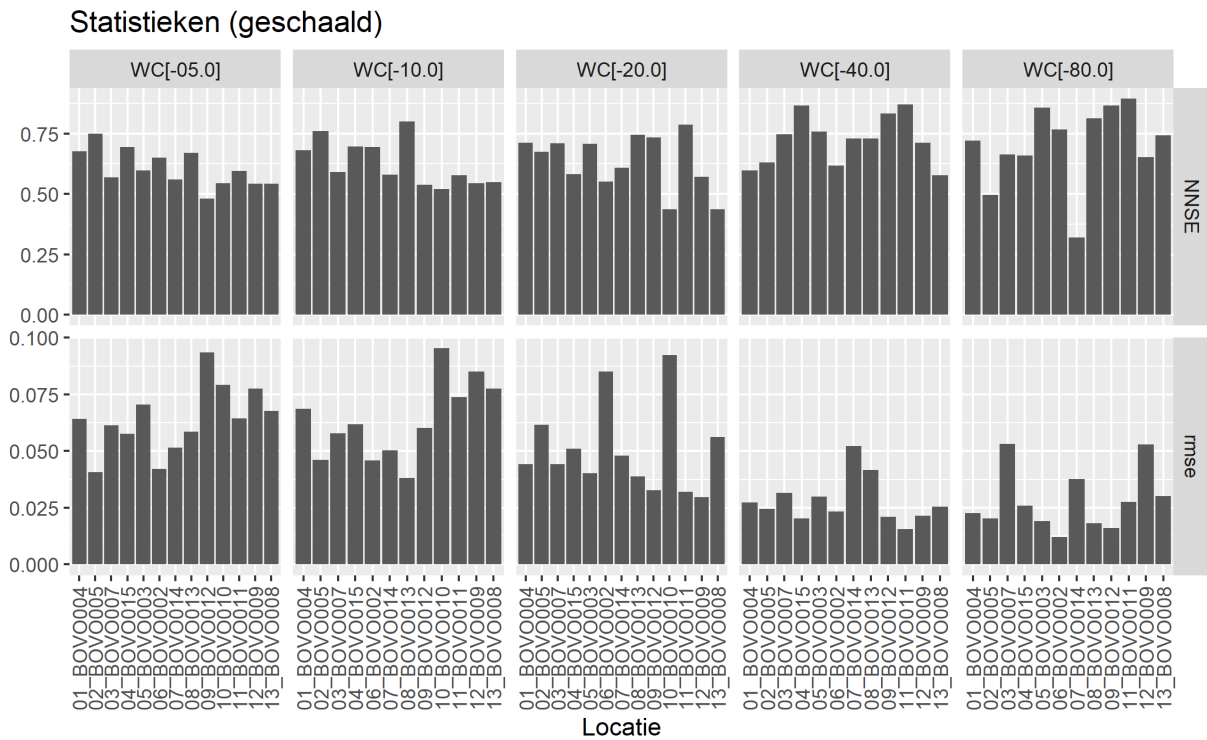


**Figuur 3.12** Vergelijking gesimuleerd bodemvochtgehalte van SWAP en MetaSWAP op twee diepten voor BOVO0002, run 6 (grijs: MetaSWAP, groen: SWAP).

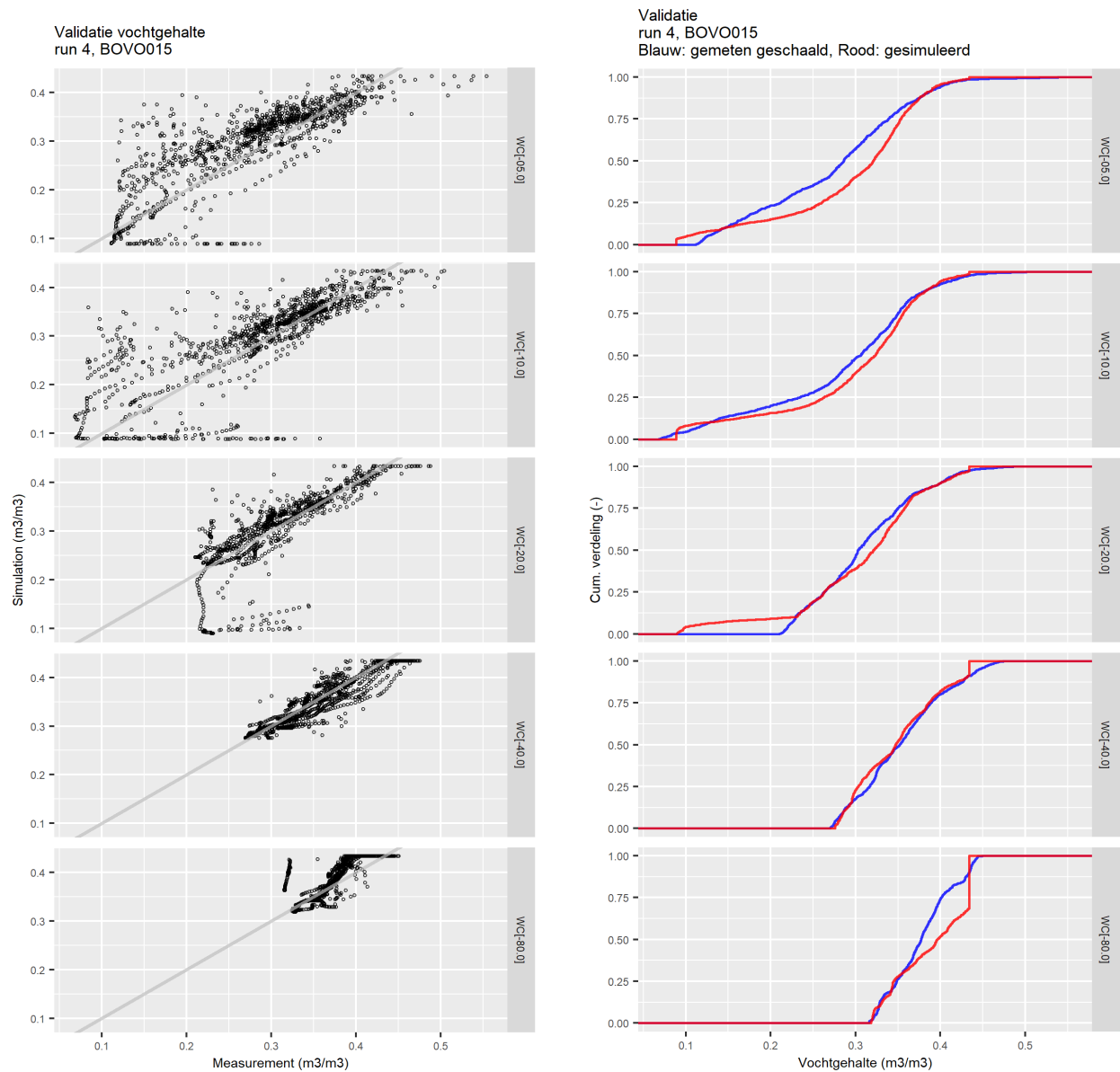
### 3.3.6 Uitvoer: bodemvocht model en in-situ metingen

In Figuur 3.13 zijn de statistieken voor het bodemvocht gegeven voor de vergelijking van simulaties met de geschaalde metingen. Bedacht moet worden dat de metingen geschaald zijn. De verschillen tonen dus vooral de verschillen in de synchroniciteit tussen de beide reeksen. Het valt op dat de RMSE voor de metingen op 40 en 80 cm diepte aanzienlijk lager zijn dan ondieper.

Als voorbeeld van hoe een specifieke locatie presteert, is in Figuur 2.2 het verloop van de grondwaterstanden en de vochtgehalten voor locatie 4, BOVO015, gegeven. In Figuur 3.14 zijn de relaties op twee andere wijzen gepresenteerd met links een directe vergelijking op de tijdstippen van meting en rechts een vergelijking van de cumulatieve verdelingsfuncties.



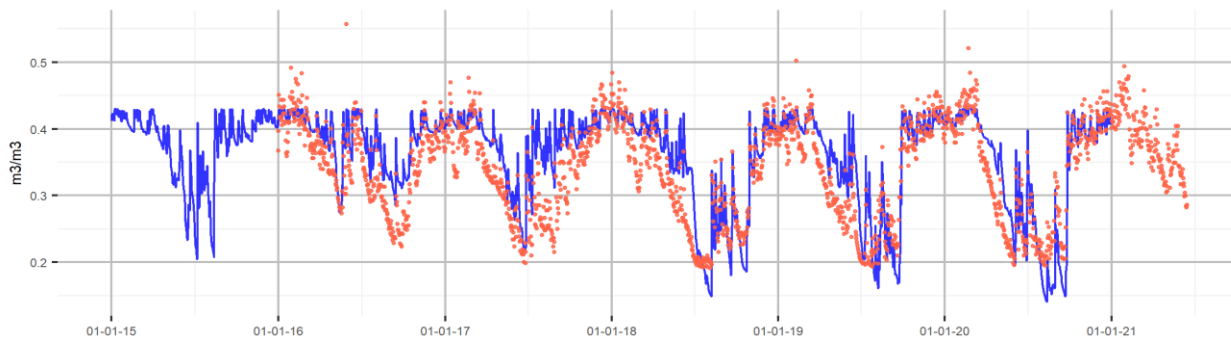
**Figuur 3.13** Statistieken bodemvocht voor de vergelijking van de in-situ meting met de SWAP-simulatie (NNSE: normalised modelling efficiency eenheid: -, rmse: root mean square error eenheid: cm).



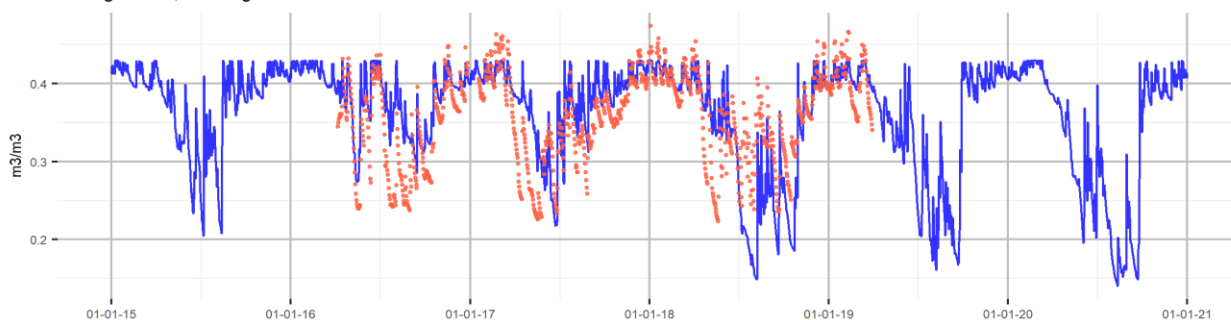
**Figuur 3.14** Gemeten en gesimuleerd bodemvochtgehalte voor run 4: BOVO015 (links: meting en simulatie vochtgehalte tegen elkaar uitgezet, rechts: cum. verdelingsfunctie voor meting en simulatie).

Als voorbeeld van een goede simulatie zijn BOVO005 (Figuur 3.15) en BOVO014 (Figuur 3.16) gegeven voor het vochtgehalte op 5 cm diepte, zowel voor de gegevens van de in-situ meting als de satellietgegevens (VanderSat). Voor BOVO005 volgen de in-situ metingen de gesimuleerde reeks visueel heel goed. De VanderSat-gegevens vertonen een enigszins ander verloop. Voor BOVO014 zijn de verschillen in metingen van VanderSat en in-situ minder groot. Tevens is het vochtgehalte op 40 cm -mv gegeven. Dit geeft een beeld van de dynamiek in een diepere bodemlaag: hieruit blijkt dat het vochtgehalte op grotere diepte minder variatie over de korte termijn laat zien. Dit is een gevolg van het trager reageren op grotere diepten op neerslaggebeurtenissen.

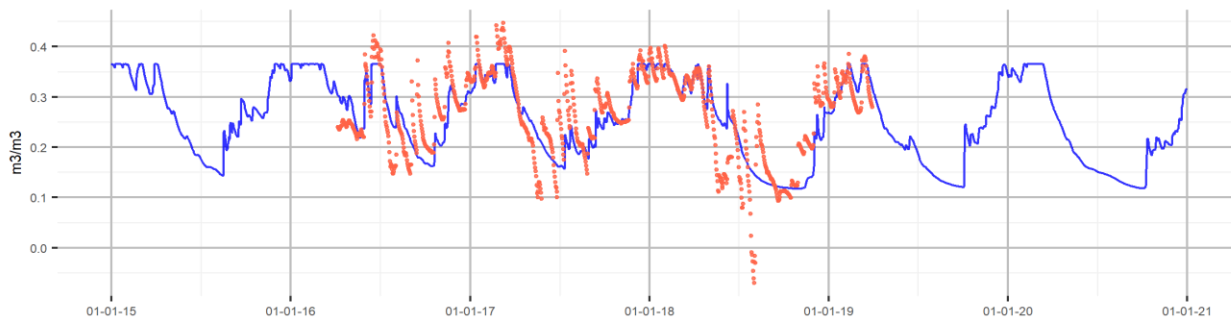
Validatie WC[-5.0], bron vanderSat geschaald op 90 and 10 percentiel  
run: 7  
IDs: BOVO014  
Afstand tot meetpunt: 108 m  
rood: gemeten, blauw: gesimuleerd



Validatie WC[-5.0], bron Aa en Maas geschaald op 90 and 10 percentiel  
run: 7  
Locatie2: BOVO014  
Filter2: 1  
Afstand tot meetpunt: 108 m  
rood: gemeten, blauw: gesimuleerd

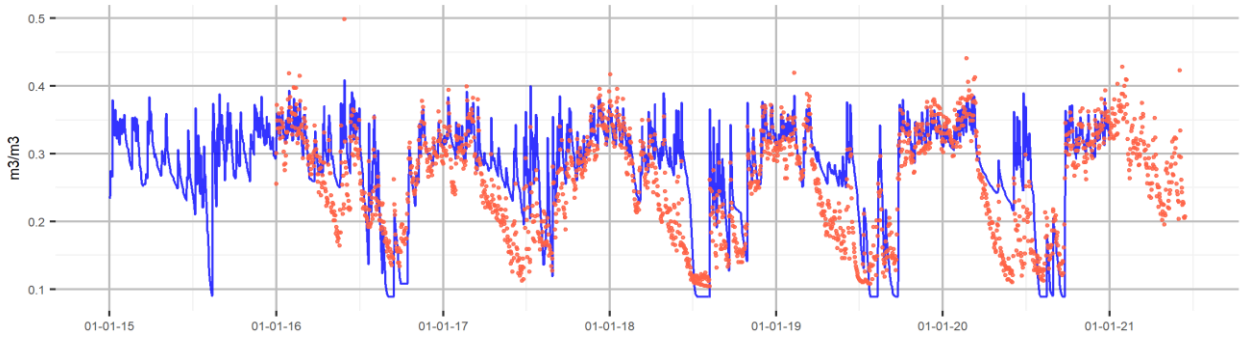


Validatie WC[-40.0], bron Aa en Maas geschaald op 90 and 10 percentiel  
run: 7  
Locatie2: BOVO014  
Filter2: 4  
Afstand tot meetpunt: 108 m  
rood: gemeten, blauw: gesimuleerd

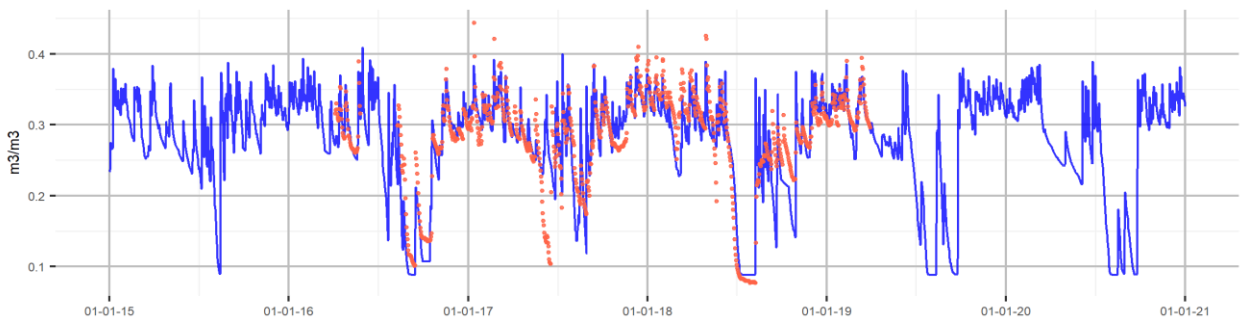


**Figuur 3.15** Gemeten en gesimuleerd bodemvochtgehalte voor run 7: BOVO014 (boven: VanderSat, middelste: in-situ op 5 cm -mv en onder: in-situ op 40 cm -mv).

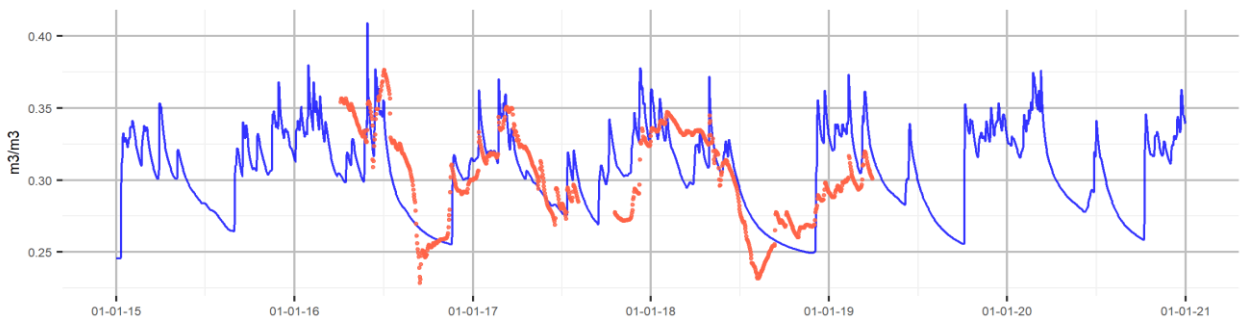
Validatie WC[-5.0], bron vanderSat geschaald op 90 and 10 percentiel  
run: 2  
IDs: BOVO005  
Afstand tot meetpunt: 95 m  
rood: gemeten, blauw: gesimuleerd



Validatie WC[-5.0], bron Aa en Maas geschaald op 90 and 10 percentiel  
run: 2  
Locatie2: BOVO005  
Filter2: 1  
Afstand tot meetpunt: 95 m  
rood: gemeten, blauw: gesimuleerd



Validatie WC[-40.0], bron Aa en Maas geschaald op 90 and 10 percentiel  
run: 2  
Locatie2: BOVO005  
Filter2: 4  
Afstand tot meetpunt: 95 m  
rood: gemeten, blauw: gesimuleerd



**Figuur 3.16** Gemeten en gesimuleerd bodemvochtgehalte voor run 2: BOVO005 (boven: VanderSat, middelste: in-situ op 5 cm -mv en onder: in-situ op 40 cm -mv).

---

## 3.4 Overzicht validatie

De vergelijking in paragraaf 3.3 levert inzicht in de randvoorwaarden van de simulaties (kloppen de uitgangspunten met de werkelijkheid?) en tevens in de toestandsvariabelen (kloppen de simulaties met de metingen voor de toestandsvariabelen bodemvocht en grondwaterstand?).

### 3.4.1 Invoer

#### *Gewas*

Voor vier locaties komt het toegekende gewas niet overeen met het daadwerkelijk geteelde gewas in 2016. Nu is dat een vergelijking met de situatie van slechts één jaar. Desalniettemin is het aan te bevelen na te gaan wat de effecten van een aangepast gewas voor deze locaties zijn.

#### *Bodemschematisatie*

Voor de simulaties is gebruikgemaakt van bodemeenheden die gebaseerd zijn op de Bodemkaart van Nederland<sup>2</sup> (2020; schaal 1:50.000). Deze gegevens zijn ook de basis van het regionale model. Deze bodemkaart bestaat uit 368 bodemprofielsschetsen tot 1,2 m -mv met zowel fysieke als chemische karakteristieken<sup>3</sup> (De Vries, 1999). Voor 5 van de 13 locaties is de toegekende bodemopbouw vergeleken met de veldbeschrijvingen. Hieruit volgt dat:

- Voor BOVO002 vanaf 40 cm -mv de bodem in werkelijkheid grover en grindiger is dan in het regionale model.
- Voor BOVO003 vanaf 60 cm -mv de bodem in werkelijkheid iets siltiger is dan voor het regionale model is geparametriseerd (al is de classificatie moeilijk te vergelijken doordat het het ene geval om de leemfractie (<50mu) en in het andere geval om de siltfractie (2-50 mu) gaat).
- Voor BOVO005 vanaf 90 cm -mv de bodem in werkelijkheid grover en vanaf 115 cm -mv grindiger dan in het regionale model.
- Voor BOVO011 het toegekende BOFEK-profiel grotendeels overeenkomt met de boring (B46C0207-001).
- Voor BOVO014 de toplaag in het model bestaat uit zware zavel, wat duidelijk anders is dan de boring toont. Voor BOVO014 kan de toplaag beter vervangen worden door een bouwsteen B02 (matig fijn tot zeer fijn, zwak lemig zand).

#### *Grondwaterstand ten opzichte van maaiveld*

Voor het bodemvocht is de grondwaterstand t.o.v. maaiveld van belang. Het gaat erom dat de afstand van maaiveld tot grondwaterstand goed wordt gesimuleerd. In Tabel 3.4 zijn de verschillen in maaiveldhoogte en grondwaterstanden weergegeven. De netto kolom geeft aan met hoeveel de gesimuleerde grondwaterstand moet stijgen om een realistischer grondwaterstand t.o.v. mv te krijgen. Uit de vergelijking blijkt dat de gewenste daling voor een natte situatie (90%-percentiel) heel anders kan zijn dan voor de drogere situatie (10%-percentiel). Voor het verbeteren van de SWAP-simulatie is het een optie de grondwaterstandreeks uit het regionale model te transformeren om beter de lokale grondwaterstandreeks na te spelen. Dit kan op vergelijkbare wijze als voor het bodemvocht is uitgevoerd (zie paragraaf 2.1.4).

---

<sup>2</sup> <https://basisregistratieondergrond.nl/inhoud-bro/registratieobjecten/modellen/bodemkaart-sgm>

<sup>3</sup> Dit betekent dat qua fysieke laagopbouw verschillende bodemprofielen overeen kunnen komen.

**Tabel 3.4** Netto afwijking van grondwaterstand t.o.v. maaiveld.

Mtp	Verschil maaiveld <sup>1</sup> (cm)		Verschil GWL <sup>2</sup> (cm)		Netto <sup>3</sup> (cm)		
	AHN25	Gridcel	AHN minus grid	perc 90%	perc 10%	perc 90%	perc 10%
BOVO002	20.33	20.42	-9	43	4	52	13
BOVO003	17.13	17.13	0	-19	16	-19	16
BOVO004	15.58	15.82	-24	42	2	66	26
BOVO005	19.92	19.83	9	123	72	114	63
BOVO007	11.24	11.36	-12				
BOVO008	25.81	25.87	-6				
BOVO009	22.89	23	-11				
BOVO010	19.97	19.95	2				
BOVO011	20.8	20.77	4	53	55	49	51
BOVO012	16.46	16.85	-38	-82	-74	-44	-36
BOVO013	13.25	13.34	-8				
BOVO014	10.78	10.74	4	-32	11	-36	7
BOVO015	10.36	10.6	-24	-32	-19	-8	5

<sup>1</sup> AHN ligt x cm hoger dan in regionaal model (werkelijk minus simulatie).

<sup>2</sup> Verschil grondwaterstand t.o.v. NAP (werkelijk minus simulatie).

<sup>3</sup> Verschil grondwaterstand t.o.v. maaiveld (werkelijk minus simulatie), gewenste stijging onderrandvoorwaarde om realistischer grondwaterstand te krijgen.

### 3.4.2 Uitvoer

#### Veldmetingen bodemvocht

De simulaties van het bodemvocht tonen in vergelijking met de metingen een wisselend beeld. Op grotere diepte is de simulatie van het bodemvocht vaak beter dan ondieper. Maar ook van locatie tot locatie verschillende prestatie-indexen aanzienlijk. Dit laat ruimte voor verbetering van de modellen.

## 3.5 Verbetering SWAP-modellen

### 3.5.1 Aanpassing onderrandvoorwaarde

De grondwaterstanden uit het regionale model zijn in het SWAP-model gebruikt als onderrandvoorwaarde. In paragraaf 3.3.4 is beschreven dat de regionaal berekende grondwaterstanden (die de basis vormen voor de onderrandvoorwaarde van het SWAP-model) aanzienlijk kunnen verschillen met de gemeten grondwaterstanden. Deze onderrandvoorwaarden verdienen daarom aanpassing, om zo de met het model berekende grondwaterstand beter overeen te laten komen met de gemeten grondwaterstanden.

Als voorbeeld is het SWAP-model voor BOVO005 (run 2) genomen en is BOVO012 (run 9) aangepast.

#### BOVO005

Voor deze locatie is de benodigde aanpassing groot (63 tot 114 cm). In Figuur 3.17 toont de linker figuur (en dan de bovenste figuur) de grondwaterstand uit het regionale model (blauw) en de meting (grijs). In het rechterdeel van de figuur is te zien dat de aangepaste grondwaterstand (blauw) veel beter overeenkomt met de gemeten grondwaterstand (grijs).

Op de vochtgehalten in de onverzadigde zone heeft dat direct effect. Dat is met name het geval op 80 cm diepte waar het vochtgehalte beter de vorm van de meting volgt. In Figuur 3.18 is het effect op de transpiratie gegeven, waaruit blijkt dat de veranderingen beperkt zijn. Alleen in het jaar 2016 is er een verschil van circa 20%. In Figuur 3.19 is de vergelijking van de gesimuleerde watergehalten gegeven. Opvallend is het verschil in watergehalte in 2016 op 20 cm -mv. De grondwaterstanden zijn in de zomer van dat jaar aanzienlijk hoger dan in de jaren daarna, wat naar verwachting voor meer capillaire nalevering zorgt en daardoor meer verdamping. In Figuur 3.20 is het profiel weergegeven en tevens vanuit welke diepte capillaire werking op kan treden. Dit wordt weergegeven door de kritieke Z-afstand, dat is de maximale

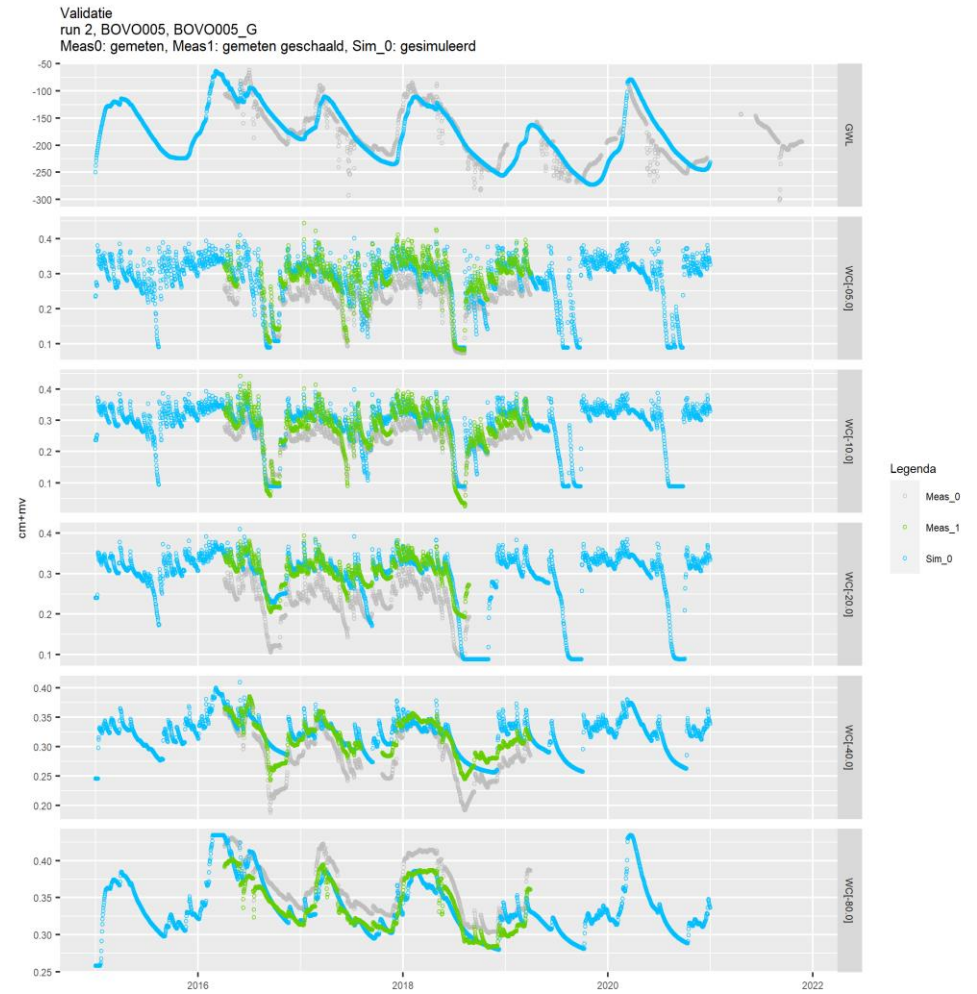
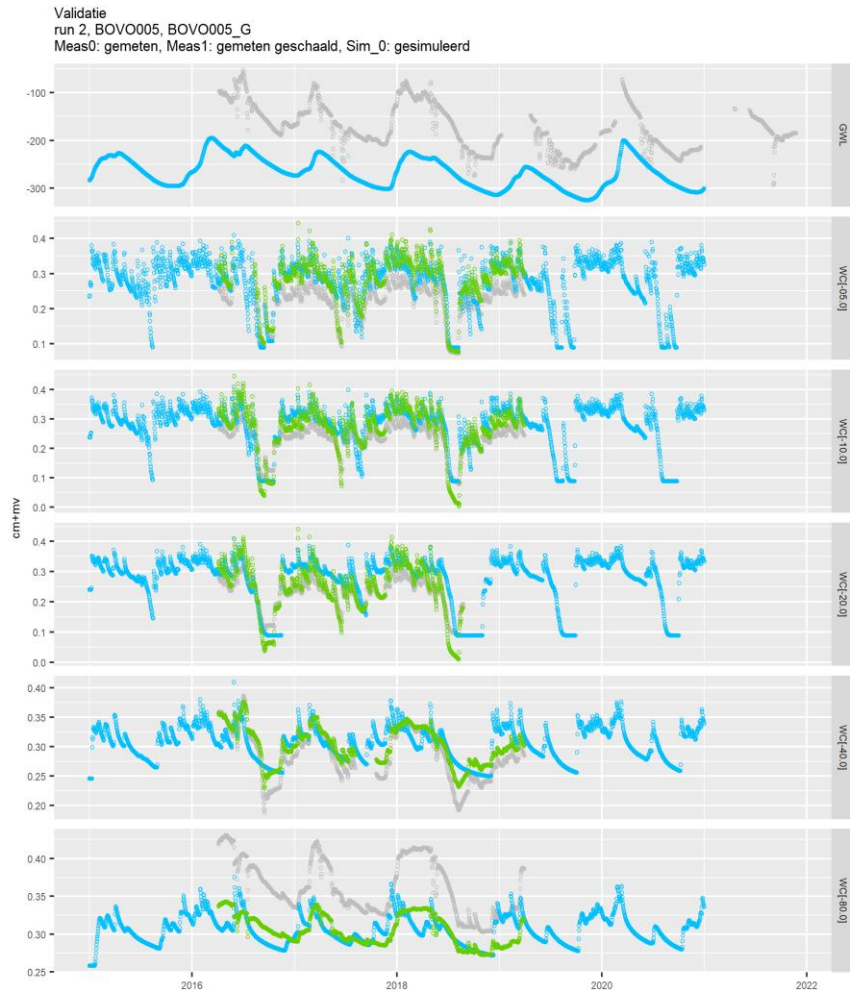


---

afstand tussen grondwaterstand en onderkant van de wortelzone, waarover een bepaalde flux nog mogelijk is. Indien dit veld berekend zou worden, heeft het aanpassen van de grondwaterstanden direct effect op de beregeningsgiften. Dit is in Figuur 3.21 weergegeven.

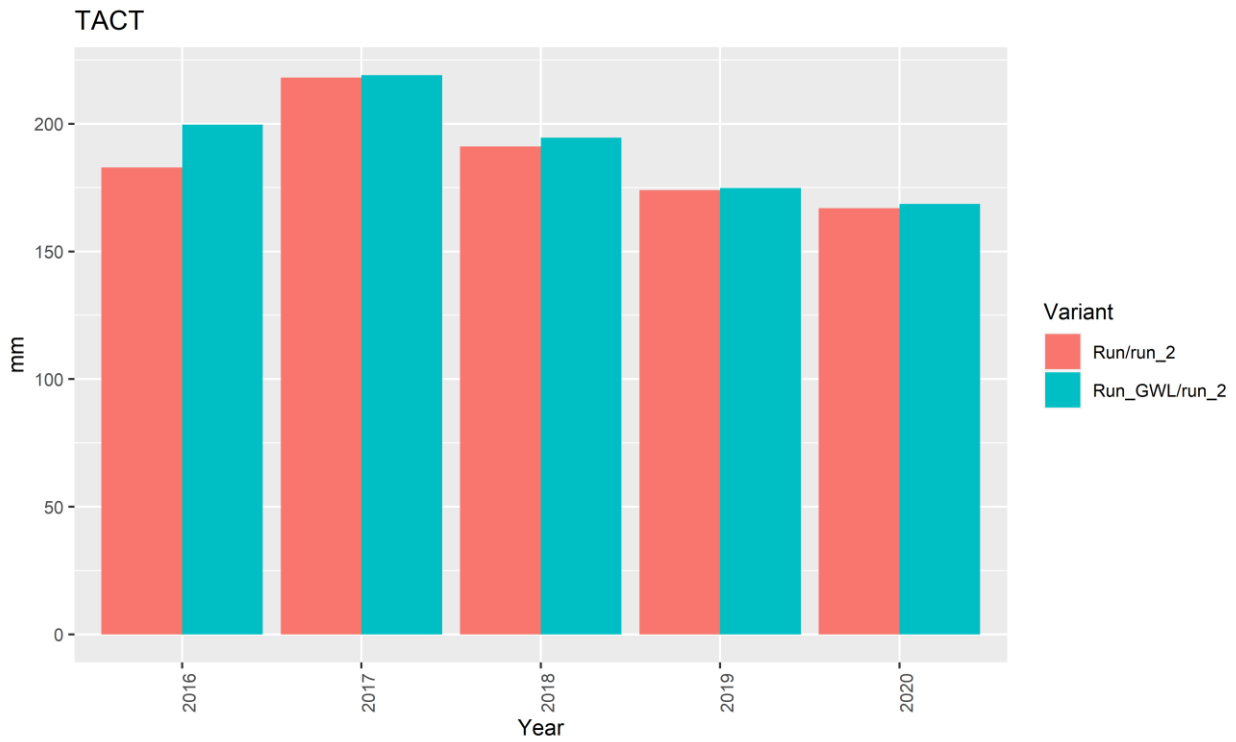
#### *BOVO012*

In Figuur 3.22 t/m Figuur 3.24 zijn de resultaten voor BOVO012 weergegeven. Dit is een locatie die in het basismodel te nat werd gesimuleerd. Na aanpassing van de onderrandvoorwaarde is het model inderdaad droger met een toename van de droogteschade, terwijl ook de natschade afneemt. In Figuur 3.25 is voor dit profiel een aantal karakteristieke drukhoogten en vochtgehalten weergegeven, die tonen wat het vochtleverend vermogen van dit profiel is. Indien dit veld berekend zou worden, heeft het aanpassen van de grondwaterstanden direct effect op de beregeningsgiften. Voor het jaar 2020 wordt dan een gift van 180 mm berekend. Dit is een hoge gift, maar niet onrealistisch (Figuur 3.26). Hieruit blijkt dat het doorrekenen van lokale modellen dient te gebeuren met de juiste onderrandvoorwaarde. De onderrand (oftewel de opgelegde grondwaterstand) heeft grote invloed op de vochtgehalten in de bodem en daarmee ook op de beregeningsbehoefte van die bodem.

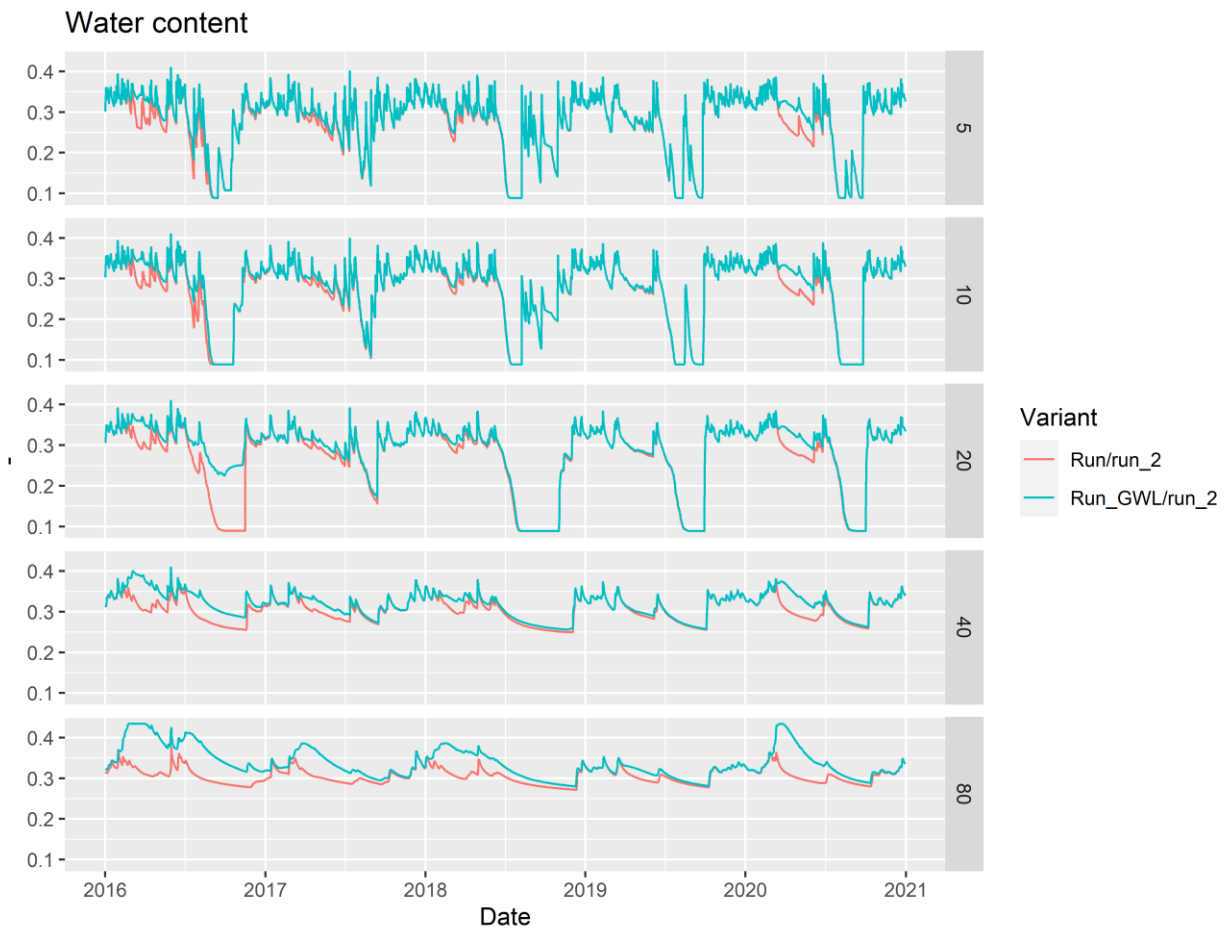


(Meas\_0 (grijs): niet-geschaalde metingen, Meas\_1 (groen): geschaalde metingen, Sim\_0 (blauw): gesimuleerd waarden).

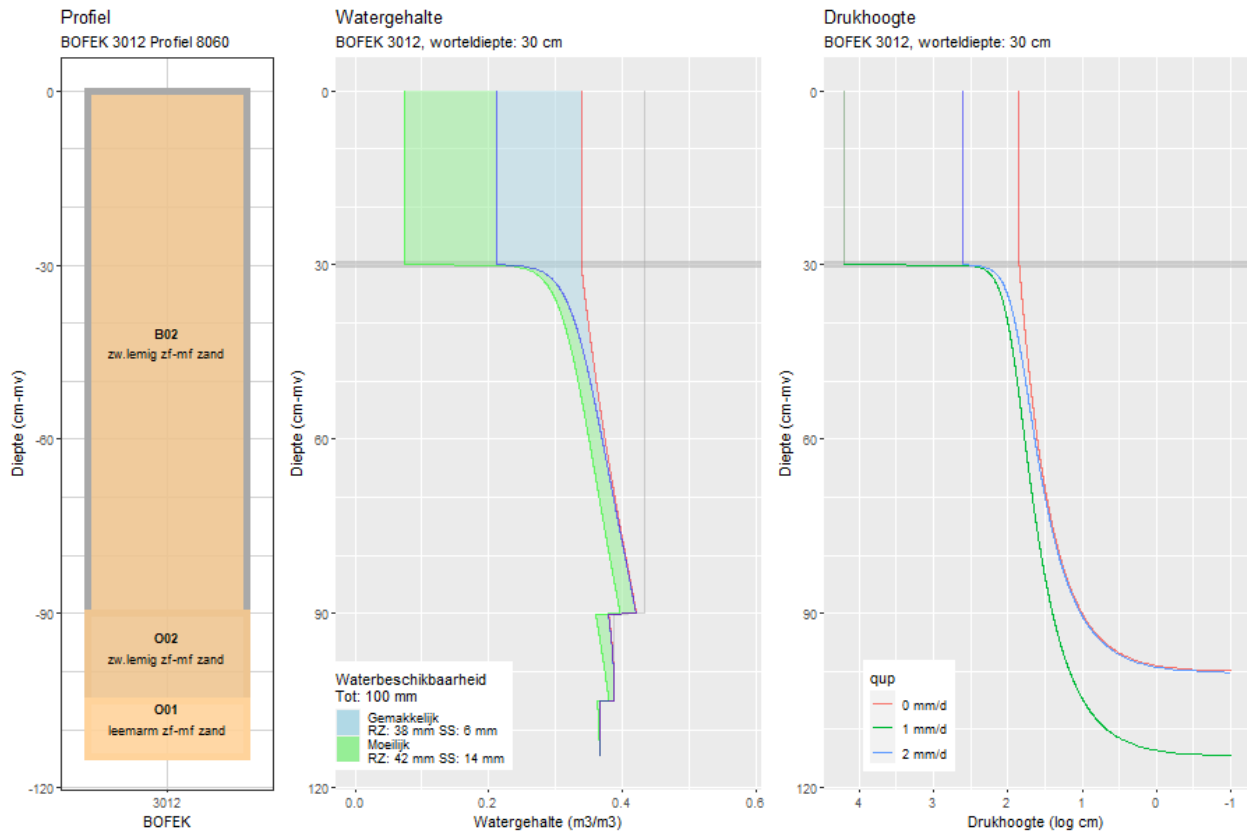
**Figuur 3.17** Effect van verbetering onderrandvoorwaarde op watergehalte en grondwaterstanden run 2 BOVO005 (links: oorspronkelijke simulatie, rechts: verbeterde onderrandvoorwaarde) (GWL: cm-mv, WC:  $m^3/m^3$  voor diepte in cm-mv).



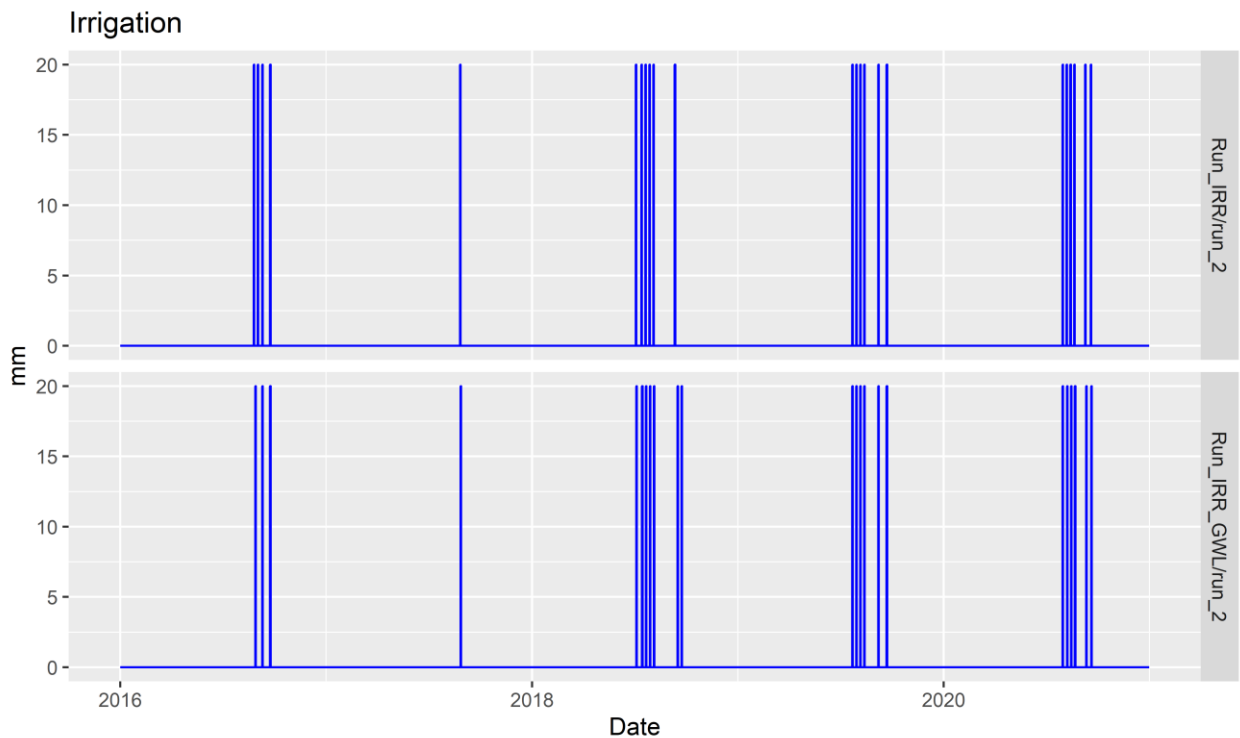
**Figuur 3.18** Effect van verbetering onderrandvoorwaarde op transpiratie run 2 BOVO005 (rood: oorspronkelijke simulatie, blauw: verbeterde onderrandvoorwaarde).



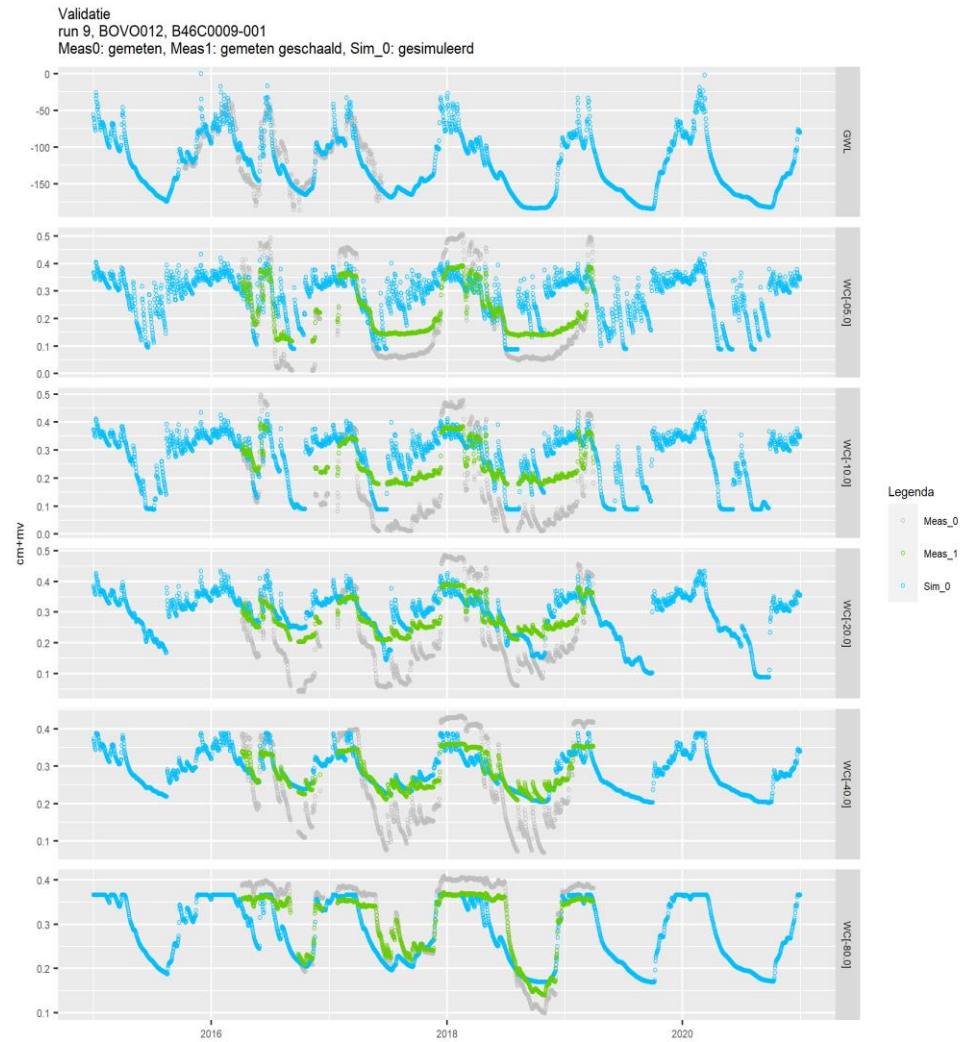
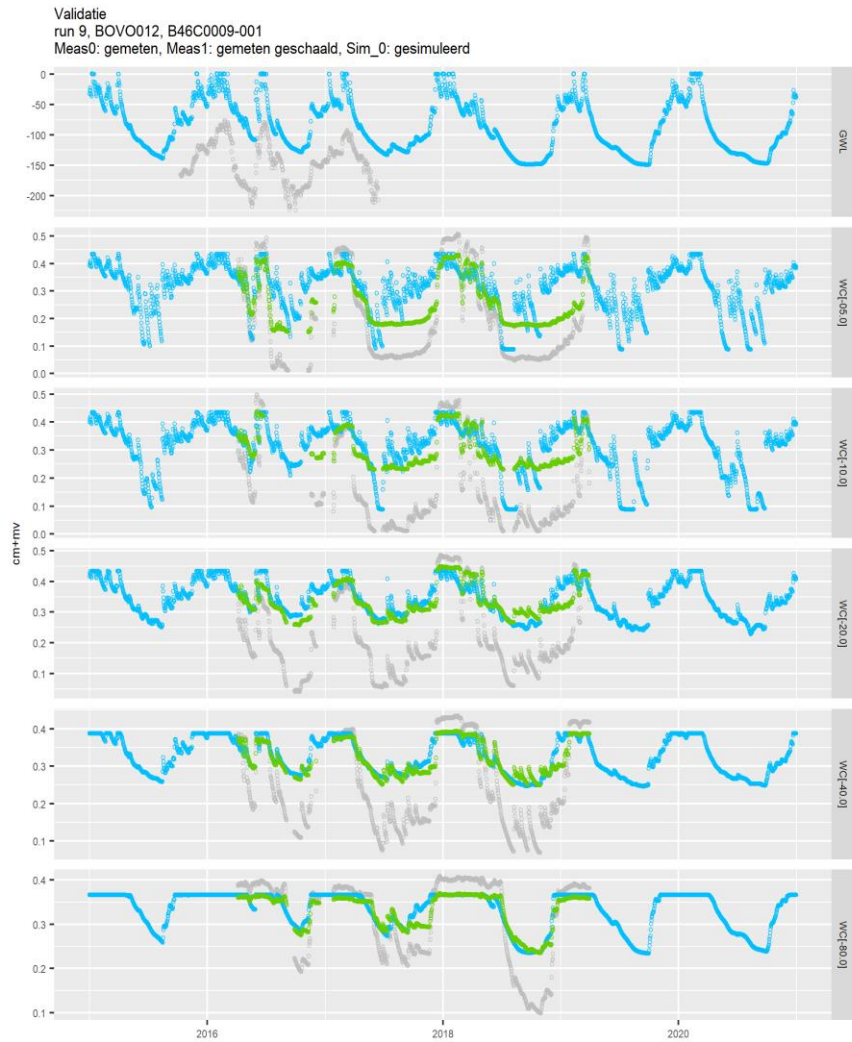
**Figuur 3.19** Effect van verbetering onderrandvoorwaarde op het watergehalte op diepten van 5 tot 80 cm -mv, run 2 BOVO005 (rood: oorspronkelijke simulatie, blauw: verbeterde onderrandvoorwaarde) (WC:  $m^3/m^3$  voor diepte in cm-mv).



**Figuur 3.20** Bodemprofiel met karakteristieke beschikbaar water schematisatie run 2 BOVO005 (kritieke Z-afstand bij flux 1 mm/d: 84 cm, 2 mm/d: 70 cm).

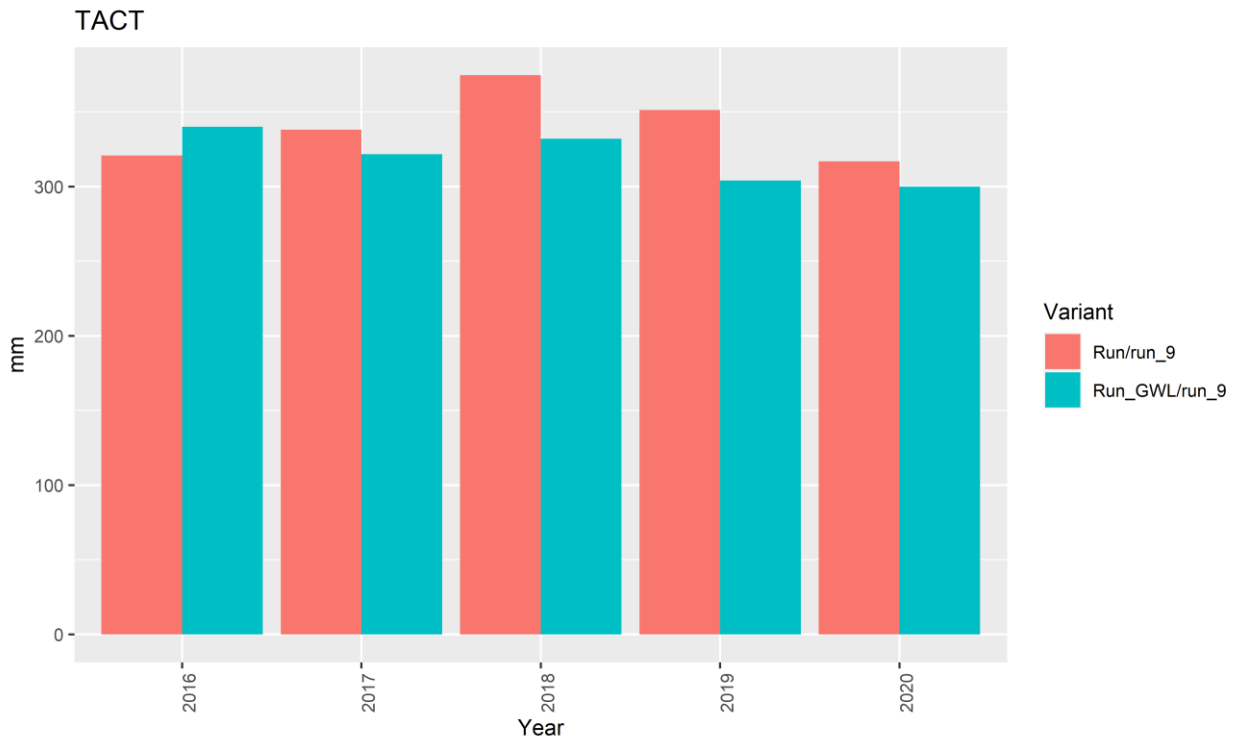


**Figuur 3.21** Beregeningsmomenten (gesimuleerd) run 2 BOVO005 (boven: oorspronkelijke simulatie, onder: verbeterde onderrandvoorwaarde).

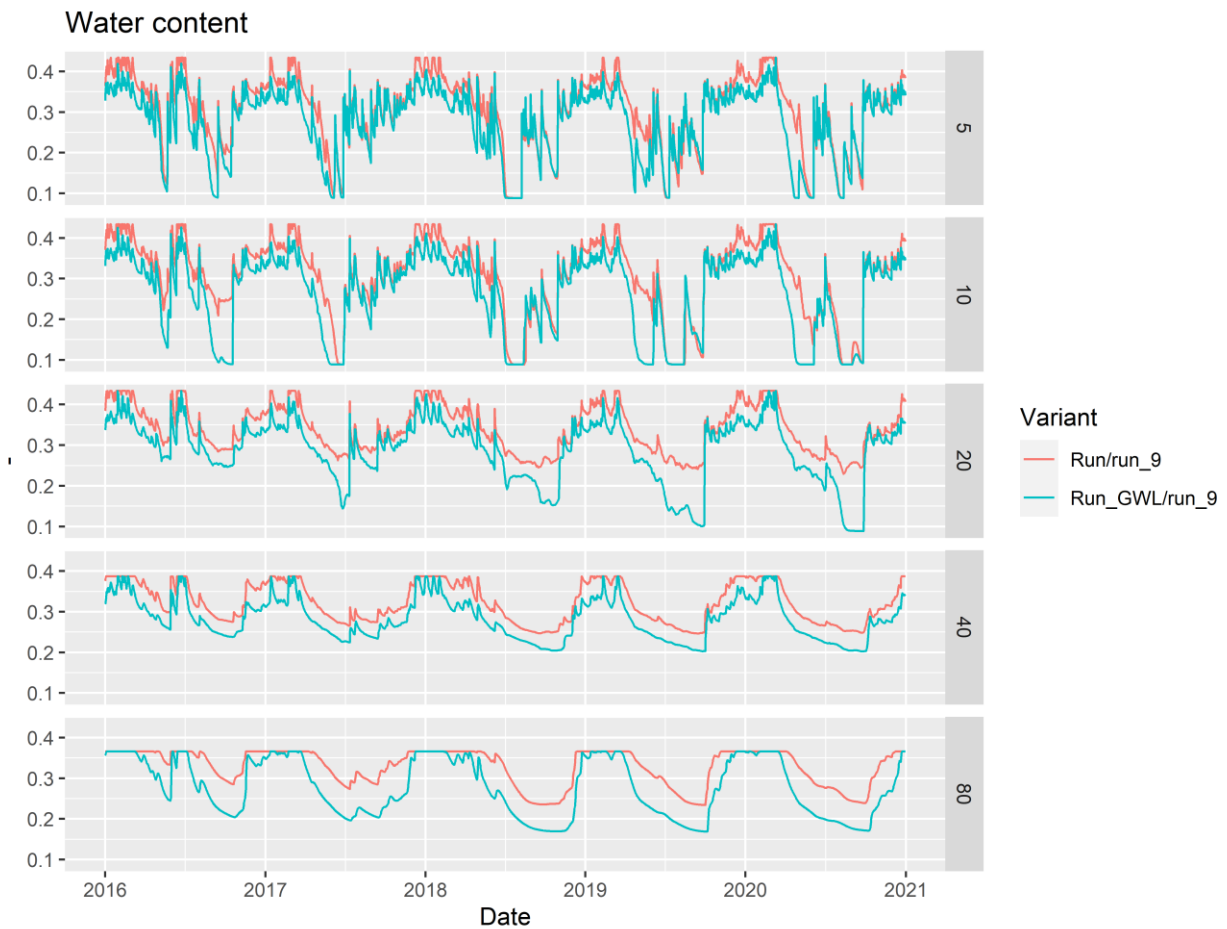


(Meas\_0 (grijs): niet-geschaalde metingen, Meas\_1 (groen): geschaalde metingen, Sim\_0 (blauw): gesimuleerd waarden).

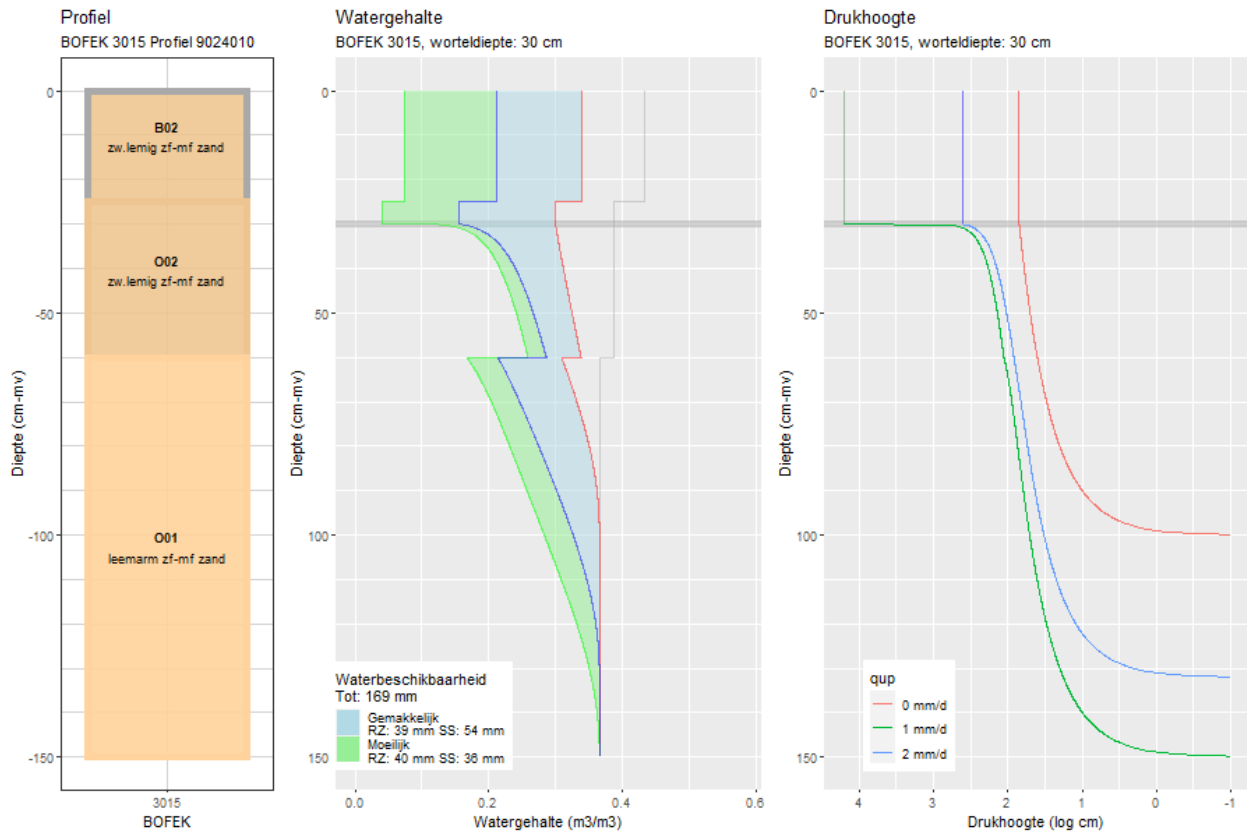
**Figuur 3.22** Effect van verbetering onderrandvoorwaarde op watergehalte en grondwaterstanden run 9 BOVO0012  
(links: oorspronkelijke simulatie, rechts: verbeterde onderrandvoorwaarde) (GWL: cm-mv, WC: m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> voor diepte in cm-mv).



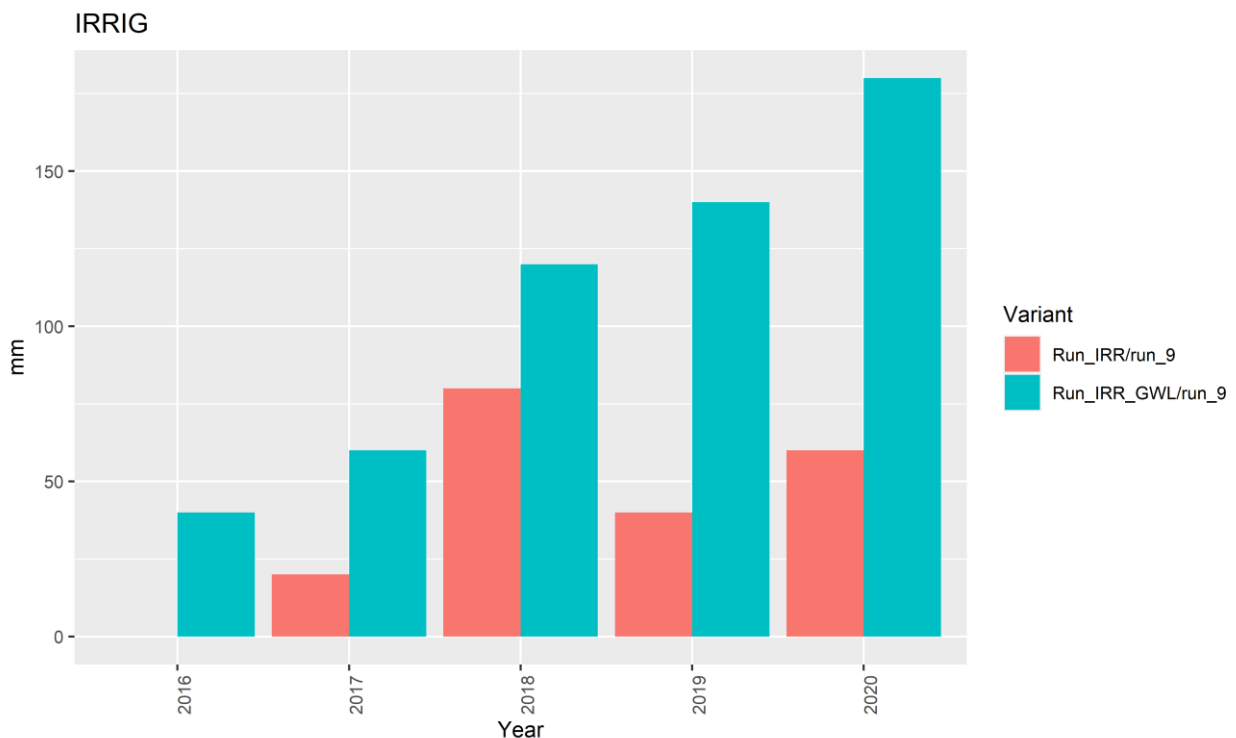
**Figuur 3.23** Effect van verbetering onderrandvoorwaarde op transpiratie run 9 BOVO012 (rood: oorspronkelijke simulatie, blauw: verbeterde onderrandvoorwaarde).



**Figuur 3.24** Effect van verbetering onderrandvoorwaarde op het watergehalte op diepten van 5 tot 80 cm -mv, run 9 BOVO012 (rood: oorspronkelijke simulatie, blauw: verbeterde onderrandvoorwaarde) (GWL: cm-mv, WC: m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> voor diepte in cm-mv).



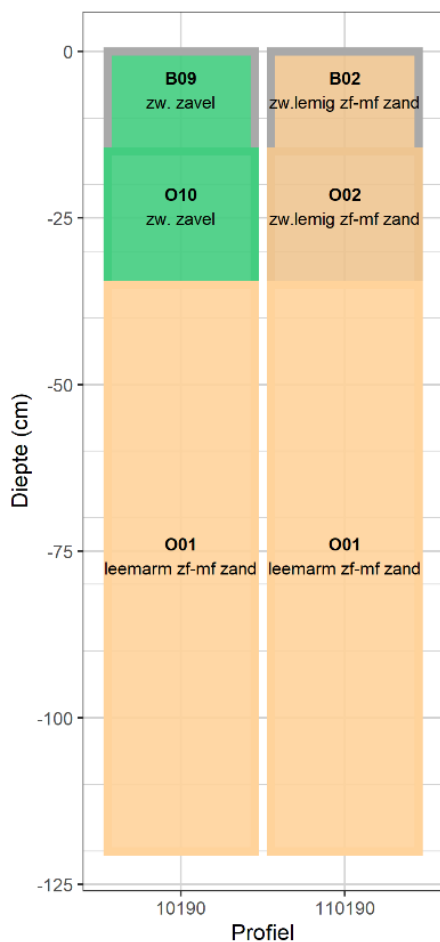
**Figuur 3.25** Bodemprofiel met karakteristieken beschikbaar water schematisatie run 9 BOVO012 (kritieke Z-afstand bij flux van 1 mm/d: 120 cm, 2 mm/d: 102 cm).



**Figuur 3.26** Beregeningshoeveelheden (gesimuleerd) run 9 BOVO012 (rood: oorspronkelijke simulatie, blauw: verbeterde onderrandvoorwaarde).

### 3.5.2 Aanpassing bodemschematisatie

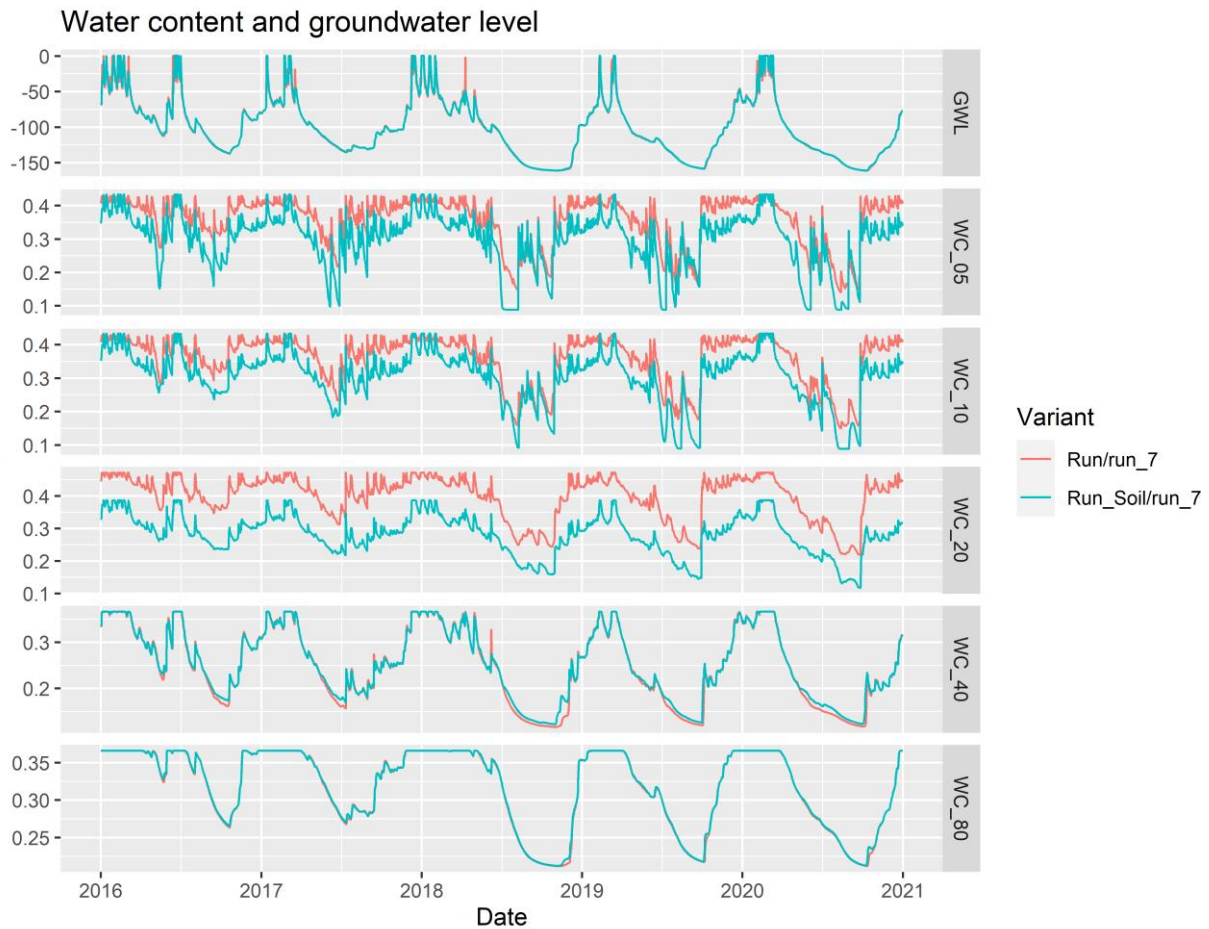
Verschillende profielen die in het model zijn gebruikt, komen niet goed overeen met de veldgegevens. Een voorbeeld is BOVO014 waarvan de toplaag in het model bestaat uit zware zavel, wat duidelijk anders is dan de boring toont. Voor BOVO014 kan de toplaag beter vervangen worden door een bouwsteen B02 (matig fijn tot zeer fijn, zwak lemig zand) en de tweede laag door O2 (eveneens matig fijn tot zeer fijn, zwak lemig zand), zie Figuur 3.27.



**Figuur 3.27** Aanpassing bodemprofiel (links: oorspronkelijk, rechts: aangepast).



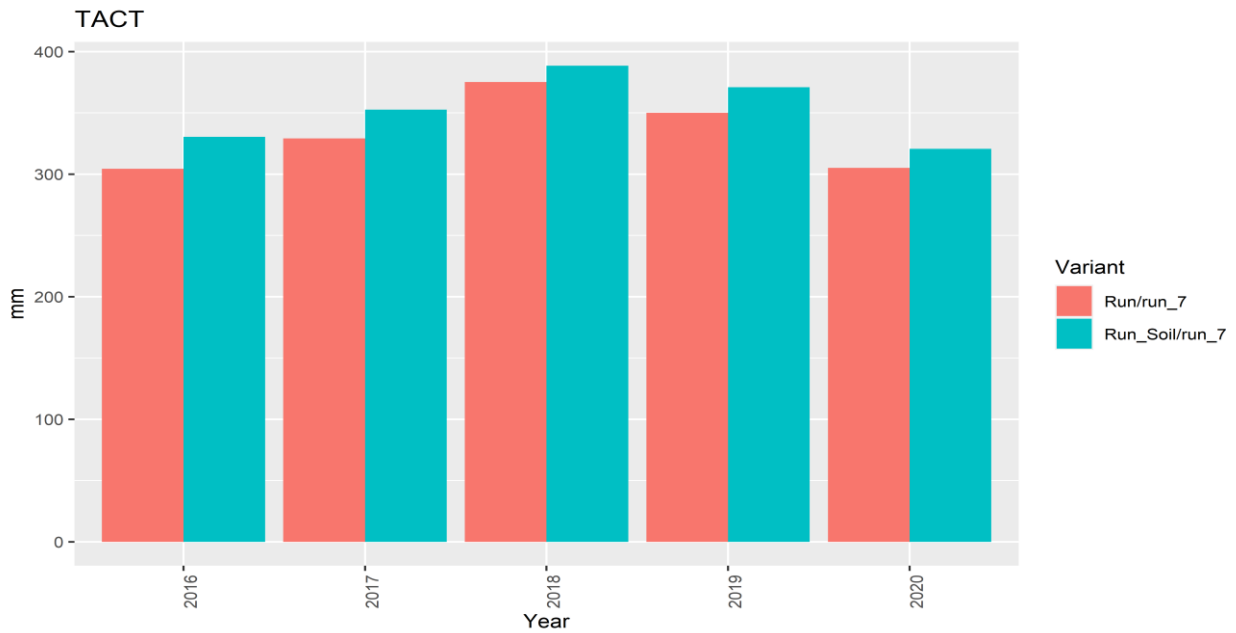
In Figuur 3.28 zijn de effecten op grondwaterstand en vochtgehalten weergegeven. Hieruit blijkt duidelijk dat de aanpassing effecten heeft op de vochtgehalten in de toplaag. De grondwaterstanden tonen slechts zeer beperkte veranderingen, doordat deze vooral worden gedomineerd door de opgelegde randvoorwaarden uit het onveranderde regionale model.



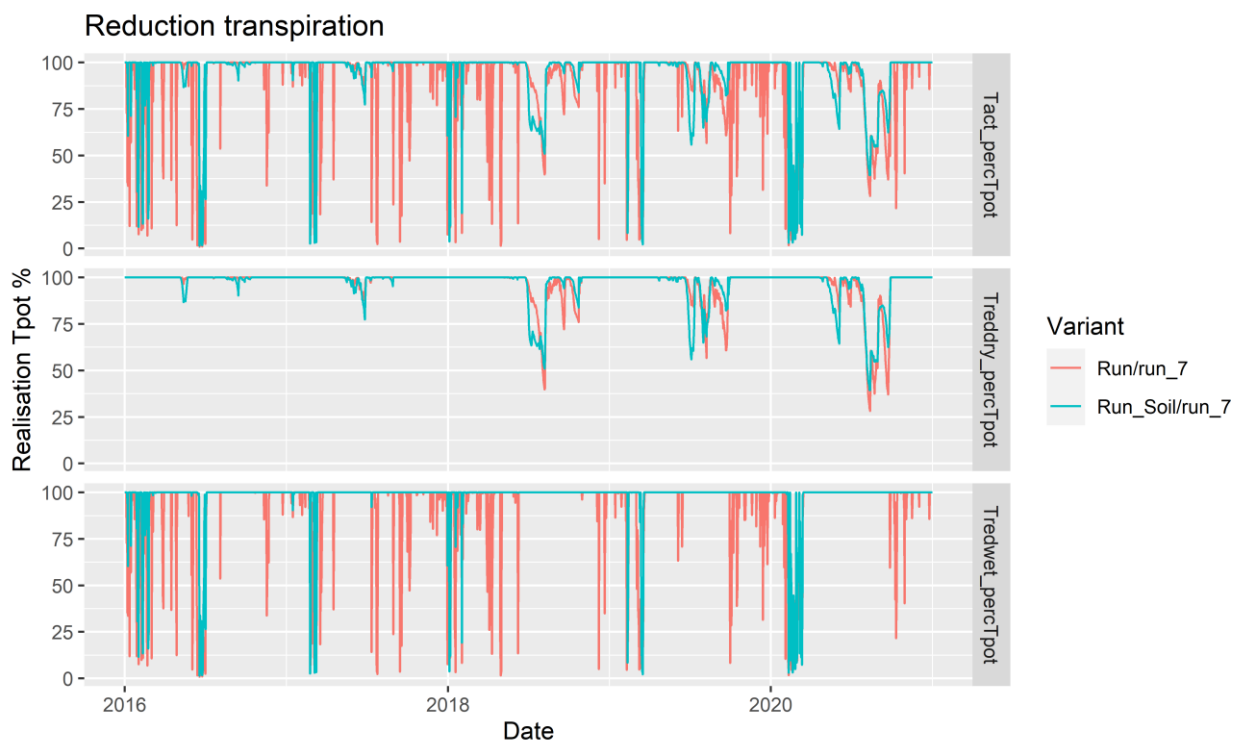
**Figuur 3.28** Effect van de aanpassing van de bovenlagen van het profiel op de grondwaterstand (GWL, cm -mv) en de vochtgehalten (WC,  $m^3/m^3$ ) (rood: oorspronkelijk, blauw: aangepast bodemprofiel).

Het effect op de transpiratie van het gewas is in Figuur 3.29 weergegeven. In

**Figuur 3.30** is weergegeven wanneer er stress door droogte en zuurstoftekort optreedt. Opvallend is dat in de oorspronkelijke bodemschematisatie veel vaker zuurstofstress optreedt. Dit is een gevolg van de slechtere doorlatendheid van de bovenlaag, waardoor sneller volledige verzadiging van de toplaag optreedt en daardoor zuurstofloosheid in de ondergrond.



**Figuur 3.29** Effect van de aanpassing van de bovenlagen van het profiel op de transpiratie (rood: oorspronkelijk, blauw: aangepast profiel).



**Figuur 3.30** Effect van de aanpassing van de bovenlagen van het profiel op de (momenten van) droogte- en natschade, weergegeven als actuele transpiratie t.o.v. de potentiële transpiratie (rood: oorspronkelijk, blauw: aangepast bodemprofiel) (boven: totale realisatie, midden: realisatie bij droogteschade, onder: realisatie door natschade).

### 3.5.3 Aanpassing gewas

In Tabel 3.2 is een vergelijking opgenomen tussen het gemodelleerde gewas en het gewas dat in 2016 op het perceel stond. Hieruit blijkt dat er een aantal verschillen is. Zo geldt voor BOVO0002 (run 6) dat in 2016 suikerbieten op het land stonden, terwijl dat in het model het landgebruik 'overig' was, dat als zaaiuien wordt gemodelleerd. Een simulatie is uitgevoerd om het effect van dit verschil in gewas in beeld te brengen. Een belangrijk verschil is dat in de basissimulatie het gewas (zaaiuien) maximaal 30 cm worteldiepte bereikt en in de aangepaste simulatie bij suikerbieten bedraagt de worteldiepte maximaal 90 cm.

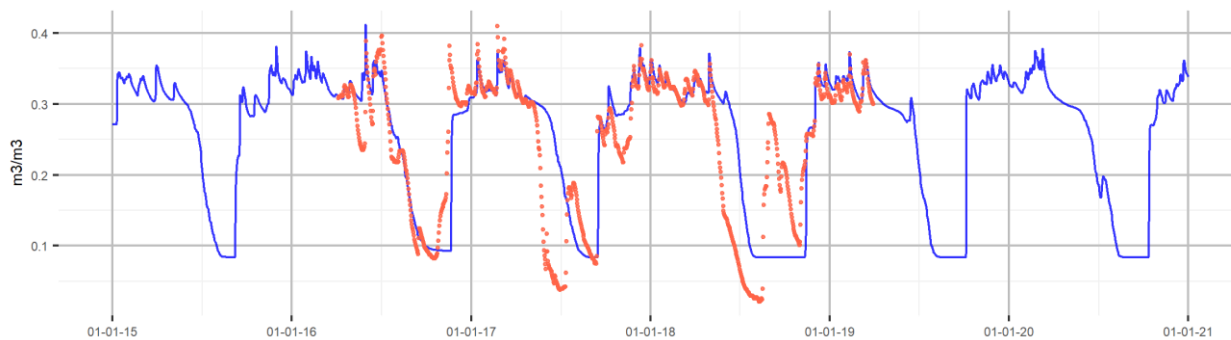
Het effect op het vochtgehalte is weergegeven in Figuur 3.31. Voor de suikerbieten blijkt dat op diepten groter dan 40 cm -mv de grond verder uitdroogt dan bij de zaaiuien. Dit is een gevolg van de diepere beworteling bij zaaiuien. Het is duidelijk dat het effect van een ander gewas (andere bewortelingsdiepte) zeker voor diepere lagen groot is. Ook heeft de grotere bewortelingsdiepte een duidelijk effect op de transpiratie en de gevoeligheid hiervan voor drogere omstandigheden (zie Figuur 3.32).

Uit Figuur 3.33 wordt niet direct duidelijk welke variant het best de metingen van het bodemvocht benadert. Er moet dan naar het jaar 2016 gekeken worden, want van dat jaar weten we dat het gewas suikerbieten was. De figuur met suikerbieten (het aangepaste gewas) toont voor 2016 visueel een behoorlijke overeenkomst tussen simulatie en meting.

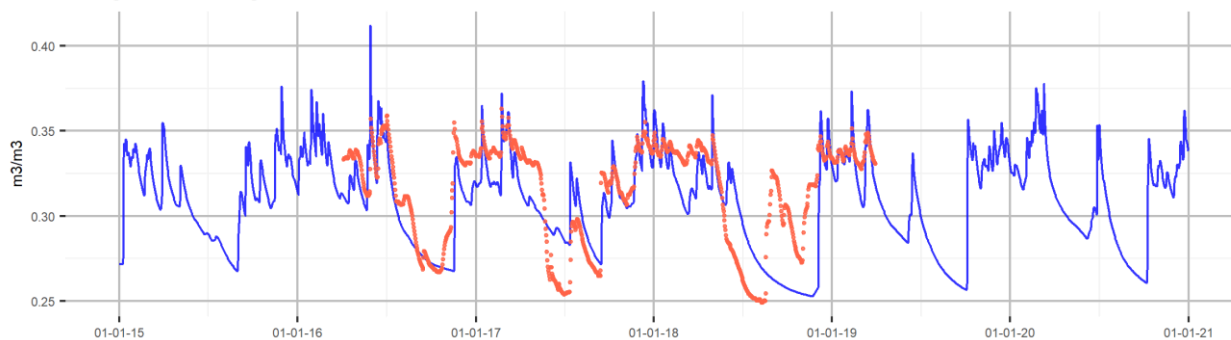


**Figuur 3.31** Effect van de aanpassing van het gewas op het vochtgehalte (WC) voor locatie BOVO002 (rood: oorspronkelijk, blauw: aangepast gewas) (GWL: cm-mv, WC: m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> voor diepte in cm-mv).

Validatie WC[-40.0], bron Aa en Maas geschaald op 90 and 10 percentiel  
run: 6  
Locatie2: BOVO002  
Filter2: 4  
Afstand tot meetpunt: 90 m  
rood: gemeten, blauw: gesimuleerd

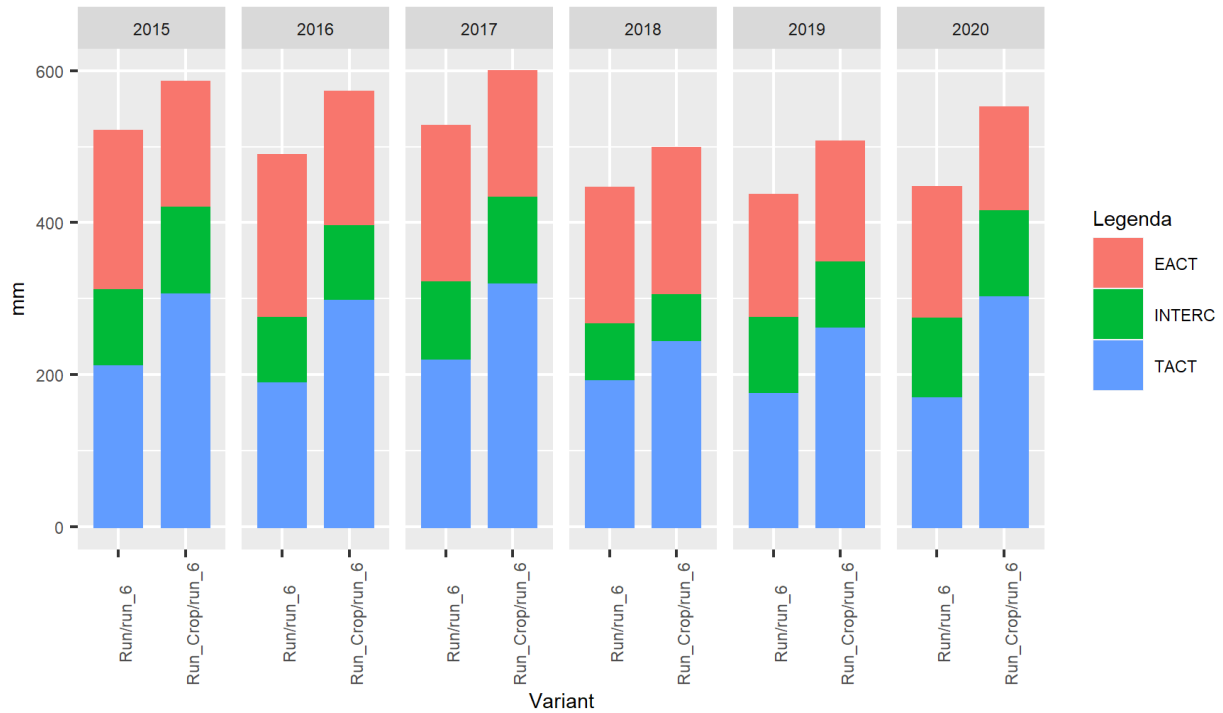


Validatie WC[-40.0], bron Aa en Maas geschaald op 90 and 10 percentiel  
run: 6  
Locatie2: BOVO002  
Filter2: 4  
Afstand tot meetpunt: 90 m  
rood: gemeten, blauw: gesimuleerd



**Figuur 3.32** Effect van de aanpassing van het gewas op het vochtgehalte op 40 cm -mv in vergelijking met de bodemvochtmeting (boven: aangepast gewas, onder: gewas regionaal model).

## Grow with the Flow Evapotranspiratie



**Figuur 3.33** Effect van de aanpassing van het gewas op evapotranspiratie: bodemverdamping, interceptieverdamping en transpiratie (Run/run\_6: zaaiuien, Run\_Crop/run\_6: suikerbieten).

### 3.5.4 Aanpassing irrigatie

Door in de simulatie de beregeningsoptie aan te zetten, kan het effect op de vochtgehalten in de bodem en op de transpiratie bepaald worden. Dit is voor een deel al gepresenteerd bij de verandering van de onderrandvoorwaarde (zie paragraaf 3.5.1).

---

## 4 Conclusies en aanbevelingen

De kern van het project *Grow with the Flow* (GwtF) betreft een geïntegreerd monitorings- en voorspellingsplatform voor water en gewas. Hierbij wordt gebruikgemaakt van hydrologische modellen (iMOD-MetaSWAP en SWAP), gewasgroeimodellen (WOFOST), satellietgegevens, meetsensoren en kunstmatige intelligentie. Het geeft inzicht in de actuele status en de verwachting van waterbeschikbaarheid en gewasproductie en biedt ook mogelijkheden voor informatie-uitwisseling tussen agrariërs en het waterschap.

Dit rapport beschrijft de validatie en verbetering van de lokale modellen die binnen GwtF gebruikt worden. Deze lokale modellen zijn opgezet met het SWAP-model (Soil-Water-Atmosphere-Plant, bron: Kroes et al., 2017). Met de modellen wordt inzicht verkregen in de potenties voor het gebruik door telers, bijvoorbeeld voor het bepalen van beregeningsmomenten. Het is een aanvulling op de inzet van het regionale model (Waterschap Aa en Maas, versie GRAM3.0), dat gebaseerd is op iMOD/MetaSWAP en aangevuld met de gewasgroei-module WOFOST.

De validatie en verbetering van de lokale modellen rust op de volgende pijlers:

- Opzet SWAP-modellen vergelijkbaar met regionale parametrisatie.  
Het betreft het opzetten van SWAP-modellen voor de locaties waar gedetailleerde metingen worden uitgevoerd (maaiveldhoogte, bodemopbouw, bodemvocht, grondwaterstanden).
- Vergelijking van SWAP-invoer en SWAP-resultaten met meetgegevens/veldgegevens.  
Op basis hiervan zijn hypothesen opgesteld voor het verbeteren van de modellen.
- Aanpassing van SWAP-modellen op basis van lokale gegevens en bepalen in hoeverre de simulatie verbetert/verandert.
- Conclusies en aanbevelingen voor vervolg, zie de volgende paragrafen.

### 4.1 Conclusies

Bij de conclusies is het belangrijk in het oog te houden wat de doelstelling is van dit onderzoek:

*Voor de telers in beeld brengen van de meerwaarde van lokale modellering ten opzichte van regionale modelaanpak en voor waterschappen in beeld brengen wat nodig is om het watersysteem (op perceelniveau) te modelleren.*

Om dit beeld te kunnen schetsen, zijn de modelinvoer, de metingen en de modelresultaten vergeleken met gegevens uit het veld en zijn modelaanpassingen doorgevoerd en beoordeeld. De modelaanpassing en de beoordeling van de resultaten geven inzicht in 1) de mogelijkheden de lokale modellen daadwerkelijk te verbeteren en 2) de meerwaarde hiervan voor de telers.

De belangrijkste conclusies zijn:

- Modelinvoer:
  - Gewas: in het regionale model is voor de periode tot en met 2020 met één vast gewas gerekend. Een vergelijking met de gewasgegevens van 2016 laat zien dat er toch behoorlijke verschillen in daadwerkelijke teelt en aangenomen teelt bestaan. Aanpassing van het gewas kan aanzienlijke effecten op het bodemvocht hebben.
  - Bodemopbouw: zoals bekend, kan de landelijk beschikbare bodemkaart met de bijbehorende bodemprofielen aanzienlijk afwijken van de lokale bodemopbouw. De bodemopbouw aanpassen kan aanzienlijke effecten op de simulatie hebben.
  - Maaiveldhoogte: uit vergelijking van de maaiveldhoogte volgens de AHN (25m-resolutie) en de maaiveldhoogte in het regionale model blijkt dat het verschil tussen +9 en -38 cm groot kan zijn (voor

---

de locaties met bodemvochtmetingen). Dit kan, afhankelijk van de grondwaterstand, zeker effecten hebben voor de vochtbeschikbaarheid van het gewas.

- Grondwaterstanden zijn als onderrandvoorwaarde opgelegd aan de SWAP-modellen. Er kunnen aanzienlijke verschillen zijn tussen berekende grondwaterstanden met het regionale model en lokaal gemeten grondwaterstanden. Voor grondwaterstanden t.o.v. maaiveld kan het verschil van enkele decimeters oplopen tot 1 meter en meer.
- Metingen:
  - Bodemvocht: gegevens van zowel in-situ metingen als satellietgegevens zijn beschikbaar. De reeksen van satelliet en in-situ meetapparaten verschillen lokaal behoorlijk van elkaar. Daar zijn verschillende verklaringen voor mogelijk:
    - Preferente stroombanen en hydrofobie  
Dit kan ervoor zorgen dat op bepaalde plaatsen geen en op andere locaties juist veel water infiltreert. Als een in-situ meetsensor juist op een plek staat waar weinig water infiltreert, blijft de grond droger dan op de plek waar juist veel water infiltreert. De meting hoeft niet representatief te zijn voor het hele perceel.  
De satellieten meten een gebiedsgemiddelde respons.
    - Meetstoornissen in de in-situ meetsensoren  
Oorzaken kunnen zijn verplaatsing sensor, verstoring sensor, problemen stroomvoorziening.
    - Onderscheidend vermogen in signaal satellieten  
Bij het vertalen van het signaal van de satellieten worden modellen gebruikt, maar een aantal aspecten wordt daar niet in meegenomen. Opvallend in de reeksen is dat het verschil in de lengte van het groeiseizoen van verschillende gewassen niet terug is te zien in de afzonderlijke reeksen.  
De sterke kant van de in-situ metingen is dat het een meting op locatie is: de zwakke kant is dat de metingen juist niet representatief zijn voor een groter gebied. De sterke kant van satellietmeting is juist het verkrijgen van inzicht in de dynamiek van een gebiedsgemiddeld vochtgehalte, maar de lokale situatie kan hier van afwijken.
  - Gewas: in het regionale model is voor de hele periode standaard één gewas toegekend met als uitzondering voor 2021 en 2022 waarbij voor de proeflocaties de werkelijke gewassen zijn ingevoerd. Het maken van onderscheid in gewassen per jaar kan een aanzienlijk effect hebben op de gesimuleerde dynamiek in het bodemvochtgehalte.
- Modelresultaten:
  - Vergelijking MetaSWAP en SWAP:  
Duidelijk is dat SWAP door de fijnere laagdiscretisatie een gedetailleerder beeld van het vochtprofiel geeft. Dit maakt een directe vergelijking lastiger. In natte perioden zijn de verschillen beperkt en in droge perioden zijn de verschillen op enkele locaties groter, terwijl op andere locaties de simulaties van MetaSWAP en SWAP een sterke gelijkens vertonen.
  - Verbetering lokale modellen:  
De meerwaarde van lokale modellering is de mogelijkheid lokale karakteristieken (maaiveldhoogte, gewasrotatie, bodemopbouw, grondwaterstand en berekening) in detail te kunnen specificeren.<sup>4</sup> Hierdoor kan de gemeten dynamiek in bodemvochtgehalte perceel-specifieker gesimuleerd worden en daarmee ook het vochttekort en de beregeningsbehoefte.  
Voor telers is een goede en flexibele methode voor de simulatie van het bodemvocht van belang: het gebruik van lokale gegevens in het model verbetert het model aanzienlijk. De lokale gegevens betreffen de bodemopbouw, maaiveldhoogte en grondwaterstanden.  
Voor het waterschap betekent het bovenstaande dat gegevens over bodemopbouw, maaiveldhoogte en grondwaterstanden onmisbaar zijn om ook iets over het bodemvocht te kunnen zeggen. Dit geldt mede doordat de bodemvochtmetingen een bepaalde onzekerheid hebben (zie paragraaf 2.4.1); niet alleen door de meting zelf, maar ook door de representativiteit van de meetlocatie voor een perceel in het geval van het voorkomen van preferente stroombanen en/of hydrofobie.

---

<sup>4</sup> Het regionale model wordt geparametriseerd met regionale data, waardoor met enige onzekerheid rekening gehouden dient te worden. Tevens wordt het regionale watersysteem in samenhang doorgerekend, waardoor ook de simulatie van bv. grondwaterstanden een bepaalde foutenmarge zal bevatten. De resolutie van het regionale model speelt bij dit alles ook een rol. Een kleinere resolutie maakt gedetailleerdere invoer mogelijk (mits beschikbaar), maar betekent niet vanzelfsprekend dat de resultaten betrouwbaarder worden.

---

## 4.2 Aanbevelingen

Om in-situ gemeten bodemvochtgehalten goed te kunnen interpreteren, is het onmisbaar om ook gegevens over grondwaterstanden en de bodemopbouw op dezelfde locatie te hebben. Daarom wordt aanbevolen om per locatie naast bodemvochtgehalten ook de maaiveldhoogte, grondwaterstanden en de profielopbouw beschikbaar te hebben.

Ook kan overwogen worden de meting van het bodemvocht achterwege te laten en het bodemvocht te simuleren op basis van maaiveldhoogte, grondwaterstanden en profielopbouw. De motivatie hiervoor is dat de in-situ meting door preferente stroombanen en hydrofobie niet noodzakelijkerwijs representatief is voor een perceel. Om dan toch inzicht te krijgen in de dynamiek in het bodemvocht, kan deze gesimuleerd worden op basis van de lokale bodemopbouw en grondwaterstanden. De profielbeschrijving kan dan worden gebruikt om de bodemfysische eigenschappen op basis van de Staring-reeks te bepalen.

Als er in het veld sprake is van veel variatie binnen een perceel, bijvoorbeeld door maaiveldverloop, hydrofobie, preferente stroombanen of door verloop in bodemsamenstelling, is het aan te raden hiervoor verschillende detailmodellen op te zetten.

Nader onderzoek is nodig om de randvoorwaarden van het regionale model voor de lokale modellering te verbeteren. Denk hierbij aan het toepassen van een foutenmodel of het gebruiken van een grondwatertrappenkaart. Hierbij kan de grondwaterstandreeks uit het regionale model op basis van grondwaterstandmetingen of een grondwatertrappenkaart getransformeerd worden om beter de lokale grondwaterstandreeks te benaderen.



---

# Literatuur

- Hazeu, G.W., C. Schuiling, G.J. Dorland, G.J. Roerink, H.S.D. Naeff en R.A. Smidt, 2014. Landelijk Grondgebruiksbestand Nederland versie 7 (LGN7); Vervaardiging, nauwkeurigheid en gebruik. Wageningen, Alterra Wageningen UR (University & Research centre), Alterra-rapport 2548. 86 blz.; 16 fig.; 12 tab.; 15 ref.
- Heinen, M., F. Brouwer, C. Teuling, D.J.J. Walvoort, 2021. BOFEK2020 - Bodemfysische schematisatie van Nederland: update bodemfysische eenhedenkaart. Wageningen: Wageningen Environmental Research, 2021. Rapport / Wageningen Environmental Research; 3056.
- Heinen, M., G. Bakker, J.H.M. Wösten, 2020. Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks – Update 2018. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 2978.
- Hyndman, Rob J.; Koehler, Anne B. (2006). "Another look at measures of forecast accuracy". *International Journal of Forecasting*. 22 (4): 679– 88. CiteSeerX 10.1.1.154.9771. doi:10.1016/j.ijforecast.2006.03.001.
- Kroes, J.G., Dam, J.C. van, Bartholomeus, R.P., Groenendijk, P., Heinen, M., Hendriks, R.F.A., Mulder, H.M., Supit, I., Walsum, P.E.V. van, 2017. SWAP version 4. Theory description and user manual. Wageningen, Wageningen Environmental Research. Report 2780.
- Nossent, J; Bauwens, W (2012). "Application of a normalized Nash–Sutcliffe efficiency to improve the accuracy of the Sobol sensitivity analysis of a hydrological model". EGUGA:237. Bibcode:2012EGUGA..14..237N.

---

Wageningen Environmental Research  
Postbus 47  
6700 AA Wageningen  
T 0317 48 07 00  
[wur.nl/environmental-research](http://wur.nl/environmental-research)

Wageningen Environmental Research  
Rapport 3165  
ISSN 1566-7197



---

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

---



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



---

Wageningen Environmental Research  
Postbus 47  
6700 AB Wageningen  
T 0317 48 07 00  
[wur.nl/environmental-research](http://wur.nl/environmental-research)

Rapport 3165  
ISSN 1566-7197

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

