

# Gezuiverd afvalwater voor subirrigatie

Technisch rapport bij project KML20/GG/LEA/02

Auteurs: Tom Coussement, Dries De Bièvre, Jonas Verellen, Simon Cook, Ward Lorenz, Frank Elsen (BDB)  
Mateusz Zawadzki, Lara Speijer, Marijke Huysmans (VUB)  
Birte Raes (Aquafin)  
Steve Meuris (Boerenatuur Vlaanderen)

Publicatiedatum: 20/12/2024

Rapportversie: v1

Aantal pagina's: 45

Promotor: Bodemkundige Dienst van België  
W. De Croylaan 48  
3001 Heverlee

Copromotoren: Vrije Universiteit Brussel  
Pleinlaan 2  
1050 Elsene

Aquafin  
Dijkstraat 8  
2630 Aartselaar

Boerenatuur Vlaanderen  
Diestsevest 40  
3000 Leuven



Projectcode BDB: P/OO/492  
Projectperiode: Van 1/07/2020 tot 30/06/2023  
Financiering:



Referentie: Indien van toepassing dient gerefereerd te worden naar dit document als volgt:  
Coussement T., De Bièvre D., Verellen J., Cook S., Lorenz W., Elsen F., Zawadzki M., Speijer M., Huysmans M., Raes B., Meuris S. (2024). Gezuiverd afvalwater voor subirrigatie - technisch rapport bij project KML20/GG/LEA/02. Bodemkundige Dienst van België, Vrije Universiteit Brussel, Aquafin en Boeren natuur Vlaanderen. 55 pp. Referaat enkel na schriftelijke toelating door de opdrachtgever.

Kwaliteitsbewaking: Het project valt onder het toepassingsgebied en de onderzoeksafdeling die gecertificeerd is met het ISO9001:2015 label door KIWA. Dit houdt in dat voortdurend gestreefd wordt naar kwaliteitsverbetering, zowel op het gebied van onderzoek, studieopdrachten, projectwerking als terrein- en proefveldwerking.

## Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Aanleg van het subirrigatiesysteem op de pilotsite</b>	<b>3</b>
2.1	Locatie	3
2.2	Proefopzet	5
2.2.1	Aanleg van het buizen netwerk	6
2.2.2	Aankoppeling op het instroompunt aan de RWZI	8
2.2.3	Technische testen van de subirrigatie	10
2.3	Monitoring	12
2.3.1	Agronomische monitoring	12
2.3.2	Hydrologische monitoring	13
2.3.3	Monitoring en opvolging van de waterkwaliteit	14
2.3.4	Monitoring in de sectorale en maatschappelijke perceptie en ontwikkeling communicatiestrategie	14
<b>3</b>	<b>Agronomische resultaten</b>	<b>15</b>
3.1	Groeiseizoen 2021	15
3.2	Groeiseizoen 2022	15
3.2.1	Subirrigatie	15
3.2.2	Agronomische resultaten	16
3.3	Groeiseizoen 2023	27
3.3.1	Subirrigatie	27
3.3.2	Agronomische resultaten	27
<b>4</b>	<b>Hydrologische resultaten</b>	<b>29</b>
4.1	Tijdreeksanalyse	29
4.2	MODFLOW	30
<b>5</b>	<b>Waterkwaliteit</b>	<b>34</b>
<b>6</b>	<b>Technische afwerking van het systeem</b>	<b>38</b>
6.1	Uitstroompunt blokken A en B	38
6.2	Telemetrische aansturing van het systeem	40
<b>7</b>	<b>Conclusies</b>	<b>43</b>
	<b>Referenties</b>	<b>45</b>

# 1 Inleiding

## Kadering en doelstellingen van het project

Om te evolueren naar een duurzaam en robuust watersysteem, is hergebruik van gezuiverd afvalwater essentieel. Door gezuiverd afvalwater te hergebruiken als een bron van water voor landbouw en vast te houden in het landschap, kan de watercyclus gesloten worden om een circulaire water economie te creëren en verdroging tegen te gaan. Subirrigatie vormt hierbij een belangrijk alternatief voor of als aanvulling van bovengrondse beregening, niet in het minst in een verdrogend klimaatscenario. Uiteraard vormt de kwaliteit van het water en van de vrucht hierbij een bijzondere zorg.

In dit project wordt als eerste realisatie in Vlaanderen hergebruik van gezuiverd afvalwater gecombineerd met de techniek van subirrigatie op een gecontroleerde en voedselveilige wijze, en met volle bekendgeving naar de landbouwsector en communicatie met de burger. Het project leidt tot waterconservering door een alternatief te vormen voor beregeningswater binnen een klimaatrevolutie met verwacht toenemend neerslagtekort tijdens het productieseizoen.

Het ruime projectgebied had in het verleden aanzienlijk te lijden onder grondwaterpeildaling en droogte. Gezien de bijzondere waterbron die de RWZI kan leveren, wordt het potentieel van gezuiverd afvalwater onderzocht via de meest voedselveilige toepassing: via subirrigatie waarbij het water nooit rechtstreeks in contact komt met de vrucht. Dankzij de inbreng van een flankerend onderzoek aan de Vrije Universiteit Brussel (VUB) kunnen de kwaliteit en de samenstelling van water, bodem en vrucht worden geanalyseerd en gemonitord.

De doelstellingen die bij het project vooropgesteld worden zijn:

- Een verdere stap zetten in de mogelijke technieken om vollegrondse landbouw van water te voorzien, hetgeen uitdrukkelijk past in mitigatiestrategieën binnen de klimaatverandering.
- Het potentieel en de limieten van subirrigatie duidelijk maken.
- De rendabiliteit van de techniek, of de voorwaarden hiervoor, verduidelijken.
- Aangeven welke strategieën best gevolgd worden bij de subirrigatie.
- Onderzoeken welke voeding of grondwaterpeilverhoging er nagestreefd kunnen worden, en dit in functie van het verloop van het seizoen en in functie van de eigenschappen van het bodemprofiel.

## Voorgeschiedenis

In 2007 geeft de Minister van Leefmilieu opdracht om het onderzoek te starten naar het nut van de ruilverkaveling Molenbeersel. Door dit onderzoek werd o.m. duidelijk dat het ruime gebied in de laatste 40 jaar ernstig te lijden heeft gehad van verdroging. Afhankelijk van ontwikkelingen en beleid in de landbouw en in klimaat kan de toekomstige watervraag er geraamd worden tussen 540.000 en 790.000 m<sup>3</sup>/jaar ([Bodemkundige Dienst van België and Libost \[2010\]](#)). Waterbronnen hiervoor zoals de Kempische kanalen of Maaswater bleken te hoge kosten in investering en uitbating te betekenen. Verder onderzoek werd gevoerd naar het potentieel van de RWZI Kinrooi. Deze loost op jaarbasis 700.000 m<sup>3</sup> effluent, weliswaar met een laag debiet in droge periodes (droogweerafvoer, DWA) en hoge debieten in de winter, tegengesteld aan de watervraag van de landbouw. Bij gebruik van dit water dienen dan ook grote buffers voorzien te worden. Hiervoor werden oplossingen ontwikkeld, maar ze vallen buiten het bestek van dit project; deze informatie is beschikbaar bij het RVK-comité (VLM). Belangrijk is dat de RWZI energetisch zeer gunstig ligt t.o.v. het RVKgebied, waardoor de pompkosten laag zullen zijn. Anderzijds bleken in die periode de publieke perceptie van hergebruik van effluent en water-

kwaliteit hinderpalen. Sindsdien, onder meer onder druk van zeer droge jaren sinds 2017, werd een wetgevend kader gecreëerd, zowel wat betreft het gezuiverde afvalwater als grondstof, als wat betreft mogelijkheden van gebruik hiervan als waterbron in de landbouw.

De landbouwpraktijk is in dit proces zeer sturend geweest. De droogte van de voorbije jaren heeft in de sector het bewustzijn aangescherpt voor de zorg voor de noodzakelijke watervoorziening in de vollegrondse productie. Een bijkomende watervoorziening kan door beregening, maar eveneens door beheer: verhoging van het grondwaterpeil waardoor teelten meer water kunnen opnemen uit de ondergrond door capillaire nalevering. Peilgestuurde drainage is hiervan een voorbeeld-techniek. Een drainage kan ook gebruikt worden in omgekeerde zin, waardoor water in de bodem wordt gebracht, het grondwaterpeil terug stijgt en/of de ondergrond bevochtigd wordt. Dit is subirrigatie. Door subirrigatie kan het grondwaterpeil lokaal verhoogd worden; dit kan drukverhoging betekenen in de ruime omgeving waardoor vernatting kan optreden ver buiten het betrokken perceel. Naast de beoogde vernatting is het bij subirrigatie voor het landbouwbedrijf essentieel de rendabiliteit te kennen van deze wijze van wateraanvoer en watergift aan de gewassen.

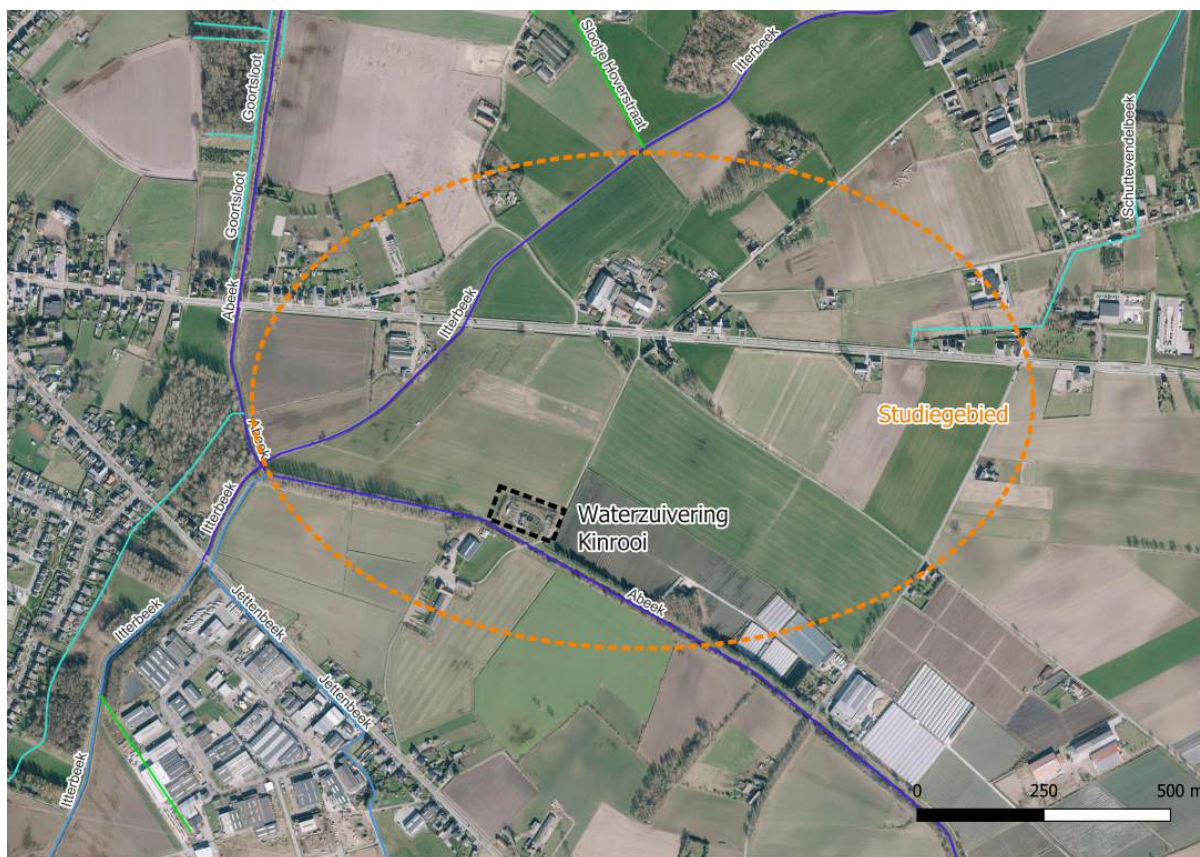
### **Beleidskader voor het gebruik van gezuiverd afvalwater voor subirrigatie**

Bij aanvang van het project werd door Aquafin op 16 december 2020 een grondstoffenverklaring aangevraagd, met als gewenste duurtijd tot 31 december 2024. De grondstoffenverklaring werd begin 2021 goedgekeurd, inclusief de gewenste duurtijd.

## 2 Aanleg van het subirrigatiesysteem op de pilotsite

### 2.1 Locatie

Het ruimte studiegebied van dit project betreft de waterzuivering van Kinrooi, het proefperceel waar het gezuiverde afvalwater geïnfiltreerd wordt, en de percelen in de directe omgeving die beïnvloedt kunnen worden door de infiltratie (Figuur 1).



Figuur 1: De locatie van de waterzuivering van Kinrooi en het ruimere studiegebied van het project.

De bodemtextuur in het studiegebied bestaat voornamelijk uit lemig zand, nabij de Itterbeek verzwarend tot lichte zandleem (Figuur 2). In het gebied komen relatief veel gronden voor met een diepe A-horizont, ontstaan door de toepassing van plaggenlandbouw in het verleden. Hierdoor zijn deze gronden relatief vruchtbaar. Op de proeflocatie wordt deze profielopbouw voornamelijk in de hogergelegen oostelijke helft van het perceel aangetroffen.



et al., 2015], en door een eerste overleg met de proefveldhouder en terreinbezoek in de winter van 2020-2021, waar onder meer duidelijk werd dat de westelijke, laaggelegen zijde van het perceel in natte periodes te kampen heeft met wateroverlast.

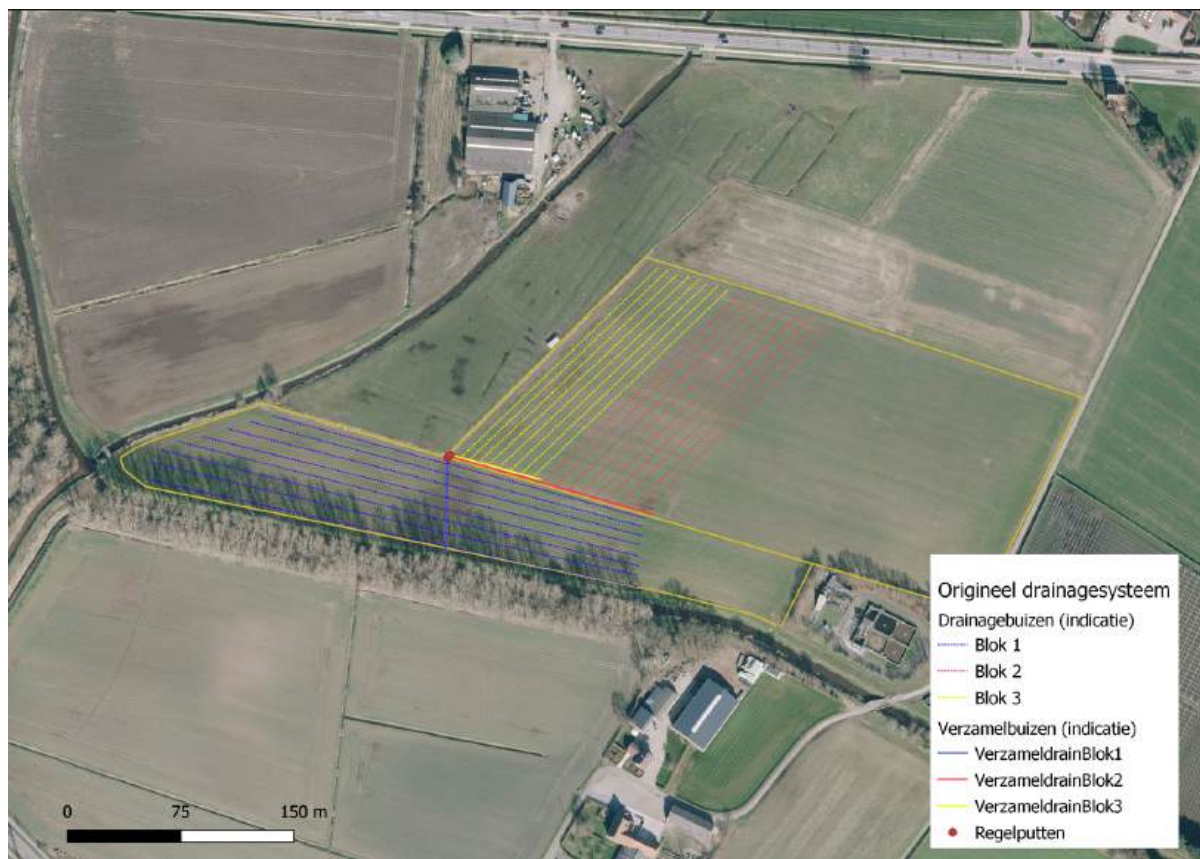


Figuur 3: Wateroverlast aan de westelijke zijde van het perceel in de winter van 2022-2021

## 2.2 Proefopzet

In de technische uitwerking moet worden uitgegaan van de droogweerafvoer (DWA) van de RWZI, de basale afvoer tijdens droge periodes wanneer de subirrigatie voornamelijk moet werken. Voor een opschaling, een aanwending van het potentieel van de RWZI dat extreem veel groter is, moet een omvangrijke buffer voorzien worden, zoals in sectie 1 beschreven wordt. Op basis van bodemfysische gegevens en inzicht in de hydrologische voorwaarden in de omgeving van de RWZI, werd in voorstudie berekend dat de basale afvoer toelaat om ca. 6 hectare met voeding door gezuiverd afvalwater aan te leggen in deze fase. In het project werd een subirrigatiesysteem voorzien op 4 afzonderlijke deelpercelen binnen één perceel met totale oppervlakte van 5 hectare. Deze 4 deelpercelen worden voorzien van gezuiverd afvalwater.

Binnen de 4 deelpercelen met het gezuiverde afvalwater kan gebruikt gemaakt worden van 2 bestaande peilgestuurde drainagesystemen, waaraan nu wateraanvoer wordt gekoppeld (Figuur 4). De 2 andere systemen worden nieuw aangelegd. Deze laatste systemen worden voorzien in bodems die normaliter geen drainage vragen; het betekent dan ook netto-wateraanvoer.



Figuur 4: Ligging van het origineel peilgestuurd drainagesysteem.

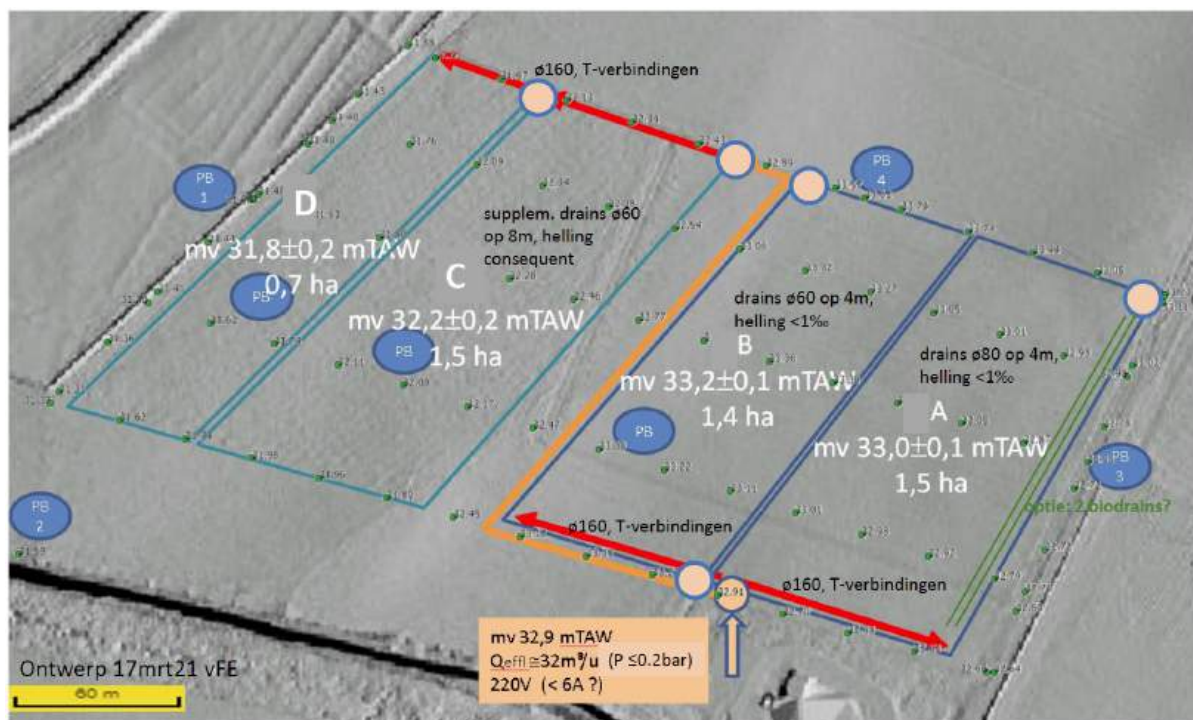
Aquafin voorziet op eigen terrein een buffervat van 10 m<sup>3</sup> dat gevoed wordt met gezuiverd afvalwater, en van waaruit leidingen worden aangelegd om de 4 systemen te voeden.

### 2.2.1 Aanleg van het buizennetwerk

Het ondergrondse buizennetwerk werd aangelegd in maart 2021. Na een voorstudie en een finaal terreinbezoek op 10 maart met de draineur werd besloten om ook blokken 2 en 3 van het originele drainagesysteem (Figuur 4) opnieuw aan te leggen. De belangrijkste aanleidingen hiervoor zijn:

- De bestaande (peilgestuurde) drainage werd aangelegd in 2013, en het is onduidelijk of de GPS-data hiervan nog bestaande is
- Het is onduidelijk of de bestaande drains waterpas aangelegd zijn of niet
- Eén van de drie bestaande regelputten is beschadigd, en moet hoe dan ook vervangen worden
- De afstand tussen de drains is waarschijnlijk te groot voor het verkrijgen van een homogeen watervlak bij subirrigatie

Er werden 4 deelpercelen afgebakend, die elk afzonderlijk gevoed kunnen worden met het gezuiverd effluent (Figuur 5). Het water vertrekt aan de noordzijde van de RWZI, en kan vandaar gravitair instromen in blokken A en B. Aangezien de topografie ter hoogte van blokken C en D geïnverteerd is in vergelijking met blokken A en B, dient het water eerst met een verzamelbuis naar de noordzijde van het perceel geleid te worden, vanwaar het van noord naar zuid kan instromen in blokken C en D. Ook hier gebeurt alles gravitair vanaf het instroompunt op de RWZI.



Figuur 5: Ontwerp van het subirrigatiesysteem

Dit ontwerpplan werd gebruikt bij de aanleg van het ondergrondse buizennetwerk eind maart 2021. De locatie van zowel de waterdichte ('blinde') verzamelbuizen als de geperforeerde waterloortalende buizen ('drains') werd via RTK-GPS bijgehouden, zodat een finaal en accuraat plan van de ligging van het buizennetwerk gemaakt kon worden (Figuur 6). Het aangelegde buizennetwerk heeft volgende eigenschappen:

- Tussenafstand van de drains: 4 meter
- Diepte van de drains: ~100 cm
- Diameter van de drains: 60 mm
- Diameter van de blinde buizen: 160 mm

Het oude drainagesysteem ter hoogte van blokken C en D werd doorgesneden, en het nieuwe systeem werd aangekoppeld op de bestaande regelputten.



Figuur 6: Finale ligging van het buizen netwerk van het subirrigatiesysteem. Volle lijnen betreffen de waterdichte ('blinde') verzamelbuizen, en stippellijnen de geperforeerde waterdoorlatende buizen.

### 2.2.2 Aankoppeling op het instroompunt aan de RWZI

Het groeiseizoen van 2021 werd gebruikt om de referentiesituatie op het perceel en in de ruime regio op te volgen. Ook werden de technische aspecten uitgewerkt van de aansluiting van de watervoeding vanop de site van Aquafin op het ondergrondse buizen netwerk.

In het voorjaar van 2022 werden de terreinwerkzaamheden voor de aansluiting van van het buizen netwerk op het buffervat op de RWZI uitgevoerd. De drie blinde buizen van 160 mm diameter (voor blokken A, B, en C en D) werden aangekoppeld op een constructie van PVC-buizen met variërende diameter (Figuur 7).



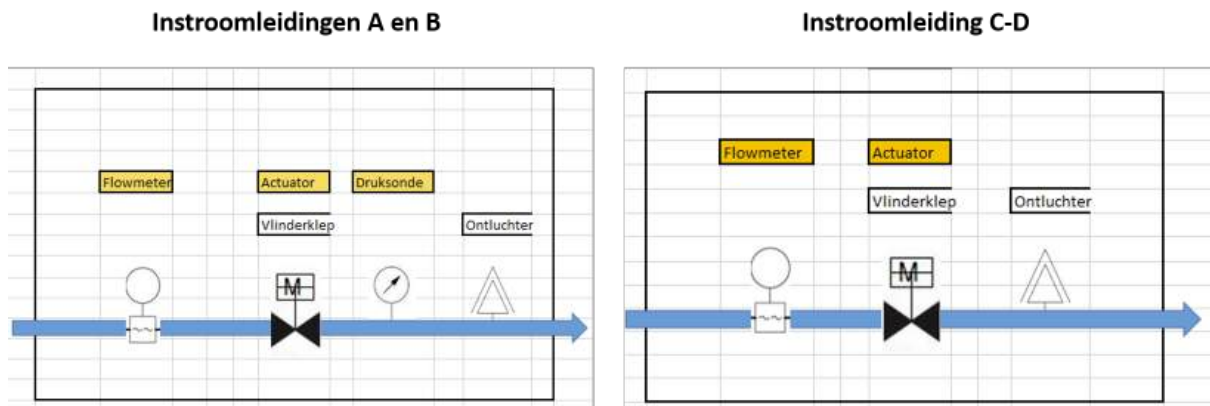
Figuur 7: Aansluiting van het ondergrondse buizennetwerk op het buffervat van waaruit het gezuiverde afvalwater kan instromen

De drie instroomleidingen werden uitgerust met:

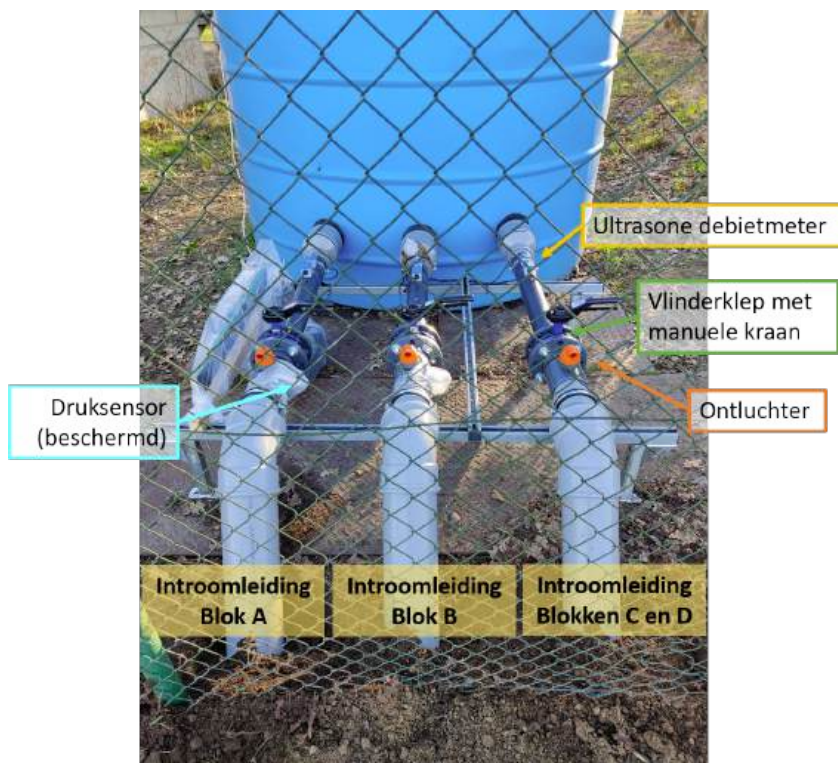
- Een vlinderklep voor het gradueel openen en sluiten van de watertoevoer
- Een ultrasone debietsensor
- Een druksensor

- Een ontluchter

De schematische plaatsing van deze sensoren verschilde licht tussen de instroomleidingen van blokken A en B, en deze van blokken C-D (Figuur 8 en Figuur 9).



Figuur 8: Schematische weergave van de instroomleidingen voor blokken A en B (links), en de instroomleiding voor blokken C-D (rechts)



Figuur 9: Instroomleidingen van het subirrigatiesysteem

### 2.2.3 Technische testen van de subirrigatie

Om te testen het subirrigatiesysteem robuust en betrouwbaar reageerde op de wateraanvoer, werden in het voorjaar van 2022 een reeks technische testen uitgevoerd. De belangrijkste doelstellingen hierbij waren:

- Nagaan of er al dan niet lekken ontstaan bij verschillende opgelegde waterdrukken. Op

voorhand werden vooral de T-verbindingen tussen de blinde buis en de drainagebuizen als risicopunten geïdentificeerd.

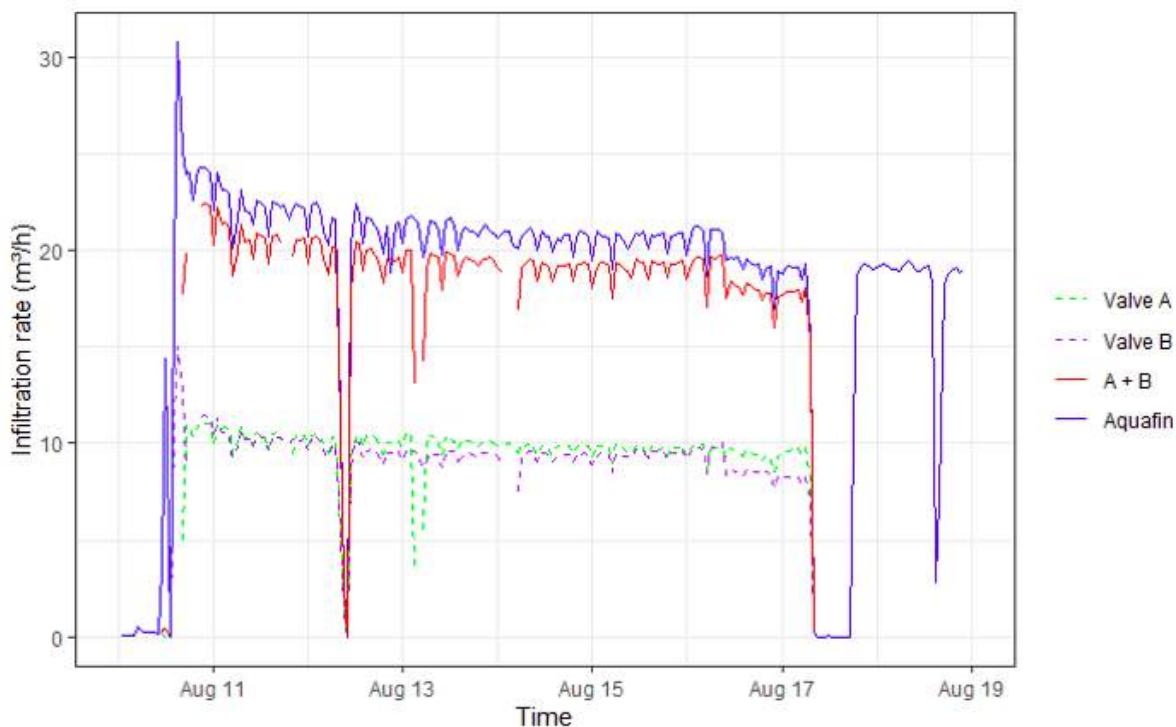
- Nagaan of er voldoende laminaire waterstroming gegenereerd wordt ter hoogte van de debietsensoren om een betrouwbare debietmeting te verkrijgen
- Nagaan of de afsluiting van het uitlaatpunt van de blokken A en B voldoende was om de waterdruk te weerstaan

Er werden tijdens de testen geen problemen met lekken waargenomen, zowel op het perceel in blokken A en B als aan het uitlaatpunt. De debieten werden bij de testen, en bij de daaropvolgende subirrigatie in het volle groeiseizoen, in detail opgevolgd (Tabel 2).

Tabel 2: Overzicht van de subirrigatiehoeveelheden in blokken A en B in 2022

Periode	Hoeveelheid water toegediend
1/04/2022	57.7 m <sup>3</sup>
25/04/2022	69.8 m <sup>3</sup>
2/05/2022	103.4 m <sup>3</sup>
9/05/2022	102.3 m <sup>3</sup>
16/05/2022	108.5 m <sup>3</sup>
19/05/2022 tot 20/05/2022	390.0 m <sup>3</sup>
1/06/2022 tot 3/06/2022	977.9 m <sup>3</sup>
7/06/2022 tot 10/06/2022	1258.1 m <sup>3</sup>
20/06/2022 tot 3/07/2022	2424.0 m <sup>3</sup>
5/07/2022 tot 19/07/2022	5869.0 m <sup>3</sup> (391 m <sup>3</sup> /dag; 16 mm/dag)
10/08/2022 tot 19/08/2022	3907.0 m <sup>3</sup> (391 m <sup>3</sup> /dag; 16 mm/dag)
26/08/2022 tot 9/09/2022	Gemiddeld 185 m <sup>3</sup> /dag

Het debiet werd vergeleken tussen de ultrasone debietmeters op de instroombuizen naar blokken A en B, en het totale debiet dat geregistreerd wordt door de electromagnetische debietmeter geplaatst door Aquafin op de aanvoerleiding naar het buffervat (Figuur 10). Het verschil tussen beide debietmetingen was <10%, hetgeen als voldoende beschouwd werd voor de doelstellingen binnen dit project.



Figuur 10: Vergelijking tussen de ultrasone debietmeters aan de instroomleidingen van blokken A en B, en de electromagnetische debietmeter aan de toevoerleiding naar het buffervat

## 2.3 Monitoring

### 2.3.1 Agronomische monitoring

Het bodemvochtgehalte in de betrokken percelen werd op geregelde tijdstippen gemeten (bemonstering), en continu modelmatig opgevolgd (bodemwaterbalansmodel, intern ontwikkeld door Bodemkundige Dienst van België) waardoor benadering van het plantbeschikbare bodemvocht mogelijk wordt. Om het model te kalibreren en valideren werd ook in de verschillende zones van het proefperceel de vochtretentiecurve bepaald op ongestoorde bodemstalen van 100 cm<sup>3</sup> (Kopecky-ringen). Om een accurate inschatting van de neerslag op het terrein te verkrijgen, werd ook een pluviometer met datalogger geïnstalleerd op het terrein (Figuur 11).



Figuur 11: Illustratie van de agronomische monitoring a.h.v. het weerstation met datalogger (links) en ongestoorde bodemstalen in Kopecky-ringen (rechts)

### 2.3.2 Hydrologische monitoring

Om de impact van de subirrigatie op het grondwater te meten, werd een uitgebreid meetnet van peilbuizen op, rond, en in de omgeving van het proefveld geïnstalleerd. In totaal werden er 28 monitoringslocaties ingericht, waarvan 21 peilbuizen met dataloggers (Figuur 12).



Figuur 12: Meetnet van het grondwater

### **2.3.3 Monitoring en opvolging van de waterkwaliteit**

Het gezuiverde afvalwater, maar ook het grondwater op verschillende dieptes, en de bodem werden bemonsterd en geanalyseerd, zowel naar microbiologie, op macro-elementen, maar eveneens op microconcentraties, resten in metabolieten en gerelateerde parameters.

De voor dit project specifieke kosten van monitoring en opvolging van kwaliteit van water, bodem en vrucht m.b.t. de omgeving en voedselveiligheid worden vrijwel volledig gedragen door het flankerende project van de VUB (CEMESO).

### **2.3.4 Monitoring in de sectorale en maatschappelijke perceptie en ontwikkeling communicatiestrategie**

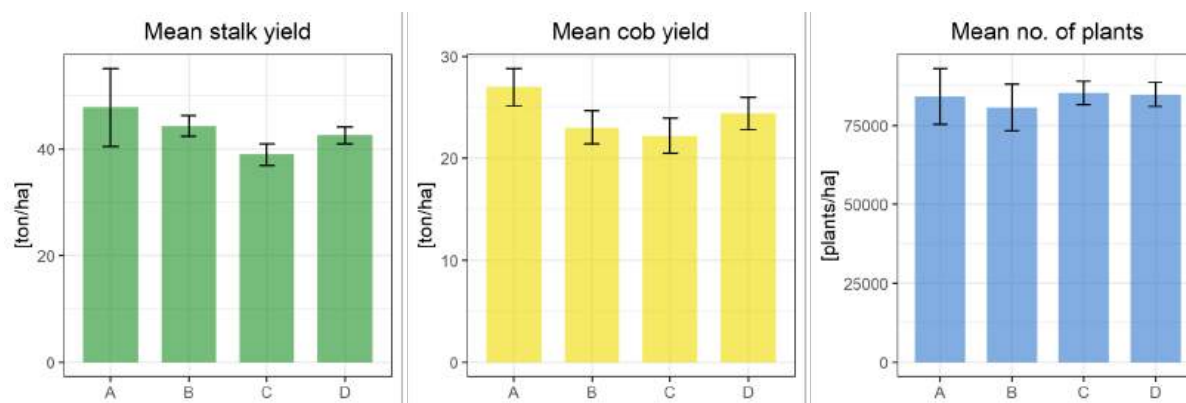
In het kader van het flankerende project van de VUB wordt nagegaan hoe de burger en de sector staan tegenover de toepassing van het gezuiverd effluent en worden communicatiestrategieën ontwikkeld die aangepast zijn aan deze houdingen. Voor meer detail over de resultaten van dit onderzoek wordt verwezen naar de publicatie van [Verhoest et al. \[2022\]](#).

### 3 Agronomische resultaten

#### 3.1 Groeiseizoen 2021

Zoals eerder aangegeven werd tijdens het groeiseizoen van 2021 de referentiesituatie zonder subirrigatie gemonitord in blokken A, B, C, en D. Op basis van de bodemeigenschappen kon op voorhand een onderscheid gemaakt worden tussen blokken A+B en blokken C+D, waarbij blokken A+B topografisch ca. 0.5-1 meter hoger gelegen zijn en dus droger. In natte jaren kan bijgevolg verwacht worden dat het gewas in deze blokken iets beter zal doen dan in C+D. In C+D daarentegen wordt verwacht dat het gewas in droge jaren beter zal presteren, door een hogere vochtbeschikbaarheid.

In 2021 werden er geen betekenisvolle verschillen in gewasopbrengst gevonden tussen de verschillende blokken (Figuur 13). Dit wijst erop dat de blokken A, B, C en D relatief homogeen zijn inzake bodemvruchtbaarheid, en er geen verregaande correcties nodig zijn bij het interpreteren van de resultaten van de subirrigatie in het verder verloop van de studie.

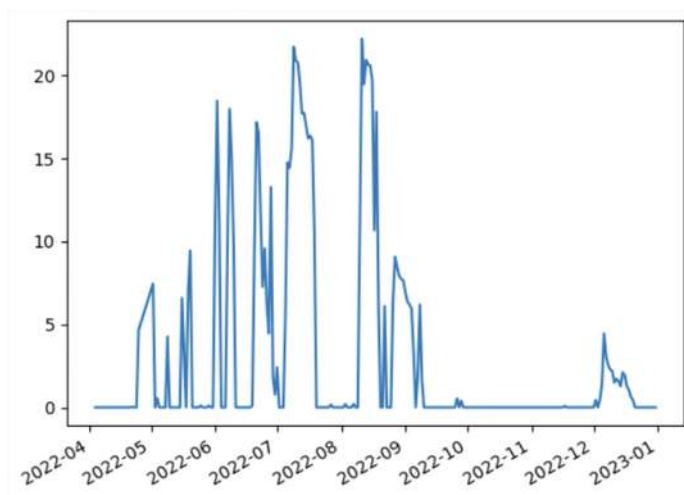


Figuur 13: Gewasopbrengst van de maïs in 2021

#### 3.2 Groeiseizoen 2022

##### 3.2.1 Subirrigatie

Het instromende debiet werd geregistreerd door de debietmeters. In totaal werd er in 2022 18522 m<sup>3</sup> water gesubirrigeerd in de blokken A en B (Figuur 14). Het oppervlakte van blok A en B indachtig kan dit omgerekend worden naar mm water (per m<sup>2</sup>). Tijdens de zeer droge zomerdagen van 2022, wanneer het subirrigatiesysteem aan maximaal debiet liep, was de subirrigatiedosis 16 mm/dag.



Figuur 14: Subirrigatie in 2022 [m<sup>3</sup>/uur]

### 3.2.2 Agronomische resultaten

Bij het opstellen van dit project, en in de initiële communicatie naar de proefveldhouder, werd aangenomen dat de effecten van de subirrigatie zich eerst zouden manifesteren in het grondwater, voordat er ook een effect in de wortelzone van het gewas zouden plaatsvinden. Er werd m.a.w. aangenomen dat de hydraulische doorlaatbaarheid van de bodem dermate hoog was dat het toegediende water eerst verticaal zou percoleren naar het grondwater (dewelke zich in de zomer op ca. 3 m-mv bevindt op dit perceel). Vervolgens zou het grondwaterpeil verhoogd kunnen worden door de subirrigatie, en op termijn opstijgen tot boven de diepte van het buizen netwerk op 1 m-mv. Vanaf dat moment zou het gewas door capillaire nalevering van het water kunnen profiteren. Er werd dan ook uit voorzichtigheid aangenomen dat er tijdens het eerste groeiseizoen met subirrigatie nog geen meetbare effecten op de gewasgroei zouden plaatsvinden.

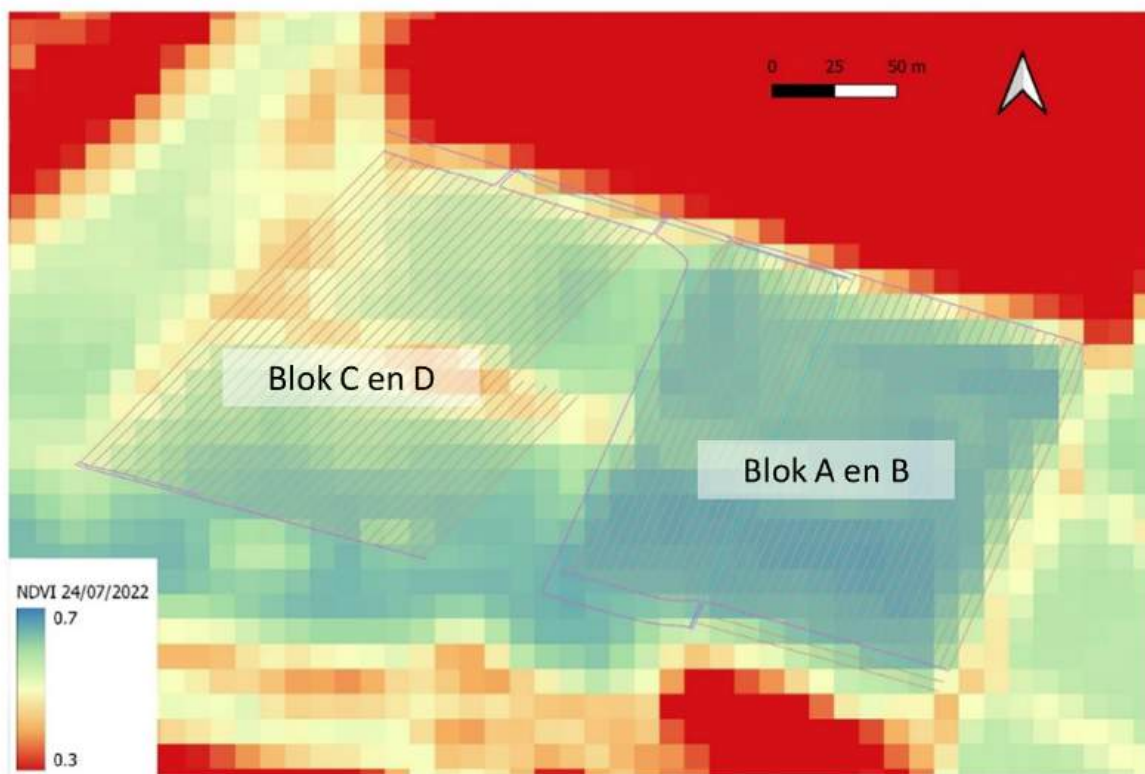
### Visuele resultaten

Tijdens het zeer warme en droge groeiseizoen van 2022 werd echter al snel duidelijk dat de subirrigatie een zeer duidelijk effect had op de gewasstand. Het contrast tussen blokken A en B enerzijds, waar de subirrigatie maximaal openstond, en blokken C en D anderzijds, waar geen subirrigatie toegepast werd, werd tijdens de maanden juli en augustus zeer groot (Figuur 15).



Figuur 15: Verschil in gewasstand van het gras op 10 augustus 2022 tussen de zones met en zonder subirrigatie

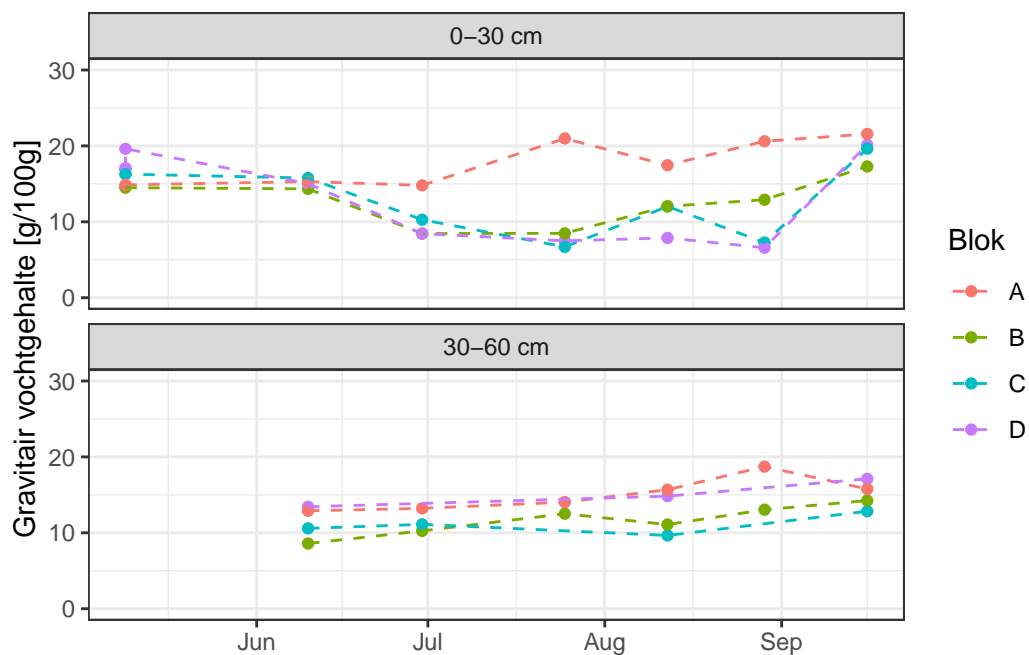
Deze visuele waarneming werd ook bevestigd wanneer de satellietbeelden van de *normalized difference vegetation index* (NDVI) bekeken werden. De NDVI is een maat van de groenkleuring van de vegetatie: een hogere score wijst op een sterkere groenkleuring, lage scores wijzen op een vergeling of verdorring van het gewas. Het beeld van 24 juli 2022 toont een duidelijk hogere NDVI-waarde voor de zones met subirrigatie in vergelijking met de zones van het veld zonder subirrigatie (Figuur 16).



Figuur 16: NDVI-beeld van 24 juli 2022

### Metingen bodemvochtgehalte

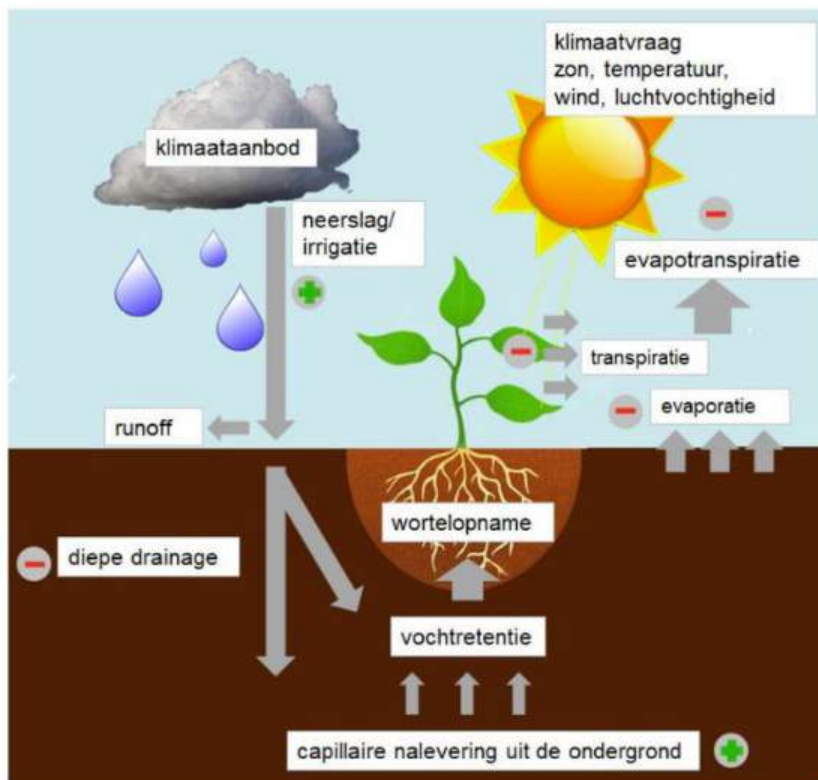
Het geobserveerde verschil in gewasstand was ook merkbaar in de metingen van het bodemvochtgehalte die tijdens het groeiseizoen uitgevoerd werden in de wortelzone (Figuur 17).



Figuur 17: Metingen gravitair bodemvochtgehalte in de lagen 0-30 cm-mv en 30-60 cm-mv in 2022 in de blokken A, B, C, en D

### Modellering

De modellering maakt gebruik van het bodemwaterbalansmodel dat BDB hanteert voor de begeleiding van landbouwers omtrent irrigatie. In dit bodemwaterbalansmodel (Figuur 18) wordt dag aan dag berekend welke de bodemvochtvoorraad is. Enerzijds dient gekend te zijn hoeveel vocht er maximaal door de bodem ter beschikking kan gesteld worden voor het gewas. Anderzijds moet elke dag gemeten of berekend worden hoeveel vocht er opgenomen en verdampt wordt door het gewas, hoeveel water er rechtstreeks uit de bodem verdampt, welke verliezen er optreden door doorspoeling, en hoe de vochtvoorraad aangevuld wordt door neerslag of beregening, of door capillaire nalevering uit de ondergrond.

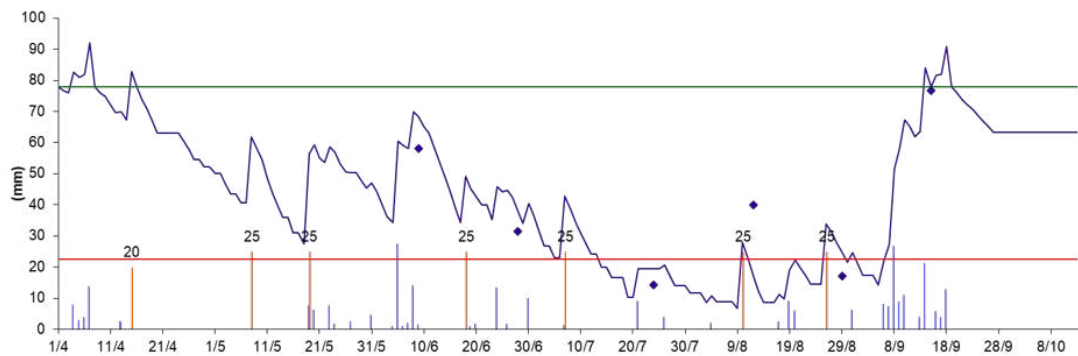


Figuur 18: Schematische voorstelling van de bodemwaterbalans

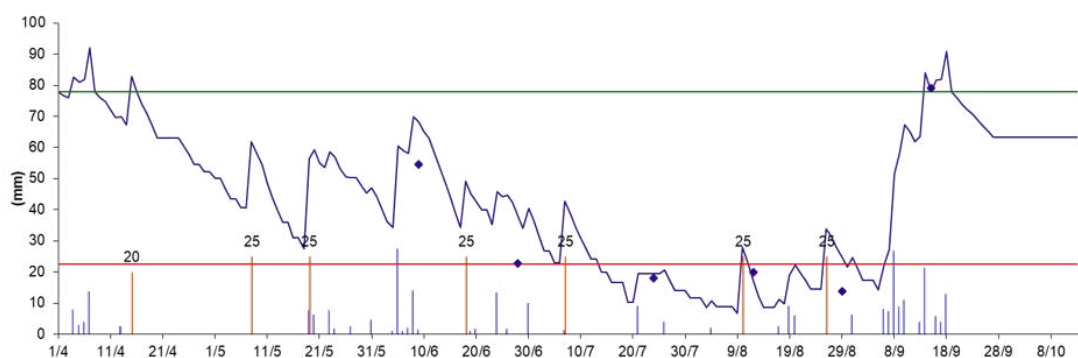
Het model werd gevalideerd met de metingen van het bodemvochtgehalte op de bodemstalen. Deze werden omgerekend naar volumetrisch bodemvochtgehalte door een bepaling van de bulkdensiteit op ongestoorde bodemstalen van 100 cm<sup>3</sup> (Kopecky-ringen). Op deze ongestoorde bodemstalen werd ook de vochtretentiecurve bepaald, hetgeen een belangrijke input is voor het bodemwaterbalansmodel.

In dit model is nog geen algoritme aanwezig om het effect van subirrigatie te berekenen. Daarom werd eerst een modellering uitgevoerd voor de blokken zonder subirrigatie C en D. Hier werd een goede overeenkomst bekomen tussen het bodemvochtgehalte berekend door het model en gemeten op het veld (Figuur 19).

## Zone C



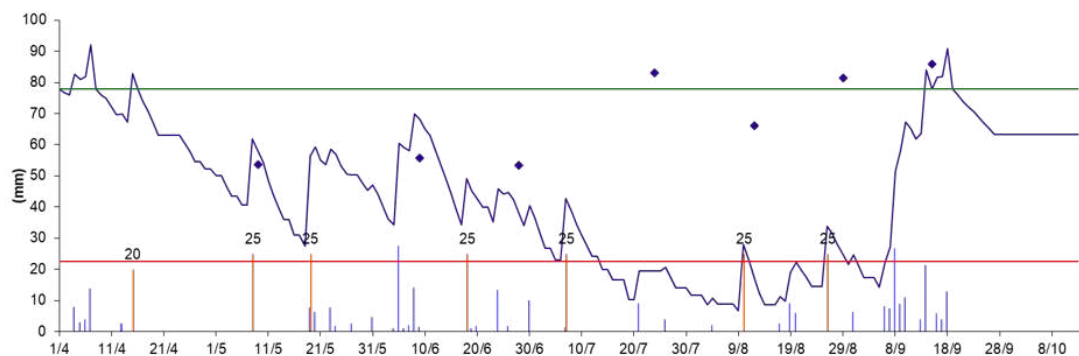
## Zone D



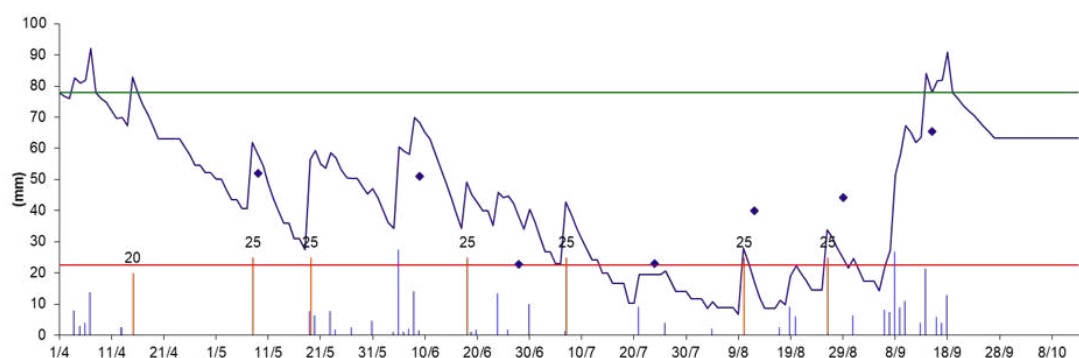
Figuur 19: Gemodelleerd (volle lijn) en geobserveerd (punten) volumetrisch bodemvochtgehalte in de laag 0-30 cm tijdens het groeiseizoen van 2022 in blokken C en D

Wanneer het model met dezelfde parametrisatie als in blokken C en D nu gelopen wordt voor blokken A en B, worden de bodemvochtmetingen sterk onderschat door het model: de reële situatie op het terrein was veel natter dan voorspeld wordt door het model *zonder* subirrigatie (Figuur 20).

## Zone A



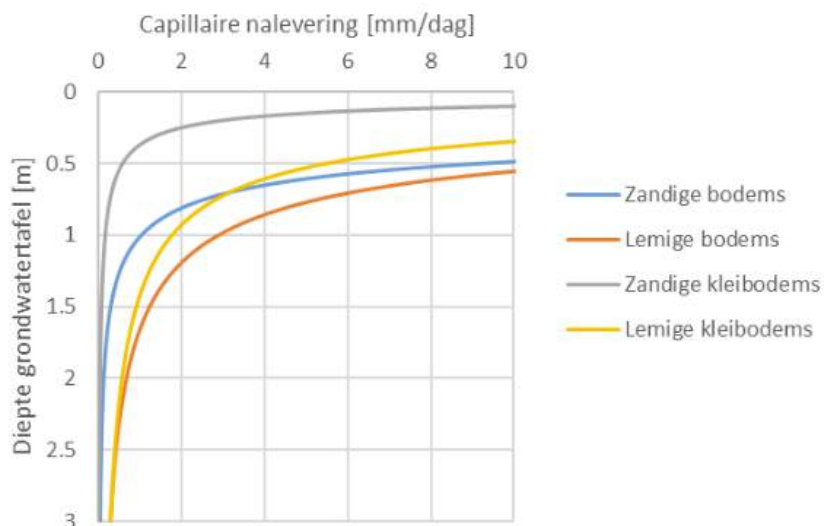
## Zone B



Figuur 20: Gemodelleerd (volle lijn) en geobserveerd (punten) volumetrisch bodemvochtgehalte in de laag 0-30 cm tijdens het groeiseizoen van 2022 in blokken A en B

Het verschil tussen de modellering en de veldmetingen kan voor het overgrote deel teruggebracht worden op het effect van de subirrigatie. Deze aanpak werd eerder reeds toegepast om het effect van de vochtopname van bomen in een agroforestry-systeem in te schatten [Coussemont et al., 2019]. Het effect van subirrigatie kan echter, in tegenstelling tot de vochtopname door bomen bij agroforestry, wel in een bodemwaterbalansmodel ingeschat worden, door dit in te voegen in de berekening van de capillaire nalevering in het model.

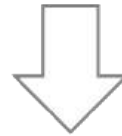
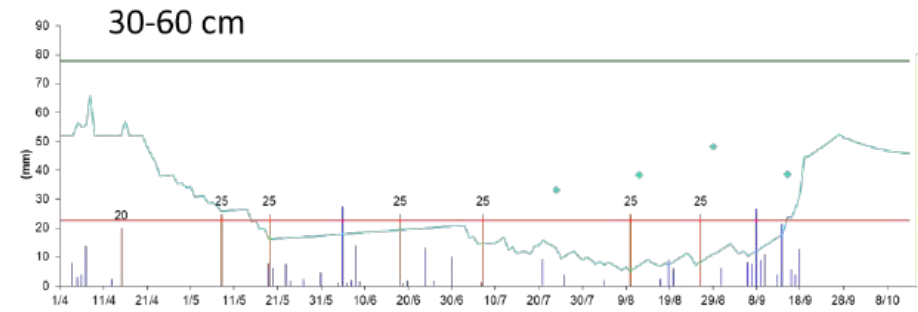
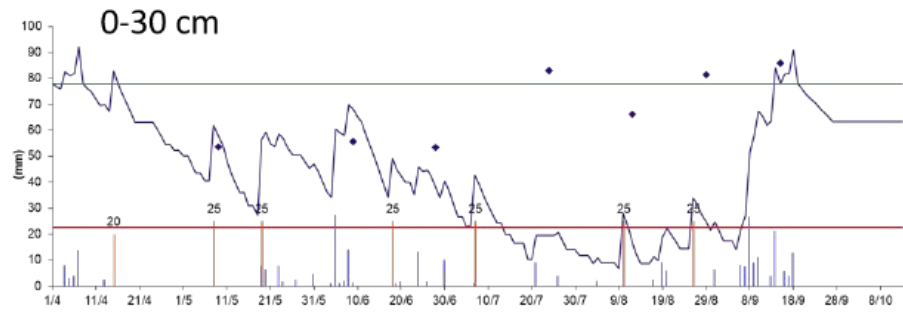
Capillaire nalevering vanuit het grondwater naar de wortelzone van het gewas kan relatief eenvoudig berekend worden als een functie van de diepte van de grondwatertafel en de bodemtextuur, op basis van de relaties bepaald in Janssens [2006] (Figuur 21). Deze aanpak wordt reeds toegepast in het irrigatiesturingsmodel van BDB en een gelijkaardige aanpak wordt ook toegepast in het FAO AquaCrop-model.



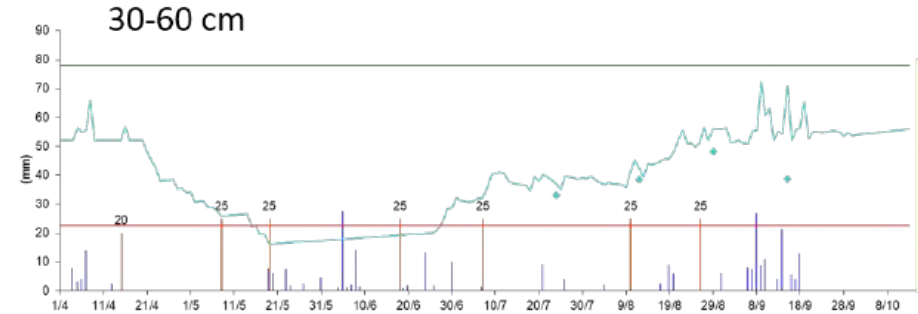
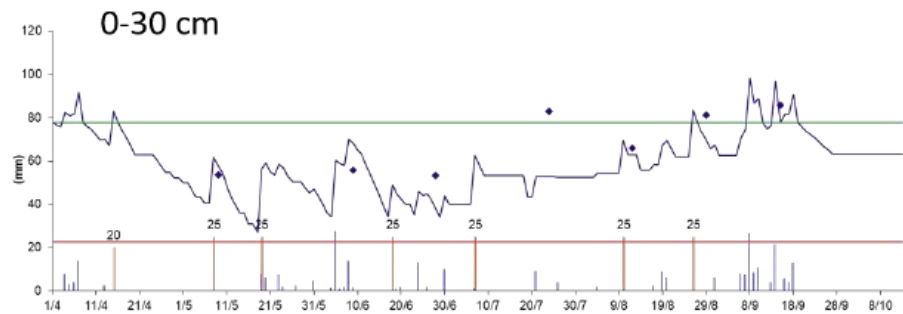
Figuur 21: Capillaire nalevering in functie van de diepte van de grondwatertafel voor 4 verschillende bodemtypes waarvoor volgende  $K_{sat}$  waarden aangenomen worden: 500 mm/dag voor zandige bodems, 250 mm/dag voor lemige bodems, 100 mm/dag voor zandige kleibodems en 25 mm/dag voor lemige kleibodems

De capillaire nalevering wordt in het model berekend op basis van de dagelijkse diepte van het grondwater onder het maaiveld. Voor blokken C en D fluctueerde deze diepte rond de 2.5 m-mv. Ook in blokken A en B bleek uit de peilmetingen dat het grondwater zich op gelijkaardige diepte bevond. Om de discrepantie tussen de metingen en modellering in blokken A en B op te vangen, werd de grondwatertafeldiepte hier verhoogd naar de diepte van het subirrigatiesysteem, nl. 1 m-mv, en dit voor de periode dat het subirrigatiesysteem gebruikt werd. Dit resulteerde in een veel betere overeenkomst tussen het model en de observaties, zowel in de bodemlaag 0-30 als in 30-60 cm-mv (modellering voor blok A in Figuur 22).

## Zonder subirrigatie



## Met subirrigatie



Figuur 22: Toename in capillaire nalevering (CN) wanneer de grondwatertafeldiepte verhoogd wordt naar de diepte van het subirrigatiesysteem (1 m-mv), voor blok A in de bodemlagen 0-30 cm-mv en 30-60 cm-mv in het groeiseizoen van 2022

In de originele modellering bedroeg de hoeveelheid capillaire nalevering uit het grondwater 85.7 mm over het volledige groeiseizoen (Figuur 22, bovenaan). Wanneer de modellering uitgevoerd werd met de grondwatertafeldiepte op het niveau van het subirrigatiesysteem (Figuur 22, onderaan), nam de capillaire nalevering toe tot 316.6 mm. Indien aangenomen dat het verschil volledig te wijten is aan de subirrigatie, kan gesteld worden dat de subirrigatie leidt tot een toename van waterbeschikbaarheid voor het gewas van 230.9 mm. Voor de oppervlakte van blokken A en B komt dit overeen met een toegediend volume water van 6119 m<sup>3</sup>. Dit komt overeen met 33% van de 18522 m<sup>3</sup> water die in totaal als subirrigatie toegediend werd in 2022.

De irrigatie-efficiëntie in het groeiseizoen zou dus rond de 30% bedragen. Dit is veel hoger dan initieel verwacht, aangezien op basis van eigen onderzoek (o.m. Tits et al. [2015], Elsen and Coussement [2019], onderzoek uit Nederland (o.m. Stuyt [2013], Bartholomeus et al. [2018], de Wit et al. [2021]), en voorafgaande communicatie met expert Gé van den Eertwegh van KnowH2O, eerder een efficiëntie van ca. 10% verwacht werd, en dit mogelijks pas nadat de grondwatertafel gevoelig opgetrokken werd. Aangezien metingen in de peilbuizen op en rond de blokken A en B aanwijzen dat het freatisch grondwater gedurende het groeiseizoen onder de 2 m-mv bleef, was het effect van de subirrigatie hier anders dan initieel verwacht.

### **Profielopbouw en impact op het effect van de subirrigatie**

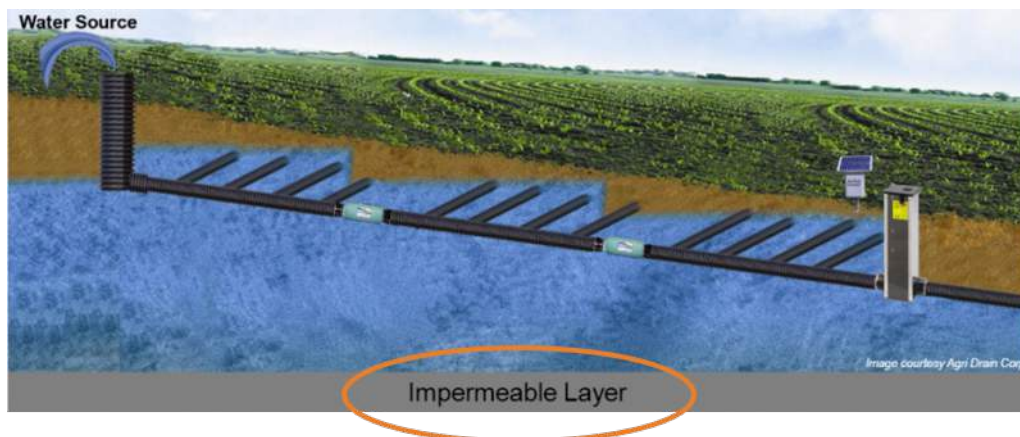
Om een verklaring te vinden voor de hoge irrigatie-efficiëntie werd de profielopbouw van het perceel in detail onderzocht in het late groeiseizoen van 2022. Er was op basis van het vooronderzoek uitgevoerd bij het opzet van de proef geweten dat het bodemprofiel een relatief zware lemige zandbodem betreft, met een diepe en vruchtbare A-horizont. Ook was door communicatie met de landbouwer en een aantal profielboringen geweten dat er zich heterogeen verspreid over het perceel lenzen met zwaarder bodemmateriaal in de ondergrond konden bevinden. Er werd echter aangenomen dat deze lenzen slechts sporadisch voorkwamen, en dat de ondergrond voornamelijk uit goed doorlatend (lemig) zand bestond.

Bijkomende profielboringen tot 2 m-mv en een profielput in de zone van blokken A en B in het najaar van 2022 wezen echter uit dat er zich een vrij goed aaneengesloten laag van zwaarder bodemmateriaal (lemig/kleiig) in de ondergrond bevindt, op een diepte van 1 m-mv tot 1.5 m-mv (Figuur 23). Ter hoogte van deze laag worden regelmatig sporen van regelmatige oxidatie en reductie van het bodemmateriaal (voornamelijk ijzer) aangetroffen, wat wijst op een wisselende waterverzadiging en beluchting van de bodemlaag.



Figuur 23: Profielput ter hoogte van blokken A en B, met aanduiding van de waterophoudende laag

De verklaring voor de hoge irrigatie-efficiëntie lijkt dus te herleiden tot deze profielopbouw: de laag met zwaarder bodemmateriaal, die de percolatie van het water vertraagt, bevindt zich juist onder de buizen van het subirrigatiesysteem, zodat bij een voldoende hoog debiet er een tijdelijke hangwatertafel ontstaat, juist onder de wortelzone van het gewas. Dit is vanuit agronomisch opzicht ideaal; het gewas zal op deze manier praktisch het volledige groeiseizoen gebufferd zijn tegen droogte. Het belang van een dergelijke laag werd eigenlijk al aangegeven in de wetenschappelijke literatuur rond subirrigatie, zoals ook blijkt uit de aanduiding op de figuur uit [Cirkel et al. \[2017\]](#) (Figuur 24).

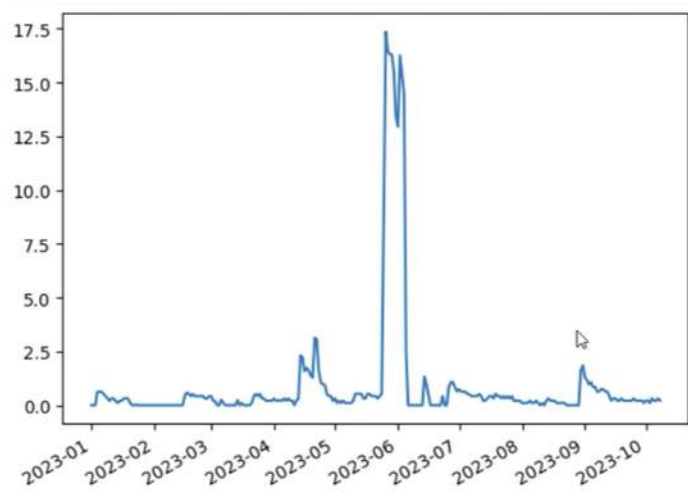


Figuur 24: Illustratie van het principe van subirrigatie [Cirkel et al., 2017], met aanduiding van het belang van een waterbelemmerende laag in de ondergrond

### 3.3 Groeiseizoen 2023

#### 3.3.1 Subirrigatie

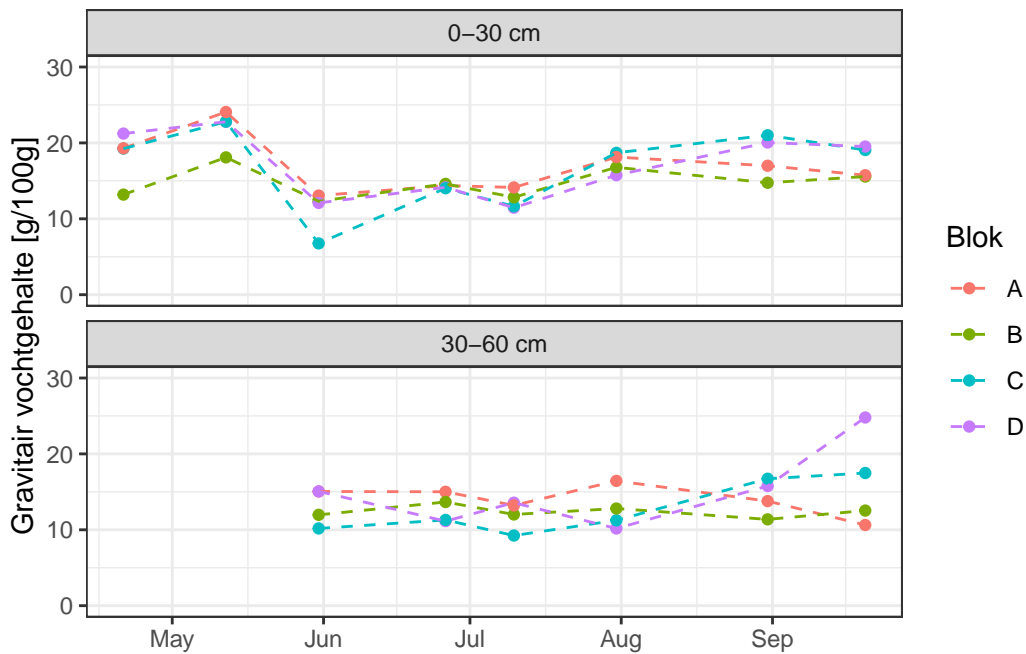
In tegenstelling tot 2022 was het groeiseizoen van 2023 veel minder droog, met regelmatig regenbuien die het vochtgehalte in de wortelzone aanvulden. Hierdoor was er algemeen in Vlaanderen veel minder nood aan (bovengrondse) irrigatie. Ook op de pilotsite werd hierdoor het subirrigatiesysteem minder gebruikt, wat resulteerde in een lager totaal debiet (Figuur 25). In 2023 werd er in totaal 6245 m<sup>3</sup> water gesubirrigeerd op blokken A en B.



Figuur 25: Subirrigatie in 2023 [m<sup>3</sup>/uur]

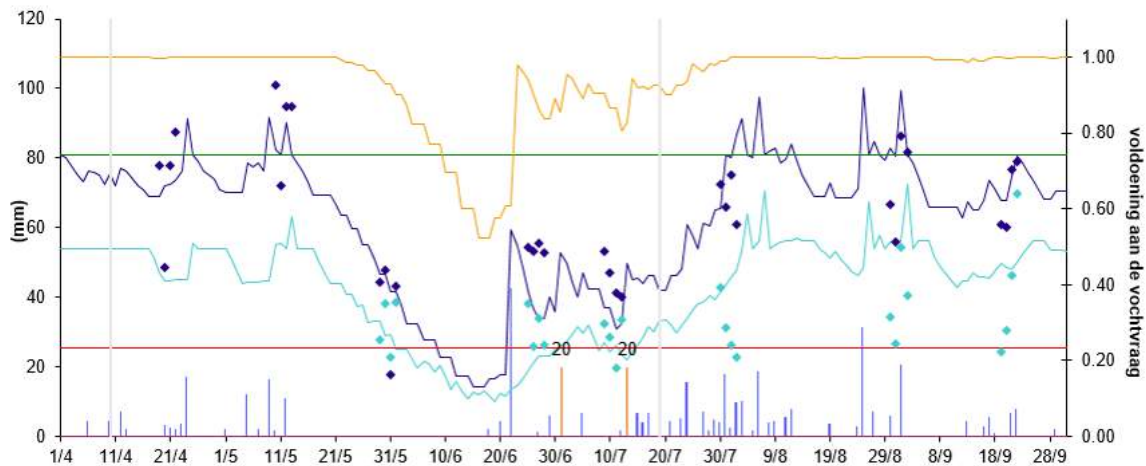
#### 3.3.2 Agronomische resultaten

Het natte groeiseizoen en het relatief beperkte volume aan subirrigatie resulteerde ook in een beperkt verschil in het bodemvochtgehalte in de wortelzone (Figuur 26).



Figuur 26: Metingen gravitair bodemvochtgehalte in de lagen 0-30 cm-mv en 30-60 cm-mv in 2023 in de blokken A, B, C, en D

Hierdoor werd ook in een exploratieve modellering weinig verschil aangetroffen tussen de verschillende behandelingen (Figuur 27). Het is wel mogelijk dat de subirrigatie gezorgd heeft voor een bijkomende reserve aan plantbeschikbaar water in de ondergrond, echter, doordat de vochtvraag van het gewas praktisch volledig ingevuld kon worden door de regenval, moest deze reserve waarschijnlijk amper of niet aangesproken worden.



Figuur 27: Gemiddelde gemodelleerde bodemvochtgehalte (volle lijn) in de wortelzone voor het perceel in 2023, met de observaties in de verschillende zones als punten weergegeven

## 4 Hydrologische resultaten

Het meetnet van peilbuizen beschreven in sectie Paragraaf 2.3.2 werd gebruikt om de impact van de subirrigatie op het grondwaterpeil in kaart te brengen. Hierbij werd gebruik gemaakt van zowel een tijdreeksanalyse als een modellering in MODFLOW.

### 4.1 Tijdreeksanalyse

De tijdreeksanalyse werd uitgevoerd met het PASTAS-model [Collenteur et al., 2019]. De PASTAS-tijdreeksmodellering is een open-source Python-bibliotheek die specifiek is ontworpen voor het modelleren en analyseren van hydrologische tijdreeksen. Het wordt voornamelijk gebruikt voor het bestuderen van grondwaterstanden, maar is ook toepasbaar op andere hydrologische processen.

Het model werd gebruikt om het geobserveerde grondwaterpeil in een aantal peilbuizen te modelleren als een functie van neerslagoverschot. De beschouwde peilbuizen waren (Figuur 28):

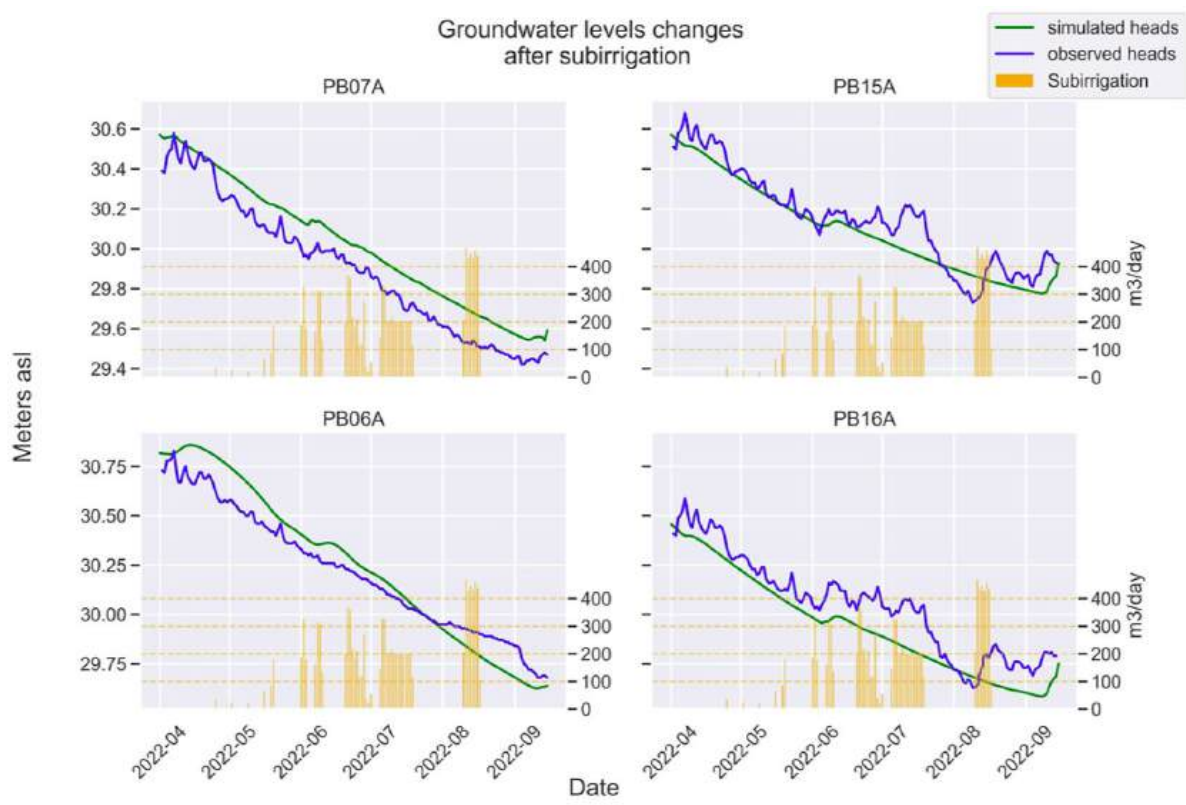
- PB07A en PB06A: twee peilbuizen op >500 meter afstand van de zone met subirrigatie
- PB16A: peilbuis in het midden van blok A
- PB15A: peilbuis in het midden van blok B

Het doel van deze modellering was nagaan of er door de subirrigatie een verschil ontstond tussen de gemeten grondwaterpeilen en de grondwaterpeilen die verwacht worden door de tijdreeksmodellering.



Figuur 28: Locatie van de peilbuizen op en in de omgeving van de zone met subirrigatie waarop de tijdreeksanalyse uitgevoerd wordt

Het tijdreeksmodel werd gekalibreerd op de meetperiode voor de start van de subirrigatie. De resultaten voor het groeiseizoen van 2022 zijn weergegeven in Figuur 29. Voor peilbuizen PB06A en PB07A, die > 500 meter buiten de zone met subirrigatie liggen, volgt het gemeten grondwaterpeil (blauwe lijn) relatief goed het gemodelleerde peil (links op Figuur 29). Voor de peilbuizen *in* de zone met subirrigatie leidt de subirrigatie (gele balken) echter tot een duidelijke verhoging van het geobserveerde grondwaterpeil (blauwe lijn) boven het peil dat verwacht wordt zonder subirrigatie (groen lijn; rechts op Figuur 29). De stijging met grondwaterpeil in de periodes met subirrigaties ligt tussen de 0 en 30 cm.



Figuur 29: Tijdreeksanalyse op de grondwaterpeilmetingen in de peilbuizen op en in de omgeving van de zone met subirrigatie

Een bijkomend interessant resultaat van deze modellering is dat het grondwaterpeil blijkbaar vrij vlug na het stopzetten van de subirrigatie terugvalt naar het 'natuurlijke' niveau, zoals bijvoorbeeld in de periode eind juli tot begin augustus op Figuur 29.

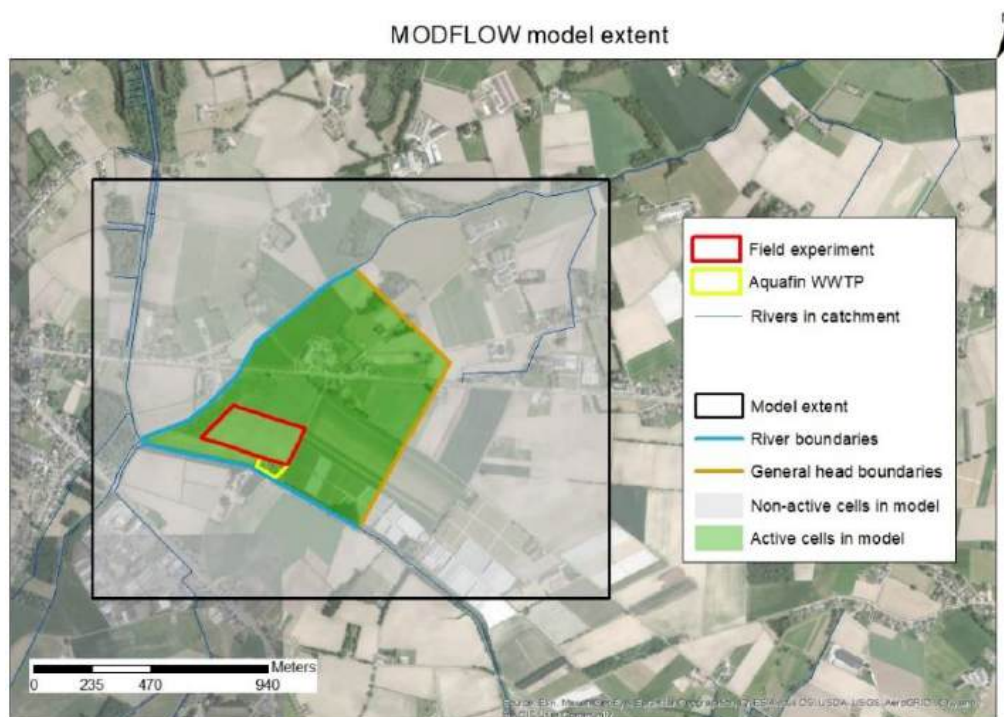
Wanneer het verschil tussen geobserveerd en gemodelleerd grondwaterpeil in peilbuis PB06A in augustus en september van 2022 in detail bekeken wordt, lijkt het ook dat de subirrigatie hier met vertraging tot een (lichte) verhoging van het grondwaterpeil leidt. Aangezien uit de modellering van de stromingsrichting (hieronder verder toegelicht) blijkt dat deze peilbuis in lijn ligt met de dominante stromingsrichting, lijkt dit een eerste indicatie te geven dat de subirrigatie ook buiten het perceel een effect heeft op de grondwaterpeilen.

## 4.2 MODFLOW

De tijdreeksanalyse hierboven beschreven kan een eerste inzicht geven in het effect van de subirrigatie op de grondwaterpeilen: is er een effect, en indien ja, hoe groot is het? Om meer

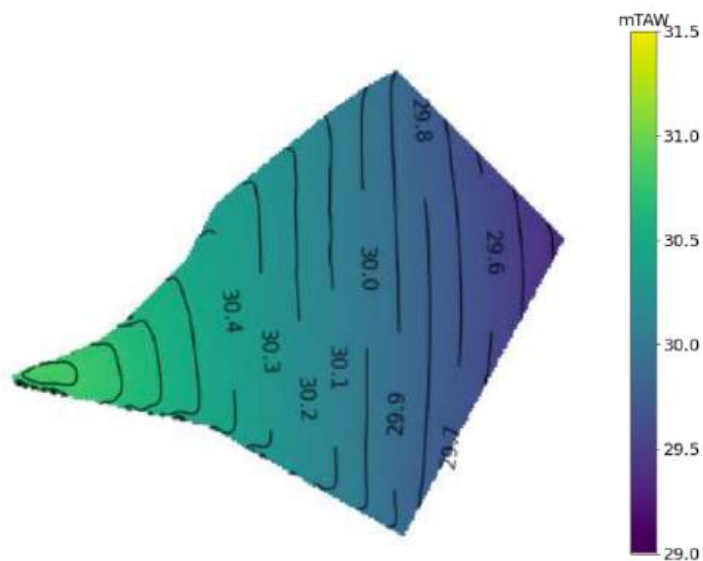
inzicht te krijgen in de ruimtelijke spreiding van het effect, en de veranderingen in grondwaterstroming, is een meer gedetailleerde modellering vereist. Hiervoor werd gebruik gemaakt van het MODFLOW-model. Het MODFLOW-model ontwikkeld door de Amerikaanse Geological Survey (USGS) <sup>1</sup> en wordt wereldwijd gebruikt voor het simuleren van grondwaterstromen in verzadigde gebieden. Het model is gebaseerd op numerieke methoden en biedt een flexibele aanpak voor het analyseren van complexe grondwatersystemen.

Het oppervlakte dat beschouwd werd voor het MODFLOW-model is ruimer dan hetgeen bekeken werd bij de tijdreeksanalyse (Figuur 30). Het model is ook in staat om een berekening te maken in 2D, zoals geïllustreerd in Figuur 31.



Figuur 30: Modeloppervlakte van het MODFLOW-model

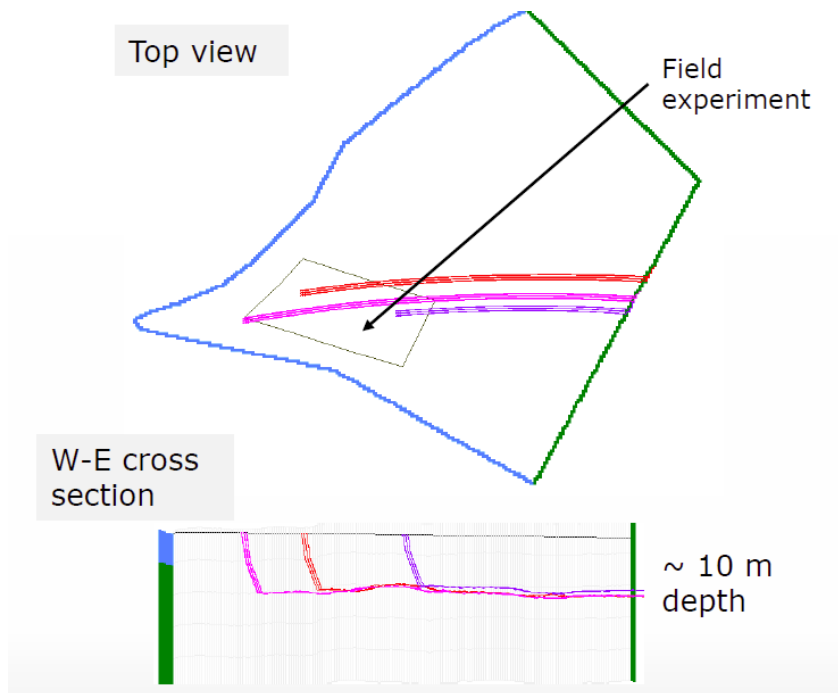
<sup>1</sup><https://www.usgs.gov/mission-areas/water-resources/science/modflow-and-related-programs>



Figuur 31: Gemodelleerd grondwaterpeil met MODFLOW (mTAW)

In MODFLOW worden grondwaterstromen berekend op basis van hydraulische gradiënten en doorlatendheid. De richting van de stroming wordt bepaald door het verschil in hydraulische hoogte tussen aangrenzende cellen. Een bovenaanzicht van de doorrekening van het proefgebied toont duidelijk aan dat de dominante stroomrichting vanop het proefperceel naar het oosten gaat, richting de Maas, en dus niet naar het zuiden of westen in de richting van de nabijgelegen oppervlaktewaterlopen (de Itterbeek en de Abeek; Figuur 32, boven). Dit bevestigt de eerdere bevinding uit Tits et al. [2015], en geeft een goede indicatie waar de effecten van de subirrigatie zich zullen voordoen, zowel wat betreft potentiële impact op de waterkwaliteit als de verhoging van het grondwaterpeil.

Een verticale doorsnede van west naar oost van de gemodelleerde stroomrichting (Figuur 32) toont aan dat het grondwater eerst verticaal doorsijpelt naar een diepere grindlaag op ca. 10 m-mv, en vanaf daar de dominante laterale stroming richting de maas vervoegt. Dit bevestigt ook hetgeen waargenomen werd tijdens het groeiseizoen van 2022: het effect van de subirrigatie op de vochtbeschikbaarheid voor het gewas blijkt vrij afgelijnd te blijven binnen de zone waar de subirrigatie plaatsvindt; er is m.a.w. schijnbaar weinig laterale stroming bovenaan in het bodemprofiel.



Figuur 32: Illustratie van het gemodelleerde stroomrichting, bovenaanzicht (boven) en west-oost doorsnede (onder)

De impact van de subirrigatie op het grondwaterpeil werd gemodelleerd door een debiet van  $250 \text{ m}^3/\text{dag}$  aan te nemen in zones A en B. Afhankelijk van de randvoorwaarden die hierbij aan het model opgelegd werden, resulteerde dit in een grondwaterpeilstijging van 0.2 - 0.5 meter op het perceel, waarbij de stijging zich voornamelijk voordoet op de zones met subirrigatie zelf (Figuur 33, voor twee modellen met verschillende randvoorwaarden).



Figuur 33: Toename in grondwaterpeil (in meter) door de subirrigatie, volgens 2 modelversies

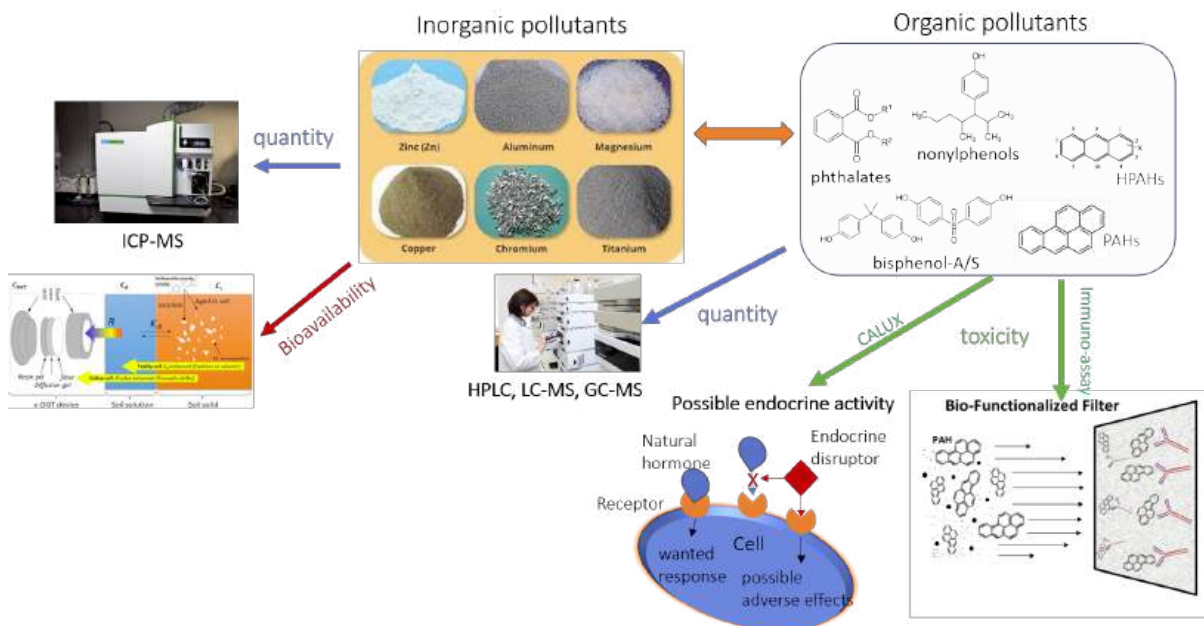
## 5 Waterkwaliteit

Zoals aangegeven in Paragraaf 2.3.3 gebeurt de opvolging van het effect van de subirrigatie op waterkwaliteit voornamelijk vanuit het flankerende VUB-project. Tijdens de loop van dit project was er vanzelfsprekend een nauwe samenwerking tussen beide projecten, zodat er kon nagegaan worden of er geen negatieve effecten ontstonden door de subirrigatie met het gezuiverde afvalwater. In deze sectie zullen de conclusies die op dit moment beschikbaar zijn uit het flankerende onderzoek samengevat worden. Het flankerend onderzoek loopt nog tot het einde van 2024.

De parameters die opgevolgd worden bij het onderzoek kunnen als volgt gegroepeerd en opgelijst worden:

- **Algemene chemisch-fysische parameters:**
  - pH, temperatuur, TDS, saliniteit, zuurstofconcentratie, specifieke conductiviteit
  - Ca, Mg, Na, K, SO<sub>4</sub>, Cl, Br, ALK, HCO<sub>3</sub>
- **Nutriënten:** C/N-verhouding, POC, PN, delta<sup>13</sup>C (DIC), delta<sup>13</sup>C (POC), delta<sup>15</sup>N (PN)
- **Organische contaminanten:** PAHs, xenoestrogenen, specifieke herbiciden, PFOS, PFOA
- **Sporenmetalen:** Cd, Pb, Cr, Ni, Cu, As
- **Tracer** om het gezuiverd effluent te detecteren in het grondwater: stabiele waterisotopen, chloor-bromide verhouding

Een overzicht van de parameters en meetmethodes wordt weergegeven in Figuur 34.



Figuur 34: Overzicht van de verschillende parameters en meetmethodes die toegepast worden bij het onderzoek naar de waterkwaliteit

Bijkomend werd een in vitro experiment opgezet om de impact van het gezuiverd effluent op de gewaskwaliteit in te schatten, en meer specifiek de gehalten aan sporenmetalen. Hierbij werden planten gevoed met het effluent van de RWZI Kinrooi en werd de gewaskwaliteit gemonitord (Figuur 35). Als gewas werden radijzen gebruikt.



Figuur 35: In vitro experiment met toediening van het effluent van de RWZI van Kinrooi aan radizenplanten

Uit dit onderzoek bleek dat:

- De concentraties aan sporenmetalen in de planten vergelijkbaar waren bij toediening van effluent en MilliQ (zeer puur) water
- De concentraties aan sporenmetalen in de planten in alle objecten onder de drempelwaarden van de EC-wetgeving 1881/2006 zijn
- De voeding met het effluent leidt tot een hogere biomassagroei in vergelijking met MilliQ water

Algemeen werd er in de periode 2022-2023 geen indicatie gevonden van de opbouw van schadelijke stoffen in bodem of water door de subirrigatie, zodat het experiment in deze periode zonder beperking verder gezet kon worden.

Onderstaande conclusies kunnen op dit moment, in voorafname van het eindrapport van de flankerende studie, getrokken worden uit het onderzoek naar de waterkwaliteit. Deze worden onder meer in meer detail toegelicht in de wetenschappelijke publicatie van [Luo et al. \[2024\]](#).

### Algemene waterkwaliteitsparameters

De subirrigatie lijkt te leiden tot een stijging van de **electrische geleidbaarheid** in de oppervlakkige grondwatermetingen. Echter, gezien de referentiemetingen voor de subirrigatie zich voornamelijk in de herfst-winterperiode voordeden, is een directe vergelijking met de periode met subirrigatie op dit moment moeilijk.

De **pH** van het effluent blijft de volledige meetperiode stabiel tussen 7 en 7.5. Er lijkt niet meteen een duidelijk verband te zijn tussen de subirrigatie en de gemeten pH in het grondwater.

De **oxido-reductie potentiaal** vertoont ook geen duidelijke verschillen tussen pre- en post-subirrigatie. In de peilputten op blokken A en B, waar de subirrigatie plaatsvindt, is er wel een indicatie voor afwijkende waarden, hetgeen om nader onderzoek vraagt.

### Belangrijke ionen

Het effluent bevat zeer weinig **calcium** in vergelijking met het grondwater. Voor **magnesium** wordt er enkel een verhoogde concentratie gemeten in peilput PB04A, aan de noordzijde van het perceel ter hoogte van blok B. Algemeen kan er geen significante trend waargenomen worden voor deze ionen.

**Kalium** en **natrium** vertoonden de hoogste variabiliteit in de metingen op blokken A en B. Er is echter geen duidelijke trend in de metingen: na de subirrigatie nam de mediaan van de kalium-

en natriumconcentratie toe in de richting van de mediaan van het effluent op blok A, wat te verwachten zou zijn indien het effluent tot een aanrijking in deze ionen zou zorgen, maar in blok B ging de trend juist de andere richting uit.

**Chloride**-concentraties lijken toe te nemen na de start van de subirrigatie. Het effluent heeft een significant hoger chloridegehalte dan het grondwater, dus dit lijkt een logisch gevolg van de subirrigatie.

Algemeen bleven de gemeten concentraties in lijn met de gemiddelden die zich voortdoen in oppervlaktewaters, gezuiverde effluënten en grondwaters in Vlaanderen.

### Sporenmetalen

Algemeen zijn de gemeten gehalten aan sporenmetalen in het grondwater relatief laag. Er is wel variatie in functie van het tijdstip van de meting (seizoenale schommelingen), de diepte van het grondwater, en de locatie op het veld.

### Nutriënten

Het **nitraat**gehalte in het grondwater heeft een zeer brede range, gaande van 0 tot 280 µg/L. De hoogste concentraties worden meestal aangetroffen op de peilbuizen in het midden van het perceel (PB15A, PB15B, PB15C) en in de peilbuis aan de noordzijde van het perceel (PB04B). Deze tijdelijk verhoogde concentraties zijn hoogstwaarschijnlijk eerder het gevolg van bemesting dan van de subirrigatie. De meeste metingen van **ammonium** vertoonden een gehalte onder de detectielimiet.

**Fosfaat**gehalten in het grondwater waren algemeen zeer laag, meestal onder de detectielimiet van de meetmethode. De metingen die boven de detectielimiet uitkwamen, bleven onder de grens van 0.2 mg/L, en deden zich voor in de oppervlakkige peilbuizen. Deze waarden liggen in lijn met de verwachtingen voor fosfaatgehalten in oppervlakkig grondwater op een landbouwperceel.

### Micro-organische verontreinigende stoffen

De concentratie aan **PACs** (polycyclische aromatische verbindingen) waren over het algemeen laag, zowel voor als na de subirrigatie. In vergelijking met de grenswaarde van 200 µg/L voor in totaal 34 polycyclische aromatische koolwaterstofverbindingen zoals bepaald in de Vlaamse regelgeving door VITO, was er slechts één overschreiding. Hierbij moet in het achterhoofd gehouden worden dat ook neerslag een belangrijke bron van PACs kan zijn.

**XEs** zijn een groep van hormoonverstorende stoffen. Gedurende de meetperiode bleven de concentraties onder de EU-richtlijnen.

### Tracers

Voor de start van de subirrigatie werd gezocht naar betrouwbare tracers om de het effluent te kunnen detecteren in het grondwater, en zodoende ook de performantie van het grondwatertransportmodel te verbeteren. Er werden twee tracers onderzocht: de chloor-bromide verhouding en stabiele waterisotopen. Communicatie met Gé van den Eertwegh bij aanvang van de monitoring wees ook al uit de chloor-bromide tracer ook in Nederland goede resultaten gaf. Beide technieken blijken beloftevol, maar er is nog verder onderzoek naar de interactie

met andere waterkwaliteitsparameters, zoals conductiviteit, om robuustheid van de tracer te verbeteren. Meer detail over dit onderzoek is te vinden in [Speijer et al. \[2022\]](#).

### **Andere stoffen**

Een analyse op **pesticides** werd uitgevoerd op het grondwater in 2021, met bepaling van VOCs (volatiele organische componenten), pesticiden, en fenolen. De gemeten gehalten waren altijd onder de detectielimiet, behalve voor Clorotoluron (meerdere metingen rond 0.00003 mg/L), Nonylphenol (één meting van 0.00149), en Bentazon (twee metingen van 0.00001 mg/L).

In navolging van de crisis rond **pFAS** werd in het voorjaar van 2022 voor de start van de subirrigatie een analyse gedaan op grondwaterstalen uit 12 peilbuizen en op het effluent. Alle stalen werden getest door een geaccrediteerd labo (ECCA) volgens ISO 17025 & ISO 14001. De gemeten concentraties waren overal onder de detectielimiet van 0.1 µg/L, behalve voor één grondwaterstaal, waar een PFBA (perfluorbutaan zuur) gehalte van 0.62 µg/L gemeten werd. Aangezien er in geen enkel andere component in geen enkel van de andere stalen boven de detectielimiet gemeten werd, wordt hier aangenomen dat het om een kruisbesmetting in het laboratorium gaat. Deze staalname zal in de loop van het verder onderzoek op deze site herhaald worden, waarbij een analyse met lagere detectielimieten gebruikt zal worden.

Verder werden er ook **microbiologische analyses** uitgevoerd, met name naar coliformen, enterokokken, en E. coli. De resultaten tonen aan dat coliformen, E. coli en enterokokken regelmatig aanwezig zijn in het effluent (meestal aan >2420n/100mL) en af en toe voorkomen in het grondwater in lagere hoeveelheden (tussen 2 en 1300n/100mL).

## 6 Technische afwerking van het systeem

### 6.1 Uitstroompunt blokken A en B

Gedurende de groeiseizoenen van 2022 en 2023 werd het uitlaatpunt van blokken A en B aan de noordwestzijde van het perceel manueel afgesloten met een afdichtdeksel op de blinde buis (Figuur 36). Hierdoor is er geen waterverlies en kan al het gebruikte water infiltreren op het perceel. Anderzijds is er geen mogelijkheid om het systeem te 'flushen' indien er verstoppingen zouden ontstaan, of om water af te voeren indien er bijvoorbeeld door overmatige subirrigatie wateroverlast zou ontstaan of indien er zeer zware neerslag verwacht wordt.

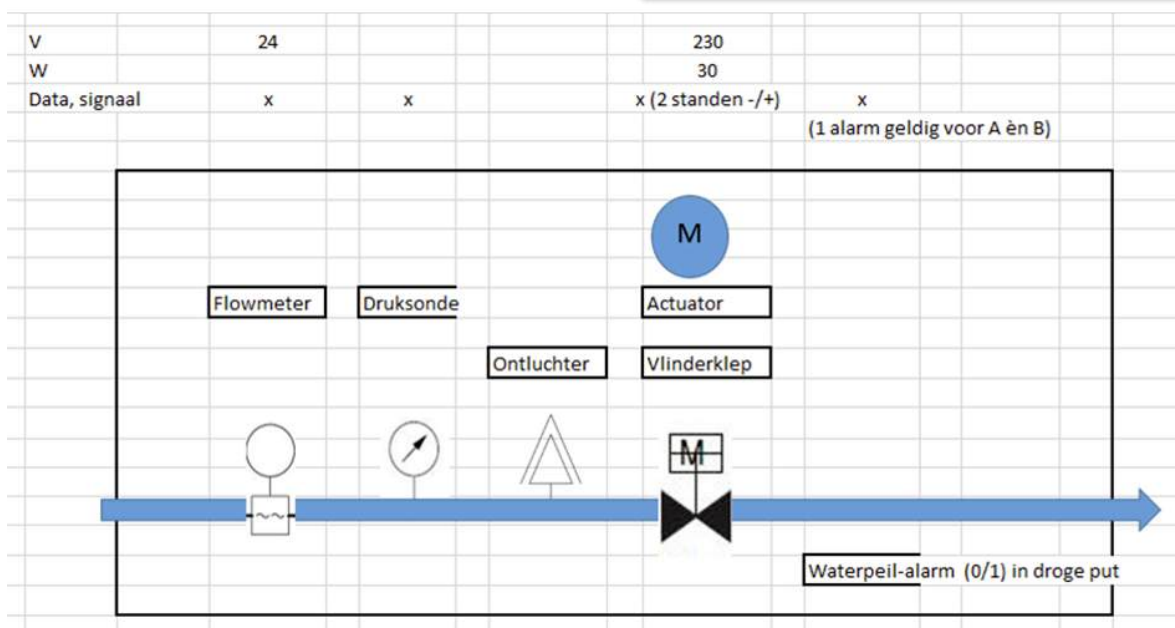
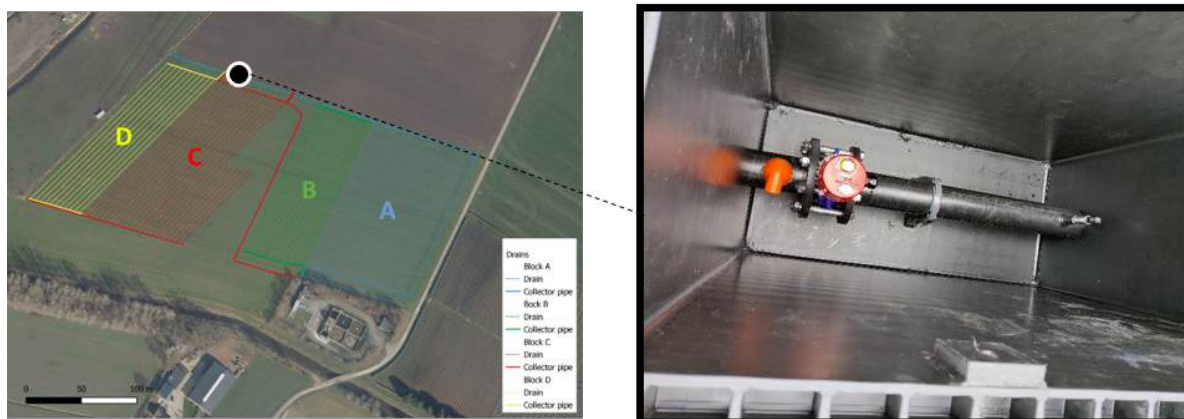


Figuur 36: Originele afsluiting van de uitlaat van blokken A en B

Om dit op te vangen en het subirrigatiesysteem technisch af te werken voor de blokken A en B werd er aan de noordzijde van het perceel een kunststoffen kist op maat gemaakt waarop de blinde afvoerbuis aangekoppeld kon worden (Figuur 37). In deze kist bevinden zich:

- Een vlinderklep met actuator
- Een debietmeter met datalogger
- Een druksensor

- Een ontluchter



Figuur 37: Locatie en technisch schema van het uitstroompunt van de blokken A en B

De begraven kist werd in samenspraak met de proefveldhouder aan de rand van het perceel ingewerkt en afgewerkt op maaiveldniveau (Figuur 38).



Figuur 38: Illustratie van het plaatsen en de afwerking van het uitstroompunt van blokken A en B

## 6.2 Telemetrische aansturing van het systeem

De ervaring opgedaan in het groeiseizoen van (voornamelijk) 2022 wijst uit dat het perceel veel sneller reageert op de subirrigatie dan initieel verwacht. Hierdoor wordt een nauwgezette fijnsturing van het instroomdebiet belangrijk. Zo kan het toegediende water maximaal dienen om te voldoen aan de vochtvraag van het gewas en voor percolatie naar het grondwater, zonder dat er wateroverlast ontstaat. Een gedetailleerde aansturing van het systeem is ook essentieel om het waterpeil in de ondergrond effectief te beheren op basis van de weersvoorspellingen.

Tijdens het groeiseizoen van 2022 en 2023 werd het subirrigatiedebiet manueel geregeld door de kranen aan het instroompunt meer of minder te openen. Dit vereist echter de fysieke aanwezigheid op terrein van de beheerder, waardoor er veel tijd en kosten verloren gaan aan transport. Hierdoor werd bij de projectaanvraag ook vooropgesteld om de aansturing van het systeem via telemetrie te laten lopen, zodat het instroomdebiet vanop afstand geregeld kan worden. Op deze manier kunnen ook de sensormetingen (debiet, druk, waterpeil) elk moment geraadpleegd worden. Het subirrigatiedebiet kan dan geïnformeerd aangepast worden op basis van de actuele situatie op het terrein.

Tijdens het groeiseizoen werd aan het instroompunt op de RWZI de telemetrie geïnstalleerd (Figuur 39). Dit betreft:

- Een PLC (Programmable Logic Computer) die de vlinderkleppen kan aansturen en de sensordata kan uitlezen, en deze informatie kan doorsturen via een laag-energie netwerk (SigFox)
- Een actuator op de vlinderklep, zodat deze niet meer manueel maar elektronisch bediend kan worden
- Een verbinding tussen de PLC en de debiet- en druksensoren



Figuur 39: Installatie van de telemetrie aan het instroompunt

De PLC kan aangestuurd worden vanop een online dashboard (Figuur 40), waar de beheerder volgende functionaliteiten heeft:

- Openen en sluiten van de vlinderklep met een bepaald percentage
- Uitlezen van de data van de debiet- en druksensoren voor elk van de drie instroomleidingen (naar blok A, B, en C en D)
- Keuze van het tijdsinterval waarin de sensordata geregistreerd wordt. Dit interval wordt bij voorkeur op >300 seconden gezet om overmatige belasting van het online platform te voorkomen.

Dit dashboard is momenteel toegankelijk voor de projectuitvoerders, maar kan op termijn ook (deels) opengesteld worden voor de landbouwer, zoals reeds gebeurd in een gelijkaardige toepassing rond peilgestuurde drainage (o.m. in het VLAIO-LA project 'OP-PEIL') en stuwbeheer (o.m. in de projecten VLAIO-LA 'StuwViewer' en 'Digistuw').



Figuur 40: Illustratie van het online dashboard. Boven: meting van het instroomdebiet van Blok A op twee tijdstippen; onder: aansturing van de vlinderkleppen voor Blok A ('Ventiel 1') en Blok B ('Ventiel 2').

## 7 Conclusies

### Technische conclusies

Conclusies inzake aanleg van het subirrigatiesysteem:

- De dimensies van het ondergrondse buizen netwerk (1 meter diepte \* 4 meter tussenafstand) zorgen voor een mooi homogeen watervlak in de ondergrond
- Het debiet aan subirrigatie dat bereikt kan worden, wordt eerder gelimiteerd door pompcapaciteit (ca. 35 m<sup>3</sup>/uur) dan door de infiltratiecapaciteit van de bodem. Bij langdurige subirrigatie aan het maximale debiet van 35 m<sup>3</sup>/uur kan er een gevoelige vernatting in het oppervlakkige bodemprofiel ontstaan.
- De overdruk tot 4.5 meter op de laagste punten van het subirrigatiesysteem was niet problematisch: er werden geen betekenisvolle lekken vastgesteld tijdens het project
- Voor de aansturing van het systeem op het proefveld zelf werd een kunststoffen kist begraven en aangesloten op de blinde buizen. Dit bleek een robuuste oplossing met een minimale verstoring van de werkzaamheden van de proefveldhouder.

Conclusies inzake de monitoring van het systeem:

- Zowel peilmetingen als metingen van het vochtgehalte in de wortelzone zijn nodig, gezien er zich effecten in de wortelzone van het gewas kunnen voordoen zonder dat het freatische grondwaterpeil sterk veranderd is.
- Het ontstaan van een hangwatertafel door de subirrigatie vraagt om een aangepast meetprotocol om de extensie van deze hangwatertafel in de schatten: oppervlakkige peilbuizen, of geofysische meetmethoden zoals elektrische resistiviteit tomografie (ERT) of electromagnetische inductie (EMI) kunnen hier een belangrijke meerwaarde bieden om meer inzicht te krijgen in de verplaatsing van het subirrigatiewater in de ondergrond.

### Agronomische conclusies

- Een doorrekening met het waterbalansmodel gaf als eerste inschatting dat er in de zomer van 2022 een irrigatie-efficiëntie van ca. 30% behaald werd, met andere woorden per 100 liter subirrigatie werd er 30 liter beschikbaar voor het wortelstelsel van de gewassen. Dit is een zeer gunstig resultaat, gezien uit de internationale literatuur vaak gesproken wordt van een efficiëntie van ca. 10% bij subirrigatie.
- De aanwezigheid van een bodemlaag die de waterinfiltratie vertraagt juist onder het subirrigatiesysteem heeft in sterke mate bijgedragen aan deze relatief hoge efficiëntie. Literatuur rond peilgestuurde drainage gaf al aan dat dit een zeer gunstige situatie is om een betekenisvolle opwaartse waterbeweging naar de gewaswortels te realiseren (zie o.m. [Coussement et al. \[2022\]](#)). De hier bereikte resultaten tonen duidelijk aan dat bij het opstarten van nieuwe subirrigatiesystemen, een gedetailleerde kartering van de bodemopbouw tot minstens 1.5 m-mv essentieel is om de haalbaarheid van het systeem in te schatten.
- In 2023 was de landbouwkundige nood aan subirrigatie veel lager door de natte zomer, zodat in dit jaar er veel minder subirrigatie kon plaatsvinden. Er werden landbouwkundig dan ook geen verschillen waargenomen tussen de verschillende blokken, gezien de gewassen puur door neerslag aan hun vochtvraag konden voldoen. Dit benadrukt de conclusies die ook in Nederland getrokken worden rond dit type proeven, namelijk dat een opvolging over een lange periode essentieel is om de agronomische efficiëntie goed te kunnen inschatten.

## Hydrologische conclusies

- Grondwatermodellering in MODFLOW en een tijdreeksanalyse met PASTAS vertonen een vergelijkbare toename van het grondwaterpeil met door subirrigatie. Er werden grondwaterpeilstijgingen gemodelleerd tussen 20 en 50 cm.
- De modellering met MODFLOW wijst uit dat het subirrigatiewater eerst verticaal zal percoleren tot op een diepte van ca. 10 m-mv, waarna het lateraal naar het oosten zal bewegen in de richting van de Maas. Deze eerste bevindingen, zowel qua stromingsrichting als qua toename van het grondwaterpeil, zullen in de loop van verder onderzoek op deze site verder verfijnd worden.
- Het zeer natte groeiseizoen van 2023 limeerde de toepassing van subirrigatie, waardoor de effecten op de grondwaterpeilen minder goed onderzocht konden worden
- Verder onderzoek met hogere volumes aan subirrigatie is nodig om de effecten op het grondwater verder en beter in kaart te brengen

## Conclusies water-, bodem-, en gewaskwaliteit

- Fysico-chemische parameters en nutriënten: de gemeten concentraties en fysische hoeveelheden zijn in het algemeen in lijn met de gemiddelden die zich voortdoen in oppervlaktewaters, gezuiverde effluënten en grondwaters in Vlaanderen
- Tracer voor het detecteren van het gezuiverd effluent in het grondwater: zowel de stabiele waterisotopen als de chloor-bromide verhouding blijken bruikbaar en worden verder onderzocht.
- Persistente organische polluenten: de concentraties in het gewas in het in vitro experiment blijven onder de toegelaten waarden. De grondwaterstalen vertoonden allen PFOS/PFOA-waarden onder de detectielimiet
- Sporenelementen: de concentraties aan sporenelementen waren vergelijkbaar tussen het gezuiverd effluent en het lokale oppervlaktewater. In beide gevallen waren de concentraties onder de VLAREBO-richtlijnen.

## Algemene conclusie en vooruitzichten voor verder onderzoek

Het subirrigatiesysteem werd in de loop van dit project uitgetekend, opgebouwd op het terrein, technisch getest, en finaal gebruikt tijdens twee landbouwkundige seizoenen. De eerste resultaten zijn zeer beloftevol, zeker vanuit landbouwkundig oogpunt. Er zijn echter nog een aantal belangrijke open vragen, met name:

- Hoe reageert het systeem in andere meteorologische omstandigheden?
- Hoe interageert de bodemprofielopbouw met de verplaatsing van het water in de bodem?
- Welke watergift is agronomisch optimaal?
- Welke watergift is wenselijk om de grondwaterreserves op ruimere schaal aan te vullen?
- Hoe werkt het systeem op gronden die van nature natter zijn?
- Wat zijn de effecten inzake waterbuffering en waterkwaliteit op lange termijn?
- Waar in Vlaanderen is er nog potentieel voor deze toepassing?

Verder onderzoek op deze pilotsite, die op dit moment uniek is in Vlaanderen, is essentieel om verdere inzichten te krijgen in de haalbaarheid en wenselijkheid van subirrigatie met gezuiverd effluent in Vlaanderen.

## Referenties

- Bartholomeus, R., van den Eertwegh, G., and van Huijgevoort, M. (2018). Subirrigatie met grondwater - Monitoring veldproef America. KWR 2018.029.
- Bodemkundige Dienst van België and Libost (2010). Ruilverkaveling Molenbeersel - Studie naar de mogelijkheden van irrigatie. Technical report, Studie in opdracht van de Vlaamse Landmaatschappij, referentie L34SI10.
- Cirkel, G., van den Eertwegh, G., Stofberg, S., and Bartholomeus, R. (2017). Kennisdocument Hergebruik van Restwater voor de Landbouw-watervoorziening. BTO rapport BTO 2017.009.
- Collenteur, R. A., Bakker, M., Caljé, R., Klop, S. A., and Schaars, F. (2019). Pastas: Open Source Software for the Analysis of Groundwater Time Series. *Groundwater*, 57(6):877–885.
- Coussement, T., Janssens, P., Elsen, A., Pardon, P., Reubens, B., and Mertens, J. (2019). Effect van agroforestry op de waterhuishouding. Technical report.
- Coussement, T., Meuris, S., and Elsen, F. (2022). Peilgestuurde drainage - het handboek. Eindrapport, 9/11/2022, Bodemkundige Dienst van België en Boerenatuur Vlaanderen.
- de Wit, J., van Huijgevoort, M., van Deijl, D., van den Eertwegh, G., and Bartholomeus, R. (2021). Regelbare drainage met subirrigatie en slimme stuwen. Technical Report KWR 2021.028.
- Elsen, F. and Coussement, T. (2019). Drainage+ Peilgestuurde drainage als alternatief voor klassieke drainage (Bijlage 2 bij het eindverslag KML 15-05). Technical report, Bodemkundige Dienst van België en Agrobeheercentrum.
- Janssens, P. (2006). *Invloed van een ondiepe grondwatertafel op de planning van irrigaties voor intensieve groententeelt*. Eindwerk voorgedragen tot het behalen van de graad Bio-ingenieur in het Land en Bosbeheer, KU Leuven, Leuven.
- Luo, M., Su, Y., Vandeputte, D. J., Jia, Y., Li, G., and Baeyens, W. (2024). Impact of inorganic and organic pollutants from a Belgian wastewater treatment plant on adjacent surface and groundwaters. *Front. Environ. Sci. Eng.*, 18(4).
- Speijer, L., Vandeputte, D., Zawadzki, M., Su, Y., Luo, M., Gao, Y., Elskens, M., Verhoest, P., Bauwens, J., Coussement, T., Elsen, F., Raes, B., Eisenreich, S., and Huysmans, M. (2022). Re-use of treated wastewater for irrigation and groundwater recharge: environmental impact assessment based on tracer method at the experimental site in Kinrooi, Belgium. other, display.
- Stuyt, L. C. P. M. (2013). Regelbare drainage als schakel in toekomstbestendig waterbeheer. Technical Report Alterra-rapport 2370, Alterra, Wageningen.
- Tits, M., Elsen, F., Coussement, T., Devenyns, D., Elsen, A., Bries, J., and Vandendriessche, H. (2015). Integrale aanpak van waterkwaliteits- en kwantiteitsverbetering van de Horstgaterbeek en de Lossing in de omgeving van ruilverkaveling Molenbeersel rekening houdend met een mogelijk irrigatieproject. I.o.v. Vlaamse Regering Eindrapport, 9/3/2015, Bodemkundige Dienst van België en Vlaamse Landmaatschappij Regio Oost.
- Verhoest, P., Gaume, B., Bauwens, J., te Braak, P., and Huysmans, M. (2022). Public acceptance of recycled water: A survey of social attitudes toward the consumption of crops grown with treated wastewater. *Sustainable Production and Consumption*, 34:467–475.