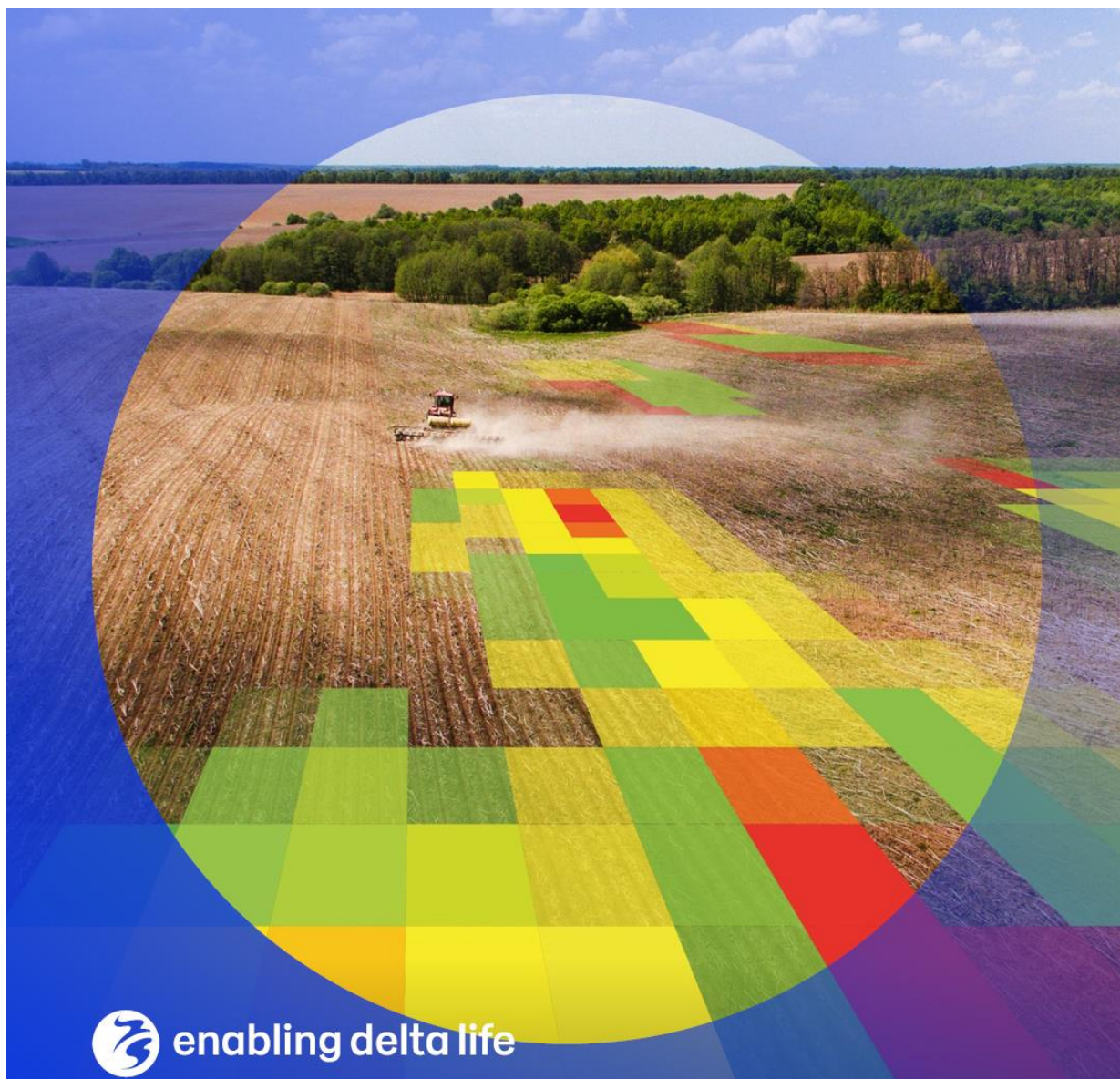


## TKI Grow with the Flow

Resultaten 2020-2021



 enabling delta life

## **TKI Grow with the Flow**

### Resultaten 2020-2021

#### **Auteur(s)**

Liduin Bos - Burgering

Janneke Pouwels

Edwin Snippen

Ab Veldhuizen

Martin Mulder

Pim Dik

Marinus van Dijk

Harmen van de Werfhorst

Chris van Rens

Luc Baardman

Boyan Domhof

Hans Korving

## TKI Grow with the Flow

Resultaten 2020-2021

|                       |   |
|-----------------------|---|
| <b>Opdrachtgever</b>  | TKI-Deltatechnologie en TKI-Agri&Food   |
| <b>Contactpersoon</b> | Edwin Snippen (Deltares) en Ab Veldhuizen (WENR)  |
| <b>Referenties</b>    | Bos-Burgering, L., Pouwels, J., Snippen, E., Veldhuizen, A., Mulder, M., Dik, P., Van Dijk, M., Van de Werfhorst, H., Van Rens, C., Baardman, L., Domhof, B. en Korving, H. 2022. TKI Grow with the Flow – Resultaten 2020-2021. Deltares rapport 11205653-004-BGS-0003 |
| <b>Trefwoorden</b>    | Regionale modellen, Grow with the Flow, GwtF, lokale modellen, WOFOST, SWAP, MetaSWAP, MODFLOW, AI, Artificial Intelligence, datascience, FEWS, neerschaling  |

### Documentgegevens

|                      |                       |
|----------------------|-----------------------|
| <b>Versie</b>        | 1.0                   |
| <b>Datum</b>         | 19-04-2022            |
| <b>Projectnummer</b> | 11205653-004          |
| <b>Document ID</b>   | 11205653-004-BGS-0003 |
| <b>Pagina's</b>      | 78                    |
| <b>Classificatie</b> |                       |
| <b>Status</b>        | definitief            |

### Auteur(s)

|  |                        |  |
|--|------------------------|--|
|  | Liduin Bos - Burgering |  |
|  | Janneke Pouwels        |  |
|  | Edwin Snippen          |  |

| Doc. Versie | Auteur                 | Controle                | Akkoord        | Publicatie |
|-------------|------------------------|-------------------------|----------------|------------|
| 1.0         | Liduin Bos - Burgering | Klaas-Jan van Heeringen | Otto de Keizer |            |
|             | Janneke Pouwels        |                         |                |            |
|             | Edwin Snippen          |                         |                |            |

# Samenvatting

Door een veranderend klimaat zullen droogte en wateroverlast vaker gaan voorkomen. Dit heeft gevolgen voor het werk van telers, voedselverwerkende industrie, verzekeraars en waterbeheerders. De vraag is wat hun individuele handelingsperspectieven zijn, en hoe deze integraal geoptimaliseerd kunnen worden. Er zijn wel hulpmiddelen beschikbaar die specifieke gebruikersgroepen ondersteunen, zoals bijvoorbeeld beregeningsmodules voor telers en waterbalansen voor waterschappen. Maar een integraal meteo-bodem-water-gewas beeld ontbreekt, wat weer essentieel is om te komen tot een robuuster water- en voedselsysteem.

Om tot zo'n integrale oplossing te komen hebben de waterschappen Aa en Maas, Vallei en Veluwe, voedselproducent Lamb Weston, verzekeraar Achmea-Agro, consultancybedrijf Capgemini en de kennisinstututen Deltares en Wageningen UR de handen ineengeslagen.

In het project Grow with the Flow (GwtF) combineren we de mogelijkheden vanuit grondwatermodellen, bodem-water-gewas-atmosfeer-modellen, satellietdata, bodemsensoren en datascience. Hiermee krijgen telers op lokaal schaalniveau beter inzicht in de vochttoestand van de bodem en eventuele beregeningsbehoefte van de gewassen, terwijl aan de andere kant het waterschap op regionaal niveau inzicht krijgt in de actuele status van het (bodem)watersysteem en de te verwachten vraag naar water. Zo kunnen waterschappen efficiënter sturen en hun stakeholders beter inzicht geven in gemaakte keuzes. Daarmee draagt dit project bij aan het afstemmen van vraag en aanbod van water op regionaal en lokaal niveau.

In GwtF zijn twee usecases uitgewerkt: die van het waterschap en die van de teler. In het project zijn in eerste instantie regionale grondwatermodellen ontwikkeld voor operationeel gebruik binnen de usecases. Een vooruitblik in de verwachte ontwikkeling van grondwater in een gebied levert al meerwaarde op voor het waterschap. Vanuit een technisch oogpunt is het ook mogelijk deze voor telers op perceelsniveau beschikbaar te maken. Echter, voor ondersteuning binnen het agrarisch bedrijf heeft een teler behoefte aan herkenbare en betrouwbare resultaten. Ook geeft het terugzien van ingrepen (bijv irrigatie gift) vertrouwen om een applicatie te gaan gebruiken in de dagelijkse bedrijfsvoering. Dit is dan ook een belangrijke reden om lokale (perceel)modellen op te zetten binnen de usecase "teler". Deze modellen zijn via randvoorwaarden ingebed in het regionale grondwatersysteem en gebruiken dezelfde invoergegevens van het regionale model. In beginsel zullen de uitkomsten van de lokale modellen daarom ook sterk lijken op de die van het regionale model. Een lokaal model heeft toch voordelen: de uitkomsten zijn verfijnder, het model is eenvoudig te updaten op basis van lokale informatie en rekt snel.

Binnen het project is op enkele percelen ook gebruik gemaakt van bodemvochtsensoren. De meetgegevens zijn direct online te raadplegen. De uitkomsten zijn herkenbaar: het is goed zichtbaar als het heeft geregend of wanneer er is beregend en ook een uitdrogingstrend is goed waarneembaar. Een sensor heeft evenwel geen voorspellende waarde en is alleen representatief voor de plek waarop wordt gemeten. Bovendien blijken de sensoren niet altijd even bedrijfszeker.

In het deelproject 'Data science' is onderzocht wat de toegevoegde waarde is van machine learning voor het regionale waterbeheer in droge periodes en leren hoe een data-gedreven aanpak waterbeheerders en telers kan helpen bij een zo effectief mogelijk beheer van het watersysteem in een gebied. Met behulp van Machine Learning technieken is een beschrijvend model opgesteld voor het verschil tussen in-situ bodemvochtmetingen en satellietdata. De modeluitkomst is per tijdstip een verwachtingswaarde van het bodemvochtgehalte inclusief een onzekerheidsband (80%). Het beschrijvend model is nog onvoldoende onderscheidend tussen locaties. Waarschijnlijk ontbreekt er nog een variabele die medebepalend is voor het verschil tussen in-situ metingen en satellietdata. Mogelijke aanvullende informatiebronnen zijn: bodemeigenschappen en gewas (ook NDVI satellietdata). In een vervolg op dit project gaan we dit verder onderzoeken.

Overall kan worden geconcludeerd dat verschillende invalshoeken: meten, satellietwaarnemingen, modellering en machine learning, alle van waarde kunnen zijn voor het verbeteren van het waterbeheer op verschillende schaalniveaus. Het samenbrengen van deze invalshoeken is voor een deel in de toepassingen van GwtF gerealiseerd om de meerwaarde te toetsen voor de usecase waterschap en de usecase teler. In een volgende fase zien we nog veel mogelijkheden om de GwtF toepassingen te verbeteren onder andere door slimme data-technieken toe te passen en door meer gebruik te maken van de mogelijkheid om modellen in te zetten voor het doorrekenen van scenario's.

# Inhoud

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
|          | <b>Samenvatting</b>                                 | <b>4</b>  |
| <b>1</b> | <b>Inleiding</b>                                    | <b>9</b>  |
| 1.1      | Het project Grow with the Flow                      | 9         |
| 1.2      | Leeswijzer  | 10        |
| <b>2</b> | <b>De samenhang van de verschillende onderdelen</b> | <b>11</b> |
| <b>3</b> | <b>Selectie pilotgebieden en modellen</b>           | <b>13</b> |
| 3.1      | Waterschap Aa en Maas                               | 14        |
| 3.1.1    | Selectie pilotgebied                                | 14        |
| 3.1.2    | Modelbeschrijving                                   | 15        |
| 3.2      | Waterschap Vallei en Veluwe                         | 15        |
| 3.2.1    | Selectie pilotgebied                                | 15        |
| 3.2.2    | Modelbeschrijving                                   | 16        |
| <b>4</b> | <b>Beschrijving opzet regionale modelsysteem</b>    | <b>17</b> |
| 4.1      | Algemeen  | 17        |
| 4.2      | Delft-FEWS systeem                                  | 18        |
| 4.2.1    | Algemeen  | 18        |
| 4.2.2    | Import en export van data                           | 18        |
| 4.2.3    | Configuratie  | 18        |
| 4.2.4    | Workflows   | 18        |
| 4.2.5    | Operationalisering Delft-FEWS standalone            | 20        |
| 4.2.6    | Beheer Delft-FEWS applicaties / rekenservers        | 20        |
| 4.2.7    | Modellen  | 21        |
| 4.3      | Modelcontroles en aanpassingen                      | 22        |
| 4.3.1    | Algemene aanpassingen                               | 22        |
| 4.3.2    | Aanpassingen aan het Aa en Maas model               | 23        |
| 4.3.3    | Aanpassingen aan het Vallei en Veluwe model         | 23        |
| 4.3.4    | Aanpassingen aan het Delft-FEWS systeem             | 24        |
| 4.3.5    | Aanpassingen in de landgebruikskaart                | 25        |
| <b>5</b> | <b>Beschrijving opzet lokale modelsysteem</b>       | <b>27</b> |
| 5.1      | Algemeen  | 27        |
| 5.2      | Opzet lokaal modelsysteem                           | 28        |
| 5.2.1    | Domein  | 28        |
| 5.2.2    | Werkwijze   | 28        |
| 5.2.3    | Forceringsdata                                      | 28        |
| 5.2.4    | Uitvoerdata   | 29        |
| <b>6</b> | <b>Visualisatie</b>                                 | <b>30</b> |
| 6.1      | Algemeen  | 30        |
| 6.2      | Visualisaties voor waterschappen (Delft-FEWS)       | 30        |

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| 6.2.1     | Visualisatie   | 30        |
| 6.2.2     | Ontwikkelingen in 2020 en 2021                           | 32        |
| 6.3       | Visualisaties voor telers (App)                          | 33        |
| 6.3.1     | Visualisatie   | 33        |
| 6.3.2     | Vertrekpunt 2018   | 34        |
| 6.3.3     | Ontwikkelingen in 2020 en 2021                           | 34        |
| 6.4       | Dataverwerking en platform                               | 36        |
| 6.4.1     | Platform   | 37        |
| <b>7</b>  | <b>Modelvalidatie</b>                                    | <b>38</b> |
| 7.1       | Algemeen   | 38        |
| 7.2       | Methodebeschrijving                                      | 38        |
| 7.2.1     | Validatie regionaal model                                | 38        |
| 7.2.2     | Validatie lokaal model                                   | 38        |
| 7.2.3     | Specificatie metingen                                    | 38        |
| 7.3       | Inzichten validatie regionale modellering                | 38        |
| 7.3.1     | GRAM model   | 38        |
| 7.3.2     | AZURE model  | 39        |
| 7.3.3     | Schaling metingen  | 39        |
| 7.4       | Inzichten validatie lokale modellering                   | 40        |
| <b>8</b>  | <b>Nieuwe ontwikkelingen</b>                             | <b>41</b> |
| 8.1       | Data science   | 41        |
| 8.1.1     | Modelontwikkeling  | 41        |
| 8.1.2     | Dataverkenning   | 42        |
| 8.1.3     | Modellering  | 42        |
| 8.1.4     | Resultaten   | 42        |
| 8.2       | Ontwikkelingen neerschalingstool Respighi                | 43        |
| 8.2.1     | Algemeen   | 43        |
| 8.2.2     | Eerste resultaat   | 43        |
| 8.2.3     | Aanbevelingen  | 44        |
| <b>9</b>  | <b>Terugblik resultaten en samenwerking</b>              | <b>45</b> |
| <b>10</b> | <b>Conclusies en aanbevelingen</b>                       | <b>48</b> |
| 10.1      | Conclusies   | 48        |
| 10.2      | Aanbevelingen  | 50        |
|           | <b>Literatuur</b>  | <b>52</b> |
|           | <b>Bijlagen</b>  | <b>53</b> |
| <b>A</b>  | <b>Het consortium Grow with the Flow</b>                 | <b>54</b> |
| <b>B</b>  | <b>Achtergrondinformatie draagkrachtberekening</b>       | <b>56</b> |
| B.1       | Algemeen   | 56        |
| B.2       | Berekeningsprocedure op basis van regionale modeluitvoer | 57        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>C</b> | <b>Overzicht modelparameters die naar platform worden doorgegeven</b> | <b>60</b> |
| <b>D</b> | <b>Pilot 'Data Science'</b>   | <b>62</b> |
| D.1      | Pilotgebied   | 62        |
| D.2      | Beschikbare data  | 63        |
| D.3      | Dataverkenning  | 68        |
| D.4      | Modellering   | 72        |
| D.5      | Resultaten  | 73        |
| D.6      | Vooruitblik   | 75        |
| D.7      | De tijdreeksen  | 76        |



# 1 Inleiding

Door een veranderend klimaat zullen droogte en wateroverlast vaker gaan voorkomen. Dit heeft gevolgen voor het werk van telers, voedselverwerkende industrie, verzekeraars en waterbeheerders. De vraag is wat hun individuele handelingsperspectieven zijn, en hoe deze integraal geoptimaliseerd kunnen worden. Er zijn wel hulpmiddelen beschikbaar die individuele actoren ondersteunen, bijvoorbeeld beregeningsmodules voor telers en waterbalansen voor waterschappen. Maar deze missen een integraal meteo-bodem-water-gewas beeld, wat weer essentieel is om te komen tot een robuuster water -en voedselsysteem. Dat geldt niet alleen voor Nederland, maar ook wereldwijd door een groeiende wereldbevolking en een veranderend klimaat. Om tot zo'n integrale oplossing te komen hebben de waterschappen Aa en Maas, Vallei en Veluwe, voedselproducent Lamb Weston, verzekeraar Achmea-Agro, consultancybedrijf Capgemini en de kennisinstututen Deltares en WENR de handen ineengeslagen.

Door combineren van de nieuwste technologische ontwikkelingen op het gebied grondwatermodellen, bodem-water-gewas-atmosfeer-modellen, satellietdata, sensoren, lokale waarnemingen, is een integraal monitoring- en voorspellingsplatform voor water en gewas ontwikkeld dat bruikbaar is op zowel lokale als regionale schaal. Hiermee kunnen enerzijds agrarische ondernemers, voedselverwerkers en verzekeraars hun dienstverlening verbeteren, processen optimaliseren en mogelijk kosten verlagen, terwijl aan de andere kant de waterbeheerder via modellen en teruggekoppelde data van de boer (daadwerkelijke beregening) een beter inzicht krijgt in de actuele status van het bodemwatersysteem en de te verwachten vraag naar water. Zo kunnen waterbeheerders efficiënter sturen, alsmede hun stakeholders inzicht geven in de hoeveelheid water die op korte termijn beschikbaar kan zijn. Stakeholders kunnen hierop weer anticiperen door tijdig watervoorraad vast te houden. Daarmee draagt het project bij aan het op gebiedsniveau afstemmen van wateraanbod en watervraag.

## 1.1 Het project Grow with the Flow

Het doel van het project Grow with the Flow (GwtF) is inzichten voor telers en waterschappen vergroten door informatie te delen over de actuele en verwachte grondwater- en bodemvochttoestand en beregeningsbehoefte op regionaal en lokaal schaalniveau. Tevens zijn mogelijkheden verkend om waterbeheerders en telers handvatten te geven om het gebruik en sturing van water efficiënter te kunnen maken.

Om het wederzijds inzicht te vergroten is een voorspelplatform ontwikkeld waarin de actuele status en de verwachting van waterbeschikbaarheid en gewasproductie getoond wordt. Het platform biedt ook mogelijkheden voor informatie-uitwisseling tussen agrariërs en het waterschap. De informatie uit het platform geeft telers en waterschappen houvast bij het maken van keuzes in de bedrijfsvoering en de omgang met droogte en natte periodes. Daarnaast kunnen telers zelf aangeven hoeveel ze hebben beregend, waardoor de waterbeheerder beter op de hoogte is van de vraag naar water.

Het platform wordt dagelijks geüpdatet en kan worden ingezien via twee applicaties:

- De app voor agrariërs, met informatie op lokale schaal (perceelniveau);
- De Delft-FEWS applicatie voor waterbeheerders, met informatie op regionale schaal.

In de app wordt elk perceel van de deelnemende telers onder andere de verwachte neerslag, bodemvochtgehalte en droogtestress op dagbasis getoond. In de Delft-FEWS applicatie worden bijvoorbeeld tijdreeksen van beekafvoeren en waterbalansen getoond, en ruimtelijke beelden van grondwaterstanden en bodemvochtgehalten.

Het concept voor dit project is bedacht in 2018. Sinds het eerste idee in 2018 zijn verschillende partijen aangehaakt, het consortium bestaat inmiddels uit de volgende partijen: Deltares, WENR, Waterschap Vallei en Veluwe, Waterschap Aa en Maas, LambWeston, Capgemini en Achmea. De basis voor het platform ontwikkelt Milan Innovancy in samenwerking met Capgemini. Zie voor een beschrijving van deze partijen bijlage A.

Het systeem is geïmplementeerd in getest bij telers in de beheergebieden van de waterschappen Aa & Maas en Vallei & Veluwe. Middels een klankbordgroep met daarin telers is de informatiebehoefte en wensen vanuit eindgebruikers opgehaald. Daarop is een aantal verbeteringen doorgevoerd om ook telers toegang te geven tot resultaten van modelberekeningen. Het voorliggende rapport geeft overzicht van alle onderdelen die gedurende de looptijd van het project tussen 1-1-2020 en 31-12-2021 zijn ontwikkeld.

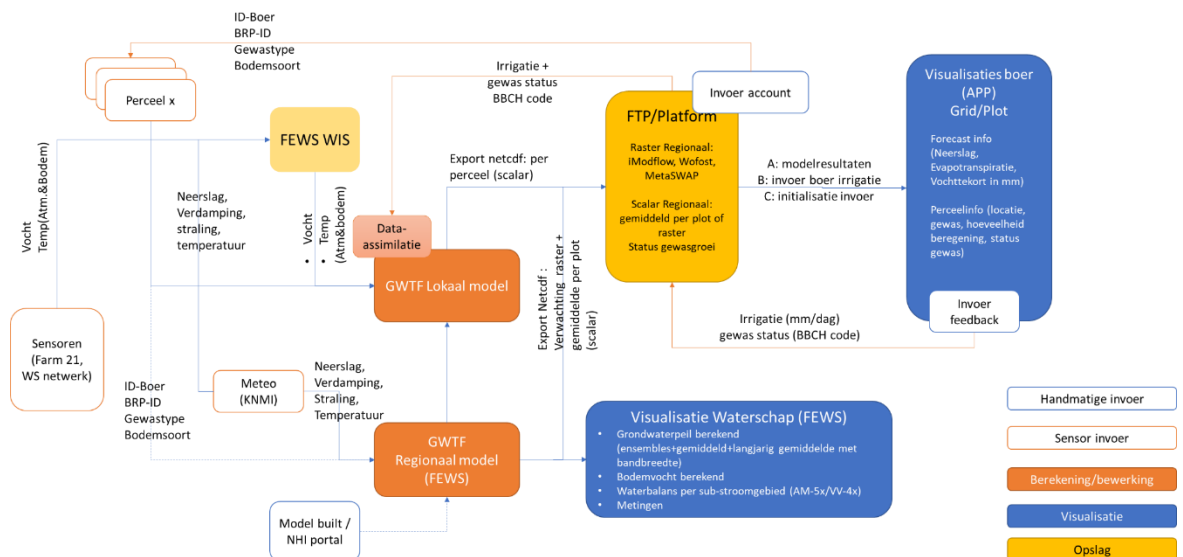
## 1.2 Leeswijzer

Alle betrokken partijen hebben een bijdrage geleverd aan deze rapportage. Hoofdstuk 2 geeft een blik onder de motorkap van het platform. Hier wordt de samenhang van de verschillende onderdelen kort beschreven. Hoofdstuk 3 geeft een beschrijving van de pilotgebieden en de onderliggende regionale grondwater-gewasgroei-modellen van waterschap Aa en Maas en waterschap Vallei en Veluwe. Hoofdstuk 4 beschrijft de opzet van het regionale systeem en hoofdstuk 5 beschrijft de opzet van het lokale systeem. In hoofdstuk 6 staat de visualisatie in de app en het Delft-FEWS systeem beschreven. De validatie van de lokale en regionale modellen staat beschreven in hoofdstuk 7 en in hoofdstuk 8 worden een aantal nieuwe ontwikkelingen genoemd. Hoofdstuk 9 beschrijft de ervaringen en inzichten die het afgelopen jaar zijn opgedaan. In hoofdstuk 10 zijn een beschouwing en de algemene conclusies weergegeven van het gehele project.

Degene die alleen kennis wil nemen van de samenvatting van ervaringen en conclusies, hoeft alleen hoofdstukken 9 en 10 van dit rapport te lezen.

## 2 De samenhang van de verschillende onderdelen

Voor het berekenen van actuele en verwachte water- en gewasgroeicondities worden lokale en regionale modellen gebruikt. De uitkomsten van deze modellen worden vervolgens gevisualiseerd in twee applicaties (Delft-FEWS en een app), waarmee de informatie beschikbaar komt voor zowel telers als waterschappen. Om de modellen te draaien en de modeluitvoer uiteindelijk correct te visualiseren zijn verschillende datastromen nodig. Het voorspellings- en monitoringsplatform Grow with the Flow bestaat daarom onder de motorkap uit verschillende onderdelen en datastromen, zie Figuur 2.1.



Figuur 2.1 Schematische weergave van de opzet van het GwtF systeem met de onderdelen: regionaal model, lokaal model en app platform.

De achterliggende modellen zijn lokale modellen van ieder perceel van de deelnemende telers en regionale modellen van de pilotgebieden van de deelnemende waterschappen. Beide modellen gebruiken verschillende invoergegevens, zoals meteorologische gegevens en perceelgegevens. De modeluitvoer van het regionale model wordt direct weergegeven in de Delft-FEWS applicatie en doorgegeven aan een centraal dataplatform. De modeluitvoer van het lokale model wordt direct doorgegeven aan het dataplatform om in de app te kunnen tonen.

Hieronder wordt elke stap in Figuur 2.1 kort beschreven. In de volgende hoofdstukken volgt een uitgebreidere beschrijving.

### Perceelinformatie (zie hoofdstuk 3)

Gewastype en bodemsoort dat wordt doorgegeven door de teler. Deze informatie wordt gebruikt in de lokale en regionale modellering.

### Sensoren (zie hoofdstuk 6)

Het gaat om bodemvochtsensoren van Farm21 die binnen dit project zijn geïnstalleerd. De metingen worden aan het platform doorgegeven en worden gebruikt om de modellen te valideren.

**Meteorologie (zie hoofdstuk 4)**

De modellen worden gevoed met meteorologische data afkomstig uit de FEWS-WIS systemen (de waterinformatie-systemen van de waterschappen).

**Regionaal model (zie hoofdstuk 3 en 4)**

iMODFLOW-MetaSWAP-WOFOST model van het gehele pilotgebied in het waterschap.

**Lokaal model (zie hoofdstuk 5)**

SWAP-WOFOST model dat de situatie op een individueel perceel simuleert. De onderrandvoorwaarde van dit model is de grondwaterstand, die afkomstig is uit het regionale model.

**FTP (zie hoofdstuk 6)**

De locatie waarop de modelresultaten van de lokale en regionale modellen worden opgeslagen. Vanuit hier worden de resultaten opgevraagd om weer te geven in de app.

**Visualisatie in Delft-FEWS (zie hoofdstuk 6)**

Delft-FEWS is het platform dat alle data (metingen, weerinformatie, weersverwachtingen etc) integreert en de modellen aanstuurt. Ook ontsluit het de modelresultaten naar het dataplatform. Daarnaast is Delft-FEWS een visualisatietool, waarin de waterschappen de platforminformatie kunnen inzien. Hierin zijn bijvoorbeeld berekende grondwaterstanden, bodemvochtgehalten en gewasstatussen te zien. Daarnaast worden hierin de bodemvochtmetingen weergegeven, maar ook metingen van het monitoringnetwerk van het waterschap in kwestie.

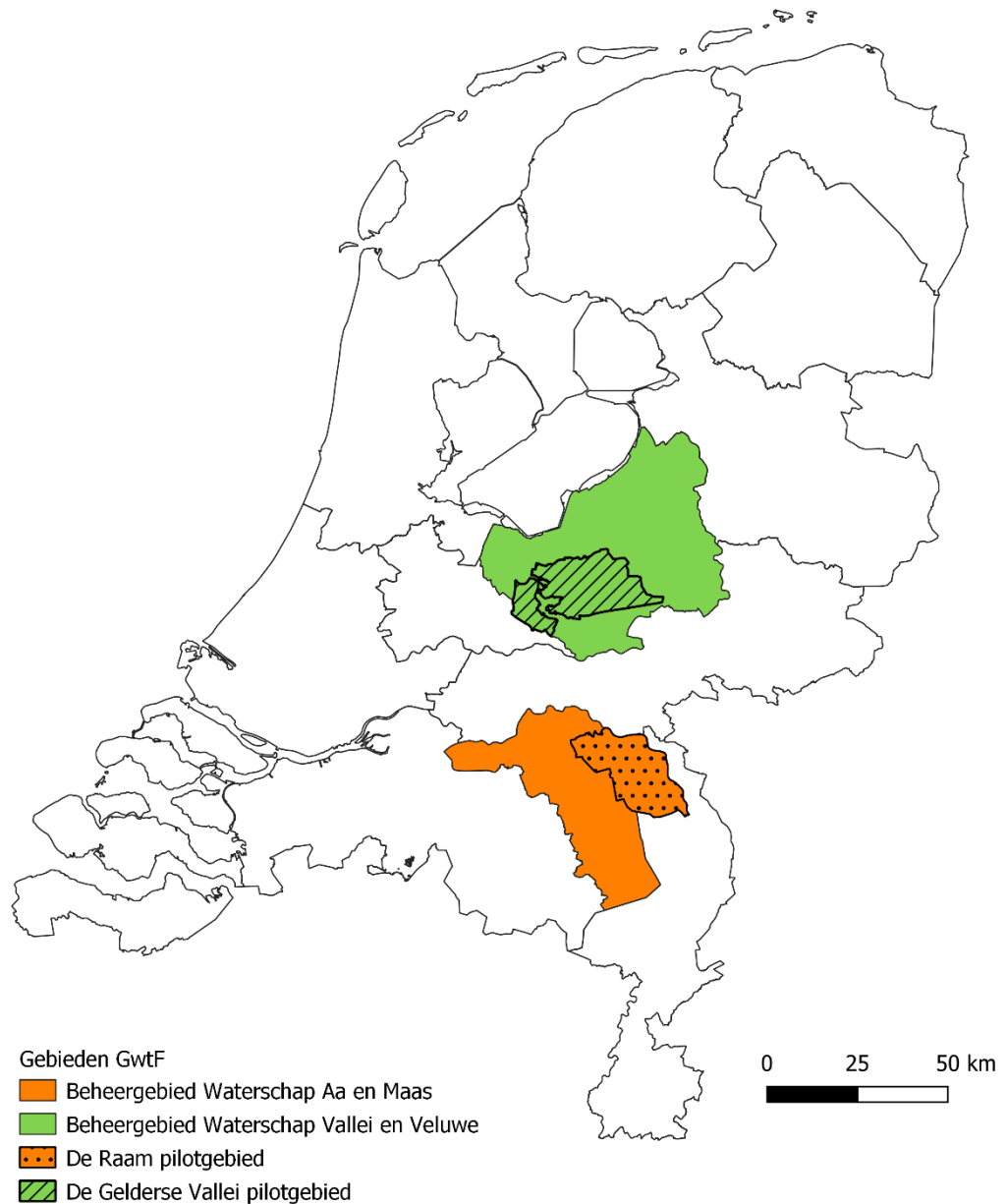
**Visualisatie in app (zie hoofdstuk 6)**

Via deze app kunnen telers informatie over hun percelen inzien. Voor elk perceel is bijvoorbeeld de neerslag en het gemodelleerde bodemvochtgehalte weergegeven voor 30 dagen, tot maximaal 10 dagen vooruit in de tijd.

### 3 Selectie pilotgebieden en modellen

Voor de opzet van het operationele systeem “Grow with the Flow” zijn modellen gekozen die door de waterschappen zelf worden gebruikt in projecten. Twee pilotgebieden zijn geselecteerd voor het doorontwikkelen van het systeem, namelijk de Raam in het beheergebied van Waterschap Aa en Maas en de Gelderse Vallei gelegen in het beheergebied van Waterschap Vallei en Veluwe.

In dit hoofdstuk worden beide modellen en de gekozen pilotgebieden uitgebreid beschreven.



Figuur 3.1 Ligging van de beheergebieden van de betrokken waterschappen en de gekozen pilotgebieden.

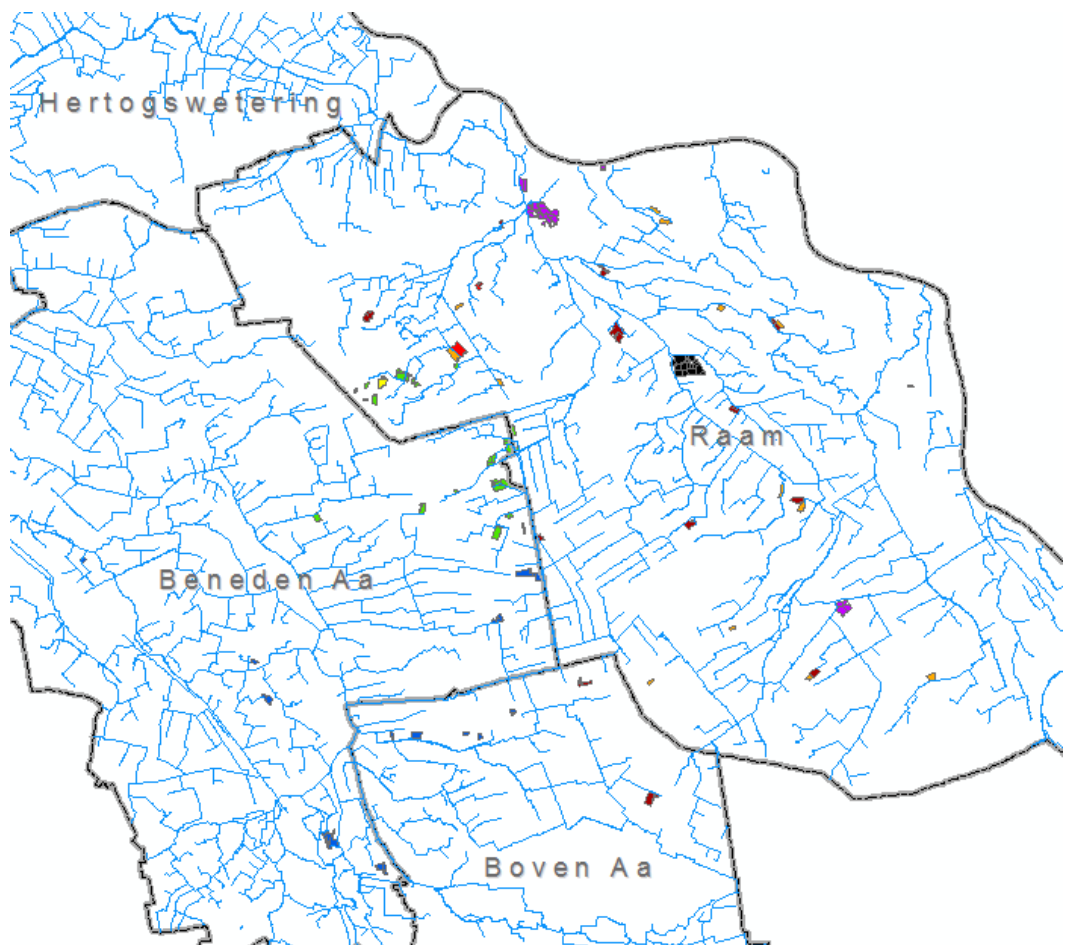
## 3.1 Waterschap Aa en Maas

### 3.1.1 Selectie pilotgebied

De Raam in het noordoosten van Waterschap Aa en Maas. Het gebied wordt binnen het kennisprogramma Lumbricus en ook binnen andere studies toegepast als interessegebied. Bijvoorbeeld de studie waarin het grondwatermodel wordt gevalideerd met de Groenmonitor. De gekozen percelen in de Groenmonitor worden ook meegenomen in Grow with the Flow. Tot slot zijn ook de meeste bodemvochtmeetpunten gelegen binnen de Raam. Ook binnen het onderdeel Machine Learning wordt specifiek gekeken naar het gebied van de Raam.

Het regionale model wordt binnen GwtF gedraaid voor het gehele gebied voor waterschap Aa en Maas, dus daarin wordt niet specifiek ingezoomd op de Raam. De percelen van aandacht liggen voor een groot gedeelte wel binnen het gebied van de Raam. Ze zijn als volgt tot stand gekomen:

- ⇒ Eigendom vier deelnemende telers
- ⇒ Alle percelen in een straal van 50 meter om een bodemvochtmeetpunt
- ⇒ 16 gekozen percelen uit studie Groenmonitor



Figuur 3.2 Gekozen pilotpercelen binnen beheergebied Aa en Maas

### 3.1.2 Modelbeschrijving

Er wordt in de basis gerekend met het regionale grondwatermodel van Waterschap Aa en Maas, versie GRAM3.0. Het model is gebaseerd op iMOD/MetaSWAP en aangevuld met gewasgroeimodule WOFOST.

Het model rekent met tijdstappen van een dag. De neerslag t/m 2018 is afkomstig uit Meteobase. Vanaf 2019 waren de gegevens van Meteobase tot nu toe niet beschikbaar en wordt gebruik gemaakt van de geïnterpoleerde neerslaggrids op basis van de weerstations van het KNMI. Voor verdamping wordt gerekend met de geïnterpoleerde KNMI referentiegewasverdamping.

De leggerwatergangen hebben een vast zomer- en winterpeil. De peilen van de detailwatergangen zijn afgeleid van de AHN2 met behulp van een algoritme ontwikkeld door Deltares. Het Maaspeil is in het langjarige model constant gehouden, zodat dit consistent is met het real time model. Indien in de toekomst met een real time Maaspeil gerekend kan worden dan kan ook het langjarige model worden doorgerekend met variërende Maaspeilen. De buisdrainage is afgeleid op basis van de LHM modelinvoer (Hunink et al., 2019) inclusief de bij Aa en Maas bekende drainages uit het veld.

De bodemschematisatie is afkomstig van BODFYS370, gelijk aan het LHM. Er wordt gerekend met de nieuwe NHI2020 MetaSWAP-database. Er wordt in het model dus rekening gehouden met de nieuwe ontwikkelingen op het gebied van de Staringreeks. Wat betreft het landgebruik wordt als basis gebruik gemaakt van het LGN7. Binnen Grow with the Flow is het landgebruik voor de pilotpercelen aangepast naar het landgebruik in 2021 op basis van de meest recente BRP gegevens.

De ondergrond is gebaseerd op REGIS 2.2. in combinatie met GeoTOP. Tevens is gebruik gemaakt van uitkomsten van een boringenmodule van RHDHV. De breuken (op basis van REGIS2.2) worden meegenomen via de HFB-package. De Peelrandbreuk is op dit moment in het model helemaal dicht tot aan maaiveld.

De onttrekkingen van Brabant Water en industrie zijn in het regionale model instationair beschikbaar.

## 3.2 Waterschap Vallei en Veluwe

### 3.2.1 Selectie pilotgebied

Voor waterschap Vallei en Veluwe is gekozen voor een deelgebied in de Gelderse Vallei. Het deelgebied bestaat de volgende stroomgebieden:

- Heiligenbergerbeek
- Moorsterbeek
- Esvelderbeek
- Barneveldese Beek
- Lunterse Beek

Het deelgebied bestaat een groot deel van de Gelderse Vallei, dat bekend staat om een hoge dichtheid aan agrarische bedrijven. In deze regio is momenteel de Regio Deal Foodvalley actief waarin wordt gestreefd naar een duurzaam en gezond bodem-, water- en voedselsysteem. Vanuit de regiodeal is er een grote betrokkenheid van agrariërs en zijn er een heel aantal meetpunten geplaatst waar we binnen GwtF gebruik van kunnen maken.

### 3.2.2 Modelbeschrijving

Voor het beheergebied van Waterschap Vallei en Veluwe is er een regionaal grondwatermodel beschikbaar in iMOD/MetaSWAP. Dit regionale model is omgedoopt tot het AZURE-grondwatermodel (De Lange en Borren, 2014, Bor, 2021). AZURE staat voor Actueel modelinstrumentarium voor de ZUiderzee REgio. AZURE is ontwikkeld in opdracht van Rijkswaterstaat, Drinkwaterbedrijf Vitens, de provincies Flevoland en Utrecht en de Waterschappen Vallei en Veluwe en Zuiderzeeland.

Waterschap Vallei en Veluwe werkt momenteel aan een verbetering van het AZURE model. De verwachting is dat de prestatie van het model flink verbetert met de komst van het nieuwe regionale model. Besloten is om in dit project deze ontwikkeling af te wachten en in de tussentijd het huidige model (AZURE versie 1.04) te gebruiken. Het huidige model is voorzien van de bodemfysische parameters van het 'Waterwijzer' project (LHM2016\_v01a). Door deze aanpassingen worden de verschillende bodemtypes in meer detail meegenomen. Het watersysteem is in verschillende categorieën ingedeeld, maar voor dit deelgebied zijn alleen de leggerwatergangen en greppels van belang. De leggerwatergangen zijn opgenomen in de riverpackage en bevatten een zomer- en winterpeil. De greppels zijn in de drainagepackage opgenomen en zijn het hele jaar constant.

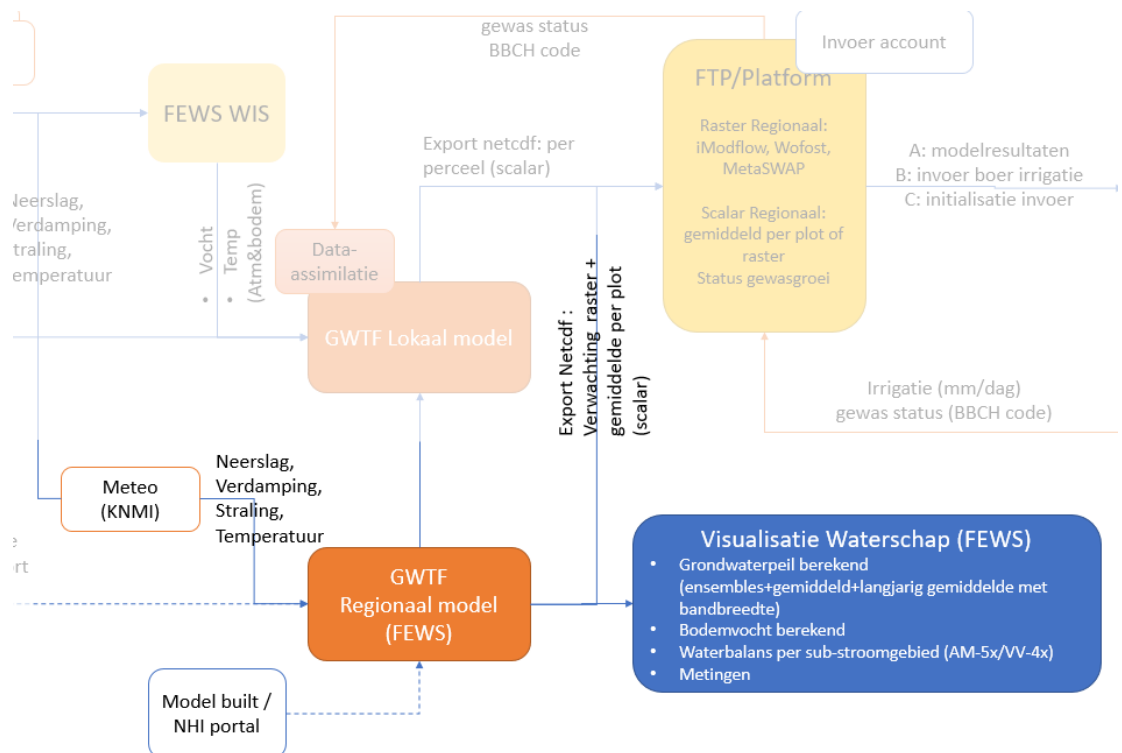


# 4 Beschrijving opzet regionale modelsysteem

## 4.1 Algemeen

Het regionale systeem is opgebouwd uit de componenten zoals weergegeven in Figuur 4.1:

- Het regionale model: in de huidige opzet van het systeem betreft dit of 1) het model van waterschap Vallei en Veluwe of 2) die van waterschap Aa en Maas. Dit is het model zoals ontwikkeld door de betreffende waterschappen. Zie hoofdstuk 3 voor meer informatie over deze regionale modellen.
- Het regionale model is voor ieder waterschap in een apart Delft-FEWS systeem gehangen (zie paragraaf 4.2 voor meer informatie).
- Het regionale model in Delft-FEWS wordt gevoed met meteorologische invoer afkomstig vanuit het FEWS-WIS systeem beschikbaar bij beide waterschappen. Deze meteorologische data omvat neerslag, verdamping, straling en temperatuur.
- De resultaten vanuit het systeem worden als netcdf-bestanden geëxporteerd naar een ftp voor gebruik in het platform/app. Dit betreft historische data en de modelverwachtingsresultaten op zowel raster als perceelniveau.
- Voor de waterschappen is er een visualisatie van de resultaten beschikbaar in het FEWS systeem. Dit betreft o.a. de berekende en gemeten grondwaterstanden (2D en tijdreeksen op meetlocaties: ensembles, gemiddelde en langjarig gemiddelde met bandbreedte), waterbalans per sub-stroomgebied en berekend en gemeten bodemvochtgehalte.



Figuur 4.1 Schematische weergave van de opzet van het regionale GwtF-systeem; uitsnede uit Figuur 2.1.

## 4.2 Delft-FEWS systeem

### 4.2.1 Algemeen

Delft-FEWS is een systeem om vanuit diverse databronnen data te importeren en deze data vervolgens te manipuleren met diverse workflows om ook modellen te kunnen draaien. Modeluitvoer kan vervolgens ook in Delft-FEWS worden gevisualiseerd, en kan gebruikt worden voor andere bewerkingen en geëxporteerd naar diverse bestandsformaten. Dit alles wordt via diverse configuratie bestanden geconfigureerd.

Binnen het GwtF project is voor elke regio een eigen systemen ontwikkeld op basis van dezelfde basisconfiguratie. Deze systemen zijn nog als standalone applicatie geïnstalleerd op rekenservers bij de waterschappen en via een omweg operationeel gemaakt (zie hiervoor paragraaf 4.2.6). Voor een eerste pilot-toepassing met ook beperkt aantal gebruikers van het systemen was dit mogelijk. De restricties die hierdoor aan het gebruik van de systemen zitten worden verder in paragraaf 4.2.7 behandeld.

### 4.2.2 Import en export van data

Figuur 4.1 toont een overzicht van de dataverbindingen van het Delft-FEWS systeem om data te importeren en exporteren. Vanuit Delft-FEWS wordt er meteorologische data (neerslag en referentieverdamping) via WIWB (het weerinformatie waterbeheersysteem van waterschappen) opgehaald. Daarnaast worden debiet- grondwaterstands- en bodemvochtmetingen via het waterschap FEWS-WIS/WIK systeem opgehaald. Hierbij is WIWB een externe databron die buiten het netwerk van de waterschappen staat. Het FEWS-WIS/WIK systeem is een interne databron die wel binnen het netwerk staat. Via een verbinding naar een externe FTP (Deltares) server wordt data klaargezet voor het GwtF platform.

### 4.2.3 Configuratie

De configuratie van het Delft-FEWS systeem is voor waterschap Aa en Maas en waterschap Vallei en Veluwe grotendeels gelijk. Het enige wat sterk verschilt is het onderliggende regionale model voor het beheergebied en de verbinding met het eigen FEWS-WIS/WIK systeem voor metingen. De configuratie is initieel zo opgezet dat deze ook door andere waterschappen kan worden overgenomen bij gebruik van de iMOD 5 versie.

Voor documentatie over de volledige werking van elke Delft-FEWS configuratie onderdeel/bestand wordt gerefereerd naar [Configuring Delft-FEWS - Configuration Guide - DELFT-FEWS Documentation - Deltares Public Wiki](#).

### 4.2.4 Workflows

De belangrijkste onderdelen van het Delft-FEWS systeem zijn de workflows. Hieronder volgt een korte beschrijving van welke workflows er zijn geconfigureerd.

- **Import data**  
Importeert meteo data (neerslag/verdamping/temperatuur/etc., zowel metingen als voorspellingen) via de WIWB API (<http://hydronet.wiwb.com>) door de correcte databron aan te vragen en vervolgens te downloaden. Daarnaast importeert de workflow ook debiet-/grondwater-/bodemvochtmetingen via het Delft-FEWS-WIS/WIK systeem via de PI server (een server voor opslag van operationele data) die er aan is gekoppeld (url-adres is waterschapsafhankelijk).

- **Model workflows**

Om het regionaal model te draaien zijn er drie workflows geconfigureerd:

1. historisch,
2. voorspelling en
3. ensemble voorspelling.

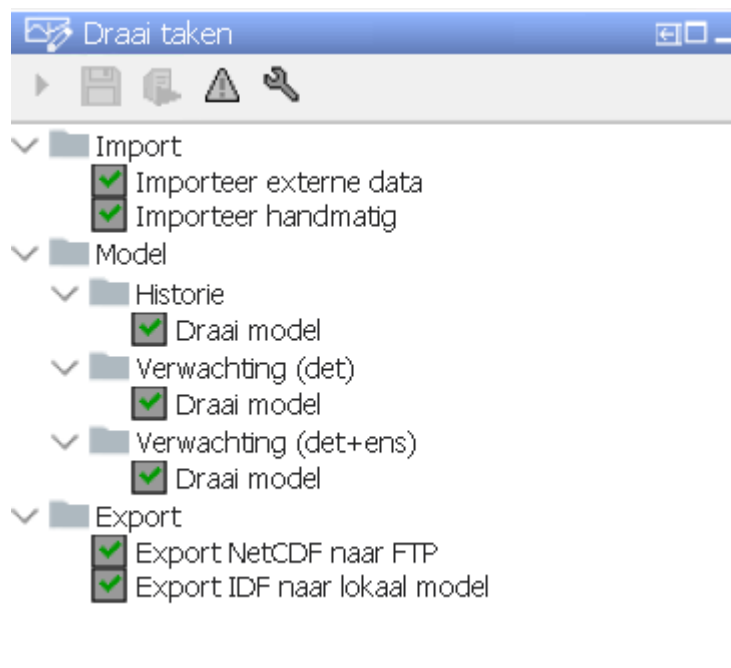
De historische workflow draait het model met metingen om zo steeds een actuele model state te krijgen. Vanuit deze state zal er via de andere twee voorspel workflows een (ensemble) voorspelling worden gedraaid. Momenteel draait de voorspelling dagelijks mee. De Ensemble voorspelling is wel beschikbaar in de FEWS configuratie maar wordt nu niet mee gedraaid.

Een iMOD adapter is ingezet om te zorgen voor de communicatie tussen het Delft-FEWS systeem en het model. Deze adapter is een Python script (adapt.py) welke via verschillende batch-bestanden wordt aangeroepen. Het draaien van het model wordt via een apart batch-bestand geregeld.

- Het "Pre" onderdeel zet de meteorologische bestanden klaar in het model, maakt de juiste run-file aan en zorgt voor correcte state afhandeling.
- Het "Post" onderdeel zorgt dat het model uitvoerbestanden en states op de juiste locatie worden neergezet voor Delft-FEWS en draait tevens de waterbalanstool.

- **Export workflow**

Het GwtF platform ontvangt data vanuit het Delft-FEWS systeem, zie ook bijlage C. Op dit moment loopt dit via een FTP (Deltares) server. De workflow exporteert de benodigde data naar netcdf-bestanden en upload die vervolgens naar de FTP server. Geadviseerd wordt dit bij een vervolg project het systeem aan te passen, zodat de data via een Restful-API vanuit het GwtF Platform uit de FEWS-Systemen kan worden opgehaald.



Figuur 4.2 De verschillende workflows van het FEWS systeem die elke dag worden gedraaid.

De volgende data wordt gevisualiseerd in Delft-FEWS:

- Grids:
  - Langjarige statistiek berekend buiten Delft-FEWS om
- Displaygroups:
  - Langjarige statistiek berekend buiten Delft-FEWS om
- Filters:
  - Hiermee kan alle data in FEWS systeem worden bekeken. Echter is deze functionaliteit gelimiteerd tot een beperkt aantal type grafieken.

#### 4.2.5 Operationalisering Delft-FEWS standalone

Iedere nacht (na middernacht) draaien de eerder genoemde workflows via geplande Windows taken (Windows Task Scheduler). Dit gebeurt via de "WorkflowTestRun" functionaliteit van Delft-FEWS, waardoor workflows buiten Delft-FEWS om gestart kunnen worden. De taken die via Windows Task Scheduler worden gedraaid starten een batch-bestand waarin staat aangegeven hoe Delft-FEWS via de commandline kan worden gestart en welke workflow moet worden gedraaid. Deze bestanden staan in de %REGION\_HOME%\Operational map.

Het gebruik van de Windows Task Scheduler heeft tot voordeel dat de Delft-FEWS user interface niet open hoeft te blijven staan voor het draaien van de modelsimulaties. Nadeel is dat indien de Delft-FEWS user interface per ongeluk niet is afgesloten voordat de workflows via de Task Scheduler worden gedraaid, de modelruns niet kunnen worden gestart. Dit is afgevangen door een extra taak toe te voegen die controleert of Delft-FEWS nog open staat en indien dit het geval is Delft-FEWS afsluit voordat de modellen worden gedraaid. Voor volledige operationalisering van het systeem heeft een opzet als Client-Server de voorkeur. Binnen de scope in de huidige fase van het project was dat niet haalbaar. Aangeraden wordt om dit mee te nemen in de volgende fase van het project.

#### 4.2.6 Beheer Delft-FEWS applicaties / rekenservers

##### Gebruik van Delft-FEWS applicatie

Zoals in paragraaf 4.2.6 staat beschreven zitten er restricties aan het gebruik van de Delft-FEWS applicatie. De opzet als een Delft-FEWS standalone versie laat alleen het gebruik door één gebruiker tegelijkertijd toe. Als dus iemand anders de applicatie open heeft, zal Delft-FEWS een foutmelding geven en niet opstarten. Binnen de organisatie dient zelf te worden nagevraagd wie de applicatie aan het gebruiken is/open heeft staan. Dit kan er ook toe leiden dat op een bepaalde dag geen voorspelling gedraaid wordt. Om dit te ondervangen is tijdens het project bij toerbeurt het systeem dagelijks gecontroleerd.

##### Beheer Delft-FEWS configuratie

De FEWS configuratie wordt beheerd via SVN versiebeheer in een repository bij Deltares. Hierdoor zijn wijzigingen/updates snel door te voeren en kan terug worden gekeken of bepaalde wijzigingen zaken kapot hebben gemaakt. De configuraties van beide waterschappen worden momenteel onderhouden door Deltares.

##### Rekenservers waterschappen

De GwtF Delft-FEWS systemen draaien op de rekenservers van de waterschappen. Een overzicht van deze systemen staat beschreven in Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Overzicht van de GwtF Delft-FEWS systemen op de rekenservers van de waterschappen.

|  | <b>Aa en Maas</b>  | <b>Veluwe en Veluwe</b>  |
|--|--|--|
| <b>Rekenserver waarop GwtF Delft-FEWS draait</b>         | AM044  | wsgwtf01   |
| <b>Locatie Delft-FEWS SA rekenserver (%REGION_HOME%)</b> | D:\Realtime\Delft_FEWS_SA  | C:\FEWS  |
| <b>Login methode</b>                                     | Aparte accounts voor specifiek rekenserver. Toegang via Citrix en 2-factor authenticatie | 1 account. Inloggen via portal waarbij voor token gebeld moet worden naar servicedesk waterschap (vooraf aanmelden bij contactpersoon). Portal geeft RDP client terug. |

Om voldoende rekenkracht te genereren voor de dagelijkse berekeningen zijn de volgende specificaties als minimum vereist:

- 1 x Intel Xeon CPU
- Minimaal 128 Gb
- 1 TB Opslag (Raid configuratie)

#### 4.2.7 Modellen

In het Delft-FEWS systeem draaien de ruimtelijke modellen MODFLOW, MetaSWAP en WOFOST.

MODFLOW is een veelgebruikte open-source grondwaterstromingsmodule ontwikkeld en verspreid door de U.S. Geological Survey (USGS). MODFLOW wordt door verschillende partijen gebruikt, zoals door wetenschappers, private ingenieurs en regeringspartijen.

Met MetaSWAP wordt de onverzadigde zone en ondiepe ondergrond gesimuleerd. MetaSWAP omvat de plant-atmosfeer interactie en grondwater, welke terug te vinden zijn in de resultaten als fluxen van en naar de onverzadigde zone.

World Food Studies (WOFOST) is een gewasgroei module voor het maken van een kwantitatieve analyse van de jaarlijkse groei en productie van gewassen. WOFOST kan gebruikt worden voor het berekenen van de te behalen gewasproductie, biomassa, watergebruik, etc. voor een gegeven locatie. Berekeningen worden uitgevoerd op basis van bodemtype, gewassoort, weergegevens en gewasbeheerfactoren (zoals zaaidatum). De modelresultaten bevat o.a. het moment van ontkiemen, het moment van opkomst van het gewas, wortelzonedikte, leaf area index (LAI), en watervraag.

## 4.3 Modelcontroles en aanpassingen

### 4.3.1 Algemene aanpassingen

Voor beide regionale modellen zijn de volgende algemene aanpassingen doorgevoerd voor implementatie in het Delft-FEWS systeem zoals beschreven in paragraaf 4.2.

- Uitbreiding met WOFOST parameterisering
- De onttrekkingen omzetten van transient naar stationair. Dit is gedaan ten behoeve van de langjarige statistiek, om te voorkomen dat de effecten van onttrekkingen altijd opvallend aanwezig zijn in de resultaten.
- Langjarige modelsimulatie doorrekenen (Aa en Maas: 2002 t/m 2020; Vallei en Veluwe: 2000 t/m 2020), om het Delft-FEWS systeem te voeden met:
  - Langjarige statistieken van grondwaterstanden en bodemvochtgehalten op de gegeven meetlocaties.
  - Initiële “warme” startcondities voor MODFLOW en MetaSWAP (nb. WOFOST start altijd “koud” op 1 januari, daarom hoeft voor WOFOST geen state-file uit de langjarige run mee gegeven te worden).
- Plaatsing van een modelkopie van het regionale model in de Delft-FEWS modules omgeving.
- Bug-fixing MODFLOW-MetaSWAP-WOFOST-executable. Bij controles op de resultaten bleken er een aantal vreemde dingen te gebeuren zowel in het model in de Delft-FEWS omgeving als in de langjarige simulatie, welke zijn opgelost binnen het NHI-beheer en onderhoud project. Dit betreft:
  1. Onverklaarbaar modelfalen op ogenschijnlijk random momenten (model in Delft-FEWS) als gevolg van problemen met de bodemvochtinitialisatie.
  2. Onverklaarbaar modelfalen bij initialisatie van de simulatie (model in Delft-FEWS) als gevolg van problemen met de bodemvochtinitialisatie.
  3. De berekende referentie verdamping bevat soms onrealistisch hoge waarden (>9000 mm/dag), dit komt zowel voor in het model in Delft-FEWS als in de langjarige modelsimulatie en is het gevolg van een middeling van een svat- eenheid met een nodata-waarde en een svat- eenheid met een waarde. Het komt namelijk voor dat een MODFLOW cel gekoppeld is aan twee verschillende svat- eenheden. Indien één van de twee svat- eenheden een nodata-waarde bevat en de andere niet, dan wordt aan de MODFLOW cel een onrealistisch hoge waarde toegekend.
  4. Bodemvochtberekening op basis van S01 en wortelzonedikte berekend bij MetaSWAP geeft onrealistisch lage waarden als gevolg van een verkeerde initialisatie van de wortelzonedikte.
  5. Minimale wortelzonedikte op 0.15m (dit was 0,05m), om te voorkomen dat een te lage wortelzonedikte beperkend wordt voor de bodemverdamping.
  6. Het reduceren van de rekentijd.
- Meenemen van beregeningsverliezen in de modelschematisering. Beregeningsverliezen kunnen optreden als gevolg van bijvoorbeeld lekken tijdens het oppompen van oppervlakte- of grondwater, of verdamping en verwaaiing van beregeningswater. Om dit effect mee te kunnen nemen en dus een realistische berekening toe te dienen, is er een kleine aanpassing in de luse\_svat.inp doorgevoerd en is de metaswap database geüpdatet. Daarbij is een beregeningsverlies van 5% aangenomen, conform de laatste inzichten uit het LHM model (Hunink et al., 2020).

- Gewastypen aanpassen op percelen van pilot-bedrijven zodat met de meest actuele gewasinformatie gerekend wordt. Hiervoor moeten aanpassingen gedaan worden in de volgende twee MetaSWAP invoerbestanden:
  1. Het landgebruiks raster, en
  2. In het raster met maximale wortelzonediktes
 De percelenkaart kent meer gewastypen dan MetaSWAP-WOFOST. Daarom kunnen niet alle gewastypen van de pilotpercelen eenvoudig gekoppeld worden aan de MetaSWAP landgebruiksklassen. De keuzes die hiervoor gemaakt zijn staan beschreven in paragraaf 3.4.5.

Het Delft-FEWS systeem biedt de mogelijkheid om in detail de modelresultaten te visualiseren van beide regionale modellen. Als gevolg hiervan zijn (kleine) modelschematiseringsfoutjes eenvoudiger te identificeren. De aanpassingen die als gevolg hiervan zijn doorgevoerd in de regionale modellen staan beschreven in paragraaf 3.4.2 en 3.4.3.

#### 4.3.2 **Aanpassingen aan het Aa en Maas model**

Bovenop de algemene aanpassingen, zoals beschreven in paragraaf 4.4.1, zijn in het Aa en Maas model de volgende aanpassingen doorgevoerd voordat het systeem operationeel is gegaan:

- Op de Peelvenen gaat de grondwaterstand in droge periode onderuit. Dit probleem blijkt een schematiseringsprobleem te zijn, wat buiten dit project zal worden opgepakt.
- De grondwateronttrekkingen zijn omgezet van transient naar stationair, zodat cones als gevolg van de onttrekkingen niet zichtbaar zullen zijn in kaarten met verschil in grondwaterstand t.o.v. langjarig gemiddelde.

#### 4.3.3 **Aanpassingen aan het Vallei en Veluwe model**

Bovenop de algemene aanpassingen, zoals beschreven in paragraaf 3.4.1, zijn in het Vallei en Veluwe model de volgende aanpassingen doorgevoerd voordat het systeem operationeel is gegaan:

- De database van het model is vervangen door de meest recente versie, afkomstig van Tauw. In de tot nu toe gebruikte schematisering miste namelijk het oppervlaktewatersysteem in de Gelderse Vallei. Zonder dit oppervlaktewatersysteem komt de grondwaterstand in de zomerperiode boven maaiveld uit als gevolg van een gebrek aan afwatering.
- In de loop van dit project bleek dat voor het gebied de Gelderse Vallei de drainageweerstand met een factor 10 werd overschat. Daarom zijn de RIV conductances op die locaties met een factor 10 verhoogd. Nu komen de conductances goed overeen met de conductances buiten de Gelderse Vallei. Daarmee zijn de drainageweerstanden consistent met de rest van het model en liggen ze tussen de 1 en 20 dagen. De berekende grondwatersituatie lijkt nu wel iets aan de droge kant, mogelijk vanwege een overschatting van de  $kD$ -waarde, maar op dit moment is ervoor gekozen om het model niet verder te verbeteren omdat er parallel aan GwtF al aan een nieuw grondwatermodel wordt gewerkt.



- Het modelextent is vergroot naar  
XY min 151250 438000  
XY max 197000 475000  
Een deel van de RIV invoer was 500 meter te klein, daarom is het extent van die invoergrids met 500 meter vergroot.  
Daarnaast was het extent van de starting heads te klein, daarvoor is nu de modelinvoer van de CHD package gebruikt.  
In de toekomst lijkt het nodig om het model nog een keer door te rekenen met een periode langer dan 20 jaar omdat het grondwatersysteem van de Veluwe na de doorgerekende jaren nog niet in evenwicht lijkt.
- De bodemkaart (metaSWAP) is aangepast naar de 370-eenheden bodemkaart, dit was de kaart met 72 eenheden. Dit was nodig, omdat ook de MetaSWAP database met 370 eenheden wordt gebruikt.

#### 4.3.4 Aanpassingen aan het Delft-FEWS systeem

In het Delft-FEWS systeem zijn de volgende aanpassingen en aanvullingen doorgevoerd in overleg met de waterschappen:

- Visualisatie waterbalans. De waterbalans wordt iedere dag berekend door de iMOD-batch functie "Waterbalance" voor de sub-stroomgebieden in beide waterschapbeheergebieden en gevisualiseerd in Delft-FEWS.
- Aanpassing naamgeving enkele parameters:
  - "Verschil grondwaterstand tov maaiveld (in m)" naar "Grondwaterstand (in m tov maaiveld)"
  - "Bodemvocht" naar "Bodemvocht wortelzone"
- "Waterbehoefte" is verwijderd om dat deze parameter niets zegt in de huidige vorm (ETref-ETpot). Deze parameter en onderliggende concepten is opgenomen bij het toepassen van Machine Learning in dit project onder de noemer "waterbeschikbaarheid in de wortelzone".
- Aanpassing van legenda's om met een vaste kleurindeling te werken voor o.a. verschilkaarten, zodat goed zichtbaar is waar de klassegrenzen liggen.
- Toevoeging van de "draagkracht" parameter. Door middel van een python-script wordt op basis van drempelwaarden per bodemtype en de berekende drukhoogte (MetaSWAP) bepaald wat de verwachte bereidbaarheid is van het landbouwperceel. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen grasland en akkerbouwland (zie voor meer achtergrondinformatie Bijlage B):
  - Groen = geen beperkingen (lage vochtspanning, berijdbaar met lichte en zware machines)
  - Oranje = toenemende beperkingen (gemiddelde vochtspanning, berijdbaar met lichte machines, verwachte beperkingen voor zware machines)
  - Rood = Beperkingen (hoge vochtspanning, beperkingen voor lichte en zware machines)
- Aanpassing ligging percelen welke in de huidige fase van dit project meedoen.
- Koppeling actuele meetgegevens aan het systeem
- Koppeling filterdiepte grondwaterstandsmetingen aan bijbehorende modellaag voor visualisatie in tijdreeksplots.



#### 4.3.5 Aanpassingen in de landgebruikskaart

De landgebruikskaart in MetaSWAP moest voor beide modellen aangepast worden, zodat het landgebruik op de pilot-percelen up-to-date is. Niet alle landgebruikstypen kunnen in het model met WOFOST gesimuleerd worden. De volgende MetaSWAP landgebruiksklassen kunnen met WOFOST doorgerekend worden:

| Landgebruikscade | Landgebruik              | Opmerking                 |
|------------------|--------------------------|---------------------------|
| 1                | Gras                     |                           |
| 2                | Mais                     |                           |
| 3                | Aardappelen              |                           |
| 4                | Bieten                   |                           |
| 5                | Granen                   |                           |
| 6                | Overige landbouwgewassen | Gesimuleerd als aardappel |
| 17               | Natuurlijk gras          | Gesimuleerd als gras      |
| 21               | Fruitwekerijen           | Gesimuleerd als aardappel |
| 22               | Sportvelden              | Gesimuleerd als gras      |
| 23               | Onbemest grasland        | Gesimuleerd als gras      |
| 24               | Mais met groen           | Gesimuleerd als mais      |
| 25               | Aardappelen vroeg        | Gesimuleerd als aardappel |

En de volgende klassen kunnen niet met WOFOST doorgerekend worden. In die modelcellen worden de berekeningen enkel met Modflow-MetaSWAP uitgevoerd.

| Landgebruikscade | Landgebruik        | Opmerking                     |
|------------------|--------------------|-------------------------------|
| 7                | Boomteelt          |                               |
| 8                | Glastuinbouw       |                               |
| 9                | Boomgaard          | Gesimuleerd als loofbos       |
| 10               | Bollen             |                               |
| 11               | Loofbos            |                               |
| 12               | Naaldbos           |                               |
| 13               | Moeras             |                               |
| 14               | Duinvegetatie      |                               |
| 15               | Kale grond         |                               |
| 16               | Water              |                               |
| 18               | Stedelijk grasland |                               |
| 19               | Donker naaldbos    |                               |
| 20               | Heidevegetatie     | Gesimuleerd als duinvegetatie |

Bij het koppelen van de percelenkaart aan landgebruikstypes in Metaswap zijn de volgende keuzes gemaakt voor Waterschap Vallei en Veluwe:

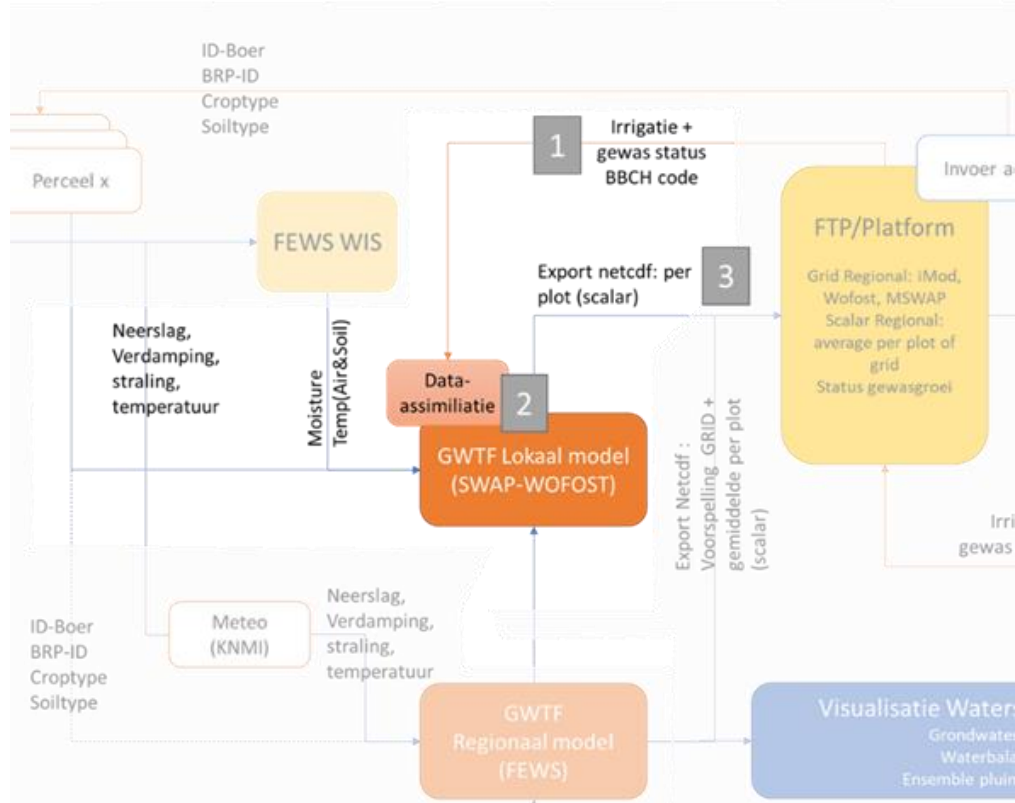
| <b>GWS_GEWASC</b> | <b>GWS_GEWAS</b>                               | <b>BOER</b>    | <b>landgebruik code</b> | <b>landgebruik naam</b>  |
|-------------------|--|----------------|-------------------------|--------------------------|
| <b>234</b>        | Tarwe, zomer-                                  | Waterschap V&V | 5                       | zomergerst               |
| <b>256</b>        | Bieten, suiker-                                | Waterschap A&M | 4                       | bieten                   |
| <b>262</b>        | Uien, zaai-                                    | Hardeman       | 6                       | overig landbouwgewas     |
| <b>331</b>        | Grasland, natuurlijk. Hoofdfunctie landbouw.   | Waterschap A&M | 17                      | natuurlijk gras          |
| <b>332</b>        | Grasland, natuurlijk. Hoofdfunctie natuur.     | Waterschap A&M | 17                      | natuurlijk gras          |
| <b>657</b>        | Drachtplanten                                  | Waterschap A&M | 17                      | natuurlijk gras          |
| <b>991</b>        | Overige bloemen, overige bloemkwekerijgewassen | Waterschap A&M | 10                      | bollen                   |
| <b>1002</b>       | Lelie, bloembollen en -knollen                 | Hardeman       | 10                      | bollen                   |
| <b>1067</b>       | Bos- en haagplanten, open grond,               | Waterschap V&V | 7                       | boomteelt                |
| <b>1926</b>       | Agrarisch natuurmengsel                        | Waterschap A&M | 17                      | natuurlijk gras          |
| <b>1935</b>       | Maiskolvelsilage                               | Waterschap V&V | 2                       | mais                     |
| <b>2700</b>       | Aardbeien open grond, vermeerdering            | Waterschap A&M | 6                       | overige landbouwgewassen |

# 5 Beschrijving opzet lokale modelsysteem

## 5.1 Algemeen

In Grow with the Flow wordt voor ieder perceel een lokaal SWAP-WOFOST model opgezet. Het model SWAP (Soil, Water, Atmosphere, Plant) simuleert transport van water, opgeloste stoffen en warmte in de onverzadigde en deels verzadigde zone van de bodem. Een belangrijke component in SWAP is de berekening van wateropname door het gewas, en hoe deze door gebrek aan water (droogte) en gebrek aan zuurstof (te natte omstandigheden) kan worden gereduceerd. Gereduceerde gewasverdamping als gevolg van onvoldoende wateropname heeft gevolgen voor de gewasgroei. De berekende transpiratiereductie wordt daarom als invoer gebruikt voor het dynamische gewasgroeimodel WOFOST. De gewasgroei wordt in het model hierop aangepast en resulteert in een berekening van de actuele gewasgroei.

Het modelinstrumentarium SWAP-WOFOST bevat veel proceskennis en is getoetst aan veldexperimenten, zoals voor de verschillende fases van Waterwijzer Landbouw is beschreven (STOWA, 2018). Zowel SWAP als WOFOST zijn modelinstrumenten die ook internationaal veel gebruikt worden en ze zijn zodoende ook onder allerlei andere omstandigheden getoetst. De modellen zijn relatief complex, hebben veel invoergegevens nodig en er is zodoende specialistische kennis vereist om het modelinstrumentarium te draaien. Het lokale modelsysteem is ingebed in GwtF zoals weergegeven in Figuur 5.1.



Figuur 5.1 Schematische weergave van de opzet van het lokale modelsysteem en data uitwisseling in het gehele Grow with the Flow systeem; uitsnede uit Figuur 2.1. Stap 1) importeren benodigde kaartlagen uit het regionale model via FTP/Platform en de benodigde meteorologische forcering halen uit het Delft-FEWS systeem, stap 2) draaien van de berekeningen vanaf dag 1 tot de huidige dag, en stap 3) opslaan van modelresultaten in netcdf-formaat en teruggeven aan het Platform via FTP.

## 5.2 Opzet lokaal modelsysteem

### 5.2.1 Domein

Transport van water in de onverzadigde en verzadigde zone in combinatie met gewasgroei wordt gesimuleerd met het model SWAP-WOFOST. SWAP-WOFOST beschouwt het domein van vlak boven het bladerdek van het gewas tot aan een vlak in het bovenste grondwater. De processen in dit domein zijn dominant verticaal gericht, vandaar dat SWAP-WOFOST primair een één-dimensionaal model is. Afvoer naar drains, sloten en overige oppervlaktewateren wordt meegenomen waardoor SWAP-WOFOST op perceelschaal kan worden toegepast. Voor meer informatie over de toepassing van lokale modellen in GwtF wordt verwezen naar Dik en Veldhuizen (2022, in prep).

Voor het gebruik van de programma's dient het softwarepakket R<sup>1</sup> (versie 4.0.0 of later) geïnstalleerd te zijn met een aantal pakketten die in een lokaal zijn meegeleverd<sup>2</sup>. Daarnaast is het softwarepakket [Rtools](#)<sup>1</sup> vereist (waarbij de volgende optie is aangevinkt: "save version number in registry").

### 5.2.2 Werkwijze

De lokale berekeningen worden in 3 stappen opgezet. De eerste stap is het aanmaken van een database met daarin instellingen van het SWAP-WOFOST modelinstrumentarium. De invoer betreft onder andere landgebruik, gewasparameters en bodemtype. Deze worden overgenomen van bestaande kaartlagen (formaat idf of asc) afkomstig van het regionale model. De tweede stap is het uitzetten van alle modelberekeningen. Om pragmatische redenen is dat in deze pilot toepassing op de rekenservers van de waterschappen geïnstalleerd. De rekentijd bedraagt per detailmodel ongeveer 3 seconden. De derde stap is het opslaan van de modelresultaten in het netcdf-format om gebruik te kunnen maken van dezelfde verwerkingsscripts naar het GwtF dataplatform.

### 5.2.3 Forceringsdata

De randvoorwaarden die nodig zijn om SWAP-WOFOST te kunnen doorrekenen worden overgenomen uit het regionale model. Voor de atmosferische component betekent dit dat dezelfde invoer wordt gebruikt in een iets ander formaat. De randvoorwaarden van het grondwater zijn de door het regionale model berekende stijghoogten, die per tijdstap (dag) worden doorgegeven aan SWAP-WOFOST. Afwijkend is de forcering van de berekening. Deze wordt via de GwtF-app door de teler opgegeven en via het dataplatform aan het lokale model opgelegd. De lokale modellen worden elke dag opnieuw geconfigureerd met de meest recente informatie uit het regionale model en het platform en vanaf de startdatum (1 januari) herberekend. Eventuele wijzigingen, bijvoorbeeld aan de toegekende berekening, worden op deze manier automatisch in de berekening meegenomen.

---

<sup>1</sup> (R Core Team, 2014)

<sup>2</sup> Installatie van R-pakketten gebeurt automatisch met de tool, mits geen restricties tot toegang met het internet. Een deel van de R-pakketten wordt lokaal meegeleverd. Overige R-pakketten waarvan de tool afhankelijk is worden verkregen van: <http://cran.r-project.org>.

## 5.2.4 Uitvoerdata

De uitvoer van SWAP-WOFOST wordt volgens de onderstaande tabel beschikbaar gesteld in netcdf-formaat.

Tabel 5.1 Toelichting modeluitvoer

| Uitvoer       | Eenheid | Beschrijving                                 |
|---------------|---------|--|
| <b>gwl</b>    | m       | Grondwaterstand t.o.v. maaiveld              |
| <b>rain</b>   | mm      | neerslag                                     |
| <b>irrig</b>  | mm      | beregening/irrigatie                         |
| <b>interc</b> | mm      | interceptieverdamping                        |
| <b>epot</b>   | mm      | potentiele bodemverdamping                   |
| <b>tpot</b>   | mm      | potentiele transpiratie                      |
| <b>eact</b>   | mm      | actuele bodemverdamping                      |
| <b>tact</b>   | mm      | actuele transpiratie                         |
| <b>etpot</b>  | mm      | potentiele verdamping (interc + epot + tpot) |
| <b>etact</b>  | mm      | actuele verdamping (interc + eact + tact)    |
| <b>trel</b>   | mm      | relatieve transpiratie (ratio tact / tpot)   |
| <b>asw</b>    | mm      | beschikbaar bodemvocht (pF 4.2)              |
| <b>asto</b>   | mm      | beschikbare berging (pF 2.0)                 |

# 6 Visualisatie

## 6.1 Algemeen

Sinds januari 2020 is er binnen de projectgroep begonnen met het verbeteren van de User Interface (UI). Dit is het zichtbare deel van de applicatie (front-end) die zichtbaar is voor de eindgebruiker. Door resources van zowel Capgemini als Milan Innovincy in te zetten is met korte sprints van één tot twee weken iteratief gewerkt aan nieuwe modules.

Er zijn twee applicaties waarop de informatie wordt weergegeven:

- Het Delft-FEWS systeem waar de informatie voor waterschappen zichtbaar is (zie paragraaf 6.2)
- De app waar de telers de informatie kunnen inzien (zie paragraaf 6.3).

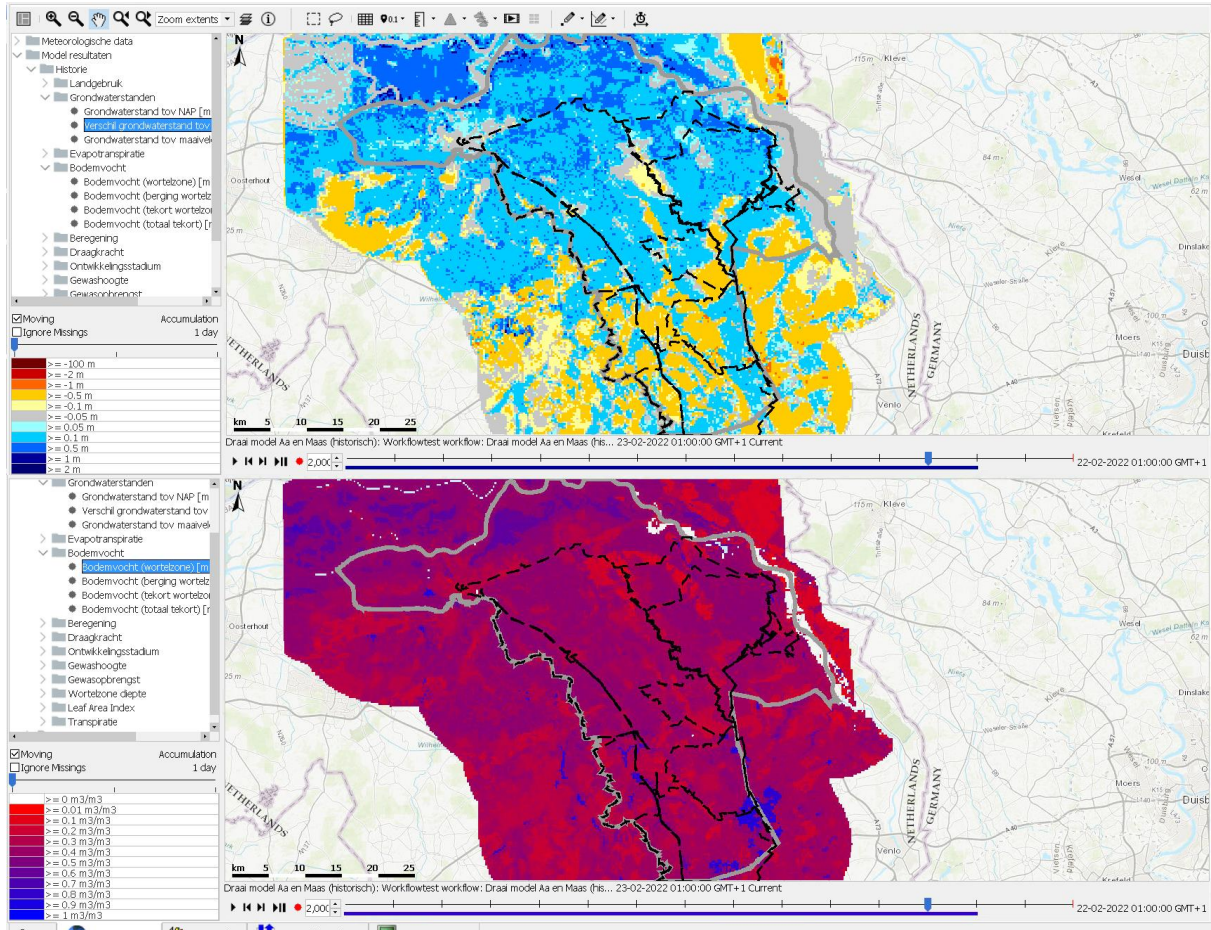
## 6.2 Visualisaties voor waterschappen (Delft-FEWS)

### 6.2.1 Visualisatie

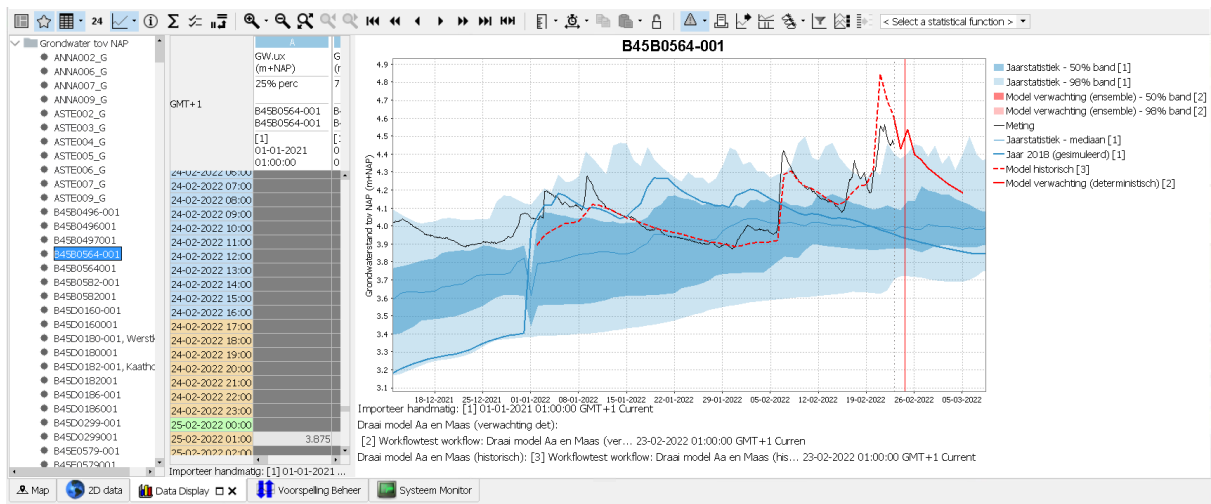
In Delft-FEWS zijn de modelresultaten van het regionale model zichtbaar. De volgende resultaten zijn zichtbaar:

- Ruimtelijke beelden van bijvoorbeeld grondwaterstand, bodemvochtgehalte, gewasopbrengst, transpiratie en draagkracht, zie bijvoorbeeld Figuur 6-1. Het is mogelijk om door de tijd heen te lopen en zo de veranderingen in ruimtelijke patronen te zien.
- Tijdreeksen van metingen en modelberekeningen van grondwaterstanden, bodemvochtgehalten en afvoeren. Bij grondwaterstanden en bodemvochtgehalten is daarnaast de langjarige statistiek zichtbaar. Zie bijvoorbeeld Figuur 6-2 en Figuur 6-3.
- Waterbalansen van de afvoergebieden (zie Figuur 6-4).
- Tijdreeksen van meteorologie en modelresultaten voor elk GwtF-perceel.

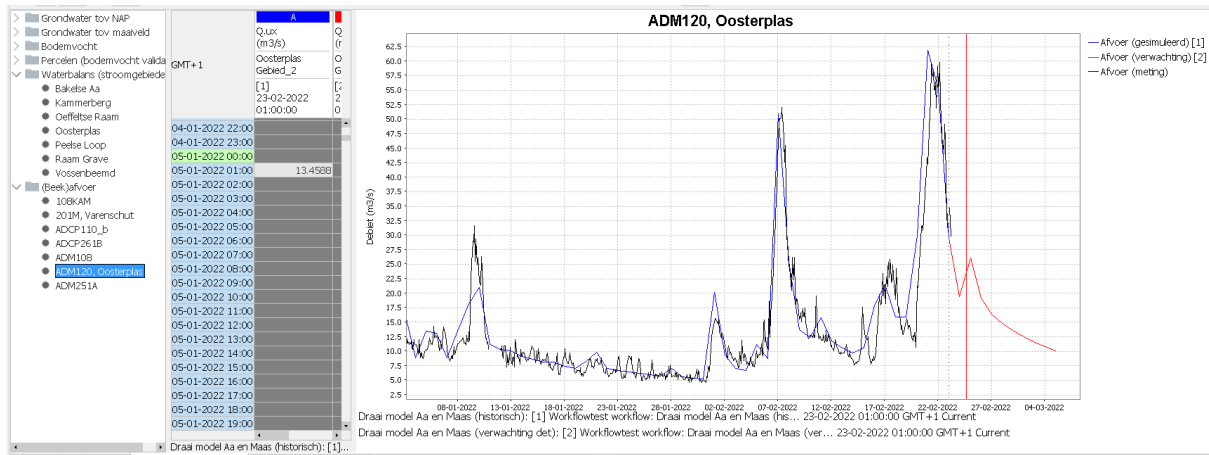




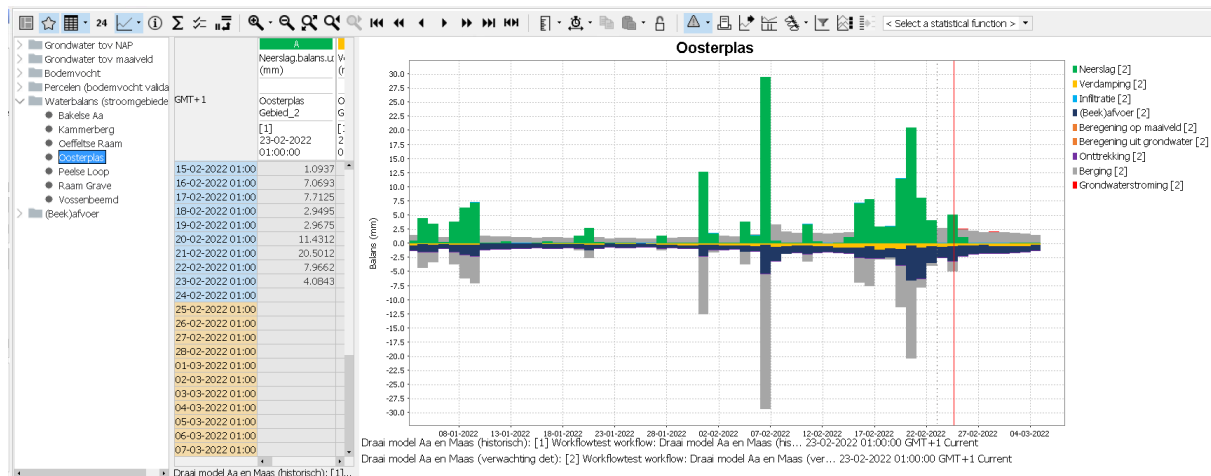
Figuur 6-1: Voorbeelden van ruimtelijke beelden van de grondwaterstand ten opzichte van normaal voor de tijd van het jaar (boven) en het bodemvochtgehalte (onder) voor het Aa en Maas gebied.



Figuur 6-2: Voorbeeld van tijdreeks van grondwatermeting (zwart) en modelberekening (rood). Daarnaast is de langjarige statistiek zichtbaar (blauwe band).



Figuur 6-3: Tijdsreeks van beekafvoer in afvoergebied de Oosterplas.



Figuur 6-4 Waterbalans van afvoergebied de Oosterplas.

## 6.2.2 Ontwikkelingen in 2020 en 2021

Vanaf januari 2020 zijn wensen van waterschappen opgehaald en als features in het systeem geïmplementeerd om overzicht te krijgen over een specifiek gebied, en ook (met uitzondering van de waterbalansen) voor specifieke percelen van telers in dit project.

De volgende features zijn geïmplementeerd:

- Grondwaterpeil berekend (ensembles+gemiddeld+langjarig gemiddelde met bandbreedte)
- Bodemvocht berekend
- Waterbalans per sub-stroomgebied:
  - Voor Aa en Maas betreft dit 5 stroomgebieden
  - Voor Vallei en Veluwe betreft dit 4 stroomgebieden
- Metingen van afvoeren, bodemvochtgehalten en grondwaterstanden



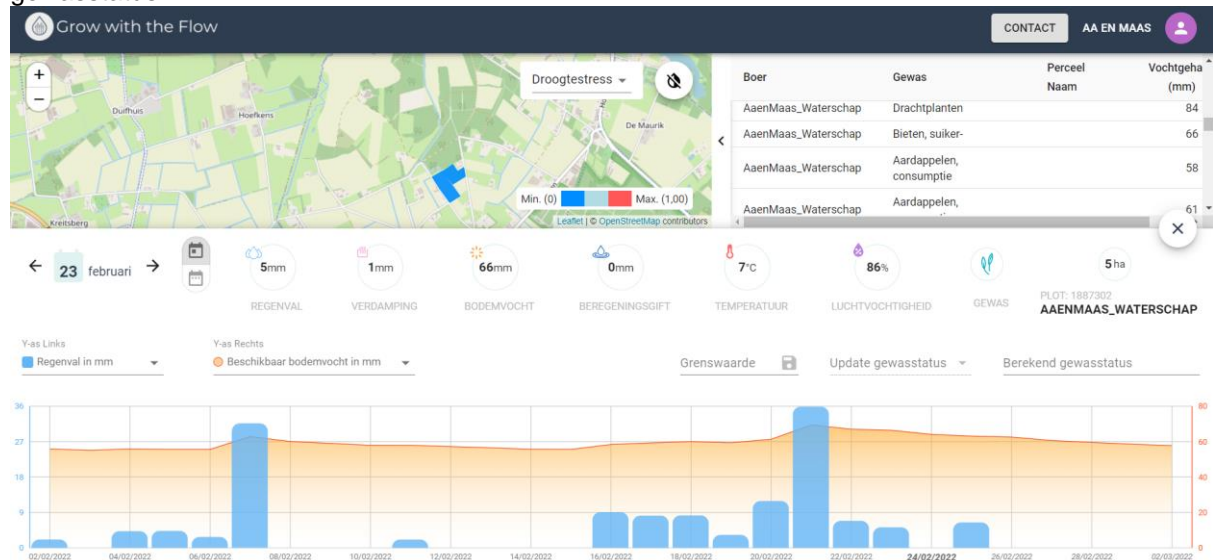
## 6.3 Visualisaties voor telers (App)

Voor agrariërs is het van toegevoegde waarde om de huidige datum weer te geven en tiendaagse voorspelling vooruit in de trendlijn-weergave (grafiek). In de front-end worden tien dagen in plaats van acht dagen aan gegevens doorgegeven aan de front-end.

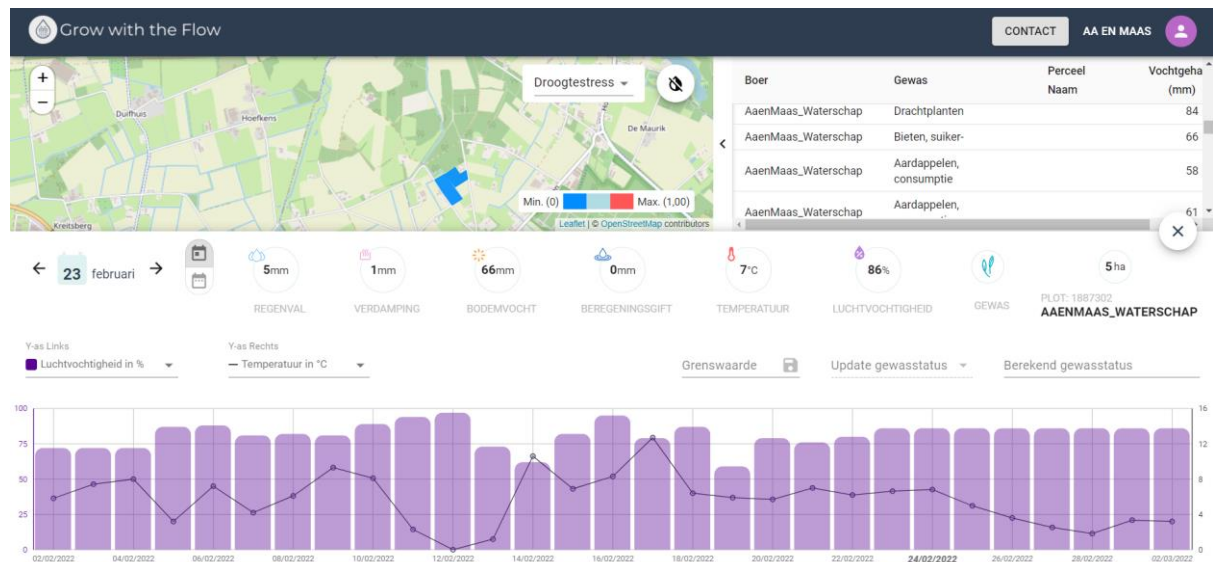
### 6.3.1 Visualisatie

In de app is een tijdreeks zichtbaar die regenval en beschikbaar bodemvochtgehalte weergeeft, zie Figuur 6-5. Door een drop-down menu kunnen hier ook andere variabelen zichtbaar worden, zoals temperatuur en luchtvochtigheid, zie Figuur 6-6.

Daarnaast zijn in de app getallen zichtbaar die de status weergeven met betrekking tot regenval, verdamping, bodemvocht, beregeningsgift, temperatuur, luchtvochtigheid en gewasstatus.



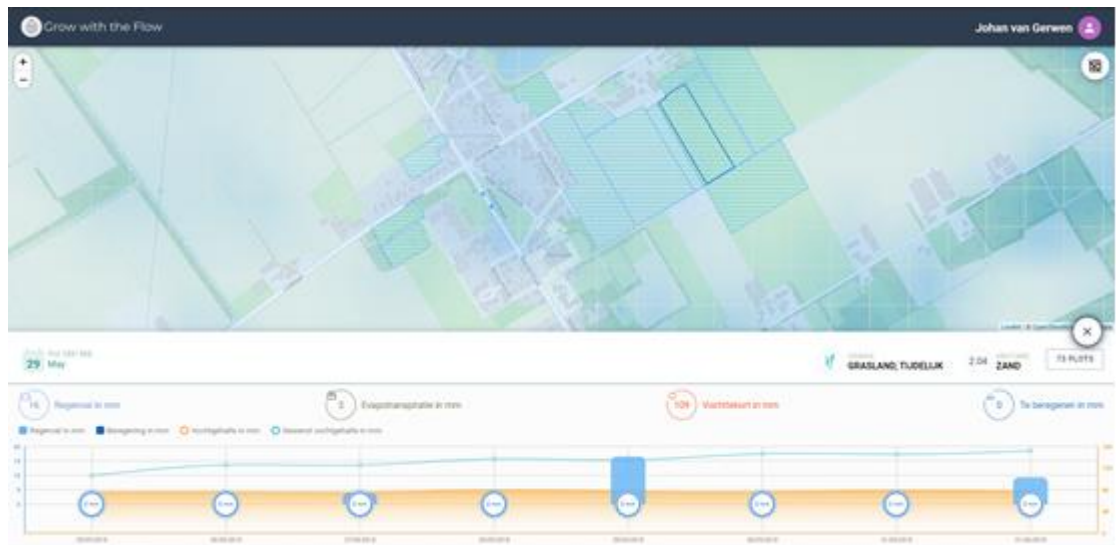
Figuur 6-5 Weergave van de app met daarin de regenval en het beschikbaar bodemvocht van een specifiek perceel weergegeven.



Figuur 6-6 Weergave van de app met daarin de luchtvochtigheid en temperatuur bij een specifiek perceel weergegeven.

### 6.3.2 Vertrekpunt 2018

Het startpunt was een applicatie (zie Figuur 6.7) waarin de fictieve boer Johan van Gerwen zijn stukken grond in de applicatie heeft ingetekend en daar per datum informatie over verkreeg.



Figuur 6-7 Voorbeeld van de Grow with the Flow User Interface. Bron: <https://grow-with-the-flow.firebaseio.com/>

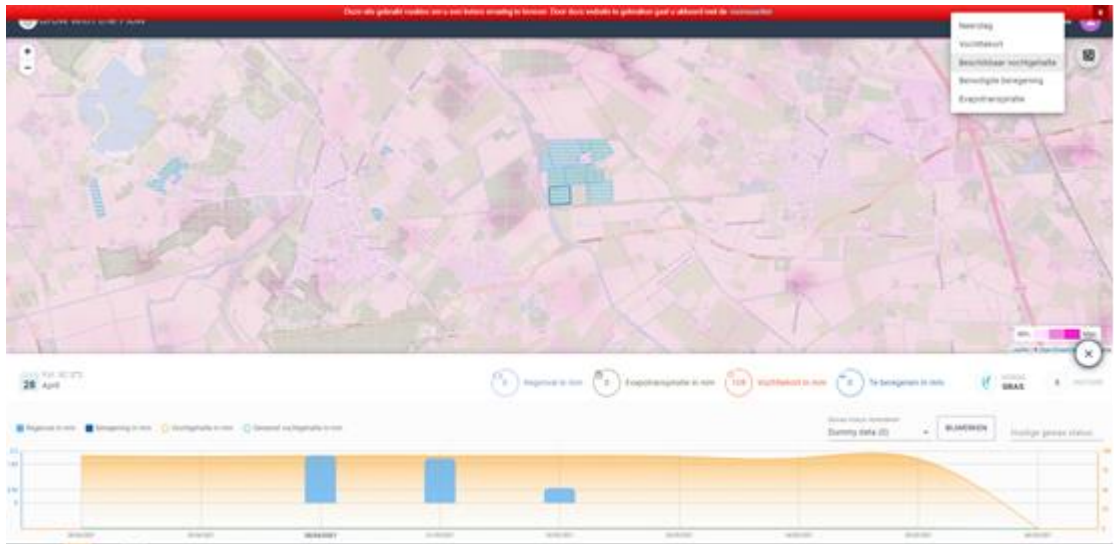
Te zien is de informatie per perceel of per rastercel. Per weergave kan de eindgebruiker zien hoeveel regen, verdamping, vochttekort er doorgegeven wordt vanuit FEWS. De grafiek laat de trendlijn zien van de gegevens over 8 dagen, waarin de huidige datum de vijfde dag in de weergave is.

Het nadeel van de front-end op dat moment was dat de data statisch ingeladen werd (enkel voor 29 mei 2018).

### 6.3.3 Ontwikkelingen in 2020 en 2021

Nieuwe features geïmplementeerd in 2020 zijn:

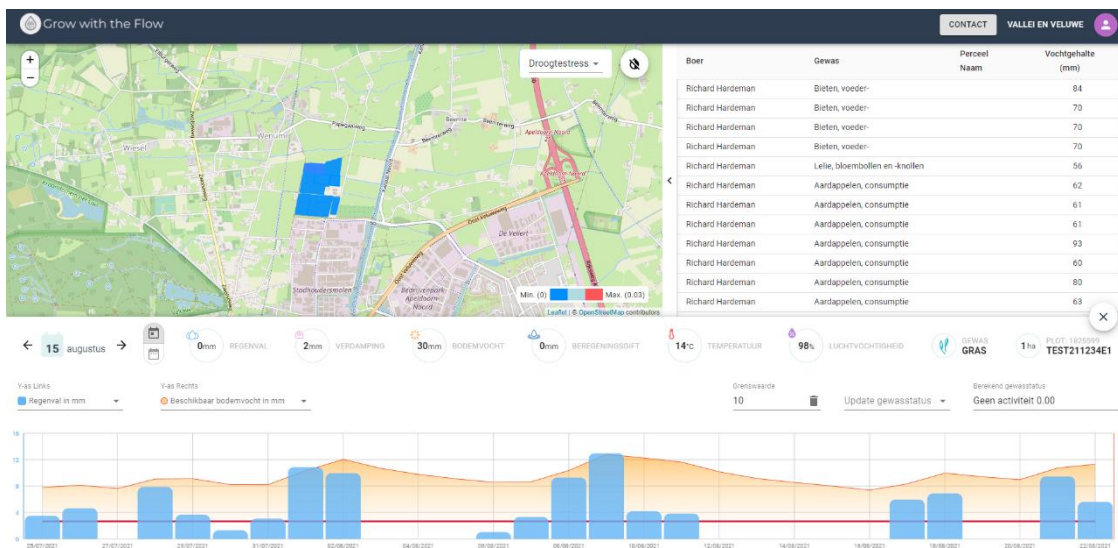
- Koppeling met wat in Delft-FEWS systeem gevisualiseerd wordt;
- Rasterweergave met alle bekende variabelen (neerslag, verdamping, vochttekort, benodigde berekening, beschikbaar vochtgehalte);
- Tiendaagse voorspelling in plaats van achtdaagse voorspelling in grafiekweergave;
- Toevoeging van gewasstatus met opgehaalde DVS-score vertaald naar gewasstadium;
- Toevoeging van gewasstatus aan te passen naar werkelijkheid van de agrariër.



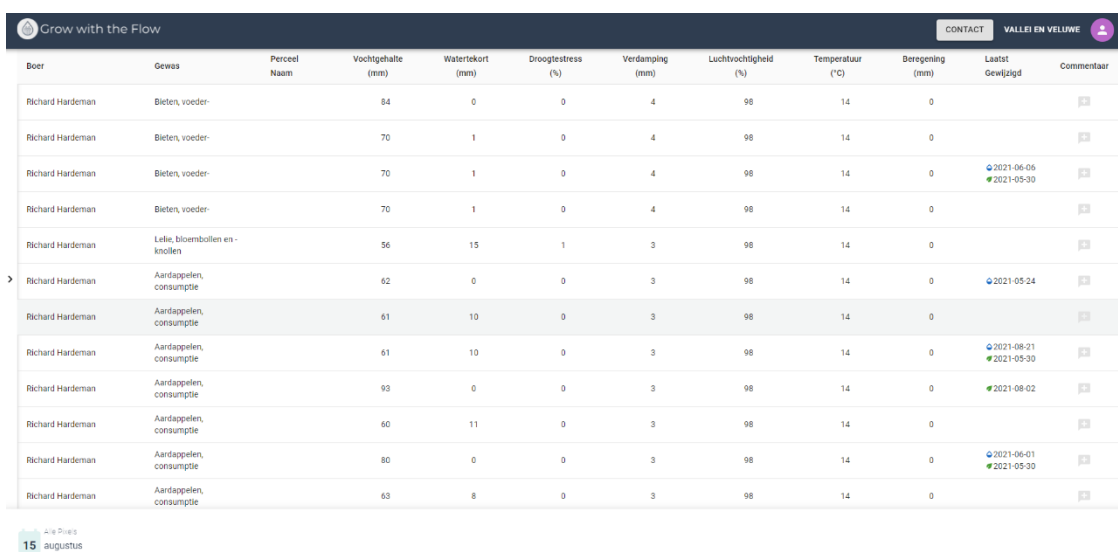
Figuur 6-8 Screenshot van de applicatie (28-4-2021). Bron: <http://app1.irrigation.live/map/2021-04-28/plot/1901873>

In Q2 2021 is middels een klankbordgroep met daarin telers nieuwe gebruikersinzichten opgehaald. Daarop is een aantal verbeteringen doorgevoerd welke de app de huidige vormgeving als verbetering op de versie van april 2021 geeft. Nieuwe features geïmplementeerd in 2021 zijn:

- Verwijderen van grid-functionaliteit;
- Toevoegen van chloropleet functie om de relatieve scores tussen percelen in één oogopslag te zien aan de hand van kleur;
- Toevoegen van mogelijkheid tot selecteren van parameters voor de y-as zowel links als rechts.
- Toevoegen van kritieke waardelijst met automatische opslagfunctionaliteit (data wordt niet lokaal opgeslagen maar op de server, zodat bij een volgende login de informatie weer terugkomt)
- Uitbreiden van aantal weergegeven parameters in de tabel-weergave
  - Het kunnen sorteren van de parameters op alfabetische volgorde en van groot naar klein voor numerieke waarden
  - Toevoeging van een veld 'laatst gewijzigd', welke de meest recente wijzigingsdata weergeeft voor gewasgroei en berekening
  - Toevoegen van functionaliteit om in tekst commentaar toe te voegen aan een perceel op een specifieke datum
- Toevoegen van extra mogelijkheid om datum te selecteren in elke weergave.



Figur 6-9 Screenshot van de applicatie (16-1-2022). Bron: <http://app1.irrigation.live/map/2021-08-15>



Figur 6-10 Screenshot van de applicatie (16-1-2022) - Tabelweergave. Bron: <http://app1.irrigation.live/map/2021-08-15>

In 2021 zijn drie validatiemomenten ingepland waarin telers uit de beide waterschappen hun mening konden geven over het werken met de applicatie. In de afsluitende bijeenkomst van december 2021 hebben telers aangegeven door te willen gaan als lid van de klankbordgroep, en dat zij zien dat het platform groeit van een 'handig om erbij te hebben programmaatje' naar een volwassen programma dat in de standaard werkwijze ingebouwd kan worden: "in plaats van 's ochtends bij de koffie naar buienradar kijken, kunnen we ook even GWTF erbij pakken en zien welke impact het wel of niet beregenen heeft op onze velden".

## 6.4 Dataverwerking en platform

In de front-end kan een aantal gegevens veranderd worden per perceel: zo is het mogelijk om de hoeveelheid beregening door te geven aan de back-end (onder de motorkap) en kunnen telers de gewasstatus valideren. Via het platform wordt deze input verwerkt en als input aan het lokaal model doorgegeven, zodat telers het effect van hun beregening en gewasstadium zien (stel een boer beregent x mm, ziet hij/zij dat de trendlijn hierop aangepast wordt).

#### 6.4.1 Platform

Aangezien GwtF bedoeld is om door verschillende partijen van verschillende aard (telers, waterschappen, corporaties) te worden gebruikt, moet er een centrale opslagplaats zijn waar gegevens worden opgeslagen en verwerkt, en waaruit ze kunnen worden geconsumeerd.

GwtF Platform is een softwaresysteem dat is ontworpen als de centrale opslag en verwerking van GwtF, dat manieren biedt om informatie uit meerdere bronnen op te nemen, te verwerken en uit te leveren aan verschillende partijen. Het platform is verantwoordelijk voor:

- Het verzamelen van gegevens uit meerdere bronnen: modelresultaten, gegevens over (de status van) percelen en gewassen en gegevens uit andere bronnen (zoals KNMI).
- Deze gegevens opslaan en verwerken
- Het aanbieden van een uniforme API om deze gegevens te verstrekken zodat ze in de app en in Delft-FEWS kunnen worden getoond.

Voor het platform is een technische rapportage (in engels) beschikbaar (Ben Yosef, 2021).

# 7 Modelvalidatie

## 7.1 Algemeen

Om inzicht te krijgen in de betrouwbaarheid van de gegevens in het platform zijn validatiestudies uitgevoerd voor de lokale en de regionale modellen. Deze validatiestudies zijn beschreven in twee losse rapporten (Pouwels en Bos-Burgering, 2022, in prep. en Dik en Veldhuizen, 2022 in prep.). Dit hoofdstuk geeft een samenvatting van deze twee rapporten.

## 7.2 Methodebeschrijving

### 7.2.1 Validatie regionaal model

In deze validatiestudie is de performance van het GRAM model (Aa en Maas) en het AZURE-model (Vallei en Veluwe) op het gebied van grondwaterstanden en bodemvochtgehalten getoetst aan de hand van metingen. Bij de vergelijking is zowel gekeken naar de periode 2016 t/m 2018 als het jaar 2021. Voor de periode 2016-2018 is het langjarige model gebruikt. Voor het jaar 2021 zijn de modelresultaten uit de operationele setting van het GwtF platform gebruikt.

### 7.2.2 Validatie lokaal model

Bij de validatie van het lokale model is vooral gekeken naar bodemvochtmetingen in het Raam-gebied van Aa en Maas. Er is op verschillende dieptes gemeten in de periode 2016-2019. De meetgegevens zijn beschikbaar gesteld door het waterschap. Naast metingen met bodemvochtsensoren zijn ook gegevens afkomstig van satellieten verkregen. Deze gegevens zijn door VanderSat geïnterpreteerd en omgezet naar bodemvochtgehalten. Hierbij is een neerschalingstechniek gebruikt waardoor de gegevens op een resolutie van 100 x 100 m beschikbaar zijn (terwijl de satellietdata een resolutie van circa 25 km heeft).

### 7.2.3 Specificatie metingen

De grondwater meetreeksen in Aa en Maas zijn overgenomen van de dataset die al meedraait in het GRAM model van waterschap Aa en Maas. De meetreeksen in Vallei en Veluwe zijn door het waterschap aangeleverd en zijn een extractie uit het FEWS-WIS Vallei en Veluwe systeem.

De bodemvochtmetingen voor het beheergebied Aa en Maas zijn de bodemvochtmetingen van 2016 t/m 2018 gebruikt van het waterschap, gecombineerd met metingen van bodemvochtsensoren die binnen een promotietraject zijn geïnstalleerd in het gebied De Raam (Benninga et al., 2018). Voor het gebied in Vallei en Veluwe zijn de bodemvochtmetingen gebruikt afkomstig van Farm21 bodemvochtsensoren die in het Grow with the Flow project zijn geplaatst.

## 7.3 Inzichten validatie regionale modellering

### 7.3.1 GRAM model

Het grondwater in het GRAM model wordt relatief goed gesimuleerd. Er zijn weinig uitschieters wanneer vergeleken wordt met metingen en de ordegrrootte komt goed overeen. De validatie geeft vertrouwen in de grondwaterstanden zoals ze worden getoond in het GwtF voorspellingsplatform.



Ook het bodemvochtgehalte wordt relatief goed meegenomen in het model. Wel is er een afwijking zichtbaar waarbij het gemodelleerde bodemvochtgehalte aan de natte kant is in vergelijking met metingen, dit kan komen doordat in deze vergelijking gebruik is gemaakt van ongeschaalde metingen. Bij de later uitgevoerde validatie van de lokale modellering (Dik et al., 2022, in prep.) bleek dat de resultaten beter aansluiten door een schalingsfactor toe te passen op de bodemvochtmetingen. Deze schalingsfactoren zijn niet toegepast in de validatie van het regionale model, maar zijn wel toegepast bij de vergelijking met het lokale model (paragraaf 3.2.1). In deze vergelijking is er alleen in droge omstandigheden een afwijking zichtbaar met de metingen. Dit geeft vertrouwen in de prestatie van het regionale model. In het lokale model is geen afwijking zichtbaar onder droge omstandigheden.

### 7.3.2 AZURE model

Waterschap Vallei en Veluwe werkt momenteel aan een verbetering van het AZURE model. De verwachting is dat de prestatie van het model flink verbetert met de komst van het nieuwe regionale model. Besloten is om in dit project deze ontwikkeling af te wachten en in de tussentijd het huidige model (AZURE versie 1.04) te gebruiken.

De berekeningen met de huidige modelversie komen niet altijd even goed overeen met metingen blijkt uit deze validatiestudie. De berekende grondwaterstanden liggen over het algemeen lager dan de gemeten grondwaterstanden.

Daarnaast is het bodemvochtgehalte in het model aan de hoge kant in vergelijking met metingen, en is de dynamiek van het bodemvocht groter. Het gemeten bodemvochtgehalte is echter erg laag, wat vermoedelijk niet realistisch is voor zandgebied in het groeiseizoen. De modelberekeningen liggen wel in de te verwachte ordegrootte. De bodemvochtsensoren meten een weerstand, die vervolgens met bodemtype-specifieke kalibratieparameters om wordt gezet naar een bodemvochtgehalte. Vermoedelijk is niet het correcte bodemtype gebruikt bij deze omrekening. Daarnaast was de gebruikte dataset voor deze validatie beperkt. Voor bodemvocht is namelijk alleen het jaar 2021 in beschouwing genomen in deze validatie.

Deze validatiestudie geeft geen sluitend inzicht in de oorzaak van de verschillen die zijn gevonden tussen metingen en modelberekeningen. Deze validatiestudie geeft daarom een indicatie dat de betrouwbaarheid van het model wellicht niet optimaal is voor de toepassing binnen dit project. Ondanks de geconstateerde afwijkingen ten opzichte van metingen hebben de voorspellingen van het model al wel meerwaarde voor het waterschap, omdat de berekeningen met het model een logisch beeld van de dynamiek weergeeft.

Aanbevolen wordt om over te stappen naar de update van het AZURE model zodra deze beschikbaar komt. Deze update bevat op verschillende onderdelen modelverbetering en de verwachting is dat de modelprestatie flink zal worden verbeterd.

### 7.3.3 Schaling metingen

Uit deze validatiestudie en de validatie van de lokale modellen blijkt dat bodemvochtmetingen niet altijd op de correcte manier zijn geschaald en dat een herschaling nodig kan zijn. Daarom wordt aanbevolen om een kritische houding te houden tegenover met name bodemvochtmetingen. Daarnaast wordt aanbevolen om de bodemvochtmetingen in dit project te herschalen.

## 7.4 Inzichten validatie lokale modellering

Binnen Grow with the Flow wordt voor elk perceel een lokaal SWAP-WOFOST model aangemaakt en gedraaid. De invoer van deze modellen wordt afgeleid uit in- en uitvoer van het regionale model. De uitkomsten van de lokale modellen lijken hierdoor sterk op de die van het regionale model. Niettemin blijkt het voordelen te hebben om lokale modellen op te zetten. De verfijndere verticale discretisatie in bodemlaagjes maakt het mogelijk om op specifieke dieptes gemeten en berekende bodemvochtwaarden te vergelijken.

Een lokaal model is bovendien gemakkelijker aan te passen doordat de regionale grondwaterstroming is vertaald naar een onderrandvoorwaarde. Bij het opleggen van onderrandvoorwaarden kan op eenvoudige wijze rekening gehouden worden met waargenomen grondwaterstanden. Dit is in de validatiestudie aangetoond. De lokale omstandigheden krijgen hierdoor meer gewicht en de resultaten worden hierdoor herkenbaarder. Het heeft niet alleen significant invloed op de berekende grondwaterstanden, maar ook op het bodemvocht en daarmee op bijvoorbeeld de beregeningsbehoefte. Naast grondwaterstanden kan ook de werkelijke beregening worden opgelegd alsmede belangrijke momenten in de gewasontwikkeling zoals opkomst en oogst.



## 8 Nieuwe ontwikkelingen

In dit hoofdstuk worden twee ontwikkelingen beschreven waaraan in 2021 aan is gewerkt. In deze twee trajecten zijn de mogelijkheden verkend om meer informatie uit modellen of metingen te halen. Om dit in een operationele toepassing binnen GwtF in te kunnen zetten is nog verdere ontwikkeling nodig.

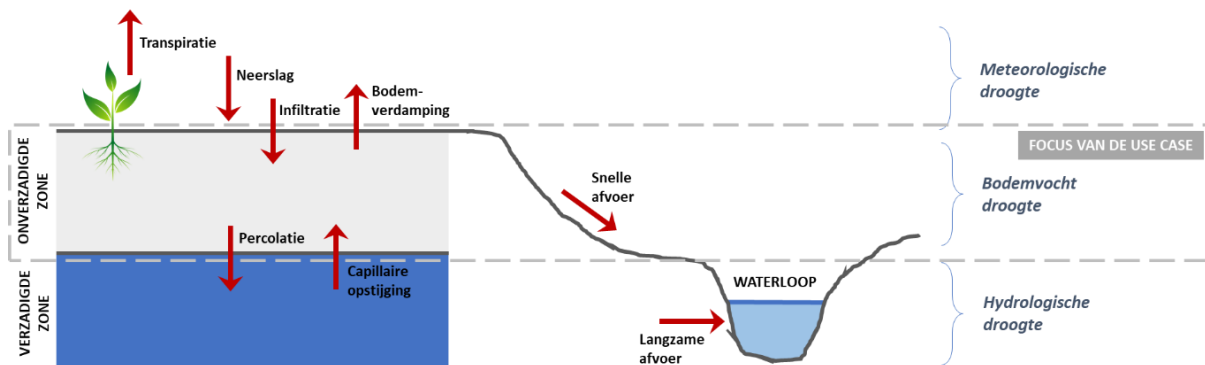
### 8.1 Data science

Als onderdeel van 'Grow with the Flow' is het deelproject 'Data science' uitgevoerd. Doel van dit deelproject is om te onderzoeken wat de toegevoegde waarde is van machine learning voor het regionale waterbeheer in droge periodes. Daarnaast willen we samen leren hoe een data-gedreven aanpak waterbeheerders en eventueel ook telers kan helpen bij een zo effectief mogelijk beheer van het watersysteem in een stroomgebied.

In deze paragraaf wordt een samenvatting gegeven van het deelproject Data science. Een uitgebreide beschrijving van de werkzaamheden is te vinden in bijlage D.

#### 8.1.1 Modelontwikkeling

Er is een data-gedreven model ontwikkeld om de relaties tussen meteorologische, hydrologische en bodemvochtdroogte in het stroomgebied van De Raam (Aa en Maas) in beeld te brengen en beter te begrijpen. De belangrijkste relaties zijn samengevat in onderstaande figuur. Omdat op voorhand nog niet precies duidelijk was waaraan het model moet voldoen, is dit gezamenlijk in een aantal iteraties in meerdere kleine stappen opgebouwd.



Figuur 8.1. Focus van de use case 'Data science'. Met behulp van een data-gedreven model wordt de relatie tussen neerslag, bodemvocht, grondwaterstanden en afvoeren in beeld gebracht

Het pilotgebied is het stroomgebied van De Raam in het beheergebied van Aa en Maas. In het gebied wordt op 15 locaties met sensoren al enige jaren het bodemvochtgehalte op verschillende dieptes gemeten. De meetperiode loopt van april 2016 tot heden. Deze bodemvochtmetingen vormen de basis voor de ontwikkeling van het data-gedreven model. Nabijgelegen meetpunten van andere parameters (stijghoogte, afvoer, waterpeil, etc.) en bodemvochtgehalten afgeleid uit satellietdata zijn ook gebruikt in het model.

Er zijn metingen beschikbaar van bodemvocht (in-situ en satelliet), neerslag, verdamping, oppervlaktewaterafvoer, oppervlaktewaterstand (vaak met bijbehorende stuw-/klepstanden) en grondwaterstijghoogtes. Daarnaast is een overzicht beschikbaar van onttrekkingen per agrarisch bedrijf per jaar. Dit zijn vergunde sommen, geen meetwaarden.

Er zijn twee soorten satellietbeelden gebruikt: GLEAM-REAN-DA en SMAP. VanderSat heeft deze twee bodemvocht producten beschikbaar gesteld voor het project. De basis van SMAP is het satellietbeeld van 36km x 36 km dat met behulp van een gepatenteerde techniek wordt bewerkt om tot een fijnere resolutie te komen. De basis van GLEAM-REAN-DA is het GLEAM model dat wordt geassimileerd met de bewerkte SMAP data.

### 8.1.2 Dataverkenning

Ter voorbereiding van de bouw van het data-gedreven model is een uitgebreide dataverkenning uitgevoerd. Daaruit bleek onder andere het volgende:

- Geen van de tijdreeksen van bodemvochtgehalte op de meetlocaties is compleet. Ze bevatten allemaal gaten.
- Op de schaal van het stroomgebied van De Raam is de match tussen in-situ bodemvocht en satellietdata redelijk goed. Hoewel de SMAP data veel minder bewerkt zijn, lijken ze een iets betere fit te hebben met de in-situ metingen.
- Op perceelniveau is de fit tussen satellietdata en in-situ metingen veel minder goed. Het verschilt ook duidelijk per meetlocatie.
- In de satellietdata is het effect van berekening niet zichtbaar.
- De relaties tussen in-situ bodemvocht en de overige hydrologische parameters zijn anders dan die tussen satellietdata en die parameters. Dat geeft de indruk dat een beschrijvend model voor het verschil tussen in-situ bodemvocht en satellietdata, waarin hydrologische en meteorologische parameters verwerkt zijn meerwaarde kan hebben

### 8.1.3 Modelling

De data laten zien dat bodemvocht gemeten met in-situ sensoren en satellietdata vaak aanzienlijk verschillen, o.a. berekening is niet zichtbaar in satellietdata. Daarom hebben we ervoor gekozen om een model te bouwen dat de verschillen tussen in-situ metingen en satellietdata verklaart op basis van parameters die niet expliciet in het satellietproduct GLEAM-REAN-DA product van VanderSat zitten.

Er is een beschrijvend model opgesteld voor het verschil tussen in-situ bodemvochtmetingen en satellietdata. De modeluitkomst is per tijdstip een verwachtingswaarde van het bodemvochtgehalte inclusief een onzekerheidsband (80%).

Het model is lineair en bestaat uit de componenten (1) stijghoogte t.o.v. maaiveld, (2) verandering van stijghoogte in afgelopen 7 dagen en (3) systematische afwijking (bias). Elke component heeft een eigen coëfficiënt ( $\beta_{GW}$ ,  $\beta_{DGW}$  en  $\alpha$ ). Deze componenten samen bepalen de gemiddelde verwachting van het bodemvochtgehalte. Hierbij wordt nog een ruis term ( $\sigma$ ) opgeteld. De som is de kansdichtheid van het verschil tussen in-situ en satellietmetingen.

### 8.1.4 Resultaten

Voor elk meetpunt bestaat een specifieke verhouding tussen in-situ metingen, satellietdata en verwachtingswaarde. Dit betekent dat de relaties per meetpunt verschillend zijn. Dit blijkt ook uit de posterior verdeling van de verschillende coëfficiënten die per meetpunt verschillend is. De posterior verdeling van de noise ( $\sigma$ ) is voor alle meetpunten min of meer normaal verdeeld. Dat geeft aan dat de modelaannname van normaal verdeelde ruis klopt. In het vervolgtraject willen we onderzoeken hoe de modelprestaties verder verbeterd kunnen worden.

## 8.2 Ontwikkelingen neerschalingstool Respighi

### 8.2.1 Algemeen

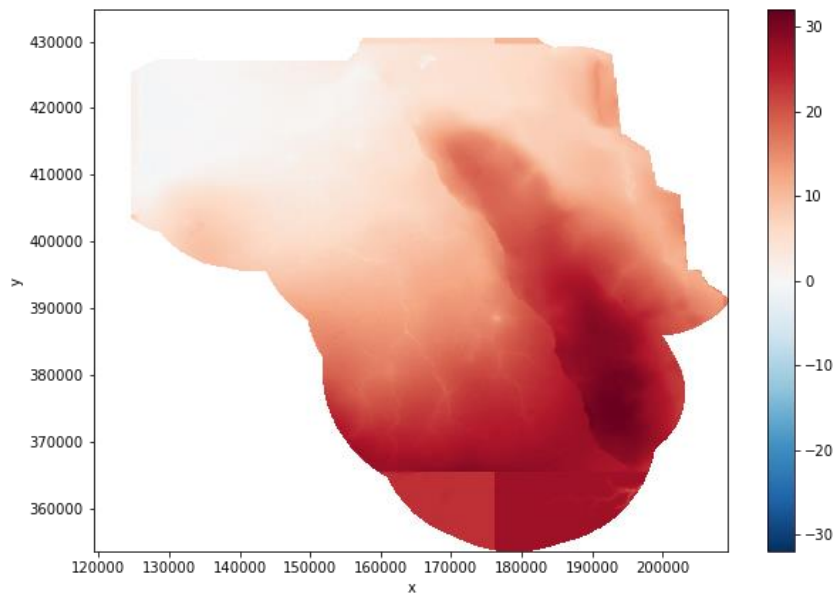
Er is gekozen om de bestaande neerschalingstool Respighi (<https://gitlab.com/deltares/imod/respighi>) door te ontwikkelen naar een versie die gebruikmaakt van Modflow 6. Deze tool kan gebruikt worden om freatische grondwaterstanden neer te schalen naar een fijner grid, door middel van een vereenvoudigd, maar fijner, grondwatermodel. Voor verdere uitleg over de werking van dit concept verwijzen wij naar de rapportage van Hoogewoud & Bootsma (2019). Modflow 6 biedt de volgende voordelen t.o.v. iMODFLOW voor Respighi:

1. Stijghoogtes kunnen direct in het werkgeheugen aangepast worden door de eXtended Model Interface (XMI). In de oorspronkelijke versie van Respighi moest voor iedere iteratie opnieuw een nieuw iMODFLOW model weggeschreven en ingelezen worden, wat extra tijd kost.
2. De tool wordt toekomstbestendiger, aangezien alle ontwikkelingen aan Modflow modelcode in Modflow6 geïmplementeerd gaan worden.

De nieuw ontwikkelde tool is getest op het regionale grondwatermodel van waterschap Aa en Maas.

### 8.2.2 Eerste resultaat

De tool heeft een eerste neergeschaald resultaat geproduceerd voor het grondwatermodel zoals weergegeven in Figuur 8.2. De berekening duurde in totaal circa 10 minuten, met 11 deelmodellen, serieel berekend. Te zien is dat de beken goed hierin terug te zijn. Er zijn echter twee gebreken te zien aan dit resultaat. Om goed om te kunnen gaan met de grote modellen die het neerschalen oplevert, bevat Respighi functionaliteit om het model op te knippen in deelmodellen. Wat opvalt is dat vooral de onderste twee deelmodellen (beneden de  $y \approx 365000$  m lijn) duidelijk terug te zien in het totaalresultaat, wat onjuist is. Verder lijkt er een stuk weggesneden uit de noordelijke en westelijke uiteinden van het grondwatermodel.



Figuur 8.2 Eerste resultaat uit de neerschalingstool voor het modelgebied van het Aa en Maas grondwatermodel.

### 8.2.3 Aanbevelingen

Op basis van onze ervaringen in dit project zijn wij tot de volgende aanbevelingen gekomen. Aanbeveling nummer 1 is een bug, die sowieso opgelost moet worden voordat de tool ingezet wordt voor andere projecten (bijv. het foutenmodel).

1. Oorzaak artefacten submodellen en weggeknipte randen moeten opgespoord worden en gecorrigeerd.
2. Parallele berekening werkt momenteel niet, terwijl dit in het oorspronkelijke ontwikkelde gereedschap wel werkte. Als dit weer functioneel gekregen kan worden, kan er sneller gerekend worden op rekenservers.
3. De General Head Boundary (GHB) package gebruiken, waarbij de weerstandslaag van het Respighi concept als conductance opgelegd wordt, in plaats van de Constant Head (CHD) package met een deterministische kleilaag. Dit reduceert het huidige 3-laags model van Respighi tot een 1-laags model.

Voor het inzetten hiervan bij Aa en Maas geldt nog dat een beter freatisch model afgeleid moet worden. De hoge weerstandslagen aan de bovenkant leiden tot een dun freatisch model op grote stukken van het model. Hier is weinig aandacht aan besteed in dit project, aangezien het omschrijven van de iMODFLOW invoer naar Modflow 6 invoer al meer tijd kostte dan begroot.

## 9 Terugblik resultaten en samenwerking

Voorgaande hoofdstukken beschrijven de activiteiten die binnen het project Grow with the Flow (GwtF) zijn uitgevoerd. Dit hoofdstuk geeft vanuit het consortium een terugblik op de uitkomsten en samenwerking gedurende de looptijd van het project tussen 1-1-2020 en 31-12-2021.

### **1. Wat is de informatiebehoefte van waterschappen om het handelingsperspectief te vergroten? Zijn we in staat om met het concept GwtF op gebiedsniveau vraag en aanbod op elkaar af te stemmen?**

- Betrouwbaar inzicht in regionale verschillen van grondwater (ook ten opzichte van het verleden) en bodemvocht kunnen helpen in de onderbouwing van het peilbeheer, bijvoorbeeld om stuwen te verhogen of hoog te laten.
- Sturingsbeslissingen zullen nog niet volledig op modellen gebaseerd worden, gezien de beperkte relatie tussen wateraanvoer en bodemvocht.
- Berekening vindt voor het overgrote deel plaats uit grondwater. Vanuit het waterschap zien we het GwtF concept wel als mogelijkheid om telers vooraf te informeren over de ontwikkelingen in het gebied zodat telers bewuster kiezen voor de inzet van berekening vanuit grondwater.

### **2. Welk inzicht levert GwtF (platform incl feedback loop) in de actuele status en waterbehoefte vanuit de landbouw? In hoeverre zijn we in staat om met het concept GwtF op gebiedsniveau watervraag en wateraanbod beter op elkaar af te stemmen?**

- Door op regionaal modelniveau de status van percelen met de daarop groeiende gewassen en hun waterbehoefte te koppelen aan de gegevens van de waterschappen ontstaat een nauwkeuriger beeld van de huidige en verwachte situatie door het voorspelmodel dat in GwtF zit. Doordat de gewasmodellen ook een verwachte watervraag laten zien kan er tijdiger gestuurd worden op de benodigde vraag en aanbod. Met andere woorden: er kan vroeger begonnen worden met bufferen en eerder met aflaten van water uit een gebied als dat nodig mocht zijn. De feedback loop ondersteunt telers om beter in beeld te krijgen hoe de doorwerking is van berekening op het bodemvochtgehalte. Bij meer telers kan het waterschap mogelijk eerder een inschatting krijgen hoeveel onttrekking er verwacht kan worden om daarop vervolgens beter te kunnen anticiperen. De actuele status helpt dus zeker om beter op elkaar af te stemmen.

### **3. Geeft GwtF waterschappen meer inzicht en handelingsperspectief om robuust met water om te gaan?**

- Het project richt zich in eerste instantie op vraagstukken rondom te weinig water. Tijdens de overlast situatie in de regio Vallei en Veluwe kon vanuit het systeem nuttige informatie geven over afvoervoorspellingen, bodemvocht en draagkracht van de bodem. Overwogen wordt om komend jaar de informatie als proef beschikbaar te stellen aan de waterkamer om beter zicht te krijgen welke informatie en betrouwbaarheid nodig is voor de afweging van belangen in het waterbeheer voor het gehele beheergebied.

#### **4. Welke mogelijkheden biedt het platform voor verzekeraars en voedselverwerkende industrie in termen van verbetering dienstverlening, optimalisatie werkprocessen, duurzaamheid of verlaging kosten?**

- Voor zowel de verzekeraars als de voedselverwerkende industrie geldt dat duurzaamheid en maatschappelijk verantwoord ondernemen belangrijke thema's zijn. Het verminderen en efficiënt gebruik van gewasbeschermingsmiddelen, meststoffen en schaarse middelen zoals water spelen daarin een belangrijke rol. GwtF draagt hier aan bij door onderzoek naar mogelijkheden om de waterhuishouding tijdiger te reguleren en het gebruik efficiënter te maken door nauwkeuriger aan te sluiten op de werkelijke behoefte van het gewas. Door de samenwerking tussen telers en de waterschappen kan zo nauwkeurig gestuurd worden waardoor ook het verbruik kan dalen.
- In verschillende vormen kan een project als GwtF als incentive worden ingezet door de voedselverwerkende industrie en de verzekeraars. Bijvoorbeeld door een hogere ranking in een milieu- of duurzaamheidswaarderingsstelsel of bijvoorbeeld gunstigere voorwaarden voor een verzekering. Hiervoor is een opschaling naar nationaal schaalniveau vereist.
- Met de voorspellende functionaliteiten rondom opbrengsten kan ook een betere afstemming in de keten worden georganiseerd. Dat leidt tot optimalisatie in werkprocessen, verwerking en voorraadbeheer waardoor een verlaging van de kosten door de gehele keten heen kan worden bereikt.
- De informatie uit GwtF kan verzekeraars helpen om betere schaderisico-profielen te maken rondom klimaatontwikkeling en ondernemerschap. Dit ondersteunt dan weer in verbetering van de dienstverlening en het kunnen belonen en waarderen van duurzaam ondernemerschap.

#### **5. Zijn data ownership en privacyaspecten een factor bij het delen van informatie tussen partijen?**

- Wat betreft het waterschap richting de boer zien we geen beperkingen. In principe kan vanuit het waterschap de data worden gedeeld met de agrarische sector.

#### **6. Wat hebben we geleerd over samenwerking in een breed consortium?**

- In het begin was de samenwerking 'spannend'. Niet alleen omdat we als consortium door Corona vanaf de start digitaal moesten samenwerken, maar ook omdat er een risico is dat je elkaar niet begrijpt, mogelijk andere doelen/speerpunten voor ogen hebt en natuurlijk een heel andere rol hebt binnen het waterbeheer. Om het proces tussen de partijen en werksporen (model, platform, klankbord en communicatie) goed te laten (blijven) verlopen, is extra energie voor coordinatie noodzakelijk om elkaar op de hoogte te houden en alle sporen op elkaar af te stemmen. Dit zal een uitdaging blijven, ook met het oog op de verwachtingen en mogelijke risico's bij een opschaling tot landelijke service.
- Vanuit telers hebben we geleerd dat de herkenbaarheid van lokale situatie belangrijk is om een applicatie te adopteren. Vanuit de ervaring met sensoren is deze doelgroep geneigd om hier in eerste instantie op te vertrouwen. Modellen zijn nog niet in staat om dat voor elke teler dit volledig te vervangen. Sensoren geven echter geen vlakdekkend beeld en vragen ook een bijstelling / interpretatie slag om herkenbare resultaten te kunnen reproduceren. Aanpak met lokale modellen biedt meer flexibiliteit om het model in te stellen op lokale condities zoals bodemkarakteristieken en de hoeveelheid irrigatie. Wanneer dit in de resultaten zichtbaar terugkomt zal het vertrouwen in de GwtF aanpak kunnen vergroten. Daarnaast bieden modellen de mogelijkheid om naar de toekomst te kijken of "what if" scenario's te berekenen. Met uitzondering van AI is dat in andere aanpakken niet mogelijk. De aanpak in GwtF is ondersteunend, maar zal geen volledige vervanging zijn voor telers met waarnemingen in het veld.

- Vanuit de waterschappen ligt het belang / accent vooral op het verkrijgen van vlakdekkende informatie. Dit kan via verschillende technieken verkregen worden (ook vanuit monitoring). De aanpak met modellen biedt als voordeel dat een vlakdekkend beeld verkregen wordt en ook dat, eenmaal goed opgezet, ook met wat-als gerekend kan worden. In dit project hebben we met vergelijkbare modelconcepten ook een lokaal beeld verkregen wat de interpretatie/communicatie kan vereenvoudigen. Hiermee kunnen modelresultaten vanuit regionale aanpak vertaald worden Het project GwtF heeft er toe bijgedragen dat de informatie uit modellen op een toegankelijk manier naar telers gepresenteerd worden.



# 10 Conclusies en aanbevelingen

## 10.1 Conclusies

In 2020 zijn we gestart met het project project Grow with the Flow (GwtF). Vanuit het consortium zijn verschillende methodes en databronnen gecombineerd om waterbeheerders en telers handvatten te geven voor efficiënter gebruik van water. Met regionale grondwatermodellen, lokale bodem-water-gewas-atmosfeer-modellen, satellietdata, bodemsensoren en data-science (Artificial Intelligence, AI) is informatie op lokale en regionale schaal beschikbaar gemaakt. Telers krijgen hiermee beter inzicht in de vochttoestand en eventuele beregeningsbehoefte, terwijl aan de andere kant het waterschap inzicht krijgt in de actuele status van het (bodem)watersysteem en de te verwachten vraag naar water. Zo kunnen waterschappen efficiënter sturen en keuzes onderbouwen aan de hand van actuele informatie.

Een belangrijke pijler voor het platform, dat binnen het project is ontwikkeld, is het gebruik van een regionaal grondwatermodel. De meeste waterschappen hebben een dergelijk model, al dan niet in een operationeel systeem ondergebracht. Hiernaast zijn in het kader van dit project ook lokale (perceel)modellen opgezet, met als doel om nog meer lokaal detail beschikbaar te maken. Hiermee wordt elke dag een berekening gedaan om onder andere inzicht te geven in het bodemvochtgehalte voor de komende dagen.

Na het eerste groeiseizoen zien we dat herkenbare resultaten belangrijk zijn voor de adaptatie van nieuwe systemen. Voor waterschappen geeft het snel overzicht over het gehele gebied. De dagelijkse verwachting brengt in beeld waar de sterktes en zwaktes in het model zitten. Ook in perioden van wateroverlast heeft het operationeel grondwatermodel nuttige informatie gegeven over afvoeren, bodemvocht en daaruit afgeleid ook draagkracht van de ondergrond. Samen met telers is een app ontwikkeld om de informatie vanuit modellen op een toegankelijke manier naar telers te presenteren en hierdoor is ook vertrouwen gegroeid bij het consortium. Dit vertrouwen geeft een solide basis om als consortium in de toekomst samen te werken aan oplossingen om slimmer met waardevol water om te gaan.

### Gebruik van modellen

Het ijken van regionale modellen is gericht op plausibel gedrag, gemiddeld over het modeldomein, waarbij de meteorologische verwachting belangrijke invoer vormt. Voor waterschappen geeft dit over het algemeen voldoende nauwkeurigheid om een vlakdekkend beeld te krijgen van trends in de waterhuishouding binnen een gebied. Lokale afwijkingen zijn niet te vermijden. Er blijft altijd onzekerheid over hoe goed een regionaal grondwatermodel de freatische grondwaterstanden kan voorspellen. Dit gaat niet alleen over de afwijkingen ten opzichte van metingen, maar ook over model-conceptuele onzekerheden en onzekerheden als gevolg van modelinvoer.

Het is technisch mogelijk om een regionaal hydrologisch model te gebruiken als lokaal voorspellingsmodel. Echter, niet in alle gevallen zal het watersysteem op percelen voldoende accuraat worden benaderd. Lokale variatie tussen en ook binnen percelen wordt uitgemiddeld over grovere gridcellen. Ook is de onderliggende informatie over de bodemsamenstelling, gewastype of irrigatiegift een lokaal gemiddelde vanwege het regionale karakter van het model, of gebaseerd op praktische eenheden. Een teler heeft behoefte aan een applicatie die herkenbare en bruikbare resultaten laat zien voor zijn percelen. Dit is dan ook een belangrijke reden geweest om in dit project lokale (perceel)modellen op te zetten. Deze modellen zijn via randvoorwaarden ingebed in het regionale grondwatersysteem en gebruiken in zoveel de invoergegevens van het regionale model.

Het gebruik van een lokaal model naast een regionaal model heeft veel voordelen:

- De uitkomsten zijn verfijnder wat betreft ruimtelijk detail, waardoor het eenvoudiger is om bodemvochtmetingen op verschillende dieptes te relateren aan uitkomsten van het model
- Via de app kan werkelijke informatie over beregening en gewasgroei gebruikt worden om het lokale model te verbeteren. De ontwikkeling van de app en de (natte) hydrologische omstandigheden in 2021 waren onvoldoende geschikt om dit in praktijk te kunnen valideren.
- Lokale informatie over de bodemgesteldheid en lokale metingen aan grondwaterstanden kunnen worden gebruikt in de lokale modellen om deze te verbeteren. Dit heeft gevolgen voor bijvoorbeeld de berekende beregeningsbehoefte.
- Lokale modellen rekenen snel en kunnen worden gebruikt om met 'what if' scenario's af te tasten wat het gevolg is van het wel of niet inzetten van beregening.

#### Bodemvochtsensoren

Binnen het project is op enkele percelen ook gebruik gemaakt van bodemvochtsensoren. Bodemvochtsensoren meten indirect het bodemvocht. Deze sensoren meten namelijk een weerstand in de bodem, die vervolgens vertaald wordt naar een bodemvochtgehalte op een specifieke diepte. De meetgegevens zijn direct online te raadplegen. De uitkomsten zijn herkenbaar: het is goed zichtbaar als het heeft geregend of wanneer er is beregend en ook een uitdrogingstrend is goed waarneembaar. Een sensor heeft echter geen voorspellende waarde en is enkel representatief voor de plek waarop wordt gemeten. Bovendien blijken de sensoren niet altijd even bedrijfszeker.

#### Satellietinformatie

Het gebruik van satellietwaarnemingen heeft als voordeel dat deze op een grote ruimtelijke schaal beschikbaar zijn, alleen in de tijd is het aantal waarnemingen beperkt en zijn de waarnemingen in het geval van bodemvocht beperkt tot de bovenste centimeters. Door VanderSat worden satellietwaarnemingen daarom met modellen gekoppeld om te interpoleren tussen de waarnemingen in de tijd en te extrapoleren naar de wortelzone. Het bodemvochtproduct is door VanderSat aan GwtF ter beschikking gesteld en de resultaten zijn vergeleken met in-situ metingen bij Waterschap Aa en Maas. De gegevens van VanderSat geven voor sommige locaties een sterk overeenkomstige dynamiek in vergelijking met de gegevens van het waterschap, maar voor andere locaties is de overeenkomst minder sterk. De oorzaak hiervoor is niet duidelijk, maar het geeft wel aan dat het product van VanderSat op grotere schaal een alternatieve informatiebron kan zijn voor de toestand van het bodemvocht. Er ontbreken evenwel data en concepten om de slag naar lokaal mogelijk te maken. Zo kan bijvoorbeeld niet worden bepaald of er is beregend.

## Datascience

Waterschappen meten niet alleen bodemvocht, maar ook neerslag, oppervlaktewaterstanden, grondwaterstanden en afvoeren. Met behulp van Machine Learning is een beschrijvend/verklarend model opgesteld van bodemvocht in relatie tot meteorologische (neerslag en verdamping) en verschillende hydrologische grootheden (grondwaterstijghoogte, waterstand en afvoer). Het model is volledig data-gedreven. Het doel was om op basis van dit model te kunnen verklaren waarom er vaak een groot verschil is tussen satellietwaarnemingen en in-situ metingen. De uitkomsten geven nog geen duidelijk beeld, er is nader onderzoek nodig.

## Samenvattend

In onderstaande tabel zijn de plussen en minnen van de besproken methoden voor het gebruik door telers en waterschappen op een rij gezet. Onder de kop model wordt zowel de regionale als lokale modelaanpak bedoeld.

Tabel 10.1 Samenvattende tabel van de verschillende methodes gebruikt in GwtF voor zowel de use-case waterschap als de use-case teler. In de horizontaal staan de gebruikte methodes en in de verticaal de beoordelingscriteria lopend van – voor ongeschikt tot ++ voor zeer geschikt.

|                     | Model | Sensor | Satelliet | AI |
|---------------------|-------|--------|-----------|----|
| Vlakdekkend*        | ++    | --     | ++        | +- |
| Lokaal herkenbaar** | +-    | +      | +-        | +- |
| Snel toepasbaar***  | +-    | ++     | +         | -- |
| Voorspellend****    | +     | --     | --        | +  |
| Scenario's*****     | ++    | --     | --        | +- |

\* "Vlakdekkend" betekent het gehele waterschapsgebied, \*\* lokaal herkenbaar verwijst naar percelen, \*\*\*snel toepasbaar beoordeelt het gemak waarmee de methode kan worden ingezet, \*\*\*\*voorspellend betekent dat er vooruit kan worden gekeken en met \*\*\*\*\*scenario's wordt bedoeld dat het effect van ingrepen en maatregelen kan worden geëvalueerd.

Overall concluderen we dat de verschillende invalshoeken - meten, satellietwaarnemingen, modellering en machine learning - alle van waarde kunnen zijn voor het verbeteren van het waterbeheer op verschillende schaalniveaus. In een volgende fase zien we nog veel mogelijkheden om de GwtF toepassingen te verbeteren, onder andere door slimme data-technieken toe te passen en door meer gebruik te maken van de mogelijkheid om modellen in te zetten voor het doorrekenen van scenario's.

## 10.2 Aanbevelingen

In dit project is de scope in eerste instantie beperkt tot de gewassen aardappelen, mais en gras. Andere veel voorkomende teelten kunnen hier aan worden toegevoegd. Voor zaai-ui, suikerbieten, wintertarwe en zomergerst liggen WOFOST-parametrisaties op de plank.

Naast een uitbreiding van het aantal gewassen wordt ook aanbevolen om de groep gebruikers uit te breiden om meer inzicht te krijgen in de watervraag, maar ook om bij verschillende typen landbouw de bruikbaarheid van de informatie te valideren. Hierbij wordt ook gedacht over uitbreiding naar andere gebieden of het bereiken van nieuwe gebruikers via tussenpersonen, zoals teeltadviseurs.

Aanbevolen wordt om de architectuur te vereenvoudigen, zodat we het operationele systeem gemakkelijker kunnen volgen en daarmee ook gemakkelijker kunnen onderhouden. Concreet is een aanbeveling om over te schakelen van FTP naar Restful API. Verder zou het standalone FEWS-systeem moeten worden vervangen door een client-server systeem. Dit is een veel robuustere multi-user constructie.

Ook kan een self-service portaal voor het koppelen van accounts en percelen in het platform bijdragen aan het vereenvoudigen van het beheer. We bevelen aan om de mogelijkheden en investeringen die hiervoor nodig zijn, of de mogelijkheden voor aansluiting bij andere platforms in een businesscase verder te onderzoeken.

De applicatie voor waterschappen draait onder FEWS en daarmee kan gebruik gemaakt worden van meer mogelijkheden. Hiermee is uitbreiding van de functionaliteiten naar bijvoorbeeld seasonal forecasting of scenario-analyses technisch eenvoudig te implementeren. Hiervoor lopen ook al verschillende initiatieven waarbij kan worden aangesloten.

De regionale modellen zelf zijn voor verbetering vatbaar. Dit is maatwerk en in principe een permanente aanbeveling. Afwijkingen tussen model en werkelijkheid zijn evenwel niet te vermijden. We bevelen dan ook aan om naast het regionale hydrologische model ook een foutenmodel te ontwikkelen dat het verschil tussen waarnemingen en simulatie beschrijft. Dit kan ook worden gebruikt om de lokale resultaten te verbeteren.

Binnen de huidige opzet van de applicatie is het ook mogelijk om samen met telers scenario's te ontwikkelen (bijvoorbeeld: wat als ik wel/niet beregen, wat als het het nog lang droog blijft). Hiermee kan het handelingsperspectief van telers binnen een seizoen of over de percelen vergroot worden. Ook kan gedacht worden aan het verbreden van de applicatie naar waterkwaliteit (uitstroom van nutriënten).

Tenslotte bevelen we aan om ook gegevens vanuit sensoren (bijvoorbeeld bodemvocht) te ontsluiten via de applicatie voor telers. Daarbij moet er wel voor worden gezorgd dat de metingen en modeluitkomsten goed met elkaar te vergelijken zijn.

# Literatuur

Ben-Yosef, Y., 2021. Description and overview of Grow with the Flow platform.

Bor, M. 2021. Documentatie bij AZURE 1.04-beta. Tauw memo.

De Lange, W. en Borren, W. 2014. Grondwatermodel AZURE versie 1.0. Actueel instrumentarium voor de Zuiderzee Regio. Deltares rapport 1205042-000.

Dik, Pim en Ab Veldhuizen, 2022. Grow with the Flow, Lokale modelsimulaties met SWAP

Hoogewoud, Jacco & Bootsma, Huite, 2019. Neerschaling van gemodelleerde grondwaterstanden en fluxen voor de Waterwijzer Natuur: Een methodebeschrijving en validatie, toegepast op landsdekkende NWM resultaten

Mulder, M., Hack-ten Broeke, M., Bartholomeus, R., van Dam, J., Heinen, M., van Bakel, J., Walvoort, D., Kroes, J., Hoving, I., Holshof, G., Schaap, J., Spruijt, J., Supit, I., de Wit, A., Hendriks, R., de Haan, J., van der Voort, M., & van Walsum, P. (2018). Waterwijzer Landbouw: instrumentarium voor kwantificeren van effecten van waterbeheer en klimaat op landbouwproductie. (Stowa rapport; No. 2018-48). Stowa.  
<https://edepot.wur.nl/464525>

Snippen, E. (et al), Development and test of usability of an oprational crop growth system for farmers – Farmers App (Final report), February 2019. Deltares, The Netherlands.

Van Bakel, P.J.T. en I. Hoving, 2017. Kennis over indirecte nat- en droogteschade bij gras en maïs voor Waterwijzer Landbouw. STOWA-rapport 2017-W01, Amersfoort.

Pouwels, J. en Bos-Burgering, L., 2022. Validatie regionale modellen Grow with the Flow. Deltares rapport.

J.C. Hunink, P.E.V. van Walsum, P.T.M. Vermeulen, J.R. Pouwels, H.P. Bootsma, G.M.C.M. Janssen, W. Swierstra, G.F. Prinsen, A. Meshgi, A.A. Veldhuizen, W.J. de Lange, J. Hummelman, L.M.T. Bos-Burgering en T. Kroon. Veranderingsrapportage LHM 4.0; Actualisatie van het lagenmodel, het topsysteem en de bodemplant relaties. Deltares rapport 11203718-000-BGS-0001, 2019

# Bijlagen

# A Het consortium Grow with the Flow

Het consortium bestaat uit de volgende project partners: Achmea (Agro), Deltares, Waterschap Aa en Maas, Waterschap Vallei en Veluwe, Wageningen Environmental Research, Milan Innovincy en Lamb Weston. Iedere partij lichten we hieronder kort toe.

**Deltares** is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme innovaties, oplossingen en toepassingen voor mens, milieu en maatschappij. We richten ons voornamelijk op delta's, kustregio's en riviergebieden. In dit project doet Deltares de overall-coördinatie en ontwikkelt Deltares het systeem voor 'real-time' verwachtingen van hydrologische condities en gewasgroei parameters middels de koppeling met gewasgroeimodellen. In de regionale modellen zijn gegevens ten aanzien van de bodem, het gewas en de meteorologische omstandigheden gebruikt om inzicht te creëren in de verwachte opbrengst en veranderingen hierin als gevolg van bijvoorbeeld gewasschade.

**WEnR** is het environmental research instituut van de Wageningen Universiteit (WUR). WEnR draagt door deskundig en onafhankelijk onderzoek bij aan het realiseren van een kwalitatief hoogwaardige en duurzame groene leefomgeving in zowel binnen als buitenland. Binnen het project ontwikkelt WEnR de gewasgroei module WOFOST en het onverzadigde zone model MetaSWAP. Daarnaast ontwikkelen ze lokale modellen op (sub-)perceel niveau en zorgen voor de optimalisatie van de modellen in het studiegebied.

**Milan InnoVincy BV** (MI) is een in Nederland gestationeerde aanbieder van ruimtelijke en temporele data ten behoeve van het verhogen van de gewasproductie aan agrarische bedrijven. In het project ontwikkelt MI het dataplatform die de informatie vanuit de modellen omzet naar informatie voor de telers op perceelsniveau.

De waterschappen zijn verantwoordelijk voor het waterbeheer in hun eigen beheergebied. De **waterschappen Aa en Maas en Vallei en Veluwe** hebben beide regionale grondwatermodellen ontwikkeld voor hun eigen beheergebied, gebaseerd op de informatie over de huidige waterstanden (grond- en oppervlaktewater) en gedetailleerde gebiedsinformatie voor het waterbeheer. Binnen dit project zijn de modellen uitgebreid met de WOFOST module. Beide waterschappen zorgen daarnaast voor de aanlevering van meetgegevens ten behoeve van de validatie van de modelberekeningen.

**Achmea** is, met haar bedrijfstukken Interpolis en Avéro Achmea, de grootste verzekeraar voor de agrarische sector in Nederland. Achmea heeft een uitgebreide ervaring met het uitvoeren van gewastesten en helpt bij het kalibreren van de modelresultaten. In dit project is Achmea verantwoordelijk voor de betrokkenheid van de stakeholders (telers) ten behoeve van het testen van de bruikbaarheid van de informatie voor het operationele gewasontwikkelingssysteem.

**Lamb Weston** is een van de grootste verwerkers van aardappelproducten wereldwijd. Duurzaamheid is onderdeel van het gehele verwerkingsproces en hierbij staan innovatie en doorontwikkeling hoog in het vaandel. In het project is Lamb Weston verantwoordelijk voor de betrokkenheid van de stakeholders (aardappeltelers) ten behoeve van het testen van de bruikbaarheid van de informatie voor het operationele gewasontwikkelingssysteem.



**Capgemini** is actief op het gebied van consulting, technologische diensten en digitale transformatie. Het van origine Franse bedrijf loopt voorop op het gebied van innovatie en kan daardoor klanten in staat stellen het gehele scala aan mogelijkheden die zich in de wereld van cloud, digitaal en platforms voordoen te integreren in hun business. In het project zet Capgemini zich in voor harmonieuze samenwerking en stelt zij front-end developers beschikbaar voor een betere gebruikerservaring van de app.

## B Achtergrondinformatie draagkrachtberekening

### B.1 Algemeen

Beperkte draagkracht heeft mogelijk effect op de bewerkbaarheid, berijdbaarheid en vertrapping door koeien. Het moment waarop het uitvoeren van de voorbereidende grondbewerkingen in het voorjaar plaatsvindt is afhankelijk gesteld van een vochtspanningscriterium, deze criteria zijn afgeleid van Beuving (1982). In Waterwijzer Landbouw worden twee categorieën voor het vochtspanningscriterium onderscheiden: licht en zwaar. Dit is een gewichtscategorie die afhankelijk is van de grondbewerking en de zwaarte van de meest gangbare machine voor dat gewas. Het ploegen valt bijvoorbeeld altijd onder de zware categorie, voor het zaaien van graan is een lichter landbouwvoertuig nodig dat onder licht nattere omstandigheden het veld op kan. De vochtspanning wordt gemonitord op een diepte van 15 cm.

| Staring bouwsteen | Omschrijving                                    | Ploegen  | Categorie |       |
|-------------------|---|----------|-----------|-------|
|                   |   |          | Licht     | Zwaar |
| B01               | Leemarm, zeer fijn tot matig fijn zand          | Voorjaar | -50       | -60   |
| B02               | Zwak lemig, zeer fijn tot matig fijn zand       | Voorjaar | -50       | -60   |
| B03               | Sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand      | Voorjaar | -50       | -60   |
| B04               | Zeer sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand | Voorjaar | -50       | -60   |
| B05               | Grof zand                                       | Voorjaar | -50       | -60   |
| B06               | Keileem   | Voorjaar | -50       | -60   |
| B07               | Zeer lichte zavel                               | Najaar   | -60       | -90   |
| B08               | Matig lichte zavel                              | Najaar   | -60       | -90   |
| B09               | Zware zavel                                     | Najaar   | -60       | -90   |
| B10               | Lichte klei                                     | Najaar   | -70       | -100  |
| B11               | Matig zware klei                                | Najaar   | -70       | -100  |
| B12               | Zeer zware klei                                 | Najaar   | -70       | -100  |
| B13               | Zandige leem                                    | Najaar   | -70       | -100  |
| B14               | Siltige leem                                    | Najaar   | -70       | -100  |
| B15               | Venig zand                                      | Voorjaar | -50       | -60   |
| B16               | Zandig veen en veen                             | Voorjaar | -60       | -80   |
| B17               | Venige klei                                     | Voorjaar | -60       | -80   |
| B18               | Kleiig veen                                     | Voorjaar | -60       | -80   |
| 005               | Grof zand                                       | Voorjaar | -50       | -60   |
| 009               | Matig lichte zavel                              | Najaar   | -60       | -90   |

Bij simulatie van grasland zijn de voorbereidende werkzaamheden zoals bij open teelten niet aan de orde. De indirecte effecten bij grasland ontstaan als gevolg van overschrijding van een vochtspanningscriterium waardoor er onvoldoende draagkracht is voor maaien of weiden. Indien het vochtspanningscriterium wordt overschreden dan treedt mogelijk schade op. De vochtspanning wordt hierbij gemonitord op een diepte van 15 cm voor maaien en een diepte van 10 cm voor beweiding.

Voor grasland worden de volgende grenzen gehanteerd (Van Bakel en Hoving, 2017):

| Staring bouwsteen | Omschrijving                                    | Categorie |          |
|-------------------|---|-----------|----------|
|                   |   | Maaien    | Beweiden |
| B01               | Leemarm, zeer fijn tot matig fijn zand          | -30       | -40      |
| B02               | Zwak lemig, zeer fijn tot matig fijn zand       | -40       | -50      |
| B03               | Sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand      | -40       | -50      |
| B04               | Zeer sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand | -40       | -60      |
| B05               | Grof zand                                       | -20       | -30      |
| B06               | Keileem   | -50       | -70      |
| B07               | Zeer lichte zavel                               | -60       | -80      |
| B08               | Matig lichte zavel                              | -60       | -80      |
| B09               | Zware zavel                                     | -60       | -80      |
| B10               | Lichte klei                                     | -60       | -80      |
| B11               | Matig zware klei                                | -60       | -80      |
| B12               | Zeer zware klei                                 | -70       | -90      |
| B13               | Zandige leem                                    | -50       | -70      |
| B14               | Siltige leem                                    | -60       | -80      |
| B15               | Venig zand                                      | -60       | -80      |
| B16               | Zandig veen en veen                             | -40       | -70      |
| B17               | Venige klei                                     | -50       | -70      |
| B18               | Kleiig veen                                     | -50       | -70      |
| 005               | Grof zand                                       | -20       | -30      |
| 009               | Matig lichte zavel                              | -60       | -80      |

## B.2 Berekeningsprocedure op basis van regionale modeluitvoer

Voor het testen van de berekeningsmethode is een pythonscript opgezet (zie in het kader hieronder). Deze procedure is vervolgens overgezet en geautomatiseerd in een FEWS workflow.

### Python script:

```
# -*- coding: utf-8 -*-
"""
Script to determine the traficability of grassland and agricultural land
based on given thresholds per soil type and landuse type

Created on Thu Apr 15 14:05:49 2021

@author: burgerin
"""

##import needed packages
import imod
import xarray as xr
import numpy as np
import rasterio.merge as rsm
import rasterio
import pandas as pd

##-----
## global settings
##-----
imodel = "VenV" ## options = "VenV" or "AAM"
```

```

result_folder = "./"+imodel+"/msw_phrz01/"
tdate = "20020106"

##-----
## files to be imported
##-----
## read landuse file
lgn = imod.idf.open("./"+imodel+"/LGNMOZ.IDF")

## read threshold value maps for pressure heads
# ab=akkerbouw, gl=grasland
ab_onder = xr.open_rasterio("./thresholds/bouw_phrz_onder.asc")
ab_boven = xr.open_rasterio("./thresholds/bouw_phrz_boven.asc")
gl_onder = xr.open_rasterio("./thresholds/gras_phrz_onder.asc")
gl_boven = xr.open_rasterio("./thresholds/gras_phrz_boven.asc")

## resample threshold maps to area of interest
ab_onder_clip = ab_onder.reindex_like(lgn, method="nearest")
ab_boven_clip = ab_boven.reindex_like(lgn, method="nearest")
gl_onder_clip = gl_onder.reindex_like(lgn, method="nearest")
gl_boven_clip = gl_boven.reindex_like(lgn, method="nearest")

## load pressure head (first layer of rootzone) at given timestamp
phrz = imod.idf.open(result_folder+"msw_phrz01_"+tdate+"_L1.IDF")

##-----
## Functions
##-----
## function to test the pressure head value against the threshold maps
def traficability(ph01,th1,th2):
    ## all cells with a value larger than 0.0 will be put on no-data
    np_cond1 = ph01 > 0.0
    np_cond1_inv = ~np_cond1
    np_new = ph01.where(np_cond1_inv,other=np.nan)
    ## all cells that are in between the upper threshold and 0.0 are set to 101.0
    np_cond = np_new>gl_boven_clip
    np_cond_inv = ~np_cond
    no_problems = np_new.where(np_cond_inv,other=101.0)
    ## all cells that lay in between the upper and lower threshold are set to 102.0
    light_cond = ph01>gl_boven_clip
    light = no_problems.where(light_cond,other=102.0)
    ## all cells that are below the lower threshold are set to 103.0
    heavy_cond = ph01>gl_onder_clip
    result = light.where(heavy_cond,other=103.0)

    return result

## function to resample, save and reopen new traficability grids
def resample_save_and_reopen(grid_in,grid_like,par):
    ## resample to original phrz grid
    res = grid_in.reindex_like(grid_like, method="nearest")
    ## save resampled grid
    imod.rasterio.save(r"..\draagkracht_"+par+".asc", res,nodata=0.0)
    ## retrieve correct date of input grid
    ts = pd.to_datetime(res.time.values)
    time = ts.strftime("%Y%m%d%H%M%S")
    fname = "draagkracht_"+par+"_"+time+"_l1.asc"
    ## open grid to be able to retrieve rasterio formatted dataset
    new_res = rasterio.open("..\\"+fname[0])

    return new_res

##-----
## Main code
##-----
##reindex pressure head based on lgn input file and convert unit from meters to cm
phrz_rs = phrz.reindex_like(lgn, method="nearest")
phrz_rs_cm = phrz_rs*100.0 ##m to cm
# imod.idf.save(r"..\phrz_resample.idf", phrz_rs)

## if lgn = 1,17,18,22,23 --> grasland (according to luse_svat.inp)
## if lgn = 2-11, 21, 24, 25 --> akkerbouw (according to luse_svat.inp)
gras = [1,17,18,22,23]
akker = [2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,21,24,25]
## create copy of landuse grid

```

```

lgn_split = lgn.copy()
## process landuse types to distinguishable grid
## checking unique values in resulting grid use: a = np.unique(draagkracht)
for ilgn in range(1,26):
    print("processing landuse type: "+str(ilgn))
    if ilgn in gras:
        print("gras")
        cond = lgn_split!=ilgn
        ##so where grass is the landuse type value is replaced with 100.0
        lgn_split = lgn_split.where(cond,other=100.0)
    elif ilgn in akker:
        print("akker")
        cond2 = lgn_split!=ilgn
        ##so where agricultural fields are the landuse type value is replaced with
1000.0
        lgn_split = lgn_split.where(cond2,other=200.0)
    else:
        print("this landuse type will not be processed")
        ##so for cells without grass or agricultural fields the landuse type value
is replaced with nan
        cond3 = lgn_split!=ilgn
        lgn_split = lgn_split.where(cond3,other=np.nan)

## save landuse 2 categories grid
# imod.idf.write(r".\landgebruik_split.idf", lgn_split)

## split phrz for agricultural fields and grassland
## and save check grid
phrz_cm_gras = phrz_rs_cm.where(lgn_split==100.0,other=1.0)
# imod.idf.write(r".\phrz_grass.idf", phrz_cm_gras[0,0,:,:])

phrz_cm_akkb = phrz_rs_cm.where(lgn_split==200.0,other=1.0)
# imod.idf.write(r".\phrz_akkb.idf", phrz_cm_akkb[0,0,:,:])

## test input pressure head against the given thresholds
new_gras = traficability(phrz_cm_gras, ab_boven_clip, ab_onder_clip)
new_akkb = traficability(phrz_cm_akkb, gl_boven_clip, gl_onder_clip)

## resample, save and re-open traficability grids
akkb_re = resample_save_and_reopen(new_akkb,phrz,"akkb")
gras_re = resample_save_and_reopen(new_gras,phrz,"gras")

## merge agricultural and grassland grids into one grid
total_grid = rsm.merge([akkb_re,gras_re])
## convert tuple array to data array
total_grid2 = xr.DataArray(data = total_grid[0],
                           dims=["time","y","x"],
                           coords=dict(
                               time=("time",phrz.time),
                               y=("y",phrz.y),
                               x=("x",phrz.x)))
total_grid3 = total_grid2.assign_coords({"layer":1})
## save merged grid
imod.idf.save(r".\Draagkracht.idf", total_grid3)

```

## C Overzicht modelparameters die naar platform worden doorgegeven

In onderstaande tabel staan de modelparameters (invoer en uitvoer) die doorgegeven worden aan het platform, om gevisualiseerd te kunnen worden in de app.

| <b>FEWS parameter Id</b> | <b>Parameter naam (NL)</b>                                   |
|--------------------------|--|
| <b>BV</b>                | Berekend volumetrisch vochtgehalte wortelzone (S01/dprz_act) |
| <b>DVS</b>               | Huidig gewas status  |
| <b>ETact</b>             | Verdamping   |
| <b>LGNMOZ</b>            | gewastype  |
| <b>P.input</b>           | Neerslag   |
| <b>S01</b>               | Beschikbaar vochtgehalte in bodem                            |
| <b>Ssd01</b>             | Vochttekort  |
| <b>Trel</b>              | Relatieve verdamping   |
| <b>Treldry</b>           | droogtestress  |
| <b>Irrigation</b>        | Beregening   |
| <b>Draagkracht</b>       | indicator draagkracht bodem                                  |
| <b>DVS</b>               | Huidig gewas status  |
| <b>T_input</b>           | gemiddelde temperatuur                                       |
| <b>Tmin_input</b>        | minimum temperatuur  |
| <b>Tmax_input</b>        | maximum temperatuur  |
| <b>E_input</b>           | Makkink verdamping   |
| <b>Rg_input</b>          | straling   |
| <b>Relhum_input</b>      | Luchtvochtigheid   |
| <b>Hum_input</b>         | Luchtvochtigheid   |
| <b>Windspeed_input</b>   | Windsnelheid   |

In onderstaand figuur zijn per parameter iets meer eigenschappen weer gegeven.

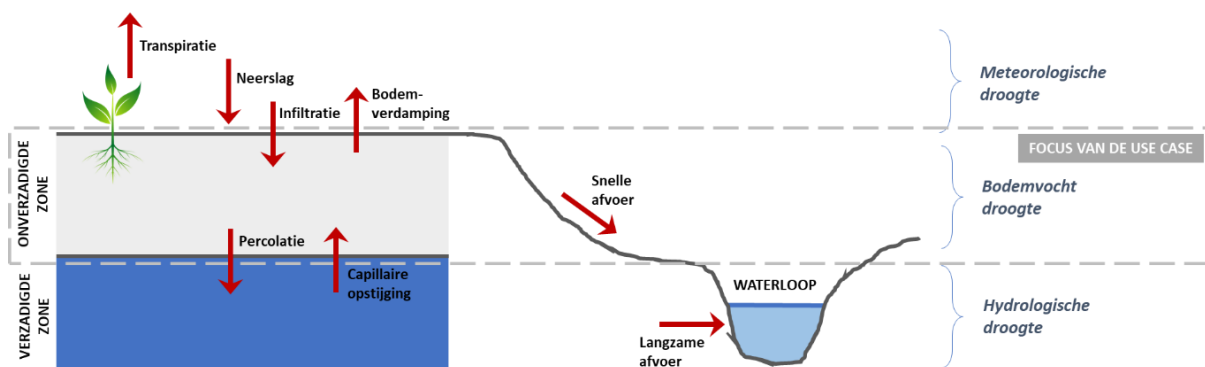
| FEWS par:  | Parameter naam (NL)  | File name (netcdf, where xxxx = grid or scalar)    | Model               | unit in netFEWS (S=Scalar, G=Grid) | Export from | Needed conversion factor | Parameter name in GWTF platform API |
|------------|--|--|---------------------|------------------------------------|-------------|--------------------------|-------------------------------------|
| BV         | Berekend volumetrisch vochtgehalte wortelzone (So1/dprz_act) | yyyyymmdd00000_xxxx_region_BV_xxxx.nc              | FEWS                | m3/m3                              | S/G         |                          |                                     |
| DVS        | Huidig gewas status  | yyyyymmdd00000_xxxx_region_DVS_xxxx.nc             | WOFOST              | [-]                                | S/G         |                          | developmentStage                    |
| ETact      | Verdamping   | yyyyymmdd00000_xxxx_region_ETact_xxxx.nc           | (Meta)SWAP          | m                                  | S/G         | 1000                     | evapotranspiration                  |
| LGNMOZ     | gewastype  |  | WOFOST              | [-]                                | S/G         |                          |                                     |
| P_input    | Neerslag   | yyyyymmdd00000_xxxx_region_P_input_xxxx.nc         | Input               | mm                                 | S/G         |                          | measuredPrecipitation               |
| S01        | Beschikbaar vochtgehalte in bodem                            | yyyyymmdd00000_xxxx_region_S01_xxxx.nc             | (Meta)SWAP          | m                                  | S/G         | 1000                     | availableSoilWater                  |
| Ssd01      | Vochttekort  | yyyyymmdd00000_xxxx_region_Ssd01_xxxx.nc           | (Meta)SWAP          | m                                  | S/G         |                          |                                     |
| Trel       | droogtestress  | yyyyymmdd00000_xxxx_region_Trel_xxxx.nc            | (Meta)SWAP          | [-]                                | S/G         |                          | relativeTranspiration               |
| TrelDry    | droogtestress  |  | SWAP                | [-]                                |             |                          |                                     |
| Irrigation | Beregening   |  | FEEDBACK            | mm                                 | S/G         |                          | irrigationMM                        |
| Draagkrac  | indicator draagkracht bodem                                  | yyyyymmdd00000_xxxx_region_Draagkracht_xxxx.nc     | Postproces metaswap | [-]                                | S/G         |                          | trafficability                      |
| -          | Huidig gewas status  |  | FEEDBACK            |                                    |             |                          |                                     |
| T_input    | gemiddelde temperatuur                                       | yyyyymmdd00000_xxxx_region_T_input_xxxx.nc         | Input               | oC                                 | S/G         |                          | averageTemperature                  |
| Tmin_inp   | minimum temperatuur  | yyyyymmdd00000_xxxx_region_Tmin_input_xxxx.nc      | Input               | oC                                 | S/G         |                          |                                     |
| Tmax_inp   | maximum temperatuur  | yyyyymmdd00000_xxxx_region_Tmax_input_xxxx.nc      | Input               | oC                                 | S/G         |                          |                                     |
| E_input    | Makkink verdamping   | yyyyymmdd00000_xxxx_region_E_input_xxxx.nc         | Input               | mm                                 | S/G         |                          |                                     |
| Rg_input   | straling   | yyyyymmdd00000_xxxx_region_Rg_input_xxxx.nc        | Input               | KJ/m2                              | S/G         |                          |                                     |
| Relhum_i   | Luchtvochtigheid   | yyyyymmdd00000_xxxx_region_Hum_input_xxxx.nc       | Input               | %                                  | S/G         |                          | humidity                            |
| Hum_inp    | Luchtvochtigheid   | yyyyymmdd00000_xxxx_region_Hum_input_xxxx.nc       | Input               | kPa                                | S/G         |                          |                                     |
| Windspee   | Windsnelheid   | yyyyymmdd00000_xxxx_region_Windspeed_input_xxxx.nc | Input               | m/s                                | S/G         |                          |                                     |



## D Pilot 'Data Science'

Als onderdeel van 'Grow with the Flow' is het deelproject 'Data science' uitgevoerd. Doel van dit deelproject is om te onderzoeken wat de toegevoegde waarde is van machine learning voor het regionale waterbeheer in droge periodes. Daarnaast willen we samen leren hoe een data-gedreven aanpak waterbeheerders en telers kan helpen bij een zo effectief mogelijk beheer van het watersysteem in een stroomgebied.

**Onderzoeksvraag.** Onze vraagstelling luidt: 'Hoe brengen we met data-gedreven modellen de relatie tussen neerslag, bodemvocht, grondwaterstanden en afvoeren in beeld?' Het te ontwikkelen model is dus niet primair bedoeld om het systeemgedrag vooruit in de tijd te voorspellen, maar juist om terug te kijken in de tijd en de impact van droogte op de waterbeschikbaarheid te beschrijven -en waar mogelijk- te verklaren.

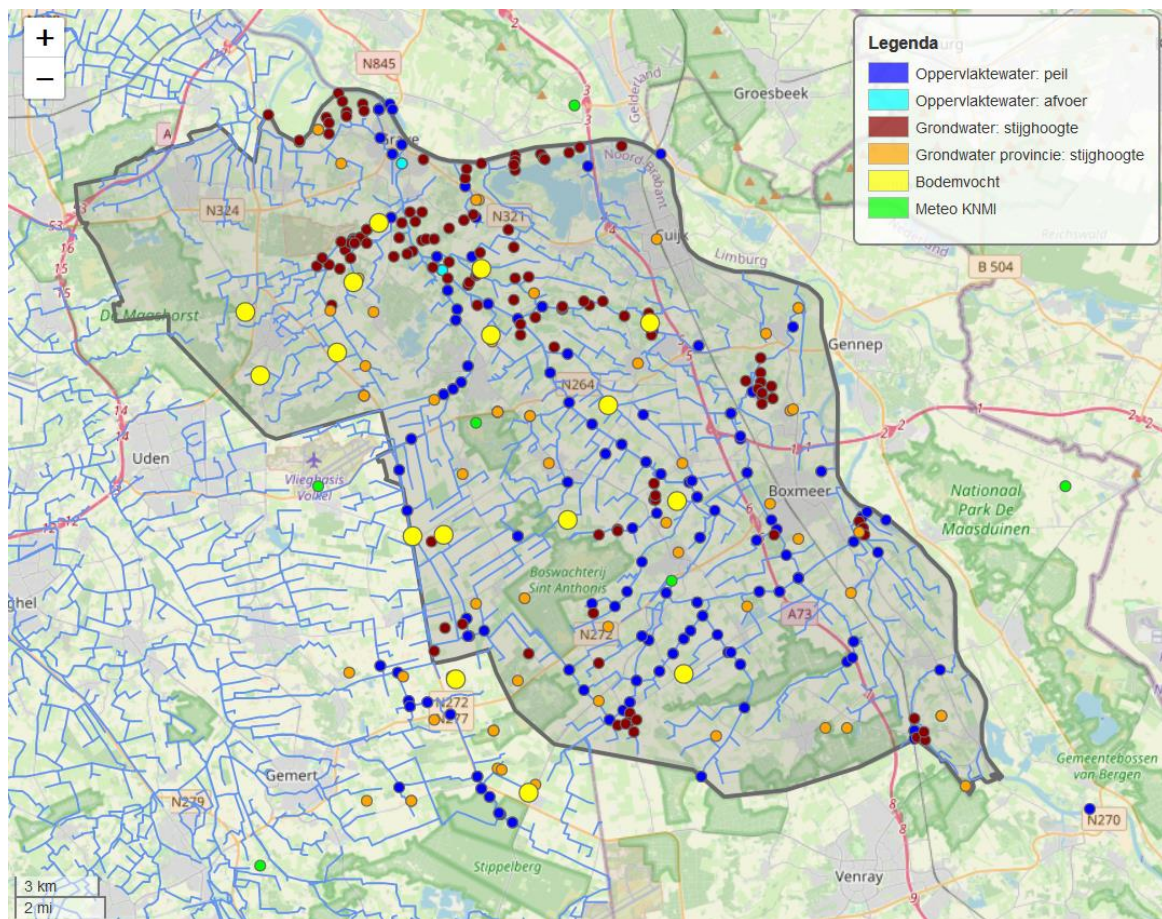


Figuur D 1. Focus van de use case 'Data science'. Met behulp van een data-gedreven model wordt de relatie tussen neerslag, bodemvocht, grondwaterstanden en afvoeren in beeld gebracht

**Modelontwikkeling.** Er is een data-gedreven model ontwikkeld om de relaties tussen meteorologische, hydrologische en bodemvochtdroogte in het stroomgebied van De Raam (Aa en Maas) in beeld te brengen en beter te begrijpen. De belangrijkste relaties zijn samengevat in Figuur D 1. Omdat op voorhand nog niet precies duidelijk was waaraan het model moet voldoen, is dit gezamenlijk in een aantal iteraties in meerdere kleine stappen opgebouwd.

### D.1 Pilotgebied

Het pilotgebied is het stroomgebied van 'De Raam' (zie Figuur D 2). Dit gebied is ruim 400 km<sup>2</sup> groot en valt onder het beheergebied van Waterschap Aa en Maas. De maximale N-Z afstand is circa 27 km en de maximale W-O afstand circa 33 km. In het gebied wordt op 15 locaties met sensoren al enige jaren het bodemvochtgehalte op verschillende dieptes gemeten. De meetperiode loopt van april 2016 tot heden. Deze bodemvochtmetingen vormen de basis voor de ontwikkeling van het data-gedreven model. Nabijgelegen meetpunten van andere parameters (stijghoogte, afvoer, waterpeil, etc.) en bodemvochtgehalten afgeleid uit satellietdata zijn ook gebruikt in het model.



Figuur D 2. Pilotgebied 'De Raam' met meetpunten voor bodemvocht, waterpeil, afvoer, stijghoogte en meteodata (neerslag en verdamping)

## D.2 Beschikbare data

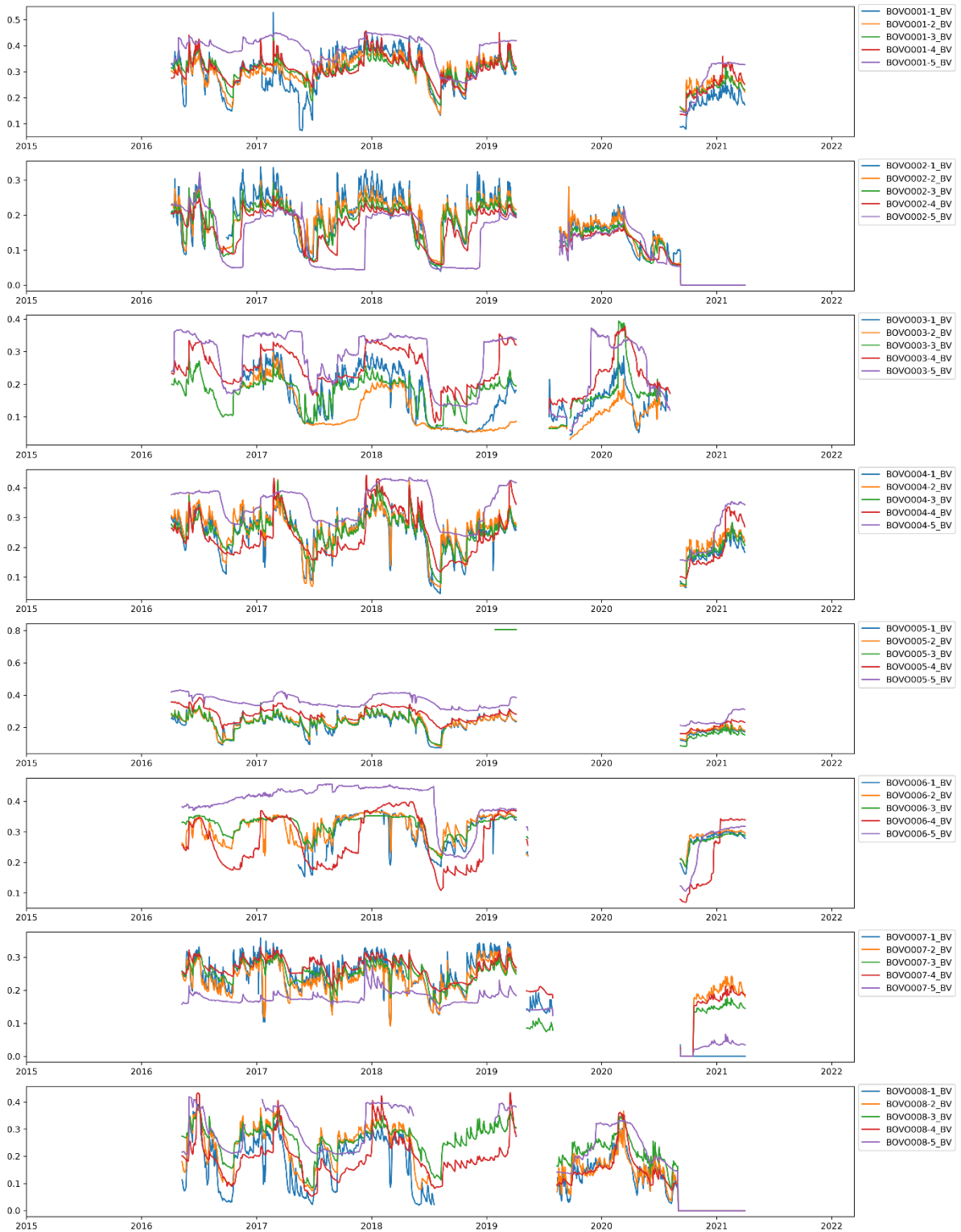
Er zijn metingen beschikbaar van bodemvocht (in-situ en satelliet), neerslag, verdamping, oppervlaktewaterafvoer, oppervlaktewaterstand (vaak met bijbehorende stuw-/klepstanden) en grondwaterstijghoogtes. Daarnaast is een overzicht beschikbaar van onttrekkingen per agrarisch bedrijf per jaar. Dit zijn vergunde sommen, geen meetwaarden. De beschikbare meetdata zijn samengevat in Tabel D 1.

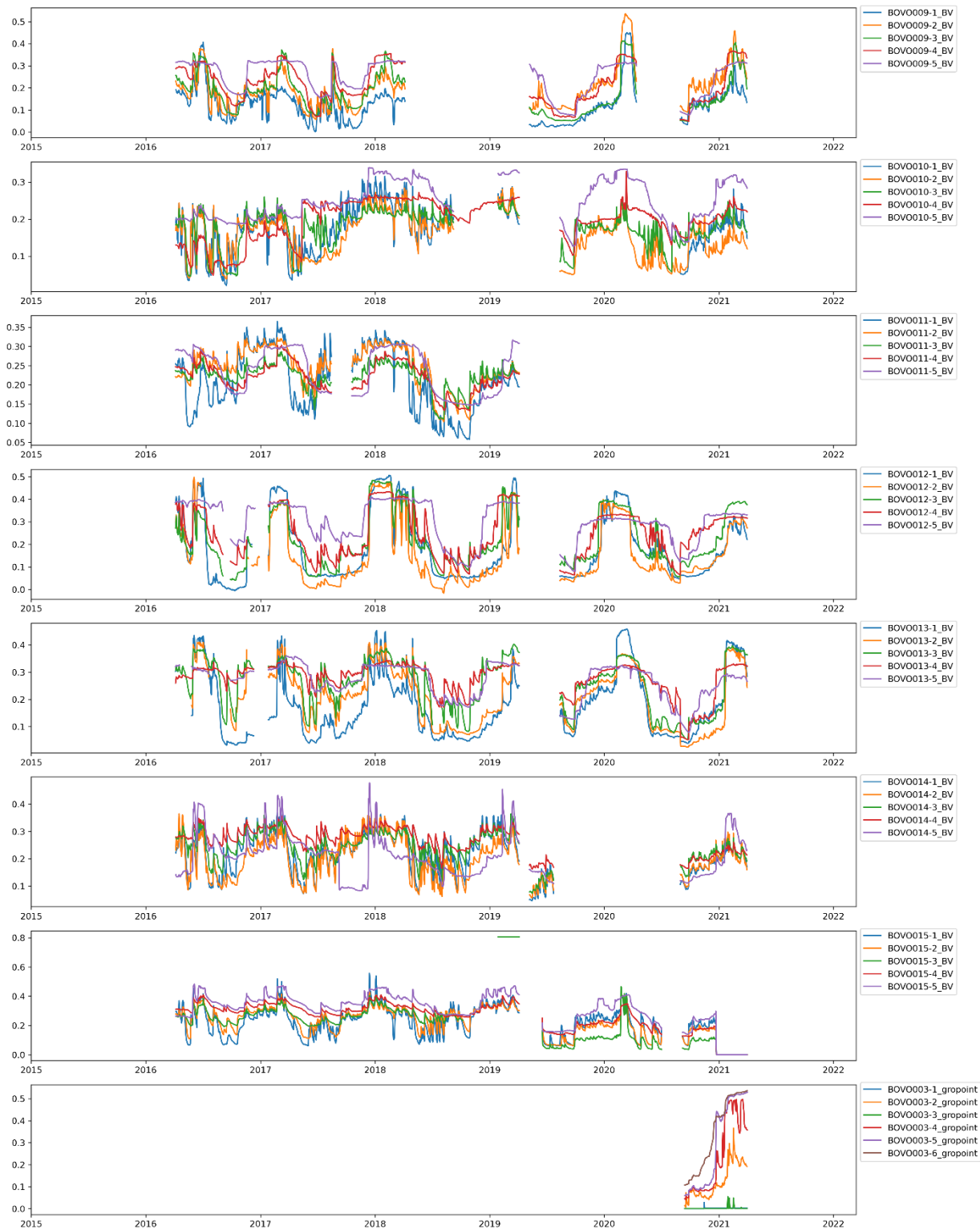
Tabel D 110.2. Overzicht beschikbare meetdata

| PARAMETER          | BRON       | PERIODE     | OMSCHRIJVING  |
|--------------------|------------|-------------|---|
| Bodemvocht         | Aa en Maas | 2016 – 2021 | 15 locaties (freq: 1x per 15 min)   |
| Bodemvocht         | VanderSat  | 2016 – 2021 | GLEAM – REAN – DA: grid 100 x 100 m <sup>2</sup> (freq: 1x per dag) en 15 gridpunten (freq: 1x per dag)               |
| Bodemvocht         | VanderSat  | 2016 – 2021 | SMAP: grid 100 x 100 m <sup>2</sup> (freq: 1x per dag) en 15 gridpunten (freq: 1x per dag)                            |
| Neerslag           | Hydronet   | 2016 – 2021 | grid 1 x 1 km <sup>2</sup> (freq: 1x per uur)   |
| Neerslag           |            | 2015 – 2021 | 8 KNMI meetstations waarvan 2 locaties in pilotgebied (St Anthonis en Mill) en 6 locaties eromheen (freq: 1x per dag) |
| Verdamping         | KNMI       | 2015 – 2021 | KNMI station Volkel circa 2km ten westen van pilotgebied (freq: 1x per uur)   |
| Afvoeren           | Aa en Maas | 2015 – 2021 | 1 locatie Q – H relatie bij stuw (freq: 1x per uur), 1 locatie ADM (freq: 1x per uur)                                 |
| Waterstanden       | Aa en Maas | 2015 – 2021 | 125 locaties (freq: 1x per dag)   |
| Stuwstanden        | Aa en Maas | 2015 – 2021 | 77 van 125 locaties (tijdstippen van verandering)   |
| Stijghoogtes       | Aa en Maas | 2015 – 2021 | 150 peilbuizen (freq: 1x per dag of 1x per uur)   |
| Onttrekkingsputten | Aa en Maas | 2014 – 2020 | beschikbaar voor circa 3.000 locaties (volumes per put per jaar)  |

**In-situ bodemvocht.** Figuur D 3 laat de tijdreeksen van het bodemvocht op de meetlocaties in het pilotgebied zien. Het bodemvochtgehalte wordt gemeten op dieptes van 5, 10, 20, 40 en 80cm onder het maaiveld. Uit de figuur blijkt dat geen van de tijdreeksen compleet is. Ze bevatten allemaal meerdere gaten. De databeschikbaarheid van de bodemvochtmetingen is samengevat in Figuur D 4.

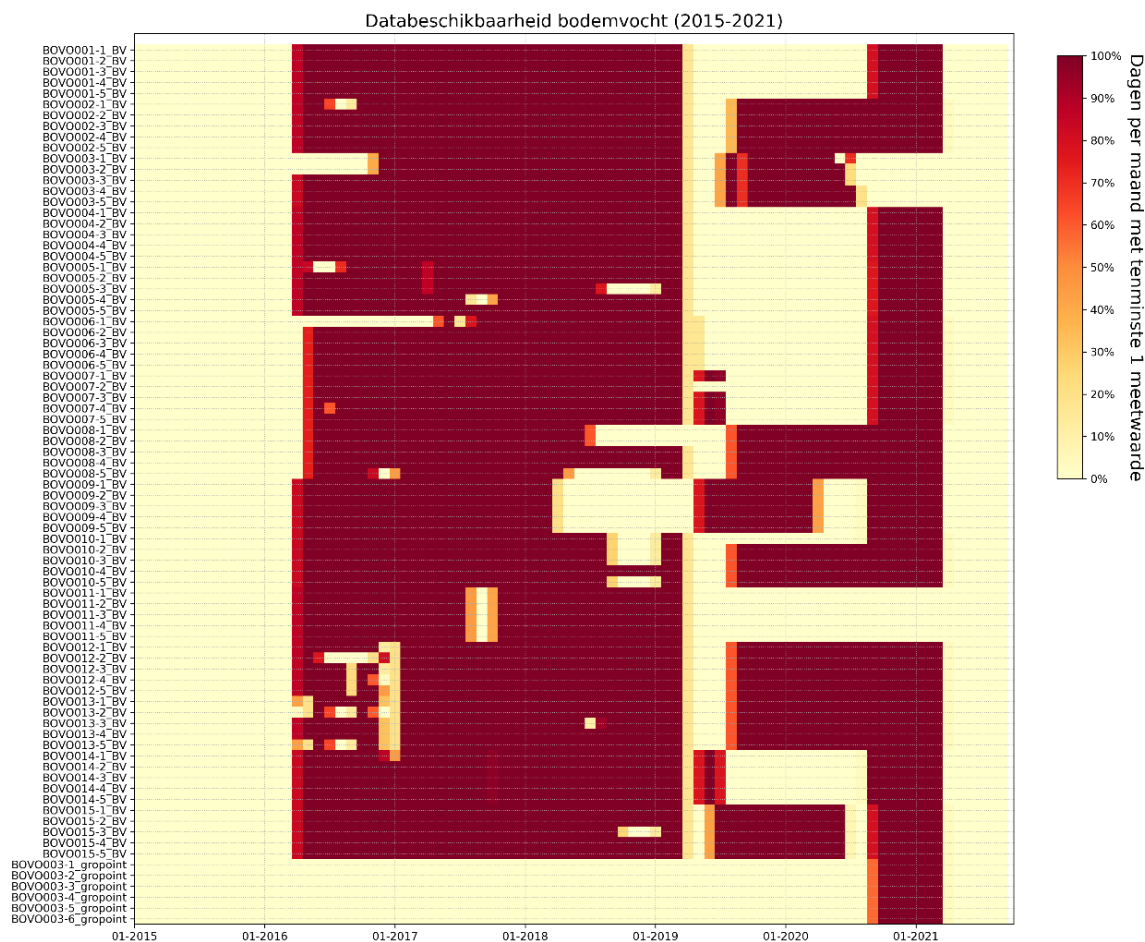
Verder is het belangrijk om te melden dat de sensor van meetlocatie 'BOVO010' in april 2017 verplaatst is naar een ander perceel. Beschouwd vanuit omgevingscondities is dit dus geen continue meetreeks. Op locatie 'BOVO003' is eind 2020 de bodemvochtmeetopstelling vervangen door nieuwe apparatuur.





Figur D 3. Meetreeksen bodemvocht op 15 locaties in het pilotgebied





Figuur D 4. Beschikbaarheid van bodemvochtmetingen in de periode april 2016 tot april 2021

**Satelliet bodemvocht.** VanderSat heeft twee bodemvocht producten beschikbaar gesteld voor het project: GLEAM-REAN-DA en SMAP. De basis van SMAP is het satellietbeeld van 36km x 36 km dat met behulp van een gepatenteerde techniek wordt bewerkt om tot een fijnere resolutie te komen. De basis van GLEAM-REAN-DA is het GLEAM model dat wordt geassimileerd met de bewerkte SMAP data.

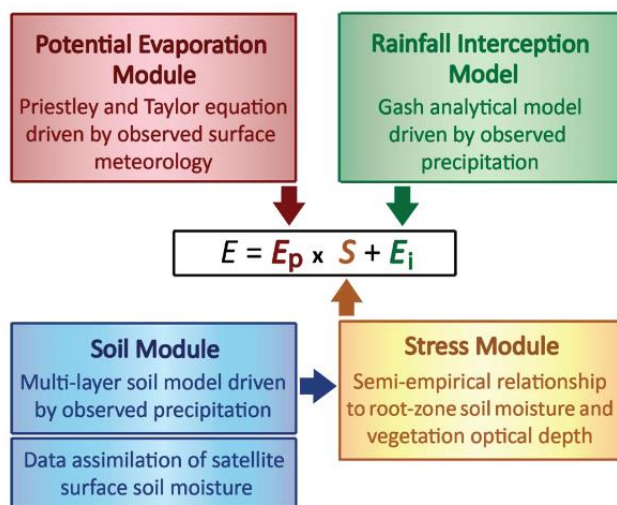
De SMAP data is afkomstig van de SMAP satelliet (alleen L-band radiometer, geen radar). Deze satelliet levert bodemvochtgehalten op globale schaal met 36 km resolutie. Dus 1 beeld voor het hele stroomgebied van 'De Raam'.

De GLEAM-REAN-DA data komt tot stand door de uitkomsten van het mondiale verdampingsmodel GLEAM (Global Land Evaporation Amsterdam Model)<sup>3</sup> te assimileren met behulp van bodemvocht-data afkomstig van de SMAP satelliet.<sup>4</sup> Het GLEAM model bestaat uit een viertal modules: (1) potentiële verdamping, (2) vegetatie-stress, (3) neerslag en neerslaginterceptie en (4) bodemvocht (zie figuur D 5).

<sup>3</sup> <https://www.gleam.eu/>

<sup>4</sup> Martens et al. (2018). Towards Estimating Land Evaporation at Field Scales Using GLEAM. Remote Sensing, 10, 1720. doi:10.3390/rs10111720

Voor de GLEAM-REAN-DA data wordt het model gedraaid met gereconstrueerde en gevalideerde neerslagdata van het KNMI en worden gecorrigeerde beelden voor een aantal satelliet-databronnen toegevoegd aan de modelinvoer. Door middel van data-assimilatie wordt het door GLEAM berekende bodemvocht in overeenstemming gebracht met de satellietbeelden (SMAP data).



Figuur D 5. GLEAM mondiaal verdampingsmodel ([https://presentations.copernicus.org/EGU2019/EGU2019-6618\\_presentation.pdf](https://presentations.copernicus.org/EGU2019/EGU2019-6618_presentation.pdf))

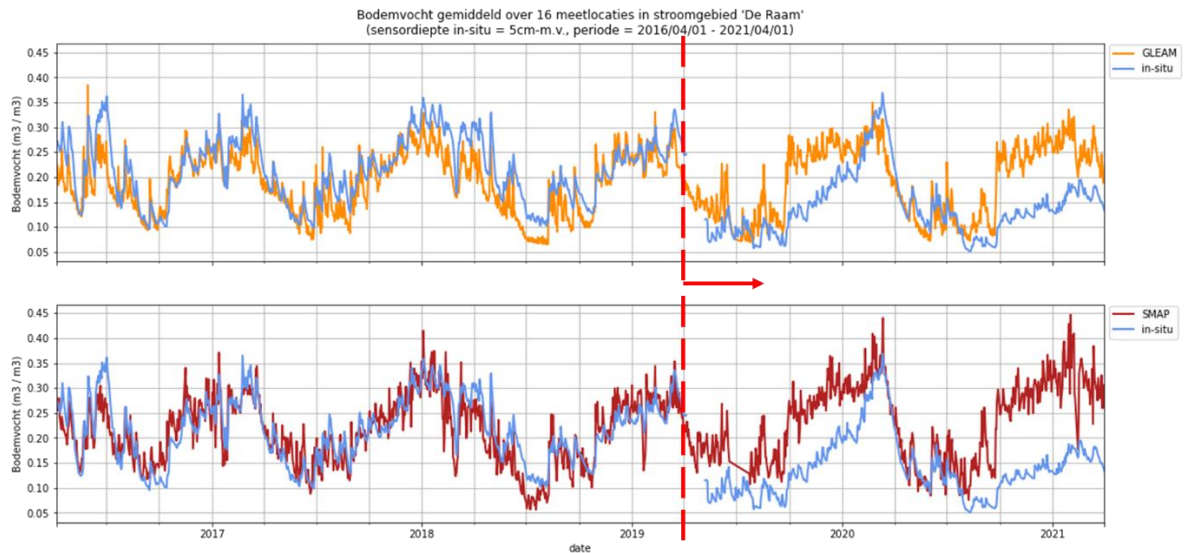
### D.3 Dataverkenning

Ter voorbereiding van de bouw van het data-gedreven model is een uitgebreide dataverkenning uitgevoerd. Onderstaand zijn de belangrijkste bevindingen hieruit samengevat.

**Bruikbaarheid in-situ bodemvochtmetingen.** De in-situ bodemvochtmetingen zijn op twee manieren beschikbaar: (1) via het waterschap en (2) uit de 4TU-repository<sup>5</sup>. De data in de 4TU-repository loopt van april 2016 tot april 2019. De data van het waterschap loopt van april 2016 tot heden. In de 4TU-repository zijn de reeksen tot april 2019 goed gedocumenteerd. Na 4 april 2019 heeft het waterschap de bodemvochtmeetpunten zelf in beheer genomen en vertonen de reeksen de grote gaten. Er zijn toen hoogstwaarschijnlijk nieuwe dataloggers geplaatst. Dit zou de verandering in de in-situ metingen na die datum kunnen verklaren. De verhouding tussen het ruimtelijk gemiddelde van de in-situ bodemvochtmetingen en de satellietmetingen (VanderSat GLEAM) is vanaf dat moment omgedraaid (Figuur D 6). Ervoor was het gemiddelde van de in-situ metingen het grootst, erna juist het gemiddelde van de satellietdata. De exacte oorzaak hiervan hebben we niet kunnen achterhalen. Voor de use case zijn alleen de data vanaf april 2016 tot april 2019 gebruikt.

<sup>5</sup> <https://doi.org/10.4121/uuid:dc364e97-d44a-403f-82a7-121902deeb56>,  
<https://doi.org/10.4121/uuid:afb36ac8-e266-4968-8f76-0d1f6988e23d>,  
<https://doi.org/10.4121/uuid:b68e3971-c73e-4d7f-b52f-9ef7d7fe1ed2>

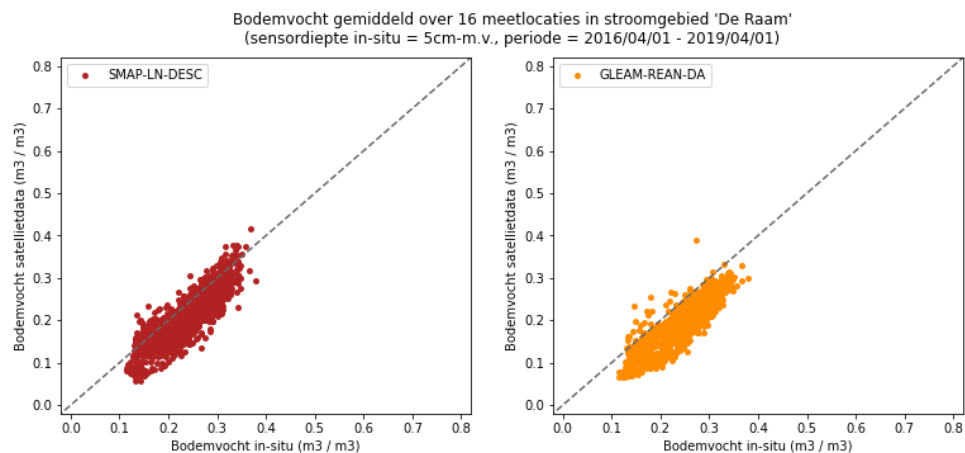




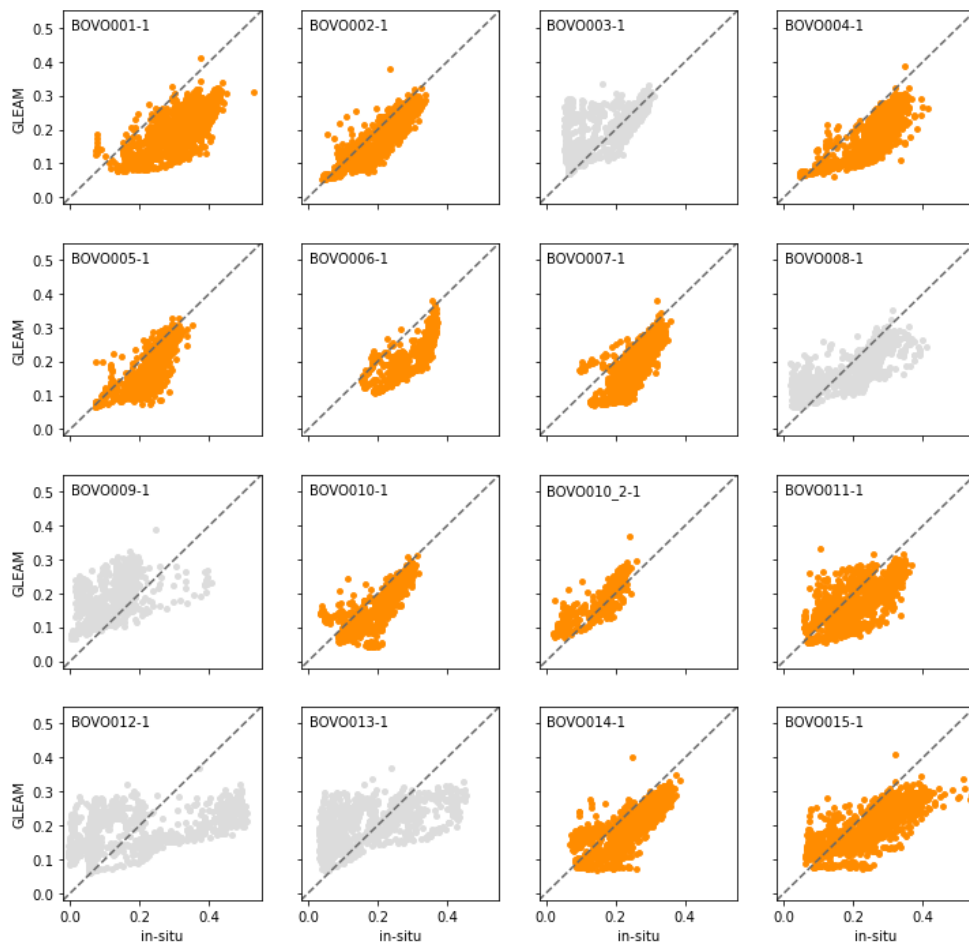
Figuur D 6. Vergelijking tussen in-situ bodemvochtmetingen en satellietdata voor en na april 2019. Rechts van de onderbroken rode lijn is de verhouding tussen in-situ metingen en satellietdata omgekeerd. Beide zijn gemiddeld over het stroomgebied

**Representativiteit satellietdata bodemvocht.** Op de schaal van het stroomgebied van De Raam is de match tussen in-situ bodemvocht en satellietdata redelijk goed (Figuur D 7). Hoewel de SMAP data veel minder bewerkt zijn, lijken ze een iets betere fit te hebben met de in-situ metingen.

Op perceelniveau is de fit tussen satellietdata en in-situ metingen veel minder goed. Het verschilt ook duidelijk per meetlocatie. De subplots laten per meetpunt de relatie tussen de satellietdata en in-situ gemeten bodemvochtgehalten op 5cm diepte zien. Alleen de locaties met oranje stippen zijn meegenomen in de verdere analyse. De andere in-situ meetreeksen bevatten wat gaten en mankementen.



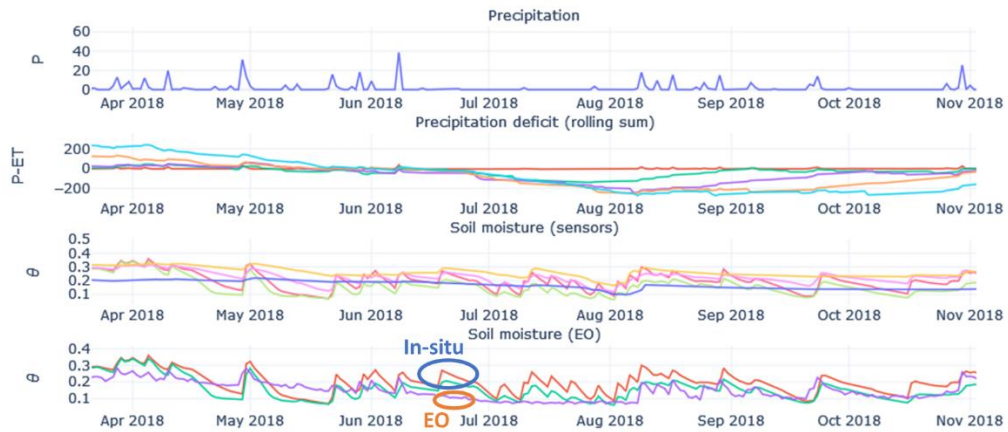
Figuur D 7. Vergelijking tussen in-situ bodemvochtmetingen en satellietdata op de schaal van het stroomgebied



Figuur D 8. Vergelijking tussen in-situ bodemvochtmetingen en satellietdata op perceelniveau

**Berekening niet zichtbaar in satellietdata.** In de satellietdata is het effect van beregening niet zichtbaar. Dat is bijvoorbeeld te zien in de maand juni van 2018 (Figuur D 9). Het in-situ gemeten bodemvochtgehalte stijgt dan zonder dat het geregend heeft. Dit kan alleen door beregening komen. De satellietdata laat echter geen verandering in bodemvocht zien. Het is logisch dat beregening niet zichtbaar is, omdat dit nergens in het GLEAM bodemvocht product wordt meegenomen. De resultaten van het GLEAM model op 100m x 100m schaal vormen de basis van de bodemvochtdata op basis van GLEAM. In de SMAP satellietdata is een verandering op perceelniveau ook niet terug te zien vanwege de resolutie van 36km x 36km. De SMAP-data wordt gebruikt om de GLEAM bodemvochtgehalten mee te assimileren.

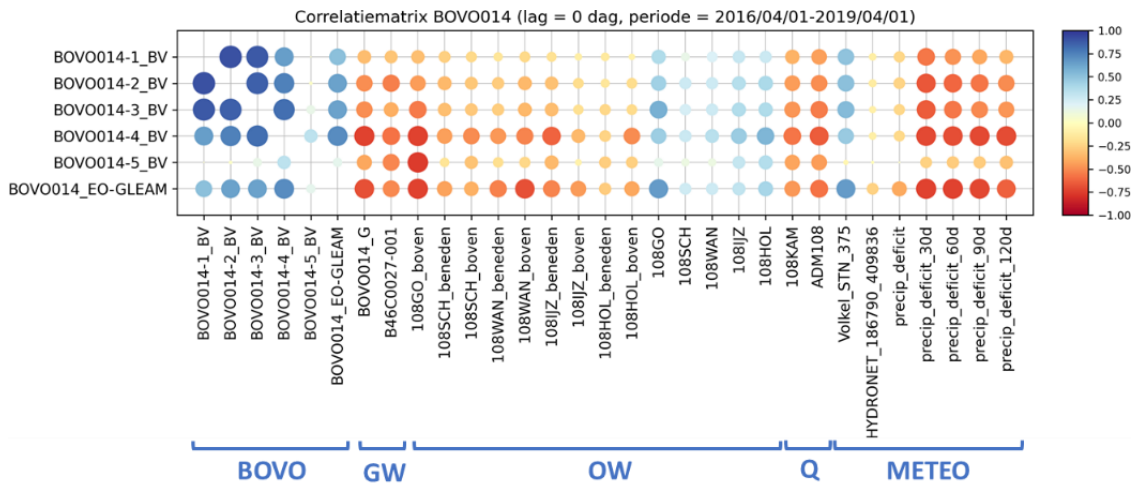
## BOVO014



Figuur D 9. Vergelijking van respons van in-situ metingen en satellietdata op neerslag en verdamping. Berekening is niet zichtbaar in satellietdata

**Relaties met hydrologische parameters.** De correlatie tussen (1/bodemvocht) en verschillende hydrologische en meteorologische parameters is weergegeven in Figuur D 10. Een positieve correlatie is blauw, een negatieve rood. Hoe groter de stip, des te groter de absolute waarde van de correlatie. Er is gekozen voor (1/bodemvocht) om juist periodes met lage waarden te benadrukken en niet periodes met hoge waarden, want dan is het neerslagoverschot voldoende groot.

De relaties tussen in-situ bodemvocht en de overige hydrologische parameters zijn anders dan die tussen satellietdata en die parameters. Dat geeft de indruk dat een beschrijvend model voor het verschil tussen in-situ bodemvocht en satellietdata, waarin hydrologische en meteorologische parameters verwerkt zijn meerwaarde kan hebben



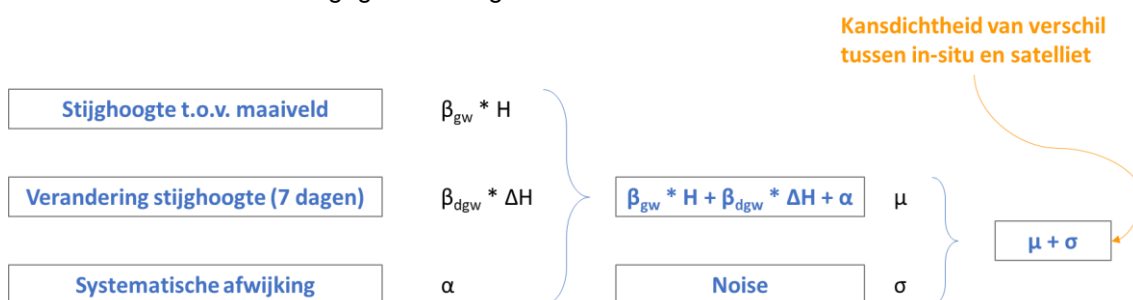
## D.4 Modelling

De data laten zien dat bodemvocht gemeten met in-situ sensoren en satellietdata vaak aanzienlijk verschillen, o.a. berekening is niet zichtbaar in satellietdata. Daarom hebben we ervoor gekozen om een model te bouwen dat de verschillen tussen in-situ metingen en satellietdata verklaart op basis van parameters die niet expliciet in het satellietproduct GLEAM-REAN-DA product van VanderSat zitten. Dit model maakt gebruik van de volgende databronnen: bodemvocht (in-situ en satelliet), neerslag (radar gecombineerd met grondstations uit Hydronet), verdamping (KNMI station Volkel), grondwaterstijghoogtes, oppervlaktewaterstanden en afvoeren.

**Aanscherping onderzoeksvraag.** Onze onderzoeksvraag voor de modellering luidt als volgt: “Kunnen verschillen in bodemvocht op perceelschaal verklaard worden met lokale data?” Om deze vraag te beantwoorden wordt per bodemvocht meetlocatie een data-gedreven model opgesteld dat is gebaseerd op parameters die niet expliciet in GLEAM-REAN-DA zitten. In essentie is de aanname in het GLEAM model dat de water- en energiebalans van de onverzadigde zone voldoende nauwkeurig beschreven kan worden op basis van neerslag, verdamping en stralingsenergie. Wij proberen dit te verfijnen door de ‘onderrandvoorwaarde’ van grondwaterstijghoogte (of iets verder weg oppervlaktewaterstanden en –afvoeren) toe te voegen aan het model.

**Modelinvoer.** Per bodemvocht meetlocatie zijn de beschikbare metingen (in-situ bodemvochtgehalte, bodemvocht uit satellietdata, grondwaterstijghoogtes, neerslag en verdamping) gebundeld. Er is gekeken naar omliggende meetpunten binnen een acceptabele straal. Alleen meetpunten met voldoende data zijn meegenomen als input voor het model.

**Beschrijvend model.** Er is een beschrijvend model opgesteld voor het verschil tussen in-situ bodemvochtmetingen en satellietdata. De modeluitkomst is per tijdstip een verwachtingswaarde van het bodemvochtgehalte inclusief een onzekerheidsband (80%). Het model is lineair en bestaat uit de componenten (1) stijghoogte t.o.v. maaiveld, (2) verandering van stijghoogte in afgelopen 7 dagen en (3) systematische afwijking (bias). Elke component heeft een eigen coëfficiënt ( $\beta_{GW}$ ,  $\beta_{DGW}$  en  $\alpha$ ). Deze componenten samen bepalen de gemiddelde verwachting van het bodemvochtgehalte. Hierbij wordt nog een ruis term ( $\sigma$ ) opgeteld. De som is de kansdichtheid van het verschil tussen in-situ en satellietmetingen. Het model is schematisch weergegeven in Figuur D 11.



Figuur D 11. Beschrijvend model voor verschillen in bodemvocht tussen in-situ metingen en satellietdata op perceelschaal

**Op basis van Bayesiaanse statistiek.** Het beschrijvend model maakt gebruik van Bayesiaanse statistiek. Deze vorm van statistiek is gebaseerd op de 'stelling van Bayes'. De stelling van Bayes gaat over conditionele kansen, d.w.z. waarschijnlijkheden van uitspraken die afhankelijk zijn van de feiten die aan deze uitspraken ten grondslag liggen. In Bayesiaanse statistiek is het samenbrengen van oude en nieuwe informatie een belangrijk uitgangspunt. Een Bayesiaanse analyse werkt met drie basis bouwstenen: 'prior', 'likelijkheid' en 'posterior'. Dit zijn kansverdelingen die uitdrukken hoe waarschijnlijk bepaalde waarden van bijvoorbeeld het verschil in bodemvocht zijn gegeven een bepaalde grondwaterstand. Prior en likelijkheid (oude en nieuwe informatie) worden in een Bayesiaanse analyse gecombineerd in de posterior- of a-posteriori-verdeling. We spreken ook wel van 'Bayesiaans updaten'. In essentie gaat de stelling van Bayes dus over het aanpassen van waarschijnlijkheden op basis van nieuwe gegevens. Hoe meer nieuwe gegevens toegevoegd worden, des te kleiner de onzekerheid in de resultaten. Een voorbeeld van Bayesiaans updaten is het combineren van metingen van rivierafvoeren met aanvullende historische informatie (bijv. in de vorm van streepjes van maximale waterstanden op de kerkmuur). De subjectieve a-priori informatie kan samengevat worden in een a-priori kansverdeling. De kern van de Bayesiaanse aanpak is in dit geval dat een subjectieve a-priori kans (de streepjes op de kerk) gecombineerd met objectieve metingen (de actuele waterstandsmetingen) tot een a-posteriorikans.

**PyMC3.** Het Python package PyMC3 is gebruikt om de modellen op te bouwen<sup>6</sup>. PyMC3 is een 'probabilistic programming' package voor Python waarmee gebruikers Bayesiaanse modellen kunnen bouwen met een grote variëteit aan numerieke methodes (bijv. Markov chain Monte Carlo en variational inference).

## D.5 Resultaten

Voor vijf bodemvocht meetlocaties is een model opgesteld. Met dit model kan per meetlocatie voor de periode april 2016-april 2019 de verwachtingswaarde en het 80%-interval van het bodemvochtgehalte berekend worden. De resultaten zijn weergegeven in Figuur D 12.

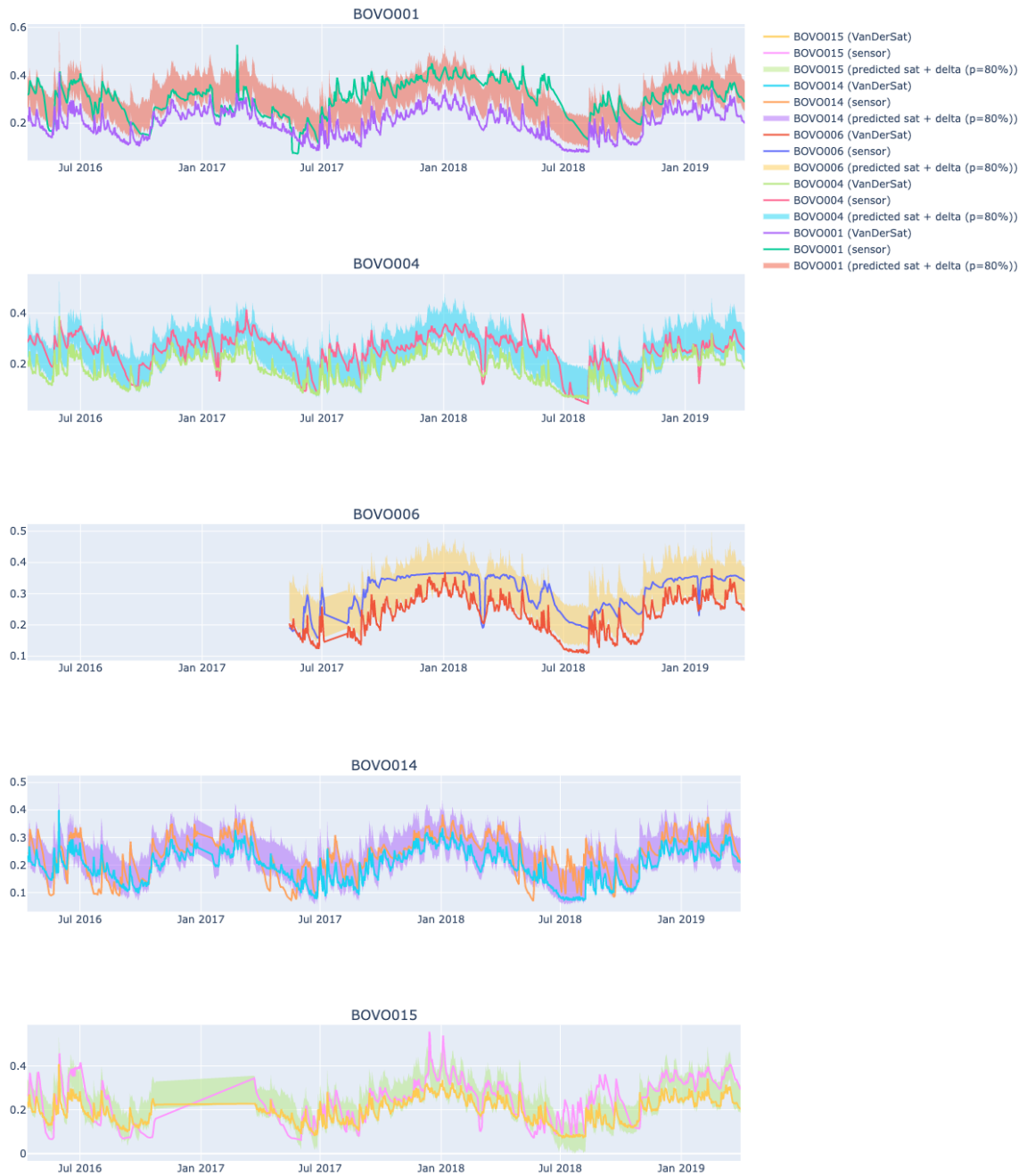
**Verwachtingswaarde per meetpunt.** In elke subplot van Figuur D 12 zijn per meetpunt de in-situ bodemvochtmeting, de satellietwaarneming en het 80% interval van de verwachtingswaarde uit het model afgebeeld. De systematische afwijking ( $\alpha$ ) bepaalt de verwachtingswaarde van de onzekerheidsband. De onzekerheid in de geschatte  $\beta$ -coëfficiënten is bepalend voor de breedte van de band.

**Relaties per meetpunt verschillend.** Uit de figuur blijkt dat er voor elk meetpunt een specifieke verhouding bestaat tussen in-situ metingen, satellietdata en verwachtingswaarde. Dit betekent dat de relaties per meetpunt verschillend zijn. Dit blijkt ook uit de posterior verdeling van de verschillende coëfficiënten die per meetpunt verschillend is (Figuur D 13). De posterior verdeling van de noise ( $\sigma$ ) is voor alle meetpunten min of meer normaal verdeeld. Dat geeft aan dat de modelaannname van normaal verdeelde ruis klopt.

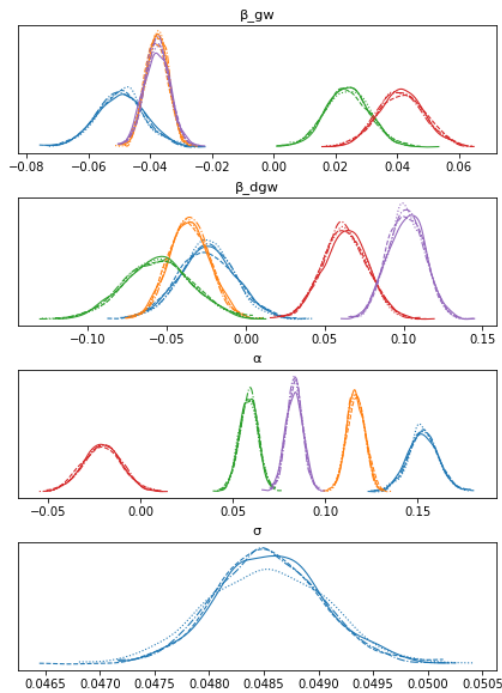
**Beschrijvend model nog onvoldoende onderscheidend tussen locaties.** Figuur D 13 laat zien dat de coëfficiënten per locatie verschillende waarden krijgen. Dit betekent dat het huidige model nog onvoldoende kan generaliseren over de locaties. Waarschijnlijk ontbreekt er nog een variabele die medebepalend is voor het verschil tussen in-situ metingen en satellietdata. Mogelijke aanvullende informatiebronnen zijn: bodemeigenschappen en gewas (ook NDVI satellietdata).

---

<sup>6</sup> <https://docs.pymc.io/en/v3/>



Figuur D 12. Modelresultaat voor een aantal bodemvocht meetpunten



Figuur D 13. Posterior verdeling van model coëfficiënten per bodemvocht meetpunt

## D.6 Vooruitblik

In de volgende stap willen we onderzoeken hoe de modelresultaten verder verbeterd kunnen worden. De resultaten kunnen mogelijk verbeterd worden door aanpassingen in de modelinvoer, de modeluitvoer en/of de modelopzet.

Aan de kant van de modelinvoer denken we aan:

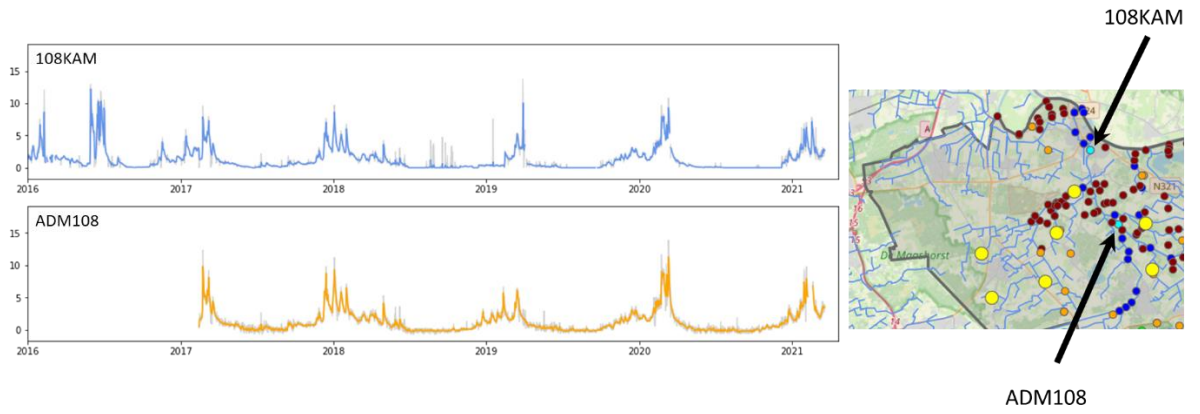
- BOFEK 2012
- Gewas
- SAR (Sentinel-1) en NDVI (Landsat/MODIS/Sentinel-2) satellietdata
- Waterstand / afvoer oppervlaktewater
- Tijdsverschuiving t.o.v. bodemvochtmeting
- Meerdere parameters (en hun correlaties)

Aan de kant van de modeluitvoer denken we aan:

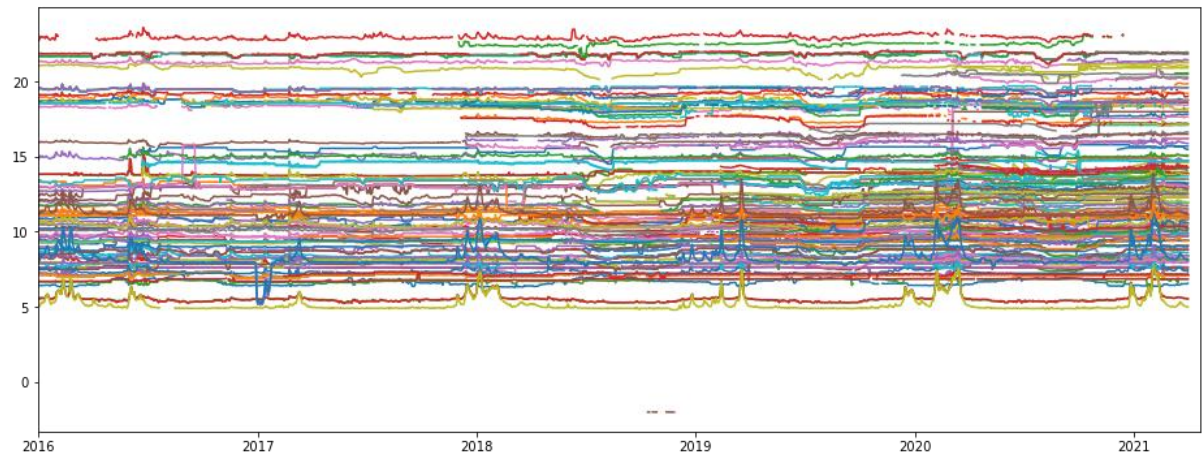
- Bodemvocht op andere dieptes
- Dieptegemiddeld bodemvocht



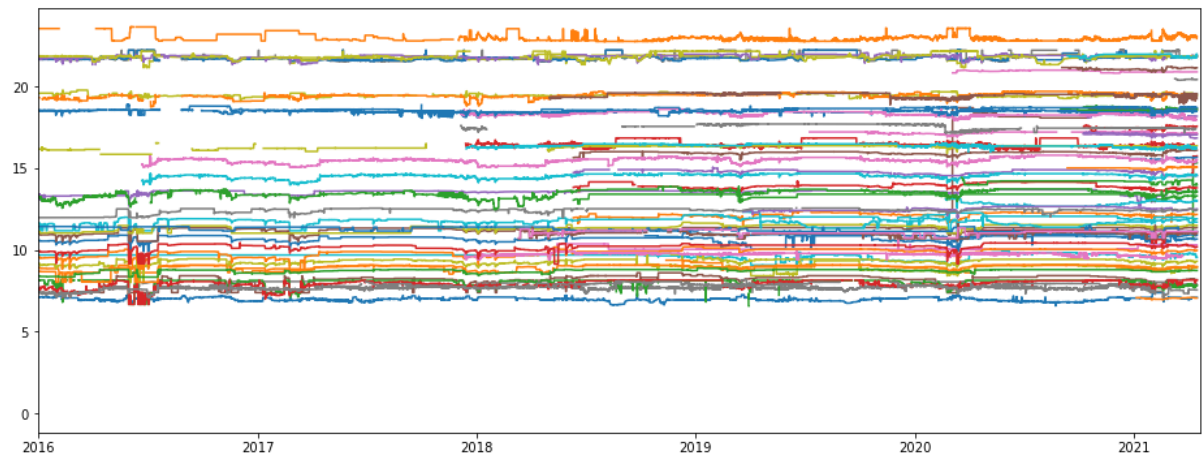
## D.7 De tijdreeksen



Figuur D 14. Tijdreeksen afvoer 'De Raam'

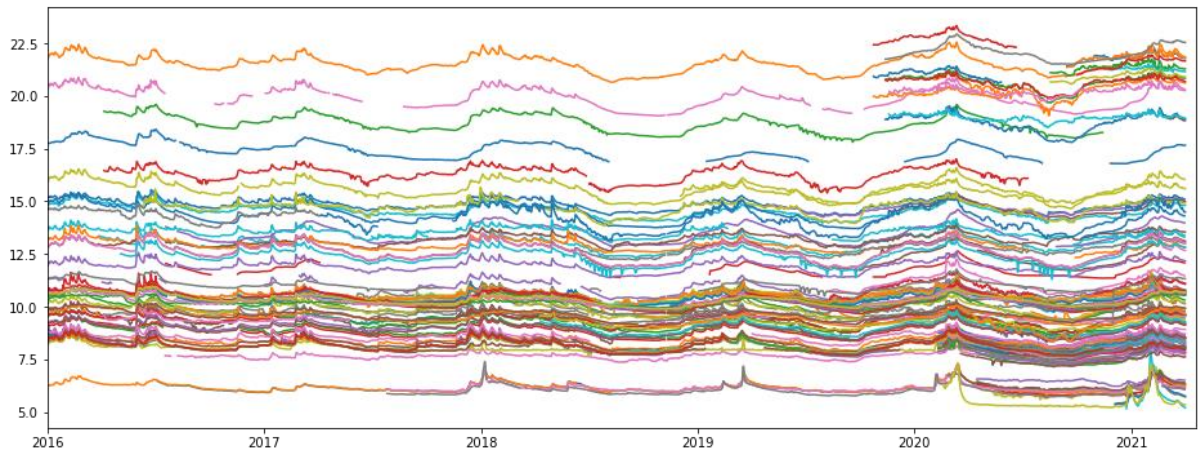


Figuur D 15. Tijdreeksen oppervlaktewaterpeil stroomgebied 'De Raam'



Figuur D 16. Tijdreeksen klepstanden stroomgebied 'De Raam'





Figuur D 17. Tijdreeksen grondwaterstijghoogtes stroomgebied 'De Raam'

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

**Deltares**

[www.deltares.nl](http://www.deltares.nl)