A network diagram background consisting of various sized light blue circles connected by thin white lines, set against a solid blue background. The circles vary in size and are scattered across the page, with some larger circles acting as hubs. The lines connect these circles in a non-uniform, web-like pattern.

KWR 2023.051 | Juli 2023

# **Ontwikkeling bodemvochtmodellen voor Limburg**



## Ontwikkeling bodemvochtmodellen voor Limburg

### KWR 2023.051 | Juli 2023

#### Opdrachtnummer

404264

#### Projectmanager

Edu Dorland

#### Opdrachtgever

Waterschap Limburg

#### Auteurs

J.A. (Janine) de Wit MSc., Dr.ir. M.H.J. (Marjolein) van Huijgevoort

#### Kwaliteitsborger

Dr.ir. R.P. (Ruud) Bartholomeus

#### Verzonden naar

Waterschap Limburg

Dit rapport is openbaar en verstrekt aan de opdrachtgevers van het adviesproject.

Werkwijzen, rekenmodellen, technieken, ontwerpen van proefinstallaties, prototypen en door KWR gedane voorstellen en ideeën alsmede instrumenten, waaronder software, die in het onderzoeksresultaat zijn opgenomen, zijn en blijven het eigendom van KWR. Ook alle rechten die voortvloeien uit intellectuele- en industriële eigendom, alsmede de auteursrechten, blijven bij KWR berusten en derhalve eigendom van KWR.

#### Keywords

Bodemvocht, droogte, SWAP, dashboard, metingen, modellen

Jaar van publicatie  
2023

#### Meer informatie

Janine de Wit  
T : 030 606 9651  
E : janine.de.wit@kwrwater.nl

PO Box 1072  
3430 BB Nieuwegein  
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511  
E info@kwrwater.nl  
I www.kwrwater.nl

# KWR

Juli 2023 ©

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

# Samenvatting

Waterschap Limburg heeft het voornemen om meer inzicht te krijgen in de hydrologische processen in de onverzadigde zone. Deze informatie is nodig om bijvoorbeeld het bodemvochtgehalte, de waterbeschikbaarheid voor een gewas en de gewasverdamping (/reductie) in te schatten. Voor inzicht in de hydrologische processen in de onverzadigde zone wordt wereldwijd gewerkt met een 1D-dynamisch model voor de onverzadigde zone en plant-atmosfeer interacties: het Soil, Water, Atmosphere, Plant (SWAP) model (Kroes et al., 2017). Binnen dit project worden voor 12 locaties in Limburg waar grondwaterstanden worden gemeten, SWAP-modellen opgezet. Naast gemeten grondwaterstanden wordt verder geen detailinformatie uit het veld verzameld. We richten ons dus op het opzetten van SWAP-modellen op basis van eenvoudig beschikbare gegevens om zo een eerste inschatting te geven van de vochtthoudding in de onverzadigde zone. De resultaten worden via een online viewer beschikbaar gesteld, zodat WL zich intern verder kan oriënteren over de toegevoegde waarde van SWAP-modellen voor peilbuislocaties in het beheergebied.

Met de SWAP modellen zijn de niet bemeaten componenten in de onverzadigde zone en de verdamping gesimuleerd. Dit geeft inzicht in de wisselwerking tussen grondwater, bodem, plant en atmosfeer voor deze locaties. Naast de simulatie van de huidige situatie zijn scenario's met ingrepen doorgerekend en voorspellingen voor de korte termijn (6 dagen) toegevoegd. Ook is een verkenning gedaan voor het toevoegen van onttrekkingen.

Deze modelstudie toont aan dat er met SWAP snel inzicht verkregen kan worden in de verschillende hydrologische variabelen, maar dat de resultaten van het model ook per locatie erg kunnen verschillen. Voor een aantal van de geselecteerde locaties komt de grondwaterstand zeer goed overeen, terwijl andere locaties grotere verschillen tussen de simulaties en metingen laten zien. Een complexe ondergrond en omgeving met relatief veel hoogteverschillen, bijvoorbeeld, kan leiden tot minder goede overeenkomsten tussen simulaties en metingen. Ook het niet meenemen van onttrekkingen en berekening kan invloed hebben op de betrouwbaarheid van de simulaties.

Met het opzetten van de SWAP-modellen voor de 12 geselecteerde locaties is een eerste stap gemaakt om meer inzicht te krijgen in de hydrologische toestand in de onverzadigde zone. Hoewel de gesimuleerde grondwaterstanden op de meeste locaties redelijk overeen komen met de gemeten grondwaterstanden, zijn er nog een aantal verbeteringen mogelijk. Met name door meer detailinformatie uit het veld toe te voegen, is het aannemelijk dat de simulaties verder verbeterd kunnen worden.

# Inhoud

<b>Samenvatting</b>	<b>3</b>
<b>Inhoud</b>	<b>4</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>5</b>
Aanleiding	5
Doel	5
Leeswijzer	5
<b>2 Methode</b>	<b>6</b>
Keuze van de meetpunten	6
Achtergrond SWAP-modellen	9
Opzet van de SWAP-modellen	9
Gebruikte invoergegevens	10
Kalibratie van de modellen	10
Scenario's	10
Voorspellingen	12
Invloed van onttrekkingen	12
<b>3 Resultaten</b>	<b>14</b>
Gemeten en gesimuleerde grondwaterstanden	14
Gesimuleerde hydrologische variabelen	15
Scenario's	17
Voorspellingen	19
Invloed van onttrekkingen	21
<b>4 Synthese</b>	<b>22</b>
Aanbevelingen	22
<b>Referenties</b>	<b>24</b>

# 1 Inleiding

## Aanleiding

Waterschap Limburg (WL) heeft het voornemen om meer inzicht te krijgen in de hydrologische processen in de onverzadigde zone. Welke invloed hebben bijvoorbeeld neerslag, verdamping en bodemfysische eigenschappen van de bodem op de waterbeschikbaarheid van gewassen, lokale waterhuishouding en grondwateraanvulling? Grondwaterstanden alleen geven hierin maar een beperkt inzicht. Naast grondwaterstanden is informatie nodig over processen in de onverzadigde zone om bijvoorbeeld het bodemvochtgehalte, de waterbeschikbaarheid voor een gewas en de gewasverdamping (-reductie) in te schatten. Hierbij is WL geïnteresseerd in zowel perioden in het verleden als voorspellingen op de korte termijn. Voor inzicht in de hydrologische processen in de onverzadigde zone wordt wereldwijd gewerkt met een 1D-dynamisch model voor de onverzadigde zone en plant-atmosfeer interacties: het Soil, Water, Atmosphere, Plant (SWAP) model (Kroes et al., 2017). Ook in Nederland wordt dit model veel gebruikt voor simulaties op veldschaal, onder andere via de toepassing van Waterwijzer Landbouw. Binnen dit project worden voor een aantal locaties in Limburg waar grondwaterstanden worden gemeten, SWAP-modellen opgezet. Hiermee zet WL een ontwikkeling in die op langere termijn een bijdrage zal leveren aan meer kennis van het hydrologische gedrag in de onverzadigde zone.

## Doel

Doel van het project is om een begin te maken met het modelleren van de onverzadigde zone op perceelschaal in Limburg. Dit wordt gedaan voor enkele locaties van grondwaterpeilbuizen, waarvoor de SWAP-modellen gekalibreerd worden. Naast gemeten grondwaterstanden wordt verder geen detailinformatie uit het veld verzameld. We richten ons dus op het opzetten van SWAP-modellen op basis van eenvoudig beschikbare gegevens om zo een eerste inschatting te geven van de vochtuithouding in de onverzadigde zone. De resultaten worden via een online viewer beschikbaar gesteld, zodat WL zich intern verder kan oriënteren over de toegevoegde waarde van SWAP-modellen voor peilbuislocaties in het beheergebied. Een uitgebreide rapportage is geen doel van het project, en de huidige rapportage dient uitsluitend om de gevolgde werkwijze te documenteren.

## Leeswijzer

Deze rapportage geeft een beschrijving van de werkwijze van de SWAP-modellering en de kalibratie van de modellen aan grondwaterstandsmetingen (hoofdstuk 2). De resultaten (in de vorm van grafieken) van alle gemodelleerde locaties zijn opgenomen in een online viewer. Voorbeelden van resultaten zijn opgenomen in hoofdstuk 3, met daarbij een toelichting op de grafieken. Uitgebreide interpretatie van de resultaten per locatie is geen onderdeel van de rapportage. De synthese en aanbevelingen zijn opgenomen in hoofdstuk 4.

## 2 Methode

### Keuze van de meetpunten

Voor het opstellen van de SWAP-modellen zijn een aantal locaties geselecteerd uit de beschikbare grondwaterobservatiepunten in Limburg. Het gebied ten zuiden van Sittard is uitgesloten voor dit project, omdat dit grondwateronafhankelijke profielen zijn (de onverzadigde zone is dik) en bovendien de ondergrond complex is.

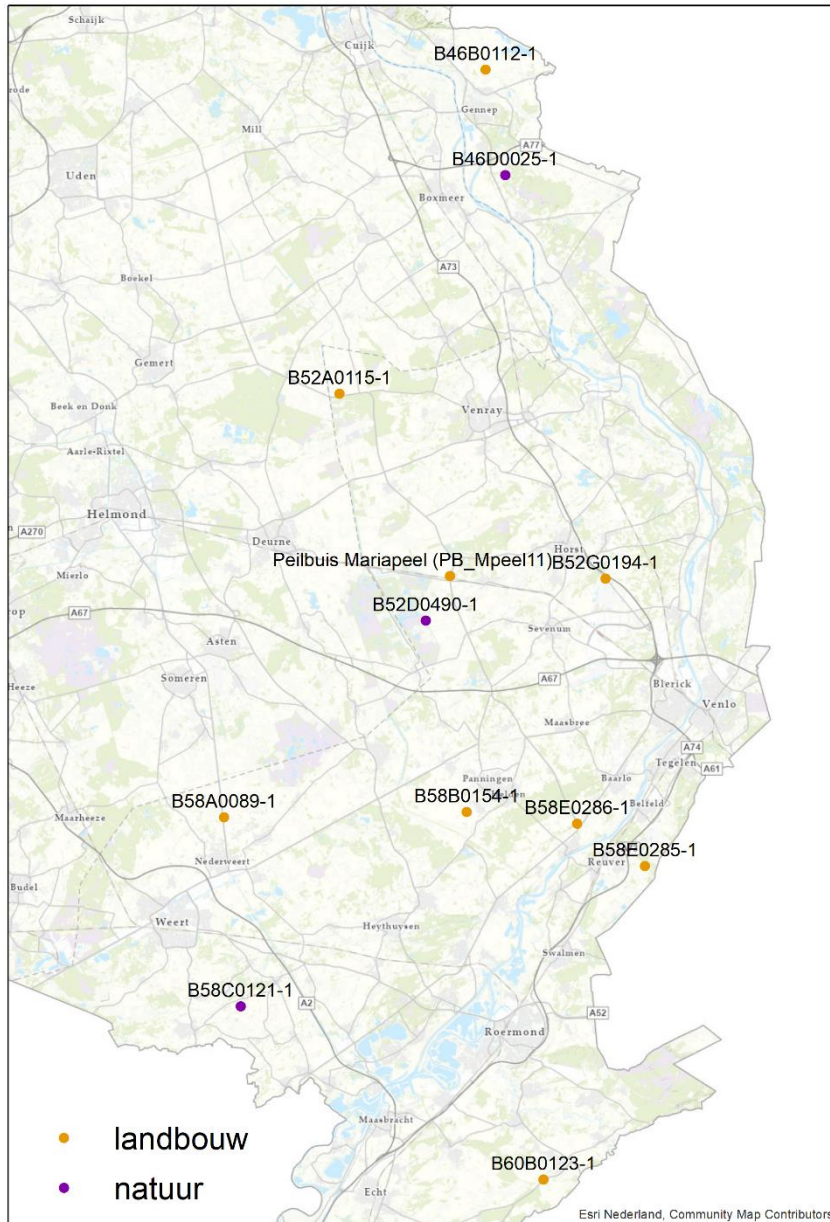
Voor de selectie van de locaties zijn de volgende criteria gebruikt:

- Droogte-index aanwezig in het Droogteportaal (dit impliceert dat er een geschikt tijdreeksmodel aanwezig is en daarom is waarschijnlijk ook een goede simulatie met SWAP mogelijk)<sup>1</sup>;
- De locatie is grondwaterafhankelijk, i.e. de grondwaterstand is dusdanig hoog, dat het de vochthuishouding in de wortelzone beïnvloedt (geen hangwaterprofielen);
- Goede spreiding over het gebied;
- Locaties in landelijk gebied en natuurgebieden;
- Data beschikbaar tot begin 2023 en beperkte periodes met ontbrekende data;
- Variatie in grondwatertrappen en verloop tussen de locaties (bijvoorbeeld snel reagerend systeem versus langzaam reagerend systeem).

Er zijn 12 peilbuizen uitgekozen, verspreid over de provincie en met een verschillend grondwaterregime (Figuur 2-1). De meeste locaties (9) liggen in landbouwgebied, de overige 3 in natuurgebieden. De basisgegevens van de verschillende locaties zijn beschreven in Tabel 2-1.

---

<sup>1</sup> <https://droogteportaal.nl/droogteportaal/web/>



Figuur 2-1: Locaties en codes van de geselecteerde peilbuizen.



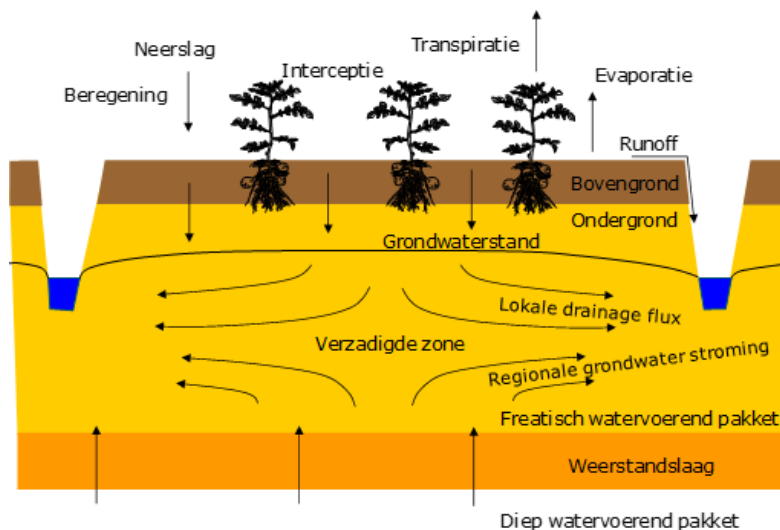
Tabel 2-1: Meta-data van de geselecteerde peilbuizen

Nummer	Label	Top filter [m+NAP]	Bodem filter [m+NAP]	Maaiveld [m+NAP]	x coördinaat	y coördinaat	T <sub>start</sub>	T <sub>eind</sub>
3543	B52A0115-1	22.82	21.82	27.83	187346.1	394668	12-6-2012	7-2-2023
3568	B52D0490-1	31.15	30.15	32.8	192591.2	380930.5	31-5-2012	7-2-2023
3615	B52G0194-1	10.57	9.57	23.9	203465.1	383465.3	13-6-2012	7-2-2023
3676	B46B0112-1	4.74	1.74	12.81	196197.6	414314.6	26-5-2012	18-1-2023
3678	B46D0025-1	1.95	0.95	13.8	197394.4	407919.9	6-6-2012	7-2-2023
3689	B58C0121-1	7.5	6.5	29.85	181384.5	357553.3	28-6-2012	31-1-2023
3733	B58A0089-1	25.44	24.44	28.44	180357.8	368999.3	21-6-2012	31-1-2023
3759	B58B0154-1	28.1	26.1	31.33	195066.9	369331.3	27-6-2012	7-2-2023
3862	B58E0285-1	19.13	16.13	25.4	205854.2	366039.9	20-7-2012	7-2-2023
3920	B58E0286-1	16.41	13.41	24.55	201744	368620.8	4-7-2012	7-2-2023
3948	B60B0123-1	1.56	-1.44	30.55	199700.9	347039.9	4-8-2012	7-2-2023
4453	Peilbuis Mariapeel (PB_Mpeel11)	27.9	27.45	29.9	194058	383635	9-7-2016	8-2-2023

## Achtergrond SWAP-modellen

Modelberekeningen zijn uitgevoerd met een 1D-dynamisch model voor de onverzadigde zone en plant-atmosfeer interacties: het Soil, Water, Atmosphere, Plant (SWAP) model (Kroes et al., 2017). Het SWAP modeldomein is een doorsnede van de bodem midden van een perceel waarvoor de belangrijkste hydrologische processen worden gemodelleerd (Figuur 2-2). SWAP simuleert hoofdzakelijk het verticale transport van water, opgeloste stoffen en warmte in de onverzadigde zone (drainage wordt horizontaal gesimuleerd). Als invoer worden meteorologische condities, bodemfysische parameters volgens Van Genuchten (1980), een hydrologische onderrandvoorwaarde, de schematisatie van de drainagesituatie en gewaseigenschappen gebruikt.

Uitvoergegevens worden op dagbasis gesimuleerd en zijn onder meer grondwaterstand, bodemtemperatuur, bodemvochtgehalte, drukhoogte, en de hieraan gerelateerde afname in gewasverdamming (transpiratiereductie). De transpiratiereductie is het verschil tussen potentiële en werkelijke transpiratie, veroorzaakt door te natte of te droge omstandigheden in de wortelzone met als gevolg zuurstofstress (natte condities) of droogtestress (droge condities). Daarnaast geeft SWAP uitvoergegevens over alle componenten van de waterbalans (Figuur 2-2).



Figuur 2-1: SWAP modeldomein met belangrijke hydrologische processen (links). Componenten van de waterbalans (rechts) weergegeven met schematische blauwe pijlen. Figuur ontleend aan Kroes et al. (2017).

## Opzet van de SWAP-modellen

Voor elk van de locaties is een SWAP model opgezet. Voor de opzet van de modellen zijn de volgende uitgangspunten gebruikt:

- Het oppervlaktewater wordt gesimuleerd met de basic drainage optie voor alle locaties (Kroes et al., 2017);
- Er vindt geen infiltratie uit het oppervlaktewater plaats naar het grondwater omdat de aangeleverde gegevens van oppervlaktewaterpeilen (zomer- en winterpeilen afkomstig uit IBRAHYM) vaak niet goed aansluiten op de grondwaterstanden. Om modelmatig overmatige infiltratie vanuit het oppervlaktewater te voorkomen is deze component uitgezet. Alleen bij de locatie "Peilbuis Mariapeel (PB\_Mpeel11)" (nr. 4453) combineerden de peilen wel logisch met het grondwaterniveau en is infiltratie in het model wel mogelijk;
- Er wordt geen buisdrainage toegepast; er is dus alleen sprake van rechtstreekse drainage vanuit de bodem naar het oppervlaktewater;
- Er vindt geen beregening plaats omdat locaties, hoeveelheid en frequentie van beregening onbekend zijn.
- Er wordt gebruik gemaakt van de eenvoudige module voor gewasgroei (Kroes et al., 2017).

De belangrijkste uitvoergegevens zijn het grondwaterniveau, bodemvochtgehalte en drukhoogten (op verschillende diepten), droogte- en zuurstofstress, potentiële en actuele transpiratie.

## Gebruikte invoergegevens

De invoergegevens voor de SWAP-modellen zijn afkomstig van Waterschap Limburg, het KNMI en afgeleid uit de literatuur. Het gaat om de volgende gegevens:

- Meteorologische gegevens van het KNMI: referentieverdamping volgens Makkink van het dichtstbijzijnde automatische meetstation en neerslag uit radardata;
- Oppervlaktewaterpeilen uit IBRAHYM, aangeleverd door Waterschap Limburg;
- Maaiveldhoogte uit FEWS, aangeleverd door Waterschap Limburg;
- Landgebruik uit LGN7, aangeleverd door Waterschap Limburg;
- Slootafstanden uit IBRAHYM en FEWS, aangeleverd door Waterschap Limburg;
- Bodemeigenschappen uit BOFEK2020, gekoppeld met Staringreeks (Heinen et al., 2020);
- Range voor drainageweerstand uit Van der Gaast (2006).

De invoergegevens per locatie zijn gegeven in Tabel 2-2. De invoerbestanden voor de SWAP-simulaties zijn ter beschikking gesteld aan WL.

## Kalibratie van de modellen

Voor elke peilbuis is het SWAP model gekalibreerd aan de gemeten grondwaterstanden waarbij gebruik is gemaakt van het algoritme PEST (Doherty, 2010). Het SWAP model is gekalibreerd over de hele periode van beschikbare grondwaterstandmetingen. Op deze manier worden de SWAP modellen gebruikt om de omstandigheden van elke veldlocatie in het model te vatten. De kalibratie is per locatie gericht op een optimale schatting van de verzadigde doorlatendheid ( $K_{sat}$ ) in de wortelzone, gemiddelde stijghoogte in het diepere pakket (AQAVE), systeemweerstand van de onderrand (RIMLAY) en drainageweerstand (DRARES). Het verloop van de stijghoogte van het diepere pakket wordt gesimuleerd met een sinusfunctie. De amplitude van de sinusfunctie is gebaseerd op de grondwaterstandmetingen.

Opgemerkt moet worden dat ervoor is gekozen om geen metingen van bodemvochtgehalten en drukhoogtes te gebruiken voor de kalibratie. Voor locaties waar deze metingen wel beschikbaar zijn, kan dit tot betrouwbaardere modellen leiden. Voor de proeflocatie met subirrigatie in America wordt deze combinatie bijvoorbeeld wel gebruikt. Echter, voor veel locaties met grondwaterstandsmetingen zijn geen metingen in de onverzadigde zone beschikbaar. Juist ook voor die locaties wordt nu een eerste inzicht gegeven in de relatie van de onverzadigde zone met de atmosfeer en het grondwater.

## Scenario's

Naast het simuleren van de hydrologische processen in de huidige omstandigheden kan het model ook gebruikt worden om effecten van veranderingen in het systeem te analyseren. Binnen dit project zijn er drie scenario's opgesteld voor alle peilbuizen. De scenario's zijn doorgerekend over de periode van beschikbare metingen. De opgestelde scenario's zijn:

1. Het zomerpeil in het oppervlaktewater is het hele jaar van toepassing.
2. Het zomerpeil in het oppervlaktewater wordt verhoogd met 20 cm en is het hele jaar van toepassing.
3. Wortels kunnen dieper de grond in. Dit betekent dat de worteldiepte van gras is aangepast van 30 cm naar 50 cm diepte. Voor loofbos is de worteldiepte aangepast van 100 cm naar 150 cm diepte en voor naaldbos van 70 cm naar 120 cm diepte.

Tabel 2-2: Invoergegevens voor de geselecteerde peilbuizen

Nummer	Station referentie- verdamping	Code BOFEK2020	Crop input	LGN7	Maaiveld- hoogte (m+NAP)	Drainage weerstand min [d]	Drainage weerstand max [d]	Winterpeil [m+NAP]	Zomerpeil [m+NAP]	Sloot afstand
3543	Volkel	3015	GrassS	Overige gewassen	27.83	10	250	26.8	26.9	100
3568	Arcen	3015	NatureForestPine	Naaldbos	32.80	10	250	32	32	30
3615	Arcen	3004	GrassS	Loofbos	23.90	10	250	22.4	22.3	10
3676	Volkel	3006	GrassS	Loofbos, agrarisch gras	12.81	250	500	10.55	10.5	300
3678	Arcen	3003	NatureForestDecidS	Loofbos, naaldbos	13.80	1000	10000	11	11	400
3689	Maastricht	3021	NatureForestDecidS	Loofbos, agrarisch gras	29.85	500	1000	27.25	27.3	100
3733	Volkel	5004	GrassS	Grasland, maïs	28.44	10	250	27.8	27.8	50
3759	Arcen	3004	GrassS	Boomkwekerij, maïs	31.33	100	500	29.8	29.8	300
3862	Arcen	3015	GrassS	Agrarisch gras	25.40	10	250	25.05	25.05	170
3920	Arcen	3005	NatureForestDecidS	Loofbos	24.55	100	500	22.65	23	150
3948	Maastricht	4023	GrassS	Agrarisch gras	30.55	10	500	29.57	29.57	100
4453	Arcen	3015	NatureForestPine	Naaldbos	29.90	10	250	29.18	29.12	300

## Voorspellingen

Voor elke peilbuis is het gekalibreerde SWAP model gebruikt om een voorspelling te maken voor de komende zes dagen. Het voorspellingsmodel is in drie stappen gemaakt:

1. SWAP is gekalibreerd met PEST over de periode van beschikbare metingen, zoals beschreven in 'Kalibratie van de modellen'.
2. Het gekalibreerde model is verlengd vanaf de laatste dag van beschikbare metingen tot de dag waarop de voorspelling begint. Deze stap is noodzakelijk om de hydrologische situatie tussen het moment van de laatste meting en de dag van de voorspelling in kaart te brengen. Het initiële grondwaterniveau van het model is gelijk aan de laatst beschikbare meting van het grondwaterniveau. Door de laatst beschikbare grondwatermeting aan het model mee te geven, gebruikt het model de meest realistische uitgangssituatie voor de start van de simulatie. Verdere invoergegevens zijn gelijk aan de eerder beschreven 'gebruikte invoergegevens'.
3. Het verlengde model is gebruikt als invoer voor het voorspellingsmodel. Het voorspellingsmodel maakt een voorspelling van de hydrologische omstandigheden in de komende zes dagen. Invoergegevens zijn zoals beschreven in 'gebruikte invoergegevens'. Echter, in plaats van de KNMI gegevens zijn de meteorologische gegevens (straling, minimum en maximum temperatuur, luchtvochtigheid, windsnelheid, neerslag) van Open Weather<sup>2</sup> toegepast. Uit deze gegevens is de referentieverdamping berekend volgens Makkink (1957). De duur van de neerslag wordt niet voorspeld en is geschat op 1/24 uur (0.042 uur).

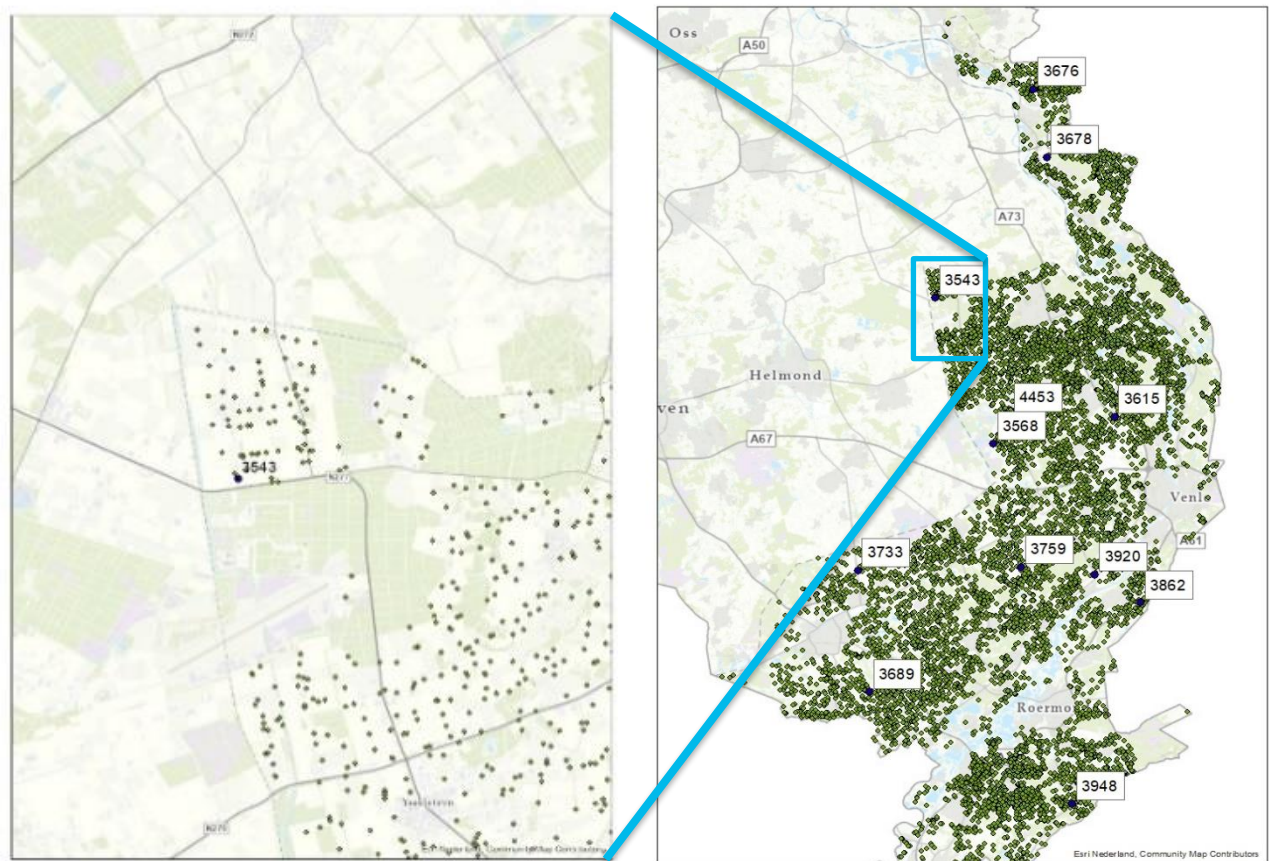
## Invloed van onttrekkingen

In de provincie Limburg staan diverse grondwaterputten voor berekening. Een grondwateronttrekking (in de omgeving) kan effect hebben op de hydrologische situatie in de onverzadigde zone van een locatie. De grondwaterputten zijn geplot in Figuur 2-3 om inzicht te hebben in de locatie van deze grondwaterputten ten opzichte van de grondwaterobservatiepunten. Er is onbekend welke putten in gebruik zijn, en als deze in gebruik is, hoeveel en wanneer er water wordt onttrokken. Het effect van grondwateronttrekkingen op het verloop van de grondwaterstand is bijvoorbeeld te zien voor locatie 3543, waar in het groeiseizoen kortdurende dalingen in de grondwaterstand worden waargenomen (Figuur 2-4).

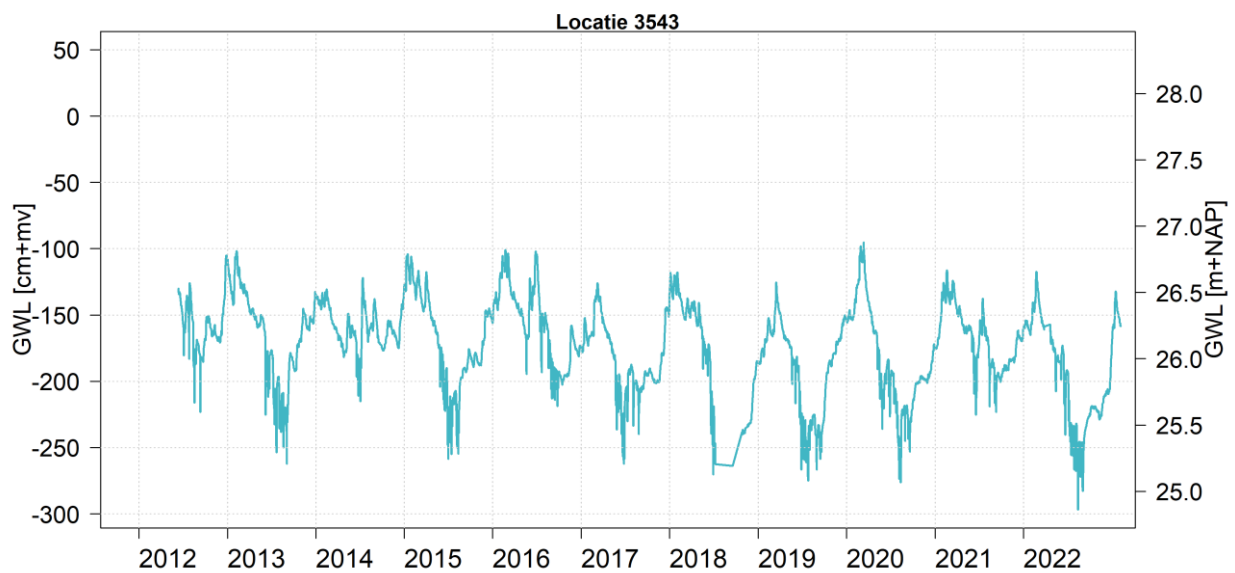
Er is voor locatie 3543 (B52A0115-1, grasland) verkend op welke manier het effect van onttrekkingen op de grondwaterstand meegenomen kunnen worden in SWAP simulaties. Om te bepalen op welke dagen onttrekkingen plaatsvinden is gekeken wanneer de drukhoogte op 20 cm diepte onder de limiet voor optimale transpiratie komt (-200 cm voor gras). Op de dagen dat de drukhoogte onder deze waarde komt, is in SWAP een onttrekking gesimuleerd door een extra negatieve flux aan de onderrand van het profiel toe te passen. Op deze manier wordt er meer verlies van water aan de onderrand van het model gesimuleerd. Om het aantal onttrekkingen in de tijd te beperken, zitten er altijd minimaal 6 dagen tussen onttrekkingen. Voor het simuleren van regionale grondwaterstroming als gevolg van de onttrekking (en herstel/stijging van de grondwaterstand) wordt de dag na de onttrekking een positieve flux vanuit het grondwater toegevoegd met dezelfde waarde als de onttrekking. We hebben verschillende hoeveelheden water voor de onttrekkingen toegepast: 10, 20 en 50 mm. Op deze manier is verkend hoe een 3D-hydrologisch proces in een 1D model kan worden meegenomen.

---

<sup>2</sup> <https://openweathermap.org/>



Figuur 2-3: Links een gedetailleerde uitsnede van peilbuis 3543 in combinatie met grondwateronttrekkingsputten in de omgeving. Rechts locaties van de geselecteerde peilbuizen (donkerblauwe stippen) en grondwateronttrekkingsputten voor berekening geregistreerd bij Waterschap Limburg (groen).



Figuur 2-4: Gemeten grondwaterstand bij locatie 3543.



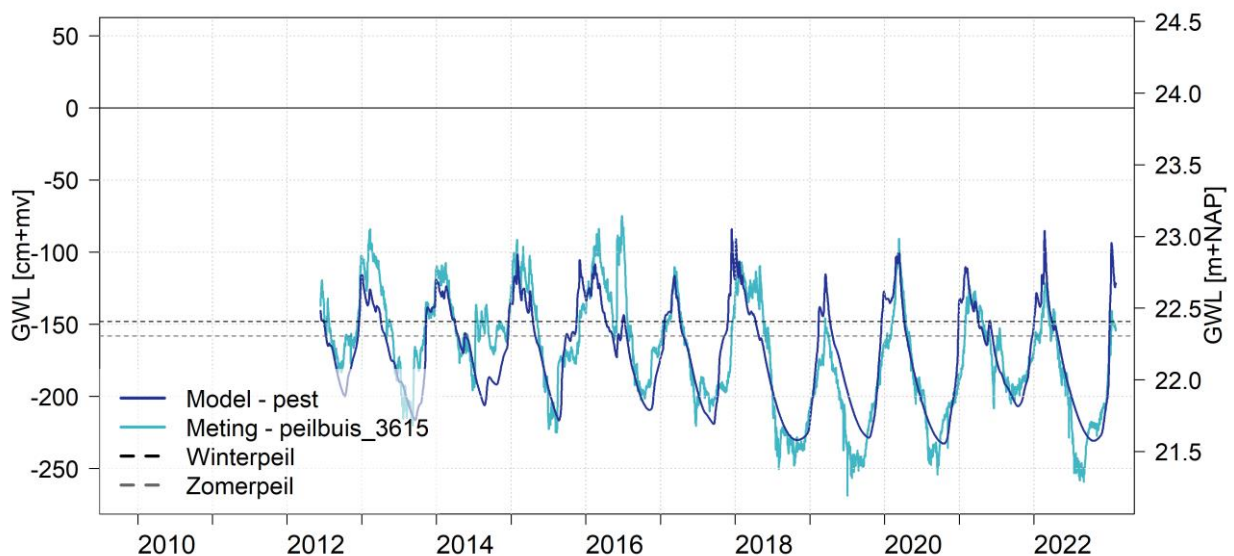
## 3 Resultaten

In dit rapport worden de figuren van de resultaten voor één locatie als voorbeeld getoond. Alle overige figuren zijn opgenomen in het dashboard. Het dashboard (<https://kwr2023-051-dc.kwrwater.nl/>) is tot en met 31 december 2023 online.

### Gemeten en gesimuleerde grondwaterstanden

De gemeten en gesimuleerde grondwaterstanden van peilbuis 3615 zijn weergegeven in Figuur 3-1. Het gesimuleerde grondwaterniveau volgt het verloop van de gemeten grondwaterstand. De gemeten pieken naar beneden (circa 250 cm-mv) worden minder extreem gesimuleerd. Er zijn een aantal processen zichtbaar in de grondwaterstand:

- Het grondwaterniveau varieert hoofdzakelijk tussen de 80 cm-mv en 260 cm-mv (Figuur 3-1). Het grondwaterniveau van alle peilbuizen in deze studie is in de jaren 2018 – 2020 en 2022 meestal lager dan in de jaren voor 2018. De lagere grondwaterstanden zijn het gevolg van meerdere achtereenvolgende jaren met weinig neerslag (Van den Eertwegh et al., 2021).
- Het grondwaterniveau reageert sterk op neerslag (steile pieken in het grondwaterverloop). In het voorjaar 2016, bijvoorbeeld, daalt de grondwaterstand (Figuur 3-1), halverwege 2016 is een sterke stijging in het grondwaterniveau te zien (Figuur 3-1) als gevolg van neerslag van > 50 mm/d (Figuur 3-2A).
- Het grondwaterniveau daalt niet geleidelijk, maar laat negatieve pieken zien tijdens het dalen in de drogere jaren 2018, 2019, 2020 en 2022. Dit is mogelijk het gevolg van grondwateronttrekkingen voor beregening in de omgeving van de peilbuis (Figuur 3-1, Figuur 2-3). Het gesimuleerde grondwaterniveau reproduceert het effect van de grondwateronttrekkingen niet, aangezien deze niet in het model zijn meegenomen. In de paragraaf 'Invloed onttrekkingen' zijn resultaten weergegeven van een verkennende simulatie om de beregeningsonttrekkingen wel mee te nemen in het model.
- Als laatste kan de grondwaterstand ook stijgen als gevolg van beregening op het perceel. Locaties, hoeveelheid en frequentie van beregening zijn onbekend, dus dit is niet meegenomen in de SWAP simulaties.



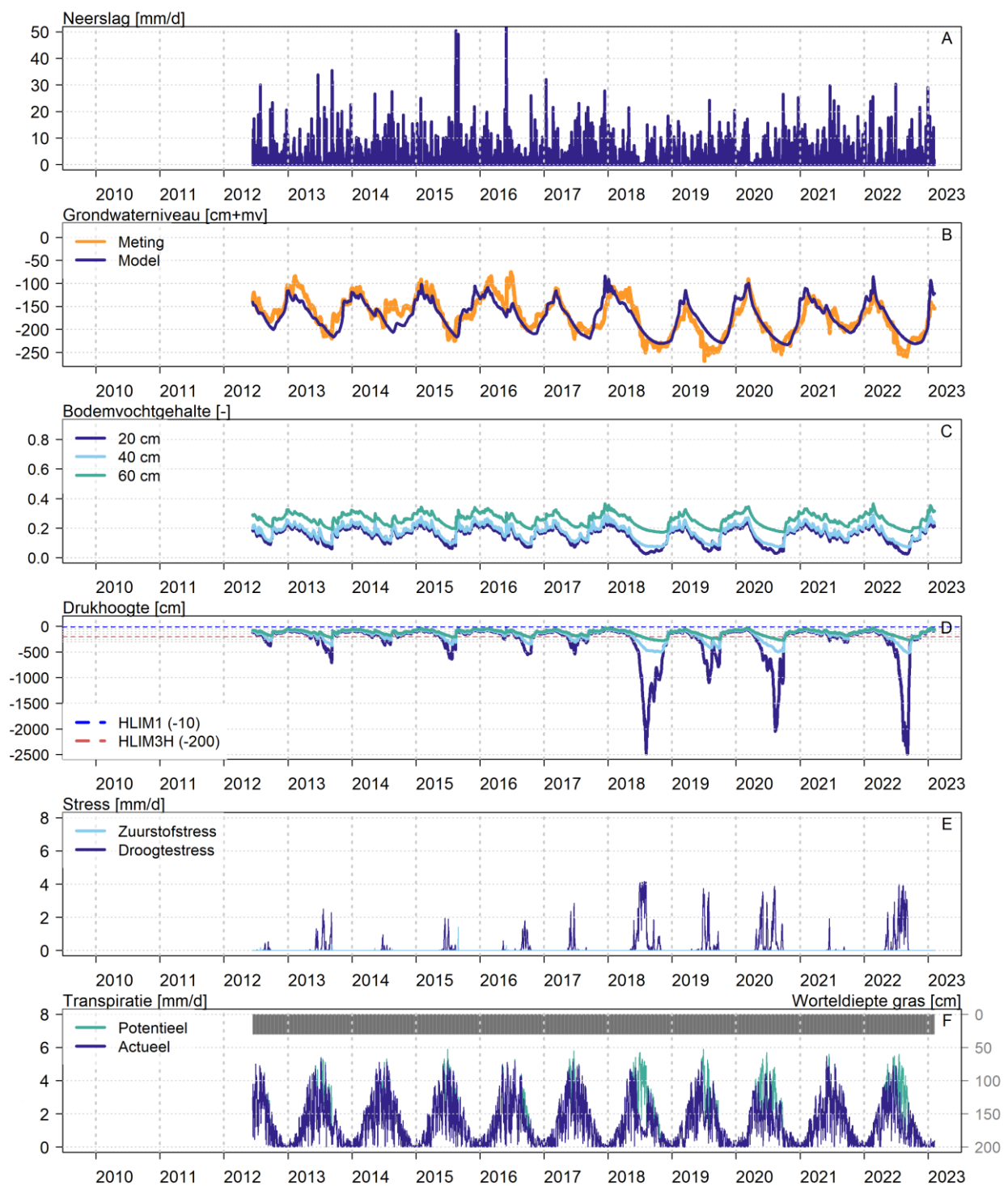
Figuur 3-1: Gemeten en gesimuleerde grondwaterstanden, en oppervlaktewaterpeilen voor locatie 3615 (B52G0194-1).

## Gesimuleerde hydrologische variabelen

In Figuur 3-2 is achtereenvolgens neerslag, grondwaterniveau, bodemvochtgehalte, drukhoogte, droogte- en zuurstofstress, en potentiële en actuele transpiratie weergegeven. In de figuren zit een logische lijn in de relatie tussen de verschillende panelen (A-F):

- Neerslag (A) is invoer voor het model en de data is afkomstig van het KNMI. Neerslag is wel opgenomen in deze figuren vanwege de doorwerking op het bodemvochtgehalte, drukhoogte en grondwaterniveau, zoals toegelicht in de paragraaf 'Gemeten en gesimuleerde grondwaterstanden'.
- Neerslag en de grondwaterstand (B) zijn factoren die onder andere het bodemvochtgehalte (C) beïnvloeden. Het bodemvochtgehalte ('het water dat zich in de poriën tussen de bodemdeeltjes bevindt') in de toplaag (20 cm) is in veel van de gevallen het laagst. Het bodemvochtgehalte op 40 cm is iets hoger, en op 60 cm diepte nog iets hoger. Oftewel, de bodem is bovenin het droogst en wordt vochtiger met de diepte.
- De drukhoogte ('de zuigspanning', de benodigde kracht voor vochtonttrekking uit de bodem) is een maat voor de uitdrogingstoestand van de bodem en heeft een directe relatie met de waterbeschikbaarheid en transpiratie van een plant). Hoe droger de bodem, hoe negatiever de drukhoogte. Voor peilbuis 3615 is de drukhoogte op 20 cm het negatiefst en de drukhoogte wordt minder negatief met de diepte (Figuur 3-2D).
- Als de drukhoogte negatiever is dan de kritische drukhoogte voor wateropname door planten (limieten HLIM3) wordt de wateropname door het gewas beperkt. Er treedt dan droogtestress op (E). Droogtestress wordt dus veroorzaakt doordat de plant onvoldoende zuigkracht heeft om water te onttrekken uit de bodem. Bij te natte omstandigheden (limiet HLIM1 bij de benadering volgens Feddes (1982)) treedt zuurstofstress op. Voor de locatie bij peilbuis 3615 is bijvoorbeeld te zien dat er droogtestress optreedt in de zomermaanden (Figuur 3-2E). Deze is het hoogst in de jaren 2018 – 2020 en 2022, de jaren waarin in de zomer weinig neerslag is en grondwaterstanden dieper wegzakken.
- Droogtestress resulteert in een reductie van de transpiratie (F): de actuele transpiratie is lager dan de potentiële transpiratie ('de transpiratie die optreedt als een gewas optimaal van water wordt voorzien'). Zowel de actuele als de potentiële transpiratie zijn weergegeven in Figuur 3-2F.





Figuur 3-2: Overzicht van modelinvoer en resultaten voor locatie 3615 (B52G0194-1) met a) geobserveerde neerslag, b) gemeten ('meting') en gesimuleerde ('model') grondwaterstanden, c) gesimuleerde bodemvochtgehaltenes voor 3 dieptes (20, 40, 60 cm), d) gesimuleerde drukhoogte voor 3 dieptes (20, 40, 60 cm) en de kritische drukhoogte (limieten) waarbij wateropname door het gewas beperkt wordt door te natte (HLIM1) of te droge omstandigheden (HLIM3H), e) transpiratiereductie ontstaat door te natte (zuurstofstress) of te droge (droogtestress) omstandigheden, f) potentiële verdamping (invoer), actuele verdamping en worteldiepte.

## Scenario's

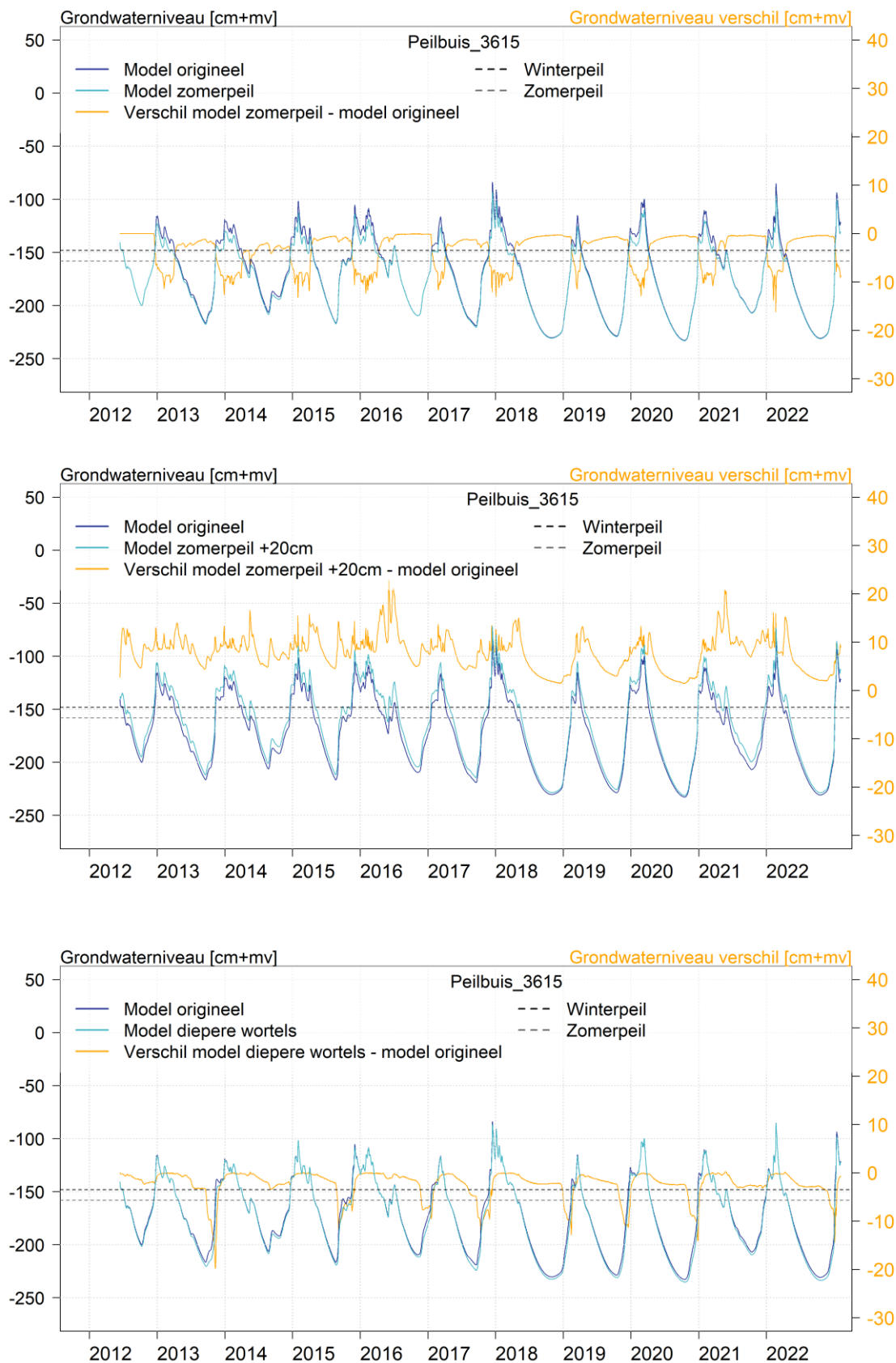
Naast de simulaties van de hydrologische variabelen in de huidige situatie zijn de SWAP modellen ook toegepast voor drie scenario's.

In het eerste scenario wordt het zomerpeil in het oppervlaktewater jaarrond toegepast. In de huidige situatie is voor 6 peilbuizen het zomerpeil al gelijk aan het winterpeil, voor 3 peilbuizen is het zomerpeil hoger dan het winterpeil (tot max. 35 cm verschil), en voor 3 peilbuizen is het zomerpeil lager dan het winterpeil (tot max. 10 cm verschil) (Tabel 2-2). Hierdoor zijn er drie verschillende resultaten te onderscheiden:

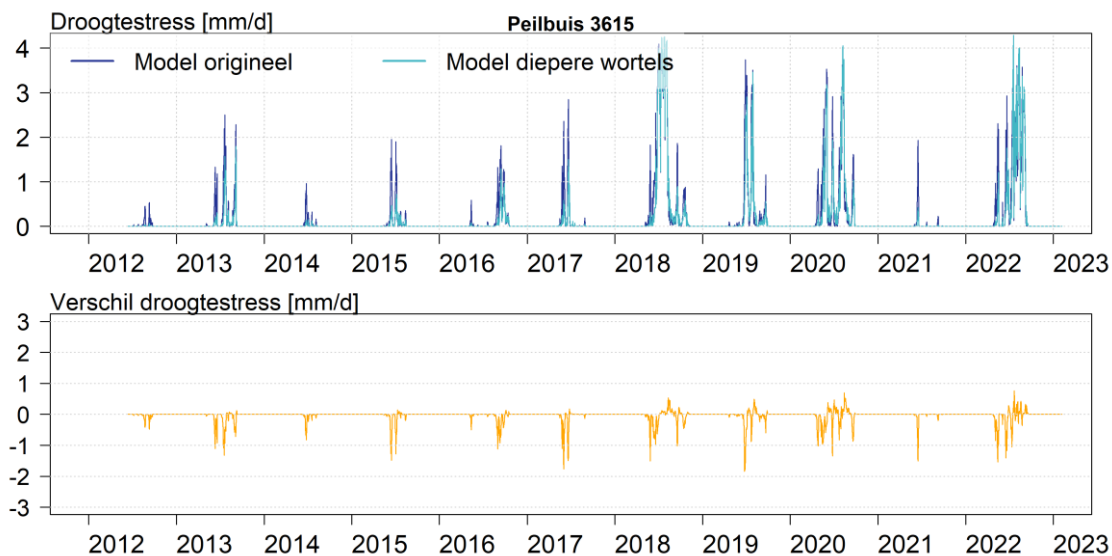
- Voor de peilbuizen waar het zomerpeil al gelijk is aan het winterpeil is er logischerwijs geen verschil in oppervlaktewaterpeil en dus hydrologische processen waarneembaar.
- Voor de peilbuizen waar het zomerpeil hoger is dan het winterpeil resulteert enkel het zomerpeil toepassen in een hoger oppervlaktewaterpeil jaarrond. Een hoger oppervlaktewaterpeil leidt tot minder drainage, dus bij het jaarrond toepassen van het zomerpeil, daalt de grondwaterstand minder uit, en stijgt het bodemvochtgehalte. De grondwaterstand stijgt, in de selectie peilbuizen van deze studie, met maximaal 40 cm (peilbuis 3920) door deze maatregel.
- Voor de peilbuizen waar het zomerpeil lager is dan het winterpeil resulteert enkel het zomerpeil toepassen in een lager oppervlaktewaterpeil. Hierdoor vindt er meer drainage plaats en daalt het grondwaterniveau op deze locaties in de winter.

In het tweede scenario stijgt het grondwaterniveau als gevolg van het jaarrond toepassen van het zomerpeil met een verhoging van +20 cm. Door verminderde drainage stijgt de grondwaterstand op alle peilbuislocaties. Op peilbuislocatie 3615 is dit maximaal 20 cm.

In het derde scenario daalt de grondwaterstand doordat planten dieper wortelen en daardoor langer water op kunnen nemen en dus verdampen. De grondwaterstand voor peilbuis 3862 is met diepere wortels circa 35 cm dieper in de winter dan de grondwaterstand in het originele model. Voor peilbuis 3759 daalt de grondwaterstand met circa 0 – 10 cm in het model met diepere wortels ten opzichte van het model met ondiepere wortels. Door de diepere wortels vindt er over de hele periode minder transpiratiereductie / droogtestress plaats (Figuur 3-4). Aan het einde van de zomer treedt op sommige locaties meer droogtestress op in het model met diepere wortels. Omdat de grondwaterstand en het bodemvochtgehalte sneller dalen door de toename in verdamping, is er aan het einde van de zomer juist minder water beschikbaar, waardoor de droogtestress toeneemt. Aangezien de toename van de verdamping over de hele periode positief is, dalen het bodemvochtgehalte en de grondwaterstand.



Figuur 3-3: Gesimuleerde grondwaterstanden origineel en met een scenario, oppervlaktewaterpeil zomer en winter, en het verschil tussen de gesimuleerde grondwaterstand origineel minus de gesimuleerde grondwaterstand in het scenario, voor locatie 3615 (B52G0194-1). Boven: scenario zomerpeil jaarrond, midden: zomerpeil jaarrond +20cm, beneden: diepere wortels.

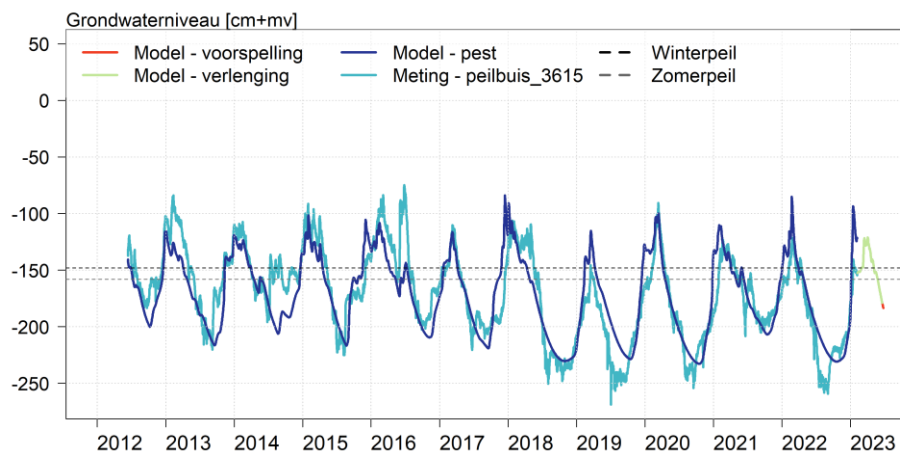


Figuur 3-4: Transpiratiereductie als gevolg van droogtestress in de originele SWAP simulatie en de simulatie met diepere wortels (boven). Verschil in transpiratiereductie tussen de twee modellen (diep – origineel, beneden).

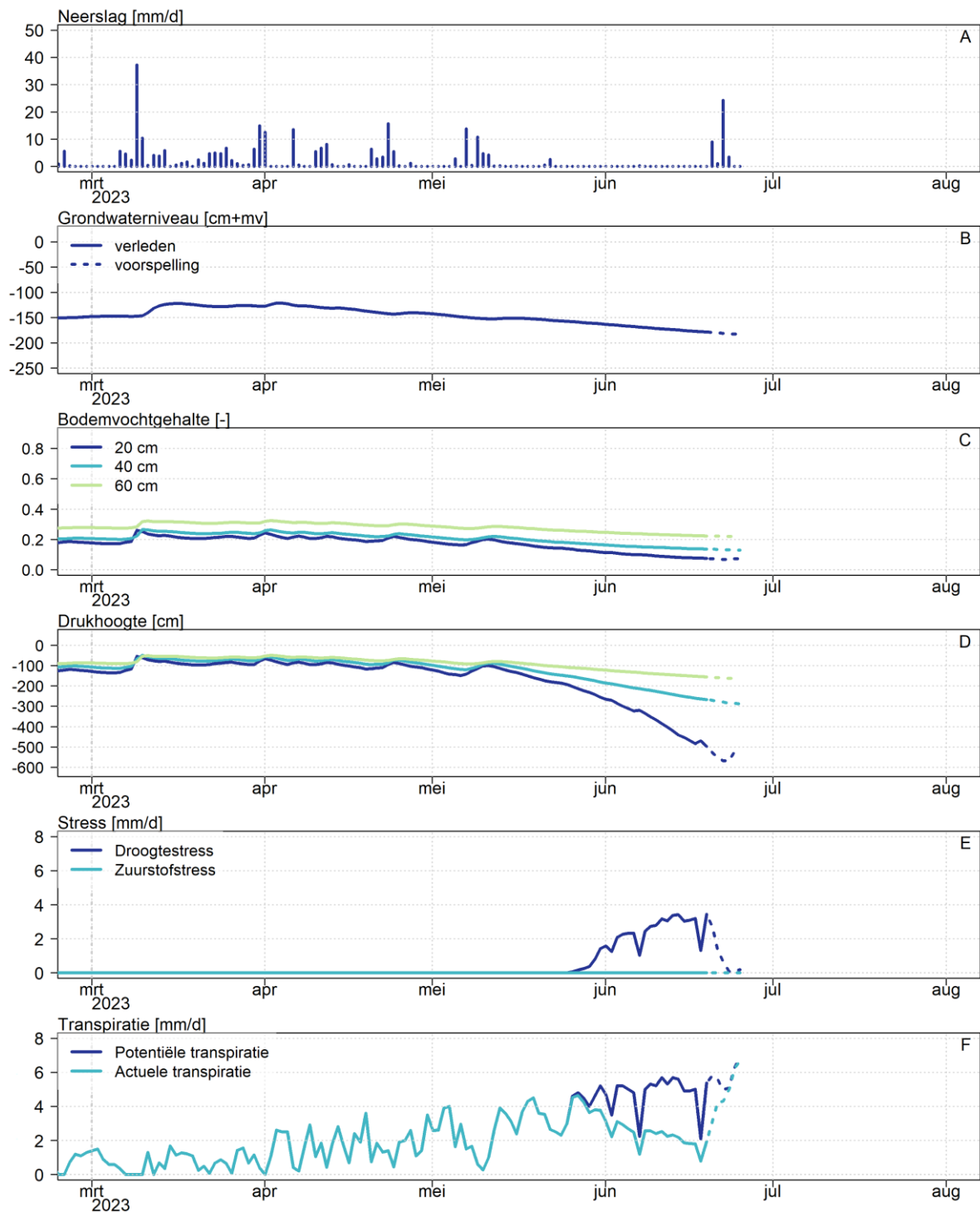
## Voorspellingen

Er worden ook voorspellingen op de korte termijn (6 dagen) gedaan met de gekalibreerde SWAP modellen voor alle hydrologische variabelen. In Figuur 3-5 en 3-6 zijn de voorspelde hydrologische variabelen weergegeven voor locatie 3615 met de voorspelling gedaan op 19 juni 2023. In het dashboard worden deze voorspellingen dagelijks opnieuw gedaan voor alle locaties. In de gesimuleerde grondwaterstanden zijn de verlenging van het model vanaf januari 2023 en de zesdaagse voorspelling apart weergegeven. Het startpunt van het verlengde model is aangepast naar de laatste beschikbare meting, zoals beschreven in de paragraaf 'Voorspellingen' in hoofdstuk 2. De startwaarde van de grondwaterstand voor het verlengde model is dus niet gelijk aan de laatste gesimuleerde grondwaterstand van het gekalibreerde model. Door de aanpassing van de startwaarde heeft het model een optimale startpositie voor het begin van de voorspellingen. Het toevoegen van de voorspellingen geeft inzicht in de te verwachte ontwikkelingen in alle hydrologische variabelen op de korte termijn.

Zo is in Figuur 3-5 te zien dat als gevolg van de verwachte neerslag de grondwaterstand niet zal stijgen en het bodemvochtgehalte maar weinig verandert, maar dat de drukhoogte in de toplaag dusdanig zal stijgen dat droogtestress van het gewas vermindert.



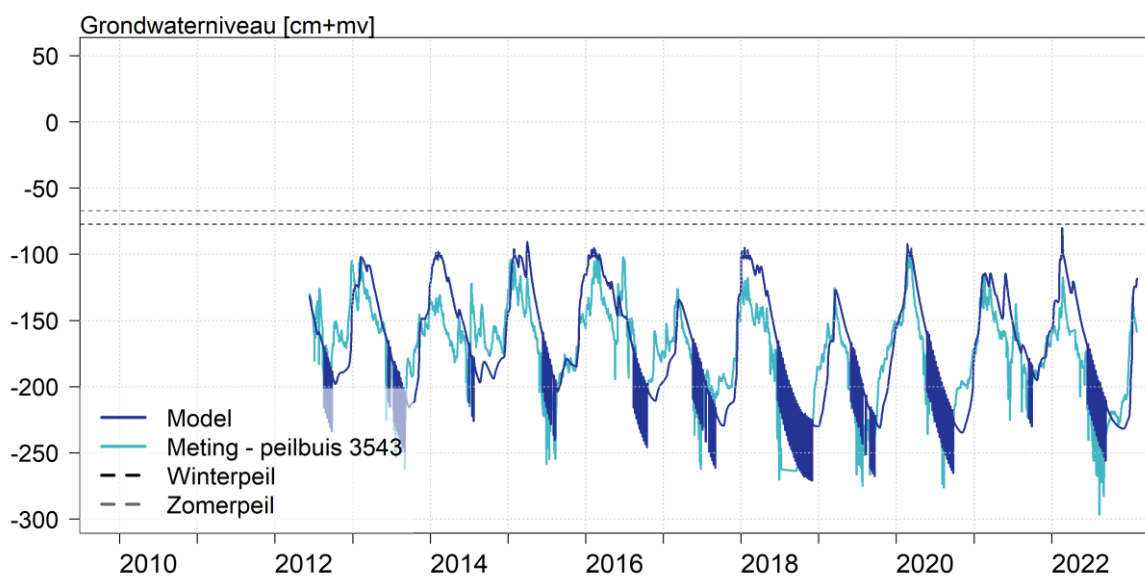
Figuur 3-5: Gesimuleerde grondwaterstand, gekalibreerd, verlengd en voorspeld, oppervlaktewaterpeil zomer en winter, voor locatie 3615 (B52G0194-1).



Figuur 3-6: Overzicht van modelinvoer en gesimuleerde en voorspelde resultaten voor locatie B52G0194-1 met a) neerslag (invoer), gesimuleerde en voorspelde b) grondwaterstanden, c) bodemvochtgehalte voor 3 dieptes, d) drukhoogte voor 3 dieptes, e) transpiratiereductie ontstaan door te droge (droogtestress) en te natte (zuurstofstress) omstandigheden, f) potentiële transpiratie (invoer) en actuele transpiratie.

## Invloed van onttrekkingen

De verschillen tussen de gemeten en gesimuleerde grondwaterstanden en het verloop van de gemeten grondwaterstanden (sterke extra daling in droge zomers) geven een indicatie dat voor een aantal locaties grondwateronttrekkingen de grondwaterstand beïnvloeden. Voor locatie 3543 is verkend of de effecten van onttrekkingen gesimuleerd kunnen worden. Er zijn verschillende onttrekkingshoeveelheden getest, waarbij een onttrekking van 50 mm tot de beste overeenkomst met de metingen leidt voor wat betreft de extra daling in het grondwater (Figuur 3-7). Het model overschat het aantal keer dat een onttrekking plaatsvindt; dit is nu vastgesteld op niet vaker onttrekken dan eens in de zeven dagen. In de metingen zijn minder negatieve pieken te zien, maar de orde van grootte van de pieken komt overeen met de simulaties. Het is dus mogelijk om met SWAP inzicht te krijgen in het effect van onttrekkingen, maar meer informatie over hoe vaak en hoeveel water onttrokken wordt, is nodig om de simulaties te verbeteren.



Figuur 3-7: Gemeten en gesimuleerde grondwaterstanden met onttrekkingen van 50 mm per keer, en oppervlaktewaterpeilen voor locatie 3543 (B52A0115-1).

## 4 Synthese

Doel van dit project was een begin maken met het modelleren van de onverzadigde zone op perceelschaal in Limburg. Dit is gedaan voor 12 locaties van grondwaterpeilbuizen, waarvoor de SWAP-modellen gekalibreerd zijn. Hoewel er naast de gemeten grondwaterstanden geen detailinformatie uit het veld is verzameld, konden de gemeten grondwaterstanden vrij goed gereproduceerd worden met SWAP. Met het model zijn de niet bemeaten componenten in de onverzadigde zone en de verdamping gesimuleerd. Dit geeft inzicht in de wisselwerking tussen grondwater, bodem, plant en atmosfeer voor deze locaties. Echter, er zijn bijvoorbeeld geen bodemvochtmetingen beschikbaar om ook een validatie uit te voeren.

Naast de simulatie van de huidige situatie zijn scenario's met ingrepen doorgerekend en voorspellingen voor de korte termijn (6 dagen) toegevoegd. Ook is een verkenning gedaan voor het toevoegen van onttrekkingen. Deze modelstudie toont aan dat er met SWAP snel inzicht verkregen kan worden in de verschillende hydrologische variabelen, maar dat de resultaten van het model ook per locatie erg kunnen verschillen. Voor een aantal van de geselecteerde locaties komt de grondwaterstand veel minder goed overeen met de gemeten grondwaterstanden, bijvoorbeeld, bij locatie 3948. De ondergrond en omgeving van deze locatie is complex met relatief veel hoogteverschillen. Hier kan SWAP moeilijker mee omgaan. Ook het niet meenemen van onttrekkingen en berekening kan invloed hebben op de betrouwbaarheid van de simulaties.

Het bodemvochtgehalte in de onverzadigde zone wordt onder andere bepaald door de neerslag, drainage/infiltratie, grondwateronttrekking, en kwel/ wegzijging. Via de vocht karakteristiek wordt uiteindelijk de vocht opname van het gewas bepaald, en dus de stress. Voor een correcte modellering van het bodemvochtgehalte is het dus belangrijk om 1) neerslag zo goed mogelijk in het model in te voeren (in dit project gedaan met radardata), 2) oppervlaktewaterpeilen zo goed mogelijk in te voeren om drainage en infiltratie te modelleren, 3) óf en de mate waarin er grondwater wordt onttrokken in de omgeving mee te nemen in het model, 4) gegevens van de regionale stijghoogten voor de onderrand van het model meenemen om de kwel en/of wegzijging te modelleren. Daarnaast is het voor de SWAP modellering ook noodzakelijk dat 1) de maaiveldhoogte bekend is om de grondwaterstanden in NAP correct om te rekenen naar maaiveldhoogtes, en 2) het gewas bekend is, voor de berekende verdamping. Door meer detailinformatie uit het veld toe te voegen, is het aannemelijk dat de simulaties verder verbeterd kunnen worden.

### Aanbevelingen

Met het opzetten van de SWAP-modellen voor de 12 geselecteerde locaties is een eerste stap gemaakt om meer inzicht te krijgen in de hydrologische toestand in de onverzadigde zone. Hoewel de gesimuleerde grondwaterstanden op de meeste locaties redelijk overeen komen met de gemeten grondwaterstanden, zijn er nog een aantal verbeteringen mogelijk.

Ten eerste is het belangrijk om meer informatie te hebben over grondwateronttrekkingen en berekening in de omgeving van een peilbuis: hoeveel water wordt er onttrokken en wanneer, wordt dit water gebruikt voor berekening in de buurt van de peilbuis? Onttrekkingen hebben veel invloed op de grondwaterstand en daarmee ook op het bodemvochtgehalte; berekening heeft een rechtstreekse invloed op het bodemvochtgehalte en de drukhoogte. Het is daarom belangrijk deze informatie mee te nemen in de modellen.

Daarnaast zijn meer verkenningen naar de interactie tussen het oppervlaktewatersysteem en het grondwater belangrijk. In de huidige SWAP modellen is voor bijna alle locaties infiltratie vanuit het oppervlaktewater uitgeschakeld, omdat de geobserveerde grondwaterstanden vaak ver onder het oppervlaktewaterpeil liggen. Er is

dus geen duidelijk infiltratie-effect te zien in de grondwatermetingen. In de SWAP modellen worden de oppervlaktewaterpeilen uit het IBRAHYM model gebruikt. Het is onduidelijk of er daadwerkelijk voldoende water beschikbaar is om de peilen te handhaven of dat de peilen als vaste waarden in het IBRAHYM model worden gebruikt. In het eerste geval vallen de sloten in werkelijkheid droog als er niet voldoende water beschikbaar is, waardoor de grondwaterpeilen verder uit kunnen zakken, wat overeenkomt met de situatie zonder infiltratie. Correcte informatie over het oppervlaktewatersysteem, en daadwerkelijk opgetreden peilen, is dus essentieel omdat het oppervlaktewaterpeil een grote invloed heeft op de drainage en dus de grondwaterstand.

Als laatste wordt er in de SWAP modellen gewerkt met de drainageweerstand: deze weerstand geeft aan hoe makkelijk drainage plaatsvindt. Hoewel de drainageweerstand een essentiële parameter in het model is, wordt deze gekalibreerd, aangezien metingen niet beschikbaar zijn. Er zijn wel vuistregels beschikbaar, die plausibele kalibratiegrenzen geven.

Hoewel de modellen inzicht kunnen geven in de hydrologische processen, is het ook belangrijk om gegevens uit het veld te blijven verzamelen. De geobserveerde grondwaterstanden worden gebruikt voor de kalibratie van de modellen. Dagelijks beschikbare metingen kunnen helpen de voorspellingen te verbeteren, zodat de initiële grondwaterstand van de voorspelling optimaal is. Metingen van het bodemvocht of juist drukhoogte kunnen helpen bij de validatie van de modellen, ook als kortere reeksen beschikbaar zijn. Ervaringen met het gebruik van deze metingen worden onder andere al opgedaan op het proefveld met regelbare drainage en subirrigatie in America.



## Referenties

- Doherty, J., 2010. PEST: Model independent parameter estimation, Watermark Numer. Comput., Brisbane, Queensland, Australia.
- Feddes, R.A., 1982. Simulation of field water use and crop yield, Simulation of plant growth and crop production. Pudoc, pp. 194-209.
- Heinen, M., Bakker, G., Wösten, J.H.M., 2020. Waterretentie-en doorlatendheidskarakteristieken van boven-en ondergronden in Nederland: de Staringreeks: Update 2018. Wageningen Environmental Research, Wageningen.
- Kroes, J.G., van Dam, J.C., Bartholomeus, R.P., Groenendijk, P., Heinen, M., Hendriks, R.F.A., Mulder, H.M., Supit, I., van Walsum, P.E.V., 2017. SWAP version 4 : theory description and user manual. Wageningen Environmental Research, Wageningen.
- Makkink, G., 1957. Exzamen de la formula de Penman. Neth. J. Agric. Sci 5, 290-305.
- Van den Eertwegh, G., de Louw, P., Witte, J.-P., van Huijgevoort, M., Bartholomeus, R., van Deijl, D., van Dam, J., Hunink, J., America, I., Pouwels, J., Hoefsloot, P., de Wit, J., 2021. Eindrapport project 'Droogte Zandgronden Nederland' (Fase 3): Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland: het verhaal - analyse van droogte 2018 en 2019 en bevindingen. KnowH2O, Berg en Dal, p. 179.
- van der Gaast, J.W.J., 2006. Hydrologie op basis van karteerbare kenmerken. Alterra, Wageningen.
- Van Genuchten, M.T., 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil science society of America journal 44, 892-898.