

KWR 2021.022 | April 2021

Hergebruik industrieel restwater Bavaria

**Inzicht in effecten van opschaling van subirrigatie
voor de landbouwwatervoorziening**

Rapport

Hergebruik industrieel restwater Bavaria: Inzicht in effecten van opschaling van subirrigatie voor de landbouwwatervoorziening

KWR 2021.022 | April 2021

Opdrachtnummer

403579

Projectmanager

Arnaut van Loon

Opdrachtgevers

Swinkels Family Brewers en Waterschap Aa en Maas

Auteurs

Esther Brakkee, Chris van Rens (Waterschap Aa en Maas), Marjolein van Huijgevoort, Ruud Bartholomeus

Kwaliteitsborger

Gijsbert Cirkel

Verzonden naar

Marthijn Junggeburth (Swinkels Family Brewers), Peter Daverveld (Waterschap Aa en Maas), Godelieve van Tilborg (ZLTO)

Dit rapport is openbaar.

Keywords

subirrigatie, waterhergebruik, waterbalans

Jaar van publicatie

2021

Meer informatie

Esther Brakkee Msc.

T +31 6 52825934

E esther.brakkee@kwrwater.nl

PO Box 1072

3430 BB Nieuwegein

The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511

E info@kwrwater.nl

I www.kwrwater.nl



KWR

April 2021 ©

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

Inhoud

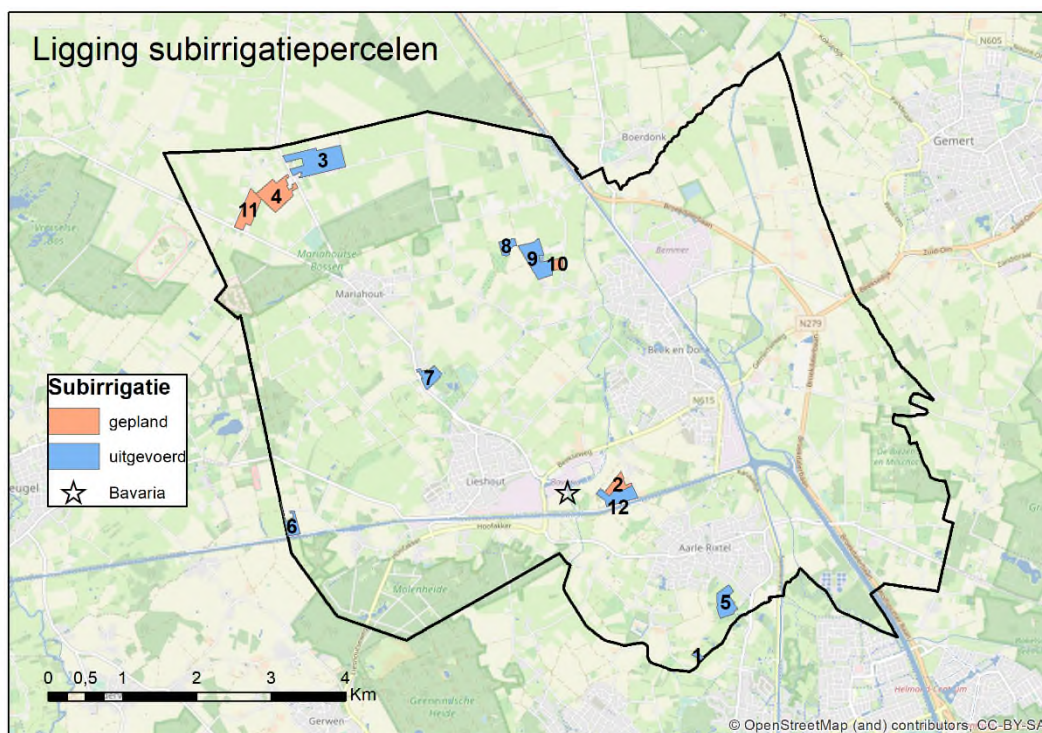
1	Introductie	3
2	Methode	5
2.1	Regionaal grondwatermodel	5
2.2	Opstellen waterbalansen	6
2.3	Ligging van leemlagen	6
2.4	Inschatting waterbalans op basis van praktijkproeven	7
2.4.1	Veldproeven subirrigatie	7
2.4.2	Modelberekeningen met SWAP	8
2.4.3	Toepassing op percelen Laarbeek	8
3	Effect van subirrigatie op waterbalans Laarbeek	9
3.1	Waterbalans Laarbeek in de referentiesituatie	9
3.2	Waterbalans Laarbeek met beregening en subirrigatie	9
3.3	Waterbeschikbaarheid voor subirrigatie	11
3.4	Ligging van leemlagen	12
3.5	Effecten subirrigatie op grondwaterstanden	13
4	Watervraag en effectiviteit van subirrigatie op perceelschaal	15
4.1	Kenmerken van de planpercelen	15
4.2	Effect van subirrigatie en beregening op grondwaterstanden	16
4.3	Gewasopbrengst	17
4.4	Waterbalans subirrigatiepercelen	18
4.5	Vergelijking modelresultaten met verwachting uit veldproeven	21
4.5.1	Inschatting watervraag op basis van veldproeven	21
4.5.2	Inschatting watervraag op basis van SWAP-simulaties	23
4.5.3	Inschatting aanvoerhoeveelheden percelen Laarbeek	23
4.5.4	Vergelijking grondwatermodel met verwachting uit veldproeven	23
5	Synthese en discussie	25
5.1	Effect van subirrigatie op waterbalans gemeente Laarbeek	25
5.2	Watervraag en effectiviteit subirrigatie op perceelschaal	26
5.2.1	Variatie en sturende factoren	26
5.2.2	Watervraag en betrouwbaarheid grondwatermodel	26
5.2.3	Effectiviteit van subirrigatie op perceelschaal en druk op het grondwater	27
6	Conclusies en aanbevelingen	28
	Referenties	30

1 Introductie

Door veranderingen in het klimaat wordt verwacht dat watertekorten in Nederland zullen toenemen, vooral tijdens de zomer. Hierdoor kan schade ontstaan aan gewassen en kunnen landbouwopbrengsten dalen. Een verdere toename van beregening uit grondwater om deze schade te beperken heeft negatieve gevolgen voor het watersysteem. Watervraag en -aanbod kunnen mogelijk beter op elkaar afgestemd worden door het inzetten van gezuiverd restwater, zodat de druk op het grondwater afneemt.

De Bavariabrouwerij onttrekt jaarlijks zo'n 2.9 miljoen m³ grondwater, maar loost ook jaarlijks zo'n 1.9 miljoen m³ gezuiverd restwater op het oppervlaktewater. Dit restwater wordt op dit moment deels ongebruikt afgevoerd naar gebieden benedenstrooms en deels ingezet voor subirrigatie van omliggende landbouwgronden. Tegelijk pompen agrariërs in de omgeving nog grondwater op voor de beregening van gewassen. Door het gebruik van gezuiverd restwater voor de landbouw via subirrigatie zou de watervoorziening kunnen verbeteren en de druk op het grondwater vanuit de landbouw afnemen. Bovendien laat Bavaria een kleinere watervoetafdruk achter indien restwater wordt teruggebracht in het grondwatersysteem. Om inzet van gezuiverd restwater verantwoord toe te passen, is inzicht nodig in alle aspecten van het watersysteem, waaronder de technische kanten, de waterkwaliteit en –beschikbaarheid van de bron, en de effecten van hergebruik op het watersysteem (Dingemans et al., 2020).

In 2016 is op een landbouwperceel nabij de Bavariabrouwerij een proef opgezet, waarin aangevoerd gezuiverd restwater van Bavaria wordt gebruikt voor subirrigatie van het perceel. Monitoring van de effecten liet zien dat het systeem, wanneer het naar behoren werkt, succesvol de grondwaterstand en gewasopbrengst kan verhogen (Bartholomeus et al., 2018). Op dit moment zijn er binnen het project F2AGRI meerdere nieuwe subirrigatiesystemen aangelegd in de omgeving van Bavaria en plannen voor systemen op meerdere percelen, in totaal ongeveer 93 hectare (zie Figuur 1). Via de subirrigatiesystemen kan het restwater van Bavaria ook hier (indirect via het oppervlaktewater) worden hergebruikt voor de agrarische watervoorziening. Ook kan er door subirrigatie mogelijk een toename bereikt worden van de grondwateraanvulling, waarmee de grondwateronttrekking door Bavaria deels kan worden gemitigeerd.



Figuur 1: Ligging van de geplande en al aangelegde subirrigatiesystemen binnen de gemeente Laarbeek. Perceel 12 (perceel Lieshout) is het perceel waar al sinds 2016 subirrigatie met direct hergebruikt restwater plaatsvindt, en waar uitgebreide metingen zijn gedaan binnen eerdere projecten.

De activiteiten binnen het project F2AGRI hebben tot de volgende vraag geleid:

Wat is het effect van het hergebruik van gezuiverd restwater van Bavaria voor de landbouwwatervoorziening op waterstromen in het totale projectgebied (gemeente Laarbeek)?

Deze onderzoeksvraag is opgedeeld in 2 deelvragen:

1. Wat zijn de effecten van subirrigatie (op de planpercelen) op de waterbalans van het projectgebied (op hoofdlijnen)?
2. Wat zijn de watervraag en effectiviteit van subirrigatie op perceelschaal?

Deze onderzoeksvragen zijn onderzocht door drie scenario's in beeld te brengen op zowel de schaal van het projectgebied als op perceelschaal.

1. Referentie: De oorspronkelijke situatie zonder subirrigatie. In het projectgebied vindt conventionele haspelberekening plaats uit grondwater; op de twaalf F2AGRI-planpercelen wordt geen berekening of subirrigatie toegepast.
2. Berekening: Op de twaalf planpercelen wordt berekend uit grondwater; in de rest van het gebied blijft de situatie zoals in de referentie.
3. Subirrigatie: Op de twaalf planpercelen wordt subirrigatie toegepast; in de rest van het gebied blijft de situatie zoals in de referentie. Er is aangenomen dat de aanvoer voor subirrigatie onttrokken kan worden uit oppervlaktewater, dat is aangevuld met de lozing van Bavaria-restwater.

Op deze manier worden de effecten van subirrigatie vergeleken met de effecten van conventionele haspelberekening uit grondwater. In deze verkennende studie worden de watervraag en effecten van subirrigatie globaal ingeschat, om inzicht te krijgen in de potentie van hergebruik van Bavaria-restwater in de landbouw. De wijze waarop het water naar de percelen kan worden aangevoerd en de waterkwaliteitsaspecten zijn geen onderdeel van de studie.

2 Methode

Voor het inschatten van het effect van subirrigatie met restwater in het projectgebied is gebruik gemaakt van modelberekeningen met het Aa en Maas-iMOD/MetaSWAP grondwatermodel, waaraan recent een subirrigatiemodule is toegevoegd. De module om subirrigatie-effecten door te rekenen is ontwikkeld binnen het Lumbricus-programma (www.stowa.nl/lumbricus, Bartholomeus (red.), 2021). De module is nog weinig toegepast en gevalideerd in de praktijk. Ook is niet bekend hoe onzekerheden in de schematisatie van weerstanden in de ondergrond, die een grote invloed hebben op subirrigatie, doorwerken in de resultaten.

De berekende effecten vanuit het subirrigatie-grondwatermodel zijn vervolgens gecombineerd met inschattingen op basis van bestaande kennis uit veldproeven. Dit geeft een completer beeld van de effecten en daarbij een eerste controle op de betrouwbaarheid van de modelresultaten.

2.1 Regionaal grondwatermodel

Door waterschap Aa en Maas zijn voor het projectgebied modelberekeningen gemaakt voor de drie genoemde scenario's:

1. Referentie: waterbeheer als in huidige situatie, geen berekening op de planpercelen;
2. Berekening: berekening op de planpercelen, rest van het gebied zoals referentie;
3. Subirrigatie: subirrigatie op de planpercelen, rest van het gebied zoals referentie.

Het iMOD/MetaSWAP-model rekt met de MetaSWAP-database gebaseerd op de nieuwste inzichten van de Staringreeks. Het model is gedraaid op dagbasis voor de periode 2015-2019 met een resolutie van 25*25 m. De volgende aannames zijn gedaan:

- De planpercelen hebben allemaal gras als gewas en een maximale worteldiepte van 30 cm;
- Het opgelegde peil voor de regelbare drainage met subirrigatie ligt op 50 cm-mv voor het hele jaar, gericht op het beperken van droogtestress voor het gewas. Een ondiepere grondwaterstand kan tot natschade leiden;
- De hoogte van drains ligt voor regelbare drainage met subirrigatie algemeen op 120 cm-mv om voldoende sturingsruimte te hebben. In het model is deze diepteligging aangenomen voor alle percelen;
- Eventuele sloten binnen de planpercelen worden 'gedempt' in het subirrigatie-scenario, zoals dat in werkelijkheid ook zou gebeuren;
- Wateraanvoer via subirrigatie vindt plaats van 1 april t/m 30 september;
- Het model voert water aan via subirrigatie met een maximum van 1 m³/s per perceel; dit maximum is zo hoog dat de wateraanvoer in feite onbegrensd is.
- Subirrigatie vindt plaats uit oppervlaktewater; een eventueel tekort aan oppervlaktewater wordt in het model niet meegenomen. Het geloosde water vanuit Bavaria wordt dus indirect hergebruikt. In het model wordt geen rekening gehouden met een verminderd debiet in het oppervlaktewater als gevolg van gebruik voor subirrigatie; deze functionaliteit ontbreekt nog.
- Conventionele haspelberekening vindt plaats uit het diepere grondwater (voornamelijk modellaag 4). De berekeningshoeveelheden worden berekend op basis van de verdampingsvraag met een aantal beperkingen aan hoeveelheid en timing; deze instellingen zijn gelijk aan die in het LHM.

In de subirrigatie-module worden de subirrigatie-aanvoer en het effect van peilgestuurde drainage berekend als twee aparte processen (Pouwels, 2020). De subirrigatie wordt in het model berekend met de term *QSUBK*. De aanvoer voor subirrigatie is in dit onderzoek berekend als *QSUBK_IN* – *QSUBK_OUT* over de periode waarop het subirrigatiesysteem aan staat, dus van april t/m september. Het model liet ook subirrigatiefluxen zien in de winter, wanneer dit in feite niet realistisch is. De *QSUBK*-fluxen zijn daarom in de winter meegenomen als toenames of afnames in drainage.

Het effect van de inzet van een peilgestuurd systeem op de drainage wordt berekend via de QDRMOD-flux (Pouwels, 2020). De QDRMOD-flux wordt meegenomen in de waterbalansen door de drainage te verminderen.

2.2 Opstellen waterbalansen

Om inzicht te krijgen in het watersysteem, zijn de modelresultaten omgezet naar een gemiddelde maandelijkse waterbalans voor de gehele gemeente Laarbeek. Op basis hiervan zijn Sankey-stroomdiagrammen (Pronk et al., 2020) opgezet die de waterstromen in het gebied in een gemiddeld jaar visualiseren voor elk van de drie scenario's, op jaarbasis en over het groeiseizoen (april-september).

Naast de resultaten van het regionale model zijn voor de waterbalansen data gebruikt van de hoeveelheden grondwateronttrekking en lozing door Bavaria. Van de onttrekking waren alleen jaartotalen beschikbaar; om deze reden is voor de balansen de gemiddelde jaaronttrekking tussen 2015 en 2019 gebruikt en is een gelijkmatige verdeling over het jaar aangenomen. Voor de lozing waren de dagelijkse hoeveelheden geloosd op de Goorloop beschikbaar van 2013-2019. Vanaf 2016 is ook een deel van het restwater geloosd op het Wilhelminakanaal en een deel direct doorgevoerd naar de subirrigatieproef op perceel 12 (Figuur 1); de totale afvoer is gelijk gebleven op zo'n 1.9 Mm³/jaar. Voor de waterbalansen zijn alleen de afvoerdata voor 2013-2015 gebruikt, als indicatie voor de referentiesituatie.

Daarnaast zijn uit de modelresultaten waterbalansen berekend voor elk van de twaalf individuele planpercelen om de lokale verschillen in beeld te brengen. Per perceel zijn de aanvoer/berekening, transpiratie en 'grondwateraanvulling' (ingeschat als de flux van modellaag 2 naar modellaag 3) berekend over 2017 en 2018. Daarnaast is voor zowel berekening als subirrigatie berekend wat de druk is die wordt uitgeoefend op het grondwater en oppervlaktewater. Deze zijn respectievelijk berekend als:

Druk op grondwater [mm/j]= Grondwateronttrekking – Toename grondwateraanvulling t.o.v. referentie;

Druk op oppervlaktewater [mm/j]= Oppervlaktewateronttrekking – Toename drainage t.o.v. referentie.

2.3 Ligging van leemlagen

In het Laarbeek-gebied komen lokaal leemlagen voor in de ondiepe ondergrond (Laagpakket van Liempde/Nuenen groep), die weerstand bieden tegen wegzijging. De aanwezigheid van leemlagen kan een grote invloed hebben op de werking van subirrigatie, zoals duidelijk bleek uit de proef bij Lieshout (Bartholomeus et al., 2018). De ligging van ondiepe leemlagen in het projectgebied is in kaart gebracht met informatie uit DINOloket (<https://www.dinoloket.nl/>). Voor het projectgebied zijn alle boorbeschrijvingen (1718 profielen) gedownload. Hieruit is vervolgens voor alle beschrijvingen de aanwezigheid, diepte en dikte van een eventuele leemlaag gehaald binnen de bovenste 5 meter; dit omvat waarschijnlijk het gehele Liempde (Nuenen)-pakket waarin lemige lagen voorkomen (GeoTOP, DINOloket). De diepte van de beschikbare boorprofielen was in de meeste gevallen slechts 3 à 4 meter. Hierdoor kan de aanwezigheid en dikte van de leemlagen op sommige plaatsen onderschat zijn. De diepte van de leemlagen is geïnterpoleerd naar een rasterkaart; hieruit zijn de waarden voor de planpercelen afgeleid.

In het Aa en Maas-model is de ondergrond geschematiseerd in 19 lagen, met weerstanden op basis van GeoTOP (TNO, 2020). De weerstand van de tweede slecht doorlatende laag in het model (C in dagen) zou samen moeten hangen met de ligging van de ondiepe leemlagen. Het is niet zeker hoe realistisch deze weerstanden in het model zijn op kleinere schaal. Om hiervan een inschatting te geven

is de kaart van deze modelweerstand vergeleken met de kaart van de leemlagen op basis van de DINO-boorbeschrijvingen (paragraaf 3.4).

2.4 Inschatting waterbalans op basis van praktijkproeven

Het regionale grondwater-subirrigatiemodel dat gebruikt is in deze studie is nog weinig gevalideerd in de praktijk. Daarom zijn de balansstromen op de planpercelen behalve op basis van dit regionale model ook ingeschat op basis van kennis uit eerdere veldproeven en SWAP-modelsimulaties.

2.4.1 Veldproeven subirrigatie

Binnen het Lumbricus-onderzoeksprogramma zijn verschillende praktijkproeven opgezet waarin de werking van subirrigatie wordt uitgetest in verschillende situaties (de Wit et al., 2021; Figuur 2).



Figuur 2: Ligging van de vier subirrigatieproeven binnen het Lumbricus-programma.

Op deze vier locaties, die verschillen in hydrologie en bodemopbouw, zijn metingen gedaan van de subirrigatie-aanvoer en van de effecten op de grondwaterstand. Uit deze proeven blijkt dat de (netto) watervraag en effectiviteit van subirrigatie op een specifiek perceel van een aantal verschillende factoren afhangen:

- Het bodemtype;
- De aanwezigheid van weerstand tegen wegzijging, bijvoorbeeld door een leemlaag;
- Diepte van de grondwaterstand in de uitgangssituatie;
- Aanwezigheid en peil van omliggende sloten.

Ook is het ontwerp van het subirrigatiesysteem van belang:

- Duur en timing van wateraanvoer;
- Hoeveelheid wateraanvoer;
- Infiltratiecapaciteit en eventuele verstopping van het subirrigatiesysteem.

Naast metingen is ook voor elke proeflocatie de hydrologische situatie gesimuleerd met behulp van het dynamische 1D Soil, Water, Atmosphere, Plant (SWAP) model (Kroes et al., 2017).

2.4.2 Modelberekeningen met SWAP

Om het effect van verschillende perceelskenmerken beter in kaart te brengen zijn in een eerder project (Bartholomeus et al., 2019) uitgebreidere analyses uitgevoerd met het model SWAP, waarin de watervraag en effectiviteit van subirrigatie zijn berekend voor een groot aantal combinaties van grondwaterstanden, bodemtypes en weerstanden in de ondergrond. Hieruit bleek dat vooral de weerstand in de ondergrond tegen wegzijging en de grondwaterstand in de uitgangssituatie een sterk effect hebben op de effectiviteit en watervraag. Daarnaast is de capillaire nalevering van de bodem van belang. De modelanalyses lieten zien dat met subirrigatie op een efficiënte manier een optimale vochtvoorziening kan leveren voor het gewas, wanneer er sprake is van enige weerstand tegen wegzijging, een grondwaterstand ondieper dan zo'n 2 m-mv en een bodemtype met voldoende capillaire nalevering.

2.4.3 Toepassing op percelen Laarbeek

Op basis van de veldproeven, aangevuld met de SWAP-analyses, is een inschatting gemaakt van de wateraanvoer en de grondwaterstandseffecten van subirrigatie in de verschillende situaties die voorkomen in het projectgebied (par. 4.5). De planpercelen in het Laarbeek-gebied hebben grotendeels een zwak lemige zandgrond als bovengrond. Lokaal zijn een cultuurdek, kleidek of veenlagen aanwezig. In een deel van het gebied komen leemlagen voor in de ondiepe ondergrond. Ook de zomergrondwaterstanden variëren, van minder dan 1 m-mv tot ruim 2 meter diepte. Op basis hiervan zijn vijf situaties voor het gebied van belang:

1. Leemhoudende grond, grondwaterstand $<-1\text{m}+\text{mv}$, veel weerstand
2. Leemhoudende grond, grondwaterstand $<-1\text{m}+\text{mv}$, weinig weerstand
3. Leemhoudende grond, grondwaterstand $>-1\text{m}+\text{mv}$, veel weerstand
4. Leemhoudende grond, grondwaterstand $>-1\text{m}+\text{mv}$, weinig weerstand
5. Klei- of veenhoudende gronden

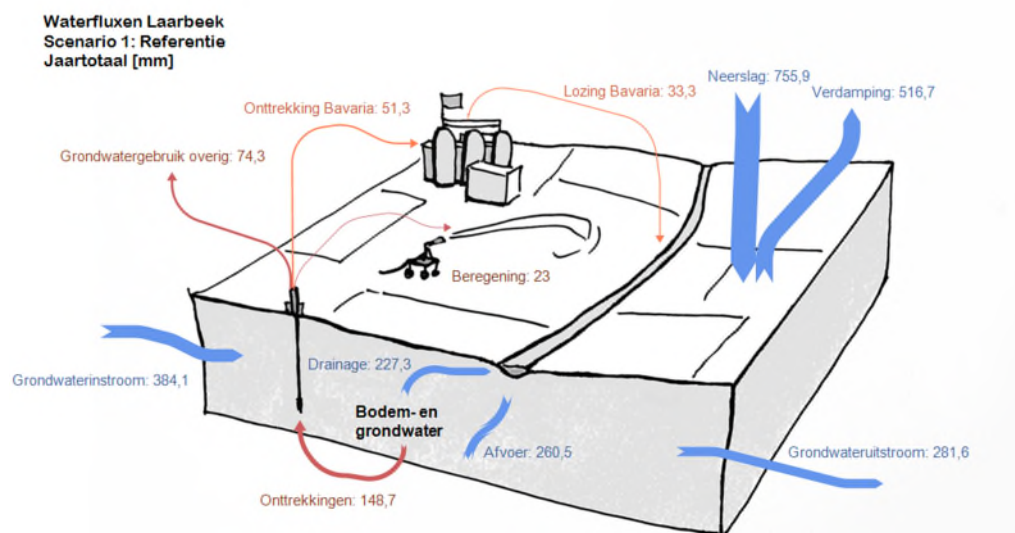
Voor de eerste vier situaties is de watervraag voor subirrigatie ingeschat uit de opgedane kennis uit de veldproeven en SWAP-modelstudie. Deze inschatting geeft een ruwe onafhankelijke check op de door het regionale grondwatermodel berekende stromen. Er zijn geen veldproeven of SWAP-analyses uitgevoerd in gebieden met een klei- of veenhoudende bodem. Daarom kan voor die situatie alleen gebruik gemaakt worden van de simulaties met het regionale grondwatermodel.

3 Effect van subirrigatie op waterbalans Laarbeek

3.1 Waterbalans Laarbeek in de referentiesituatie

Figuur 3 geeft een overzicht van de waterbalans van de gemeente Laarbeek in de referentiesituatie, waarin geen beregening plaatsvindt op de planpercelen. De volgende zaken worden duidelijk:

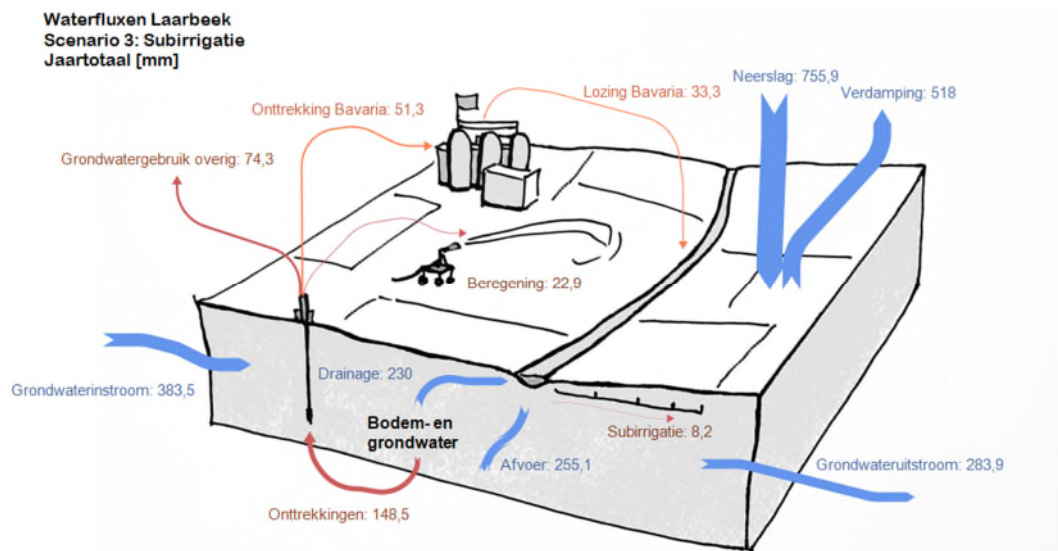
- Neerslag, verdamping en drainage vormen de grootste waterstromen in de balans.
- Grondwateronttrekkingen zijn met zo'n 150 mm/jaar echter ook een grote post in de balans. Hiervan gaat ongeveer een derde naar de Bavariabrouwerij.
- Ongeveer 2/3 van het door Bavaria gebruikte water komt terug in het oppervlaktewater.
- De werking van het oppervlaktewatersysteem is in de modellen niet meegenomen. Het diagram laat daarom enkel de afvoerbijdrage van het gebied zien, dus de drainage plus de lozing door Bavaria. Ook is de aanvoer van oppervlaktewater vanuit het Wilhelminakanaal niet gevisualiseerd (grootte onbekend).



Figuur 3: Waterbalans van het Laarbeek-gebied in de referentiesituatie (zoals huidig, geen beregening op planpercelen), op basis van het Aa en Maas-grondwatermodel. De 'afvoer' geeft de drainage + lozing; de grondwater in- en uitvoer is een regionale grondwaterstroom. De aanvoer vanuit het kanaal is niet gevisualiseerd, omdat deze niet bekend is.

3.2 Waterbalans Laarbeek met beregening en subirrigatie

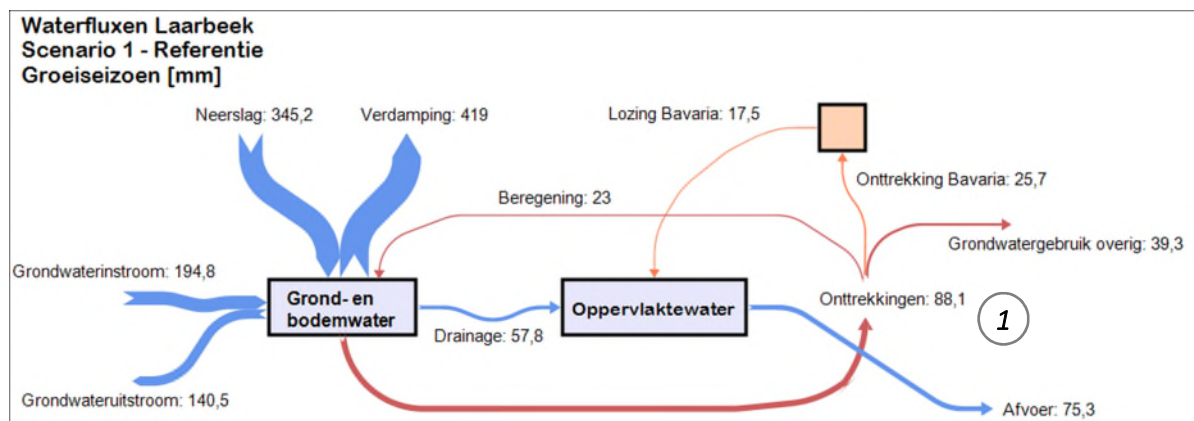
Figuur 4 laat de waterbalans in het gebied zien voor de situatie waarin subirrigatie wordt toegepast op de planpercelen. Op jaarbasis zijn de veranderingen in de waterstromen relatief klein; dit komt door de geringe omvang van de planpercelen ten opzichte van het gehele gebied (~2%).

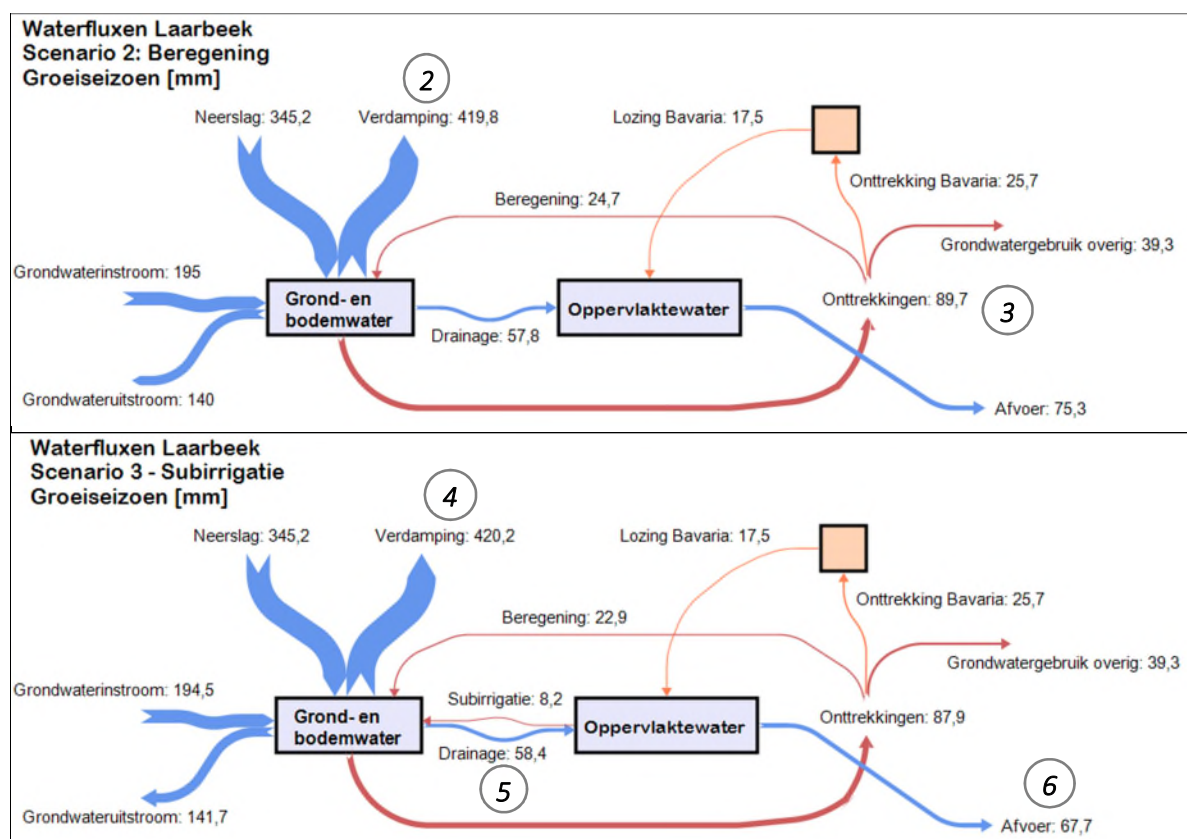


Figuur 4: Waterbalans van de gemeente Laarbeek in een situatie met subirrigatie op de 12 planpercelen, op basis van het Aa en Maas-grondwatermodel. Stromen zijn weergegeven in mm per jaar, gemiddeld over 2015 t/m 2019. De ‘afvoer’ geeft de drainage + lozing; de grondwater in- en uitstroom is een regionale grondwaterstroom. Aanvulling van dieper grondwater is in deze balansen niet direct te zien, omdat bodem- en grondwater niet apart zijn meegenomen. De aanvoer vanuit het kanaal is niet gevisualiseerd, omdat deze niet bekend is.

De verschillen tussen de drie scenario’s worden het duidelijkst in de waterbalansen over het groeiseizoen (Figuur 5). De waterbalansen laten zien dat in het groeiseizoen, als er sprake is van een neerslagtekort, de grondwateronttrekkingen voor beregening en voor Bavaria een substantieel aandeel vormen in de waterbalansen (1). Toepassing van conventionele haspelberegening uit grondwater leidt tot een toename in totale verdamping (2) en een toename in grondwateronttrekkingen (3). Het gewas op de percelen wordt dus beter van water voorzien (zie ook par. 4.3), maar de druk op het grondwater wordt vanzelfsprekend ook hoger.

Toepassing van subirrigatie leidt ook tot een hogere totale verdamping (4). Er wordt in de zomer 8.2 mm water aangevoerd. Een deel daarvan gaat naar hogere verdamping en gewastranspiratie (1.2 mm) en extra drainage (0.6 mm); de rest gaat naar een verhoging van de bodem- en grondwatervoorraad (grondwaterstanden en –aanvulling worden verder bekeken in par. 3.5 en 4.4). De drainage naar het oppervlaktewater neemt iets toe door de hogere grondwaterstanden op de subirrigatiepercelen (5). Tegelijkertijd wordt de totale afvoer van oppervlaktewater uit het gebied iets kleiner (6), doordat voor subirrigatie water uit het oppervlaktewater wordt onttrokken.



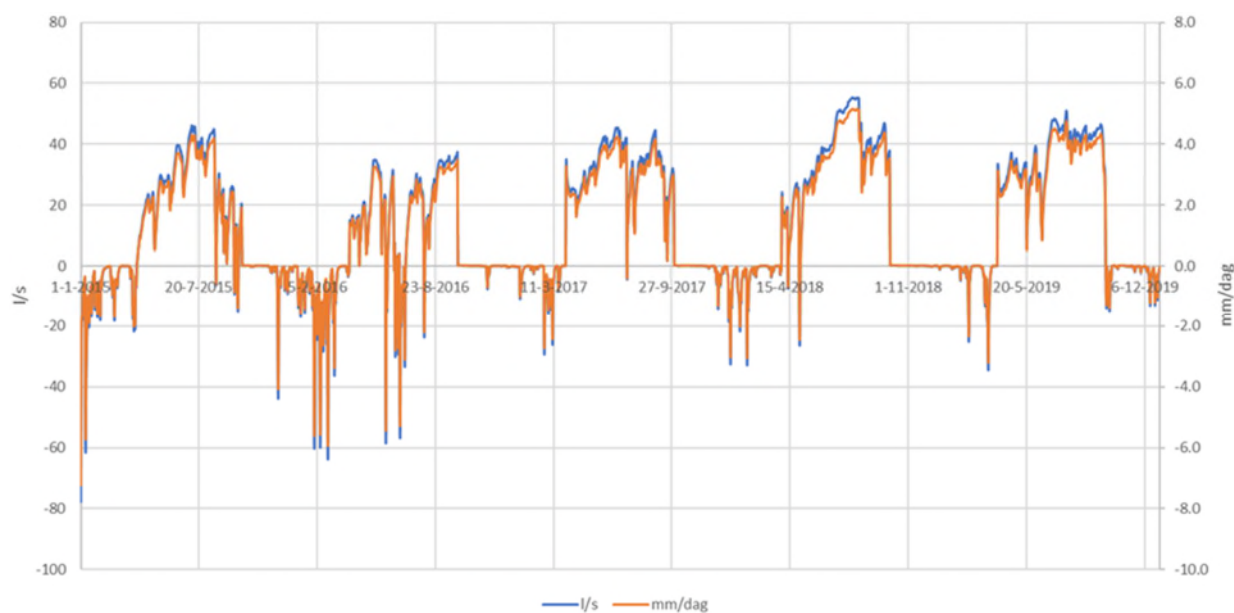


Figuur 5: Waterbalansen over het groeiseizoen (april t/m september) voor gemeente Laarbeek. Het referentiescenario (boven); bereging op de planpercelen (midden); en subirrigatie op de planpercelen. Balansen zijn berekend over 2015 t/m 2019. De 'afvoer' geeft de drainage + lozing; de grondwater in- en uitstroom is een regionale grondwaterstroom. Aanvulling van dieper grondwater is in deze balansen niet direct te zien, omdat bodem- en grondwater niet apart zijn meegenomen. De aanvoer vanuit het kanaal is niet gevisualiseerd, omdat deze niet bekend is.

3.3 Waterbeschikbaarheid voor subirrigatie

Wanneer wordt gekeken naar de totaalhoeveelheden op jaarbasis is het restwater van de Bavariabrouwerij (33 mm/jaar) voor de huidige subirrigatiepercelen voldoende om in de watervraag te voorzien (8 mm/jaar). De watervraag varieert echter sterk over het jaar. De dagelijkse variaties in de berekende subirrigatie-aanvoer voor de twaalf percelen samen is weergegeven in Figuur 6. De watervraag in het groeiseizoen varieert van zo'n 20 tot 55 l/s in de droge zomer van 2018.

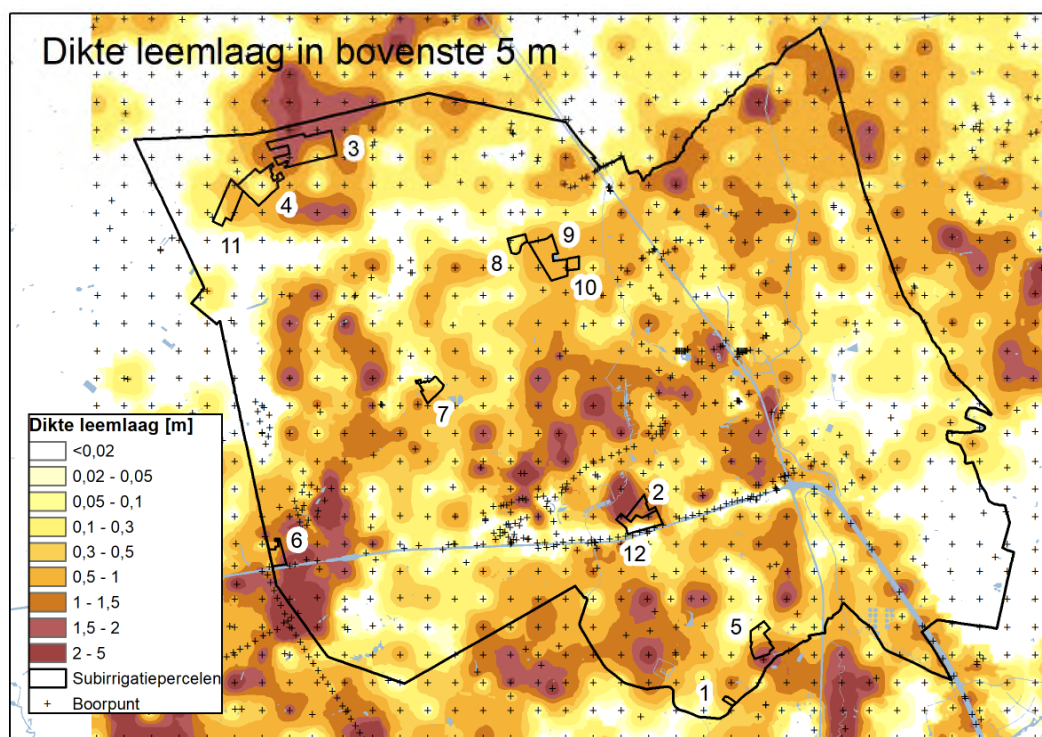
De totale restwaterlozing vanuit Bavaria ligt op ongeveer 1.9 Mm³ per jaar (totalen 2013-2015 en 2018-2019). Dit betekent dat gemiddeld zo'n 60 l/s beschikbaar komt. In een situatie waarin de subirrigatiepercelen direct afhankelijk zouden zijn van het lozingswater vanuit Bavaria zou de aanvoer op sommige momenten dus waarschijnlijk krap zijn om alle percelen volledig te voorzien van water, zeker wanneer waterverlies onderweg wordt meegenomen. In werkelijkheid wordt het oppervlaktewater rond de meeste planpercelen deels gevoed vanuit het Wilhelminakanaal. De maximale inlaat uit het kanaal ligt op dit moment op zo'n 150 l/s (pers. Med. E. Peeters, WAM). Wanneer het Bavaria-restwater dus indirect (en gebufferd) via het Wilhelminakanaal wordt hergebruikt lijkt er wel voldoende water beschikbaar. Hoe het (rest)water in de praktijk de percelen moet bereiken is hier niet verder onderzocht.



Figuur 6: Totaal berekende subirrigatie-aanvoer voor de 12 percelen (blauw in l/s, oranje in mm/dag).

3.4 Ligging van leemlagen

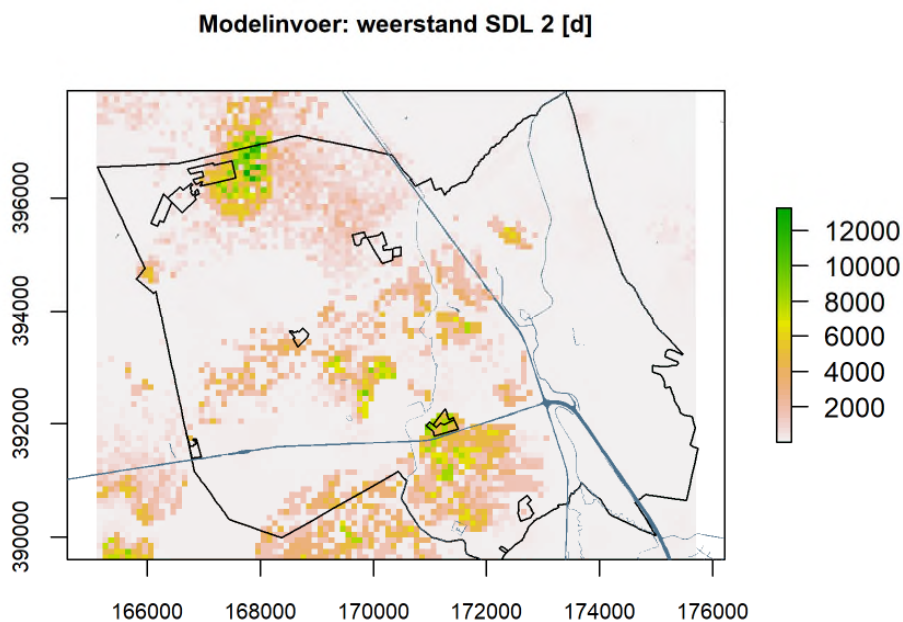
Uit de boorbeschrijvingen in DINOLOket blijkt dat de aanwezigheid van een ondiepe leemlaag sterk varieert op lokale schaal binnen het projectgebied (Figuur 7). Het lijkt erop dat de leemlaag afwezig is in een band in het noordwesten en in het zuidoosten van het gebied.



Figuur 7: Ligging van leemlagen op basis van boorbeschrijvingen uit DINOLOket. De totale dikte van leemlagen in de bovenste 5 meter is weergegeven, geïnterpoleerd met een inverse-distance methode. De boringen zijn op sommige plekken ondieper dan 5 meter; daar kan de leemlaagdikte dus onderschat zijn.

De weerstanden in het model van Aa en Maas, gebaseerd op GeoTOP, een synthese van boringen en geologische modellen, zijn weergegeven in Figuur 8. De grootte van de weerstand kan niet direct uit Figuur 7 worden afgeleid, maar de ruimtelijke verdeling kan wel worden vergeleken. Het model heeft

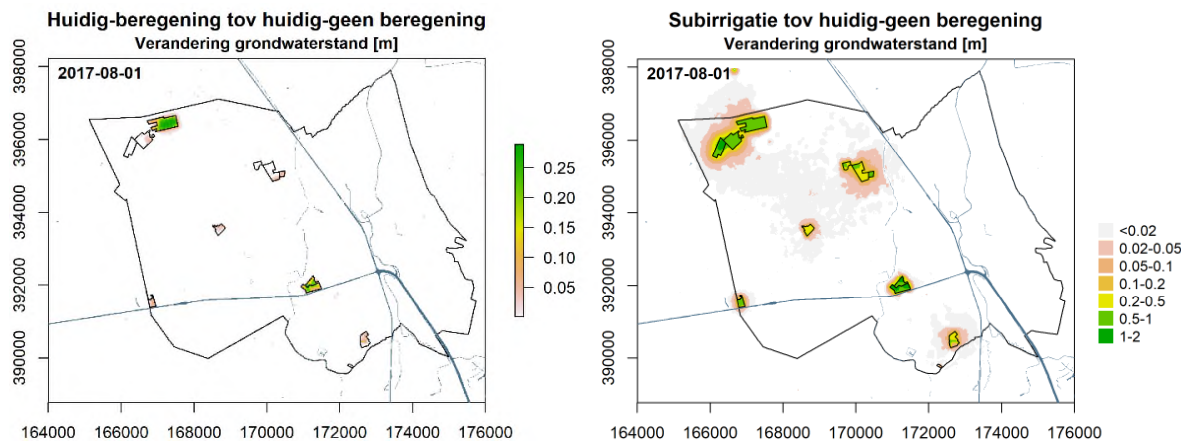
hoge weerstanden in het zuiden en noordwesten, die overeenkomen met het beeld uit DINOloket. In het midden, westen en noordoosten is de weerstand in het model kleiner, terwijl dit in de directe DINO-boringen niet te zien is. Dit zou effect kunnen hebben op de berekende effecten voor met name de percelen 5, 6, 9, 10 en 11.



Figuur 8: Weerstand C [dagen] van de tweede slecht doorlatende laag in het grondwatermodel van Aa en Maas.

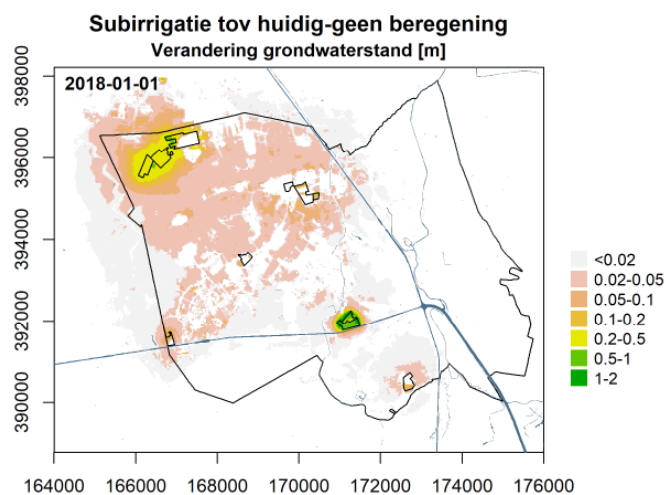
3.5 Effecten subirrigatie op grondwaterstanden

Figuur 9 laat de veranderingen in de grondwaterstand zien bij het toepassen van beregening en subirrigatie. Beregening leidt tot een lichte verhoging in de grondwaterstand op het beregende perceel in de zomersituatie tot ongeveer 25 cm. Dit geeft aan dat het model relatief veel beregent. Het effect van subirrigatie op de grondwaterstand is veel groter, met stijgingen tot zo'n anderhalve meter. De effecten verschillen echter sterk tussen de percelen: op sommige percelen is de stijging slechts enkele decimeters. De gemodelleerde stijgingen hangen sterk samen met de weerstand tegen wegzijging in het model (Figuur 8). Alleen voor de percelen 4 en 11 in het noordwesten geldt dat het model hier een lage weerstand heeft, terwijl er wel een sterk effect is op de grondwaterstand. Op de verschillen tussen de percelen wordt dieper ingegaan in hoofdstuk 4. Het effect van subirrigatie is grotendeels lokaal: buiten de planpercelen zijn nauwelijks veranderingen zichtbaar; alleen in de drie noordelijke percelen is enige uitstraling te zien.



Figuur 9: Effect van beregening (links) en subirrigatie (rechts) op de grondwaterstanden in de zomer (2017-08-01) zoals berekend met het regionale grondwatermodel. Gegeven zijn de verschillen in stijghoogte in de eerste modellaag.

Hoeveel de grondwaterstanden in de winter nog beïnvloed worden door subirrigatie in de zomer is weergegeven in Figuur 10. Op de percelen bij Lieshout en in het noordwesten laten de modelresultaten 's winters nog steeds verhoogde grondwaterstanden zien ten opzichte van de situatie zonder beregening, met een verschil van enkele decimeters tot zelfs ruim een meter. Het water lijkt op sommige percelen dus lang te worden vastgehouden. Dit is echter niet het geval voor de winter van 2018-2019, na de extreme droogte van 2018. In droge jaren verdwijnt het water dus sneller naar de omgeving.



Figuur 10: Effect van subirrigatie op de grondwaterstanden in de winter (2018-01-01) zoals berekend met het regionale grondwatermodel.

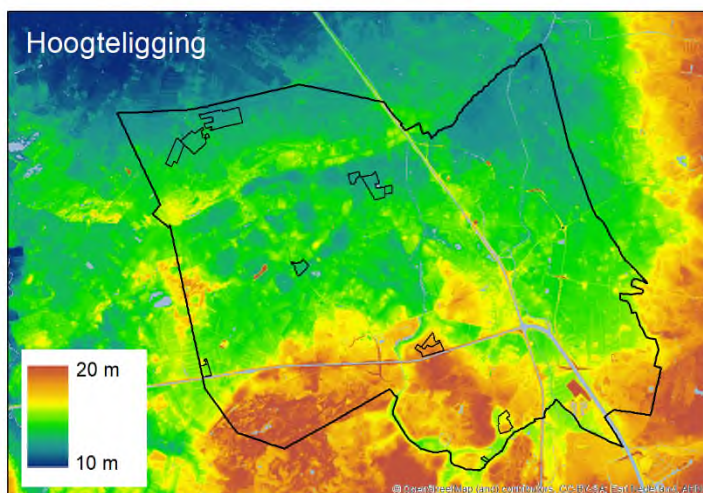
4 Watervraag en effectiviteit van subirrigatie op perceelschaal

4.1 Kenmerken van de planpercelen

De kenmerken van de twaalf planpercelen zijn weergegeven in Tabel 1. Van de planpercelen liggen nummer 2 en 12 hoog in het landschap, en 3, 4, en 7-11 lager (Tabel 1, Figuur 11). Perceel 1 ligt in het dal van de Goorloop. De meeste percelen hebben een zwak lemige zandbodem, maar perceel 1 en een deel van perceel 5 wijken af door de aanwezigheid van veen. Op perceel 7-9 is volgens de bodemkaart een kleidek aanwezig. De grondwaterstand is ondiep op de percelen 1 en 7, en op perceel 2, 4, 11 en 12 juist dieper.

Tabel 1: Kenmerken van de twaalf planpercelen. Het bodemtype is gebaseerd op de BOFEK-2012 kaart; de dikte van de leemlagen op de DINO-data; en de grondwaterstand zonder subirrigatie (SI) op de modelresultaten van het grondwatermodel. De laatste kolom geeft een inschatting van in welk van de 5 situaties gedefinieerd in paragraaf 2.4.3 het perceel valt. Perceel 12 is de proef bij Lieshout.

Perceel	Grootte [ha]	Hoogte [m +NAP]	Bodemtype bovengrond (BOFEK 2012, WUR)	Dikte leemlaag 1 ^e 5 m (fig. 5), range grootste deel perceel	GW-stand 8-2017 zonder SI (model)	Situatie (tabel 3)
1	0,8	14,5	Kleiarme moerige bovengrond op veen; lemige zandgronden	0,4 (weinig)	-0.6	5/4
2	4,4	16,3	Zwak lemige zandgronden met cultuurdek	1,2 – 1,5 (duidelijk aanwezig)	-1.6	1
3	21,7	12,8	Zwak lemige zandgronden	0,4 – 1,7 (duidelijk aanwezig)	-1.5	1
4	13,7	13,2	Zwak lemige zandgronden	0 – 0,4 (weinig)	-1.8	2
5	8,0	15,5	Zwak lemige zandgronden met cultuurdek; kleiarm veen op zand	0,2 – 1,6 (aanwezig)	-1.4	1/5
6	4,0	14,5	Zwak lemige zandgronden	0,6 – 2 (duidelijk aanwezig)	-1.5	1
7	5,3	13,3	Zwak lemige zandgronden met cultuurdek; kleiarm veen op zand; lemige zandgronden met kleidek	0,2 – 0,7 (weinig)	-1.0	3/5/4
8	3,4	12,8	Zwak lemige zandgronden met kleidek	0,1 – 0,3 (weinig)	-1.2	5/2
9	12,4	13,1	Zwak lemige zandgronden met kleidek; zwak lemige zandgronden met cultuurdek	0,6 – 0,8 (aanwezig)	-1.3	1/5
10	2,1	13,4	Zwak lemige zandgronden met cultuurdek	0.5 – 0.6 (aanwezig)	-1.5	1
11	9,5	13,1	Zwak lemige zandgronden	0 – 0,6 (weinig)	-1.7	2
12	8,0	16,7	Zwak lemige zandgronden met cultuurdek	0 – 0,7 (aanwezig)	-1.7	1

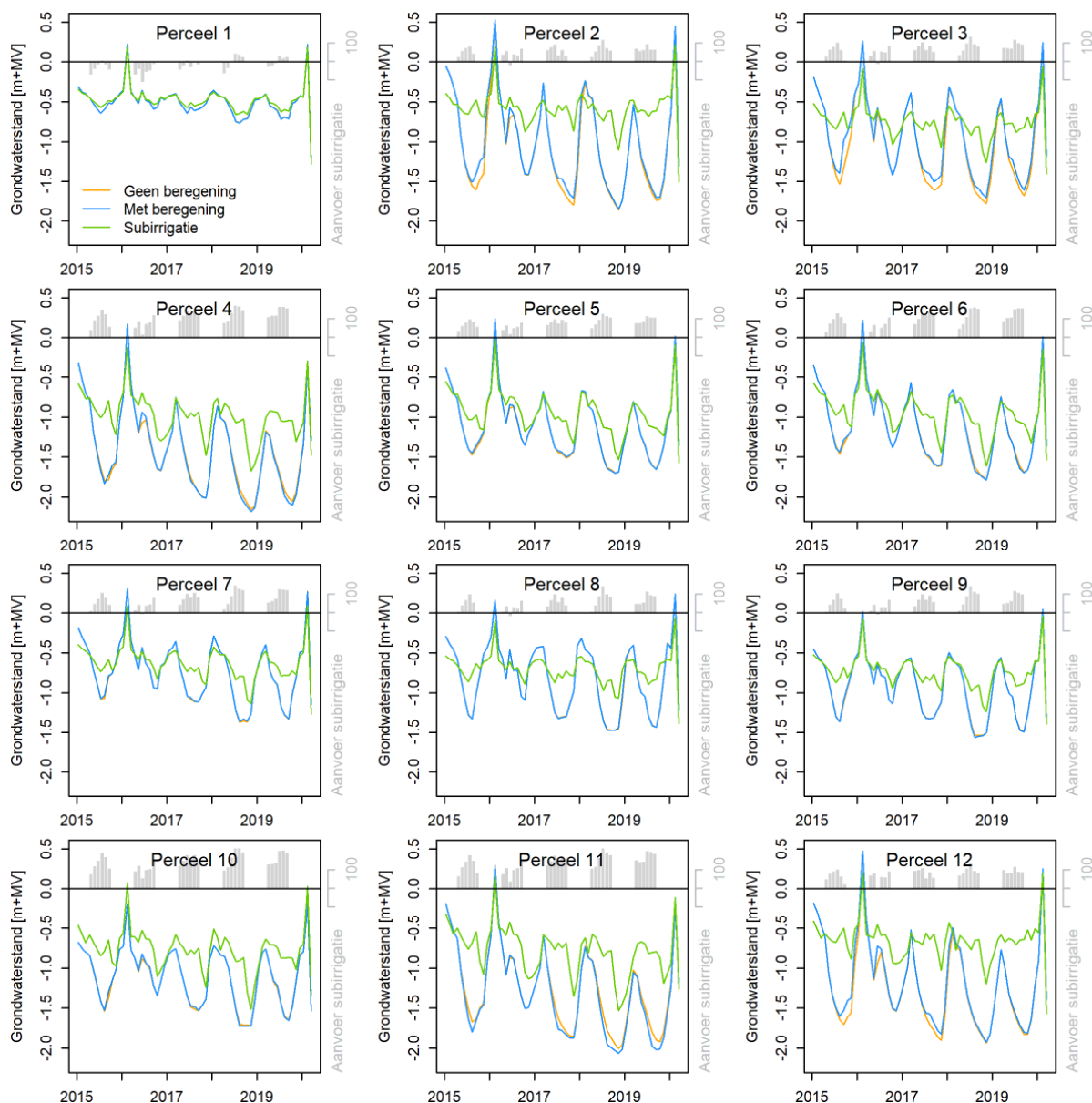


Figuur 11: Hoogteligging van het projectgebied (AHN-2, ESRI).

4.2 Effect van subirrigatie en beregening op grondwaterstanden

Het verloop van de grondwaterstanden voor de verschillende planpercelen is weergegeven in Figuur 12 voor elk van de drie scenario's:

- Subirrigatie leidt op de meeste percelen tot een duidelijke stijging van de gemiddelde grondwaterstand en een verlaagde dynamiek. Op alle percelen is de zomergrondwaterstand verhoogd; op enkele percelen is de grondwaterstand in de winter iets verlaagd door toegenomen drainage. In de praktijk zal de aansturing van het subirrigatiesysteem geoptimaliseerd worden om drainageverliezen te voorkomen, dit is niet meegenomen in het model.
- In het groeiseizoen blijft de grondwaterstand op de meeste percelen binnen 1 en 0.5 m onder maaiveld. Vooral op perceel 2 en 12 is de stijging in grondwaterstand sterk, mogelijk te danken aan de hoge weerstand in de ondergrond.
- In de herfst, nadat de subirrigatie-aanvoer is gestopt, zakt de grondwaterstand weer uit. Vooral op perceel 4, 5, 6, 10 en 11 is dit sterk te zien. Dit kan te wijten zijn aan een lage weerstand in het model voor deze percelen (Figuur 8). Wel blijven de standen hoger dan zonder subirrigatie.
- Op perceel 7, 8 en 9 zijn de effecten van subirrigatie op de grondwaterstanden relatief kleiner dan op de andere percelen; hier is in de uitgangssituatie al een iets ondiepere grondwaterstand en een netto kwelstroom (Tabel 2).
- Perceel 1 wijkt sterk van de andere percelen af; dit is een zeer klein perceel met –volgens het model – sterke kwel en een ondiepe grondwaterstand. In de praktijk zou subirrigatie hier geen logische optie zijn. Op perceel 1 is in de meeste zomers sprake van een zeer lage of netto negatieve subirrigatie, terwijl de grondwaterstanden wel iets stijgen; deze veranderingen zijn mogelijk te verklaren doordat in het subirrigatiescenario in het model een sloot binnen het perceel verwijderd is en vervangen door het subirrigatie-buisdrainagesysteem.

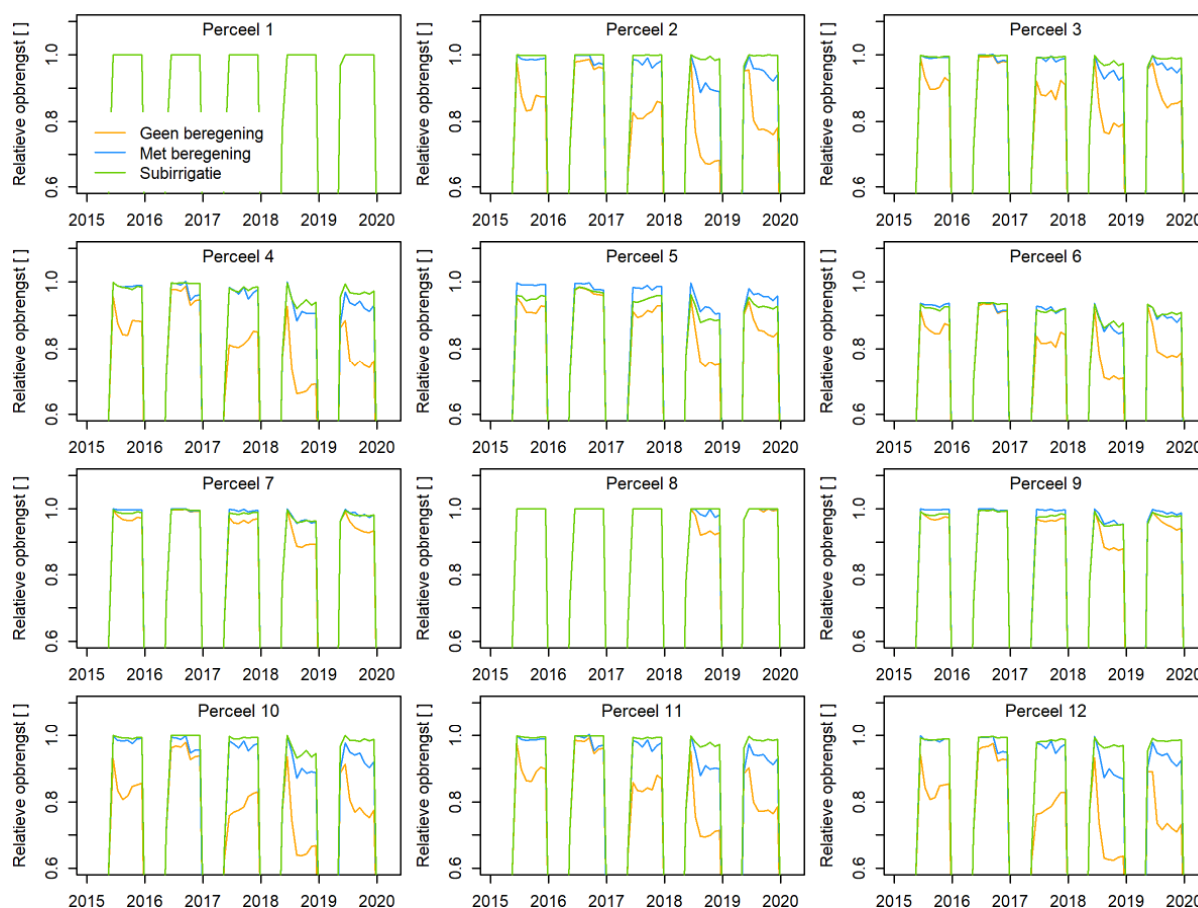


Figuur 12: Grondwaterstanden en wateraanvoer voor de subirrigatie in de planpercelen voor de drie scenario's, zoals berekend met het grondwatermodel.

4.3 Gewasopbrengst

Op vrijwel alle percelen zorgen zowel subirrigatie als beregening voor een verhoging van de gewasopbrengst (Figuur 13). Op de meeste percelen is het positieve effect van subirrigatie groter dan dat van beregening. Met subirrigatie is de opbrengst in het groeiseizoen bijna altijd optimaal, behalve in de extreem droge jaren 2018 en 2019. In de extreem droge jaren kan niet voldoende water aangevoerd worden om de optimale opbrengst te behalen.

Op perceel 5 en 9 laten de modelresultaten een hogere gewasopbrengst zien met beregening dan met subirrigatie. Op perceel 6 is de opbrengst structureel lager dan op de andere percelen. Deze percelen onderscheiden zich in grondwaterstanden niet duidelijk van de rest (Tabel 1); de afwijkende gewasopbrengsten op perceel 5 en 9 zouden met een afwijkend bodemtype kunnen samenhangen (Figuur 12), maar de oorzaak is niet geheel duidelijk.



Figuur 13: Verloop van de relatieve gewasopbrengst (werkelijk/potentieel) op de verschillende planpercelen zoals berekend met het grondwatermodel. De gewasopbrengst is alleen gekwantificeerd in het groeiseizoen.

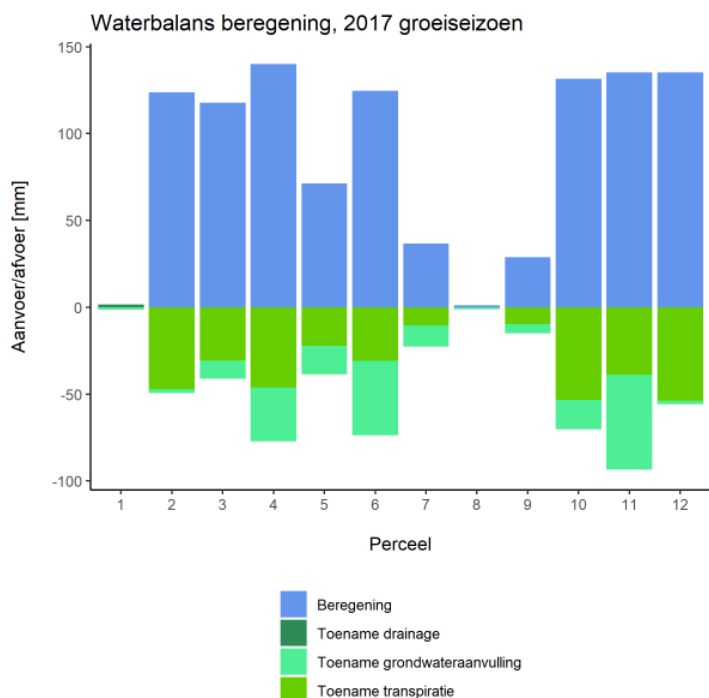
4.4 Waterbalans subirrigatiepercelen

De waterbalansen voor de twaalf individuele planpercelen over een normaal groeiseizoen (2017) zijn in beeld gebracht voor het scenario conventionele beregening (Figuur 14) en het scenario subirrigatie (Figuur 15; let op de verschillende assen). De groottes van alle waterstromen zijn gegeven in tabel 2 en 3. Hierin is ook de druk berekend die deze twee irrigatiemethodes veroorzaken op het lokale grond- en oppervlaktewater (onttrekking min aanvulling t.o.v. referentie).

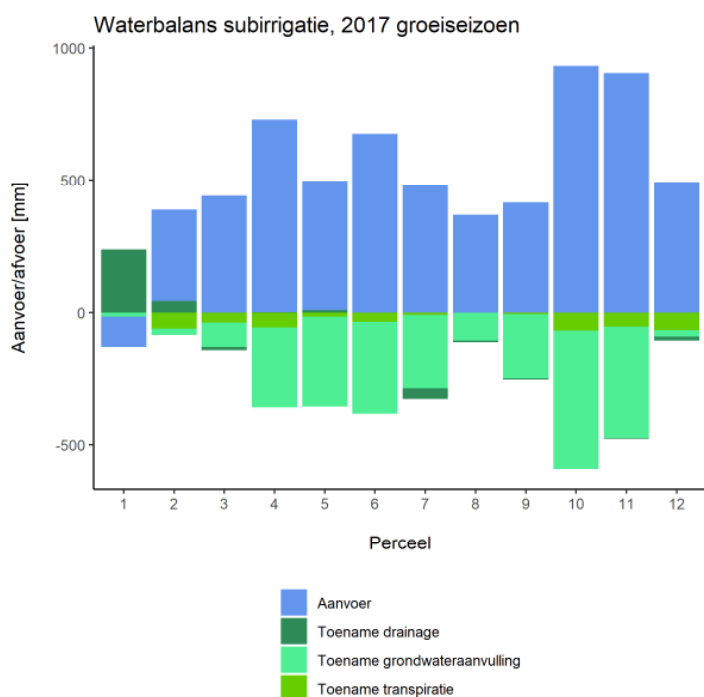
De wateraanvoeren voor subirrigatie variëren tussen 340 en 930 mm per perceel, het kwelperceel 1 niet meegerekend. Er wordt een hoge watervraag gemodelleerd voor perceel 4, 6, 10 en 11. In de balansen is wegzijging/grondwateraanvulling versimpeld ingeschat als de stroom naar beneden vanuit modellaag 2. Figuur 15 laat zien dat een hoge watervraag samengaat met een hoge wegzijging. Deze vier percelen hebben in het model inderdaad een relatief lage weerstand tegen wegzijging (Figuur 8). Een groot deel van het aangevoerde water wordt hier dus waarschijnlijk omgezet in grondwateraanvulling. De aanvoer is lager voor bijvoorbeeld perceel 2 en 8. Dit kan verklaard worden door de sterke weerstand tegen wegzijging (perceel 2) en de aanwezigheid van een omhoog gerichte grondwaterstroom en relatief ondiepe uitgangsgroundwaterstand (perceel 8).

Conventionele beregening uit grondwater leidt tot een netto druk op het grondwater tot 130 mm over het groeiseizoen (Tabel 2). Doordat subirrigatie (hergebruikt) water onttrekt uit het oppervlaktewater, en dit via de bodem inbrengt, waarbij een deel naar dieper grondwater wegzakt, zorgt subirrigatie voor een geschatte netto grondwateraanvulling van tot 500 mm over het groeiseizoen (Tabel 3). Daarbij is niet meegenomen hoeveel van dit water op een grotere afstand, weliswaar vertraagd,

alsnog als drainage wordt afgevoerd. De toename in drainage door subirrigatie voor het gehele projectgebied is geschat op 2.7 mm op jaarbasis (Figuur 3-4). Teruggerekend naar perceelschaal geeft dit een gemiddelde verhoging in drainage van zo'n 160 mm per jaar, maar de waarden per perceel zijn niet bekend. Tegenover deze negatieve grondwaterdruk staat een druk op het oppervlaktewater van soms meer dan 900 mm per jaar.



Figuur 14: Waterbalans van de planpercelen over het groeiseizoen van 2017 (april t/m september) voor het scenario beregening, zoals berekend met het grondwatermodel. De toenames in drainage, grondwateraanvulling en transpiratie (verdamping van het gewas) zijn berekend ten opzichte van de referentiesituatie zonder beregening. De drainage is in deze figuren onderschat doordat drainage grotendeels buiten de percelen plaatsvindt.



Figuur 15: Waterbalans van de planpercelen over het groeiseizoen van 2017 (april t/m september) voor het scenario subirrigatie, zoals berekend met het grondwatermodel. De toenames in drainage, grondwateraanvulling en transpiratie (verdamping van het gewas) zijn berekend ten opzichte van de referentiesituatie zonder beregening. De drainage is in deze figuren sterk onderschat doordat drainage buiten de percelen plaatsvindt.

Tabel 2: Waterbalans voor de planpercelen voor groeiseizoen 2017 bij het scenario beregening, op basis van de grondwatermodelresultaten. Het gemiddelde is zonder perceel 1.

Perceel	Beregening [mm]	Wegzijging [mm]	Relatieve opbrengst	Minimum grondwaterstand [m+NAP]	Aandeel aanvoer naar grondwater	Netto druk grondwater [mm]	Netto druk oppervlaktewater [mm]	Stijging grondwaterstand tov ref [cm]	Stijging relatieve opbrengst tov ref [%]
1	0,0	-435,2 (kwel)	0,93	13,9	NA	NA	1,7	-0,1	0,0
2	123,7	45,1	0,91	14,6	0,02	121,5	0,0	8,4	11,1
3	117,7	36,6	0,92	11,3	0,09	107,1	0,0	11,4	6,5
4	140,1	142,4	0,91	11,2	0,22	109,0	0,0	0,1	11,5
5	71,0	1,9	0,91	14,0	0,23	54,6	0,0	1,2	5,7
6	124,6	97,2	0,86	12,9	0,34	81,7	0,0	0,6	6,9
7	36,5	-103,9 (kwel)	0,93	12,2	0,33	24,3	0,0	0,0	2,2
8	1,1	-83,4 (kwel)	0,93	11,5	0,97	0,0	0,0	-0,3	0,0
9	28,8	-62,3 (kwel)	0,93	11,8	0,18	23,6	0,0	0,2	2,2
10	131,6	17,2	0,91	11,9	0,13	114,6	0,0	0,8	14,0
11	135,3	148,8	0,91	11,2	0,40	80,6	0,0	-1,9	9,3
12	135,3	52,6	0,91	14,9	0,02	133,1	0,0	7,5	13,8
Gem.	95,1	26,6	0,91	12,5	0,3	77,3	0,0	2,5	7,6

Tabel 3: Waterbalans voor de planpercelen voor groeiseizoen 2017 bij het scenario subirrigatie, op basis van de grondwatermodelresultaten. Het gemiddelde is zonder perceel 1.

Perceel	Aanvoer [mm]	Wegzijging [mm]	Relatieve opbrengst	Minimum grondwaterst and [m+NAP]	Aandeel aanvoer naar grondwater	Netto druk grondwater [mm]	Netto druk oppervlakte water [mm]	Stijging grondwaterst and tov ref	Stijging relatieve opbrengst
1	-113,9	-422,3 (kwel)	0,93	13,9	NA	-14,3	124,7	7,2	0,0
2	343,8	66,4	0,93	15,4	0,07	-23,5	388,6	93,5	12,3
3	440,4	117,8	0,92	11,7	0,21	-91,7	428,8	54,5	6,6
4	728,8	416,7	0,91	11,7	0,42	-305,4	730,3	53,3	11,5
5	488,0	327,3	0,88	14,2	0,70	-341,8	498,0	17,7	2,7
6	676,3	403,4	0,85	13,1	0,52	-349,1	676,4	16,8	6,2
7	480,0	163,4	0,92	12,4	0,58	-279,4	439,9	21,4	1,5
8	369,1	19,7	0,93	11,9	0,28	-104,2	363,7	44,4	0,0
9	415,4	177,4	0,91	12,1	0,59	-244,9	410,2	34,3	0,7
10	931,9	526,3	0,92	12,2	0,56	-526,1	932,7	29,4	15,2
11	905,7	517,9	0,92	11,7	0,47	-423,9	902,6	50,5	10,2
12	492,3	73,2	0,91	15,7	0,05	-22,8	476,6	87,5	14,3
Gem.	570,2	255,4	0,91	12,9	0,4	-246,6	568,0	45,8	7,4

4.5 Vergelijking modelresultaten met verwachting uit veldproeven

De bovenstaande waterbalansen zijn gebaseerd op het regionale grondwatermodel-met-subirrigatie van Aa en Maas. In toevoeging hierop zijn de watervraag en effectiviteit van subirrigatie ingeschat op basis van metingen en eerdere SWAP-simulaties. In deze paragraaf worden wateraanvoerhoeveelheden ingeschat voor de verschillende situaties in het projectgebied (4.5.1-4.5.3). Vervolgens worden de resultaten van het grondwatermodel vergeleken met deze inschattingen (4.5.4).

4.5.1 Inschatting watervraag op basis van veldproeven

Binnen het Lumbricus-programma zijn subirrigatieproeven ingericht op verschillende locaties in Nederland (zie par. 2.4). Onderstaande tabel geeft de kenmerken van de vier proeflocaties en de gemeten waterbalanstermen. Het jaar 2017 is als referentie genomen, omdat dit jaar redelijk normale weersomstandigheden had en de meeste proeven in dit jaar goed liepen zonder problemen met verstopping.

De metingen uit de proeven zijn niet direct door te trekken naar de planpercelen, maar geven wel een indicatie welke typen situaties een lagere watervraag hebben dan gemiddeld en welke hoger; en wat de ordegrottes zijn van deze 'lage' en 'hoge' watervraag. In Lieshout en Haaksbergen is de aanvoer lager dan gemiddeld. In Lieshout is sprake van een diepe grondwaterstand, in combinatie met een licht lemige bodem en meerdere duidelijke relatief ondiepe leemlagen. Haaksbergen heeft een leemarmere bodem met een weerstandsbedende laag, maar met een ondiepere grondwaterstand. De aanvoer in dit soort minder watervragende situaties zou bij subirrigatie van april t/m september wellicht op zo'n 450-600 mm kunnen worden ingeschat. In het geval van een leemarme bodem en diepe grondwaterstand (America), en in het geval van een lage weerstand tegen wegzijging (Stegeren) is de watervraag hoger; wanneer we corrigeren voor de verlengde wateraanvoer in America in 2017, kan deze 'hoge aanvoer' op zo'n 700-950 mm worden geschat.

Tabel 4: Kenmerken en gemeten watervraag van de *Lumbricus*-subirrigatieproeven uit De Wit et al., 2021 (figuur 19, bijlage metingen en bijlage waterbalans SWAP). Ook de grondwateraanvulling en grondwaterstandsverhoging, berekend met SWAP-modellen, zijn weergegeven. Perceel Lieshout is perceel 12 in het projectgebied van deze studie. *: voor Stegeren waren geen meetdata beschikbaar van een jaar met continue wateraanvoer in het groeiseizoen, de gegeven waarden zijn SWAP-modelresultaten voor 2019. **: de gemodelleerde aanvoerhoeveelheden waren onrealistisch voor Haaksbergen; het gegeven percentage grondwateraanvulling is de gemodelleerde afname in kwel gedeeld door de gemeten aanvoer.

Proef	America	Haaksbergen	Lieshout	Stegeren
Gewas	Gras	Maïs	Gras	Gras
Bodemtype bovengrond	Leemarm fijn zand	Leemarm fijn zand	Zwak lemig fijn zand	Zwak lemig fijn zand
Leemlaag	Aanwezig (2-2.5 m-mv)	Aanwezig (>3 m-mv)	Aanwezig (1-1.5 m-mv)	Afwezig
Minimum grondwaterstand 2017 zonder subirrigatie (SWAP)	-190 cm+mv	-100 cm+mv; kwel	-230 cm+mv	-140 cm+mv
Diepte drains	-110 cm+mv	-110 cm+mv	-120 cm+mv	-110 cm+mv
Duur wateraanvoer 2017	Half maart – begin oktober	Mei – begin oktober	Mei – begin oktober	April – eind september*
Aanvoer subirrigatie 2017 (meting)	1001 mm; ~5.5 mm/d	562 mm; ~4 mm/d	433 mm; ~4 mm/d + hoge startaanvoer	728 mm*
Verhoging minimum grondwaterstand 2017 (meting)	+90 cm	+25 cm	+120 cm	2019: +50 cm
% aanvoer naar toename grondwateraanvulling/afname kwel 2017 (SWAP)	30%	20% **	28%	79%*

Voor het effect van subirrigatie op grondwaterstanden kan eenzelfde soort indeling worden gemaakt tussen situaties met een sterker en een zwakker dan gemiddeld effect. De bereikte verhoging van de diepste grondwaterstand is het sterkst in America en Lieshout met zo'n 90-120 cm; hier is sprake van een diepe grondwaterstand en een duidelijke leemlaag. Dit gaat gepaard met een gemiddelde grondwateraanvulling van zo'n 30% van het aangevoerde water. Wanneer er geen leemlaag aanwezig is (Stegeren), of wanneer de grondwaterstand in de uitgangssituatie al hoger is (Haaksbergen) is de stijging in grondwaterstand zwakker, zo'n 30-50 cm. Bij afwezigheid van een leemlaag (Stegeren) is er wel een sterke wegzijging naar het grondwater van rond de 80% van het aangevoerde water. De combinatie van een leemlaag en een relatief ondiepe grondwaterstand (Haaksbergen) lijkt juist een lagere grondwateraanvulling te geven.

4.5.2 Inschatting watervraag op basis van SWAP-simulaties

In aanvulling op de proeven zijn in eerder onderzoek ook uitgebreide SWAP-modelanalyses uitgevoerd voor subirrigatie in verschillende (virtuele) situaties (par. 2.4.2). De berekende aanvoerhoeveelheden voor systemen soortgelijk aan die in Laarbeek zijn weergegeven in

Tabel 5.

Tabel 5: Wateraanvoer voor subirrigatie op een perceel met gras, zoals berekend met SWAP-modellen (Bartholomeus et al., 2019). Waarden zijn gemiddelden over 2003-2017 met subirrigatie van april t/m september met een maximum van 5 mm/dag. Sw=systeemweerstand.

Bodem	Grondwaterstand in uitgangssituatie	Aanvoer bij lage weerstand (sw=100)	Aanvoer bij hoge weerstand (sw=700)
Zwak lemig fijn zand/ Enkeerdgronden	-100 cm+mv	749 mm/jaar	140 mm/jaar
	-175 cm+mv	910 mm/jaar	490 mm/jaar

4.5.3 Inschatting aanvoerhoeveelheden percelen Laarbeek

De ingeschatte hoeveelheden wateraanvoer, de stijging in grondwaterstand en de grondwateraanvulling uit de veldproeven en eerdere SWAP-analyses zijn samengevoegd tot een grove verwachte range voor de verschillende situaties die voorkomen in het projectgebied (Tabel 6). Bij weinig weerstand in de ondergrond wordt vanuit de proeven een hoge watervraag verwacht; bij een sterke weerstand een lagere vraag. Er zijn geen veldstudies of SWAP-analyses beschikbaar voor klei- en veenhoudende gronden, die in het gebied voorkomen, zodat hiervoor geen vergelijking mogelijk is.

Tabel 6: Ingeschatte watervraag voor subirrigatie voor verschillende situaties in het projectgebied op inschattingen staan toegelicht in tekst onder

Tabel 4.

Situatie	Aanvoer april-sept normaal jaar [mm]			Stijging laagste grondwaterstand	Grondwateraanvulling [% aanvoer]
	Veldproeven	SWAP-modellen	Range	Veldproeven	SWAP-modellen veldproeven
1. Leemhoudende/cultuurgrond, lage grondwaterstand, veel weerstand	450-600 (laag)*	490	450-600	+100 cm (sterk)*	30% (gemiddeld)*
2. Leemhoudende/cultuurgrond, lage grondwaterstand, weinig weerstand	700-950 (hoog)*	910	700-950	+30-50 cm (zwak)*	80% (hoog)*
3. Leemhoudende/cultuurgrond, hoge grondwaterstand, veel weerstand	450-600 (laag)*	140	140-600	+30-50 cm (zwak)*	20% (laag)*
4. Leemhoudende/cultuurgrond, hoge grondwaterstand, weinig weerstand	Geen informatie	750	~750	Geen informatie	
5. Klei- of veenhoudende gronden	Geen informatie uit bestaande proeven				

4.5.4 Vergelijking grondwatermodel met verwachting uit veldproeven

De berekende wateraanvoeren voor subirrigatie liggen in dezelfde ordegrootte als verwacht op basis van veldproeven (Tabel 7). Voor een aantal percelen wordt een hoge wateraanvoer gemodelleerd, waar je dit ook zou verwachten op basis van de veldkenmerken, zoals perceel 4 en 11. Hier is sprake van een diepe natuurlijke grondwaterstand en weinig weerstand in de bodem. De modelresultaten laten hier inderdaad een hoge wegzijging zien. Op perceel 6 en 10 wordt ook een hoge aanvoer en hoge wegzijging gemodelleerd; dit zou een overschatting kunnen zijn, aangezien DINO-data hier wel een leemlaag laten zien.

De gemodelleerde aanvoer wijkt sterk af voor perceel 1. Op basis van de hoge grondwaterstand zou je hier een lage aanvoer verwachten, maar het model geeft zelfs een 'negatieve aanvoer'. Perceel 1 is een perceel op venige grond waar in het model een sterke kwelstroom wordt gemodelleerd. Het is niet duidelijk in hoeverre dit met de werkelijkheid overeenkomt. Op perceel 5 en 7 – 9 is de watervraag niet eenduidig uit de bestaande proeven en SWAP-simulaties in te schatten. Op deze percelen is mogelijk klei of veen aanwezig (Tabel 1); daarbij hebben perceel 7 en 8 een waarschijnlijk dunne of afwezige leemlaag, in combinatie met een relatief hoge zomergrondwaterstand. Ook geeft het model voor deze percelen een kwelflux in de situatie zonder subirrigatie (Tabel 2). De bestaande proeven en SWAP-simulaties vanuit het Lumbricus-programma geven geen informatie over deze situaties.

De overige percelen vallen in een soortgelijke situatie als de proef bij Lieshout, en hier werd een lagere aanvoer van zo'n 450-600 mm/jaar verwacht. Ook in de modelresultaten hebben deze percelen een lagere tot gemiddelde aanvoer ten opzichte van de overige percelen. Deze 'normale' aanvoer ligt tussen de 350 en 500 mm per jaar, iets lager dan verwacht uit veldproeven, maar in dezelfde ordegrootte.

Kijkend naar de stijging in grondwaterstand kloppen de ordegroottes net als bij de aanvoerhoeveelheden vrij goed met de veldervaring, van enkele decimeters tot ongeveer een meter stijging. De verschillen tussen percelen zijn echter niet altijd zoals verwacht. Dit kan opnieuw samenhangen met de verschillen in de ligging van weerstand in de ondergrond tussen het model en de data uit DINOloket. Met name op perceel 5, 6, 9 en 10 werd een vrij sterke stijging verwacht, terwijl de stijging in de modelresultaten zwak is. Dit zijn dezelfde percelen die in het model mogelijk een lagere weerstand hebben dan op basis van de DINO-data verwacht wordt (Figuur 7-8).

Tabel 7: Verwachte watervraag (tabel 6) en gemodelleerde watervraag voor de verschillende percelen. ?: Weinig informatie uit bestaande proeven en SWAP-modellen.

Perceel	Situatie (par. 2.4.3)	Wateraanvoer model [mm]	Wateraanvoer verwacht [mm]	Grondwaterstijging model [cm]	Grondwaterstijging verwacht [cm]
1	5/4	-113,9	?	+7,2	?
2	1	343,8	450-600	+93,5	+100 (sterk)
3	1	440,4	450-600	+54,5	+100 (sterk)
4	2	728,8	700-950	+53,3	+30-50 (zwak)
5	1/5	488,0	450-600/?	+17,7	+100 (sterk)
6	1	676,3	450-600	+16,8	+100 (sterk)
7	3/5/4	480,0	140-750/?	+21,4	+30-50 (zwak)
8	5/2	369,1	?	+44,4	?
9	1/5	415,4	450-600/?	+34,3	+100 (sterk)
10	1	931,9	450-600	+29,4	+100 (sterk)
11	2	905,7	700-950	+50,5	+30-50 (zwak)
12	1	492,3	450-600	+87,5	+100 (sterk)

5 Synthese en discussie

Doel van deze studie was om een verkenning te maken van de effecten van het toepassen van subirrigatie met Bavaria-restwater op landbouwpercelen in de gemeente Laarbeek. Met een regionaal grondwater-subirrigatiemodel zijn de watervraag en effecten van subirrigatie ingeschat op de schaal van de gehele gemeente en vergeleken met de effecten van conventionele berekening uit dieper grondwater. Vervolgens is gekeken naar de effecten en verschillen op perceelschaal. Hierbij zijn de modelresultaten ook getoetst aan de verwachte waarden vanuit praktijkproeven met subirrigatie.

5.1 Effect van subirrigatie op waterbalans gemeente Laarbeek

Uit de resultaten met het regionale model van Aa en Maas blijkt, dat subirrigatie op de schaal van het projectgebied kan leiden tot een lagere grondwatervraag, een hogere gewasopbrengst en hogere grondwaterstanden (Fig. 4, 12, 13). Bekeken vanuit de druk die uitgeoefend wordt op het grondwater staat dit positief tegenover conventionele berekening uit (dieper) grondwater, dat weliswaar de gewasopbrengst verhoogt, maar ook tot een hogere grondwatervraag leidt en slechts een klein effect heeft op freatische grondwaterstanden. In vergelijking met de waterbalans van het gehele projectgebied heeft de subirrigatie op de twaalf onderzochte planpercelen een relatief klein effect; ook de stijging in grondwaterstanden blijft grotendeels beperkt tot de percelen zelf (Figuur 9). De richting van de effecten is echter positief.

Voorwaarde hiervoor is wel dat er voldoende oppervlaktewater beschikbaar is om de benodigde subirrigatie-aanvoer op gang te houden. De simulaties laten zien dat het restwater van Bavaria op jaarbasis in de watervraag van de subirrigatiepercelen kan voldoen; maar dat bij piekvragen in droge zomers tekorten kunnen ontstaan wanneer van één op één hergebruik wordt uitgegaan (Figuur 6). Indirect hergebruik van het restwater via het Wilhelminakanaal, of via een andere vorm van buffering, zou wel voldoende water kunnen leveren door het groeiseizoen heen. De werking van het oppervlaktewatersysteem is in dit onderzoek niet meegenomen. Voor de toepassing van subirrigatie in het Laarbeek-gebied is het belangrijk om verder te onderzoeken hoeveel water in de praktijk werkelijk beschikbaar is en hoe het restwater van Bavaria alle percelen zou kunnen bereiken. Het waterschap is op dit moment actief met deze vraag bezig; er zijn plannen om de wateraanvoer naar het gebied vanuit het Wilhelminakanaal te verhogen, waarmee de wateraanvoer veiliggesteld zou kunnen worden. Naast de waterbeschikbaarheid is van belang te begrijpen of het onttrekken van oppervlaktewater voor subirrigatie negatieve (ecologische) gevolgen kan hebben voor benedenstroomse gebieden, met name in droge jaren. Voor verantwoorde inpassing van de inzet van gezuiverd restwater moeten tot slot ook de waterkwaliteitsaspecten mee worden genomen (Dingemans et al., 2020). Dit geldt voor het effect van subirrigatie op de grondwaterkwaliteit, maar ook voor mogelijke verstopping van de drainage-infiltratiesystemen (Bartholomeus et al., 2018).

Behalve het oppervlaktewatersysteem is het waardevol te onderzoeken of het subirrigatiesysteem zelf mogelijk slimmer ingericht kan worden. In deze studie is uitgegaan van subirrigatie gedurende het hele groeiseizoen en een relatief ondiep streefpeil dat niet voor ieder gewas nodig is. Mogelijk kan met een andere aansturing van de subirrigatiesystemen ook een goed effect op de vochtvoorziening van het gewas worden bereikt, waarvoor minder aanvoerwater nodig is. Denk hierbij aan het aanvoeren van water specifiek wanneer meer beschikbaar is, of alleen in het eerste deel van het groeiseizoen.

5.2 Watervraag en effectiviteit subirrigatie op perceelschaal

5.2.1 Variatie en sturende factoren

De watervraag en effectiviteit van subirrigatie op individuele percelen zijn op twee manieren ingeschat: met het regionale grondwatermodel, en met informatie uit eerdere veldproeven. Beide schattingen lieten zien dat de watervraag van subirrigatie, en het effect ervan op de grondwaterstand en de gewasopbrengst, waarschijnlijk sterk zullen verschillen tussen de individuele percelen (fig. 12-13, tabel 2-3). In het model lijken deze verschillen vooral samen te hangen met de aanwezigheid van weerstand tegen wegzijging. Dit komt overeen met ervaring uit praktijkproeven, waarin de aanwezigheid van een ondiepe leemlaag van grote invloed blijkt op de watervraag en effectiviteit van subirrigatiesystemen. De analyse van de ligging van leemlagen in het projectgebied laat echter zien dat deze ruimtelijk niet volledig overeenkomt met de ligging van weerstanden in het grondwatermodel (fig. 7-8). Deze weerstanden vormen daarmee een belangrijke onzekerheid in de modelresultaten, zeker op het niveau van individuele percelen. Behalve de ligging van leemlagen zijn ook de lokale grondwaterstand en kwel-wegzijgingsstromen in de uitgangssituatie van invloed op de gemodelleerde waterstromen op de percelen.

5.2.2 Watervraag en betrouwbaarheid grondwatermodel

De watervraag van subirrigatie op de planpercelen werd op basis van het grondwatermodel ingeschat tussen 340 en 930 mm/jaar. Deze range komt grofweg overeen met de range in aanvoerhoeveelheden gevonden in eerdere proeven en SWAP-simulaties voor soortgelijke situaties. Ook de gemodelleerde stijgingen in grondwaterstand liggen in dezelfde ordegrrootte als gevonden in veldproeven (Tabel 7). Daarmee lijkt het model op basis van deze eerste controle geschikt om de effecten van subirrigatie op regionaal niveau te berekenen. Op de schaal van individuele percelen kunnen de gemodelleerde watervraag en stijging van de grondwaterstand wel verschillen van de waarden die verwacht werden vanuit veldproeven en perceelskenmerken. Dit komt onder andere doordat er verschillen zijn in de ruimtelijke verdeling van de bodemweerstand tussen de modelinvoer en boringen in DINOloket. Ook zijn er enkele kenmerken, zoals de aanwezigheid van veen, klei en kwel, waarvan de effecten op het subirrigatiesysteem niet bekend zijn op basis van de bestaande (Lumbricus-)proeven. Daarbij geldt dat de inschatting van de watervraag op basis van eerdere veldproeven en perceelskenmerken ook een groffe schatting is door de onzekerheid over lokale bodemeigenschappen en de interactie van de lokale subirrigatiesystemen met het oppervlaktewater. We kunnen concluderen dat het model waarschijnlijk een goed beeld geeft van de totale waterstromen, de effecten van subirrigatie op grotere schaal, en de te verwachten variatie binnen het projectgebied. Om de watervraag en effectiviteit op individuele percelen echter betrouwbaar in te schatten is lokale veldinformatie nodig van de perceelseigenschappen.

De werkelijk aangevoerde hoeveelheid water op de proefpercelen zal ook verschillen van de gemodelleerde hoeveelheden door de manier waarop het subirrigatiesysteem in de praktijk wordt aangelegd. In het model is uitgegaan van één gewas met één drainagebasis (50 cm-mv) en infiltratieperiode; in de praktijk zal dit afhangen van de keuzes van individuele boeren. De drainagebasis van 50 cm-mv is relatief ondiep. Wanneer voor andere gewassen wordt gekozen, zoals maïs, is een diepere stand nodig. Dit zal leiden tot een kleinere watervraag, maar ook kleinere effecten op de grondwaterstand. Hetzelfde geldt voor technische storingen of tijdelijke verstoppingen, die in de praktijk op zullen treden.

Behalve de vergelijking met veldproeven is de gebruikte subirrigatie-modelmodule in deze studie niet uitgebreid gevalideerd. De resultaten laten echter zien dat de verschillende subirrigatie-fluxen die de module simuleert niet altijd even eenduidig te interpreteren zijn. Op sommige percelen geeft het model een negatieve subirrigatieflux; ook is er sprake van subirrigatiestromen in het winterseizoen, wat in werkelijk niet goed als aanvoer te interpreteren is (Tabel 3, bijlage 1). Ook is er een sterk effect van lokale kwelstromen op de subirrigatie, waarvan niet duidelijk is hoe betrouwbaar deze is.

5.2.3 Effectiviteit van subirrigatie op perceelschaal en druk op het grondwater

Subirrigatie leidde in de modelresultaten meestal tot een optimale watervoorziening voor het gewas. In de meeste gevallen werd subirrigatie ook positiever ingeschat voor de gewasopbrengsten dan conventionele berekening (Figuur 13). Op enkele percelen leidde subirrigatie echter niet tot een optimale vochttoevoer en was berekening effectiever. Dit kan het geval zijn wanneer een perceel erg nat is, of de wegzijging zo sterk is dat de grondwaterstand niet voldoende verhoogd kan worden (Bartholomeus et al., 2019; Pouwels, 2020).

Vooraf wanneer gekeken wordt naar de veroorzaakte druk op het grondwater zijn de resultaten positief voor subirrigatie. De druk op het grondwater is hier benaderd als de grondwateronttrekking, verminderd met de toename in grondwateraanvulling ten opzichte van de referentiesituatie zonder irrigatie. Waar conventionele berekening uit grondwater de druk op het grondwater verhoogt, suggereren de modelresultaten voor subirrigatie een netto grondwateraanvulling van tot zo'n 350 mm/jaar, met uitschieters tot boven 500 mm (Tabel 3). Op deze manier zou de grondwateronttrekking van Bavaria voor een (klein) deel gecompenseerd worden. De grondwateraanvulling is in dit onderzoek zeer versimpeld benaderd als de stroming over de onderkant van modellaag 2. Hoeveel van dit geïnfiltreerde water ook werkelijk het diepere grondwater aanvult was op basis van de analyse in deze studie niet goed in te schatten. Een aanzienlijk deel van het aangevoerde water wordt waarschijnlijk, weliswaar vertraagd, alsnog als verhoogde drainage afgevoerd buiten de percelen zelf.

Tegenover het positieve effect van subirrigatie op het grondwater staat een verhoogde druk op het oppervlaktewater. Zoals boven besproken is het voor een succesvolle opschaling van subirrigatie nodig om op gebiedsschaal, maar ook op de schaal van individuele percelen, de beschikbaarheid van oppervlaktewater over de tijd en de mogelijke negatieve gevolgen van onttrekking beter te begrijpen.

6 Conclusies en aanbevelingen

In de gemeente Laarbeek is op meerdere landbouwpercelen subirrigatie aangelegd, waarvoor restwater vanuit de Bavaria-brouwerij bij Lieshout wordt hergebruikt als bron van water. In dit onderzoek is op basis van een subirrigatie-grondwatermodel, in combinatie met kennis uit eerdere veldproeven, onderzocht welk effect subirrigatie met hergebruikt restwater heeft op de waterbalans van de gemeente Laarbeek.

Uit het onderzoek blijkt, dat de toepassing van subirrigatie waarschijnlijk zal leiden tot een vermindering van de druk op het grondwater in het gebied, een verhoging van de grondwateraanvulling in het groeiseizoen, en een verhoogde gewastranspiratie en –opbrengst. Het waterhergebruik op de huidige twaalf planpercelen heeft daarmee een kwantitatief relatief klein, maar positief effect op de waterbalans van het Laarbeek-gebied. Direct hergebruik van het restwater van Bavaria alleen is mogelijk niet voldoende om in de piekvragen van subirrigatie te voldoen in droge zomers, maar een indirecte of gebufferde hergebruikroute kan op dit moment waarschijnlijk wel genoeg water leveren. Bij een eventuele verdere uitbreiding van subirrigatie in het gebied moet rekening gehouden worden met de beperkte waterbeschikbaarheid in de zomer, waardoor de positieve effecten van subirrigatie kunnen afnemen. Daarom is het van belang de aansturing (periode van aanvoer, te realiseren grondwaterstand, periode aan-uit) van subirrigatiesystemen te optimaliseren, zodat met een zo beperkt mogelijke wateraanvoer, toch een voldoende effect voor het gewas behaald kan worden.

Het onderzoek liet ook zien dat de watervraag en effectiviteit van subirrigatie sterk varieert tussen de verschillende landbouwpercelen. Dit komt vooral door lokale verschillen in de aanwezigheid van een weerstandsbiedende leemlaag in de ondergrond, en door verschillen in lokale grondwaterstanden en –stromen. De watervraag van subirrigatie werd ingeschat op zo'n 300-900 mm/jaar. Afhankelijk van het perceel komt mogelijk tot ongeveer de helft hiervan als grondwateraanvulling in het systeem terug.

Het ruimtelijke grondwatermodel met de recent ontwikkelde subirrigatiemodule lijkt de ordegrottes van de wateraanvoer en stijgingen in grondwaterstand goed te modelleren, en daarmee geschikt te zijn voor het inschatten van de effecten van subirrigatie op regionale schaal. Op perceelschaal kunnen de berekende wateraanvoeren en effectiviteit minder betrouwbaar zijn door onzekerheid in de eigenschappen van de bodem en ondergrond op deze lokale schaal.

De uitgevoerde studie vormt een verkenning van de kwantitatieve effecten van subirrigatie en waterhergebruik in het Laarbeek-gebied. Uit de studie komen verschillende aspecten naar voren die verder onderzoek nodig hebben om effectieve en verantwoorde opschaling van subirrigatie met hergebruikt restwater mogelijk te maken:

- Verder inzicht in het oppervlaktewatersysteem. Relevante vragen zijn wat de lokale beschikbaarheid is van oppervlaktewater op dagbasis en wat de aanvoermogelijkheden zijn; het effect van oppervlaktewaterpeilen op de watervraag van subirrigatie en de drainageverliezen; en de ecologische effecten van een verlaagde afvoer benedenstrooms, vooral in droge zomers zoals die van 2018.
- Veldonderzoek op individuele percelen voor een betrouwbare inschatting van lokale condities en daarmee van de watervraag en effectiviteit van subirrigatie op perceelschaal.
- Verkennen van aanpassingen in subirrigatiesystemen die bij kunnen dragen aan lagere (piek)vragen of meer waterbuffering.

- In deze studie is gekeken naar aspecten met betrekking tot waterkwantiteit; voor verantwoord hergebruik van gezuiverd restwater is ook een goed begrip van de kwaliteitsaspecten noodzakelijk.
- De veranderingen in grondwaterdynamiek als gevolg van subirrigatie kunnen effecten hebben op de uitspoeling van stoffen en nutriënten. Hiervoor is verder onderzoek gewenst.
- De effectiviteit in termen van kosten/baten van subirrigatie hangt in de praktijk ook af van de verschillen in kosten tussen de aanleg van het subirrigatiesysteem en kosten van beregening. Bij opschaling moet hier rekening mee gehouden worden.
- De verhoogde grondwaterstanden ten gevolge van subirrigatie kunnen ook effecten hebben op het bodemleven. Om dit in beeld te brengen is verder onderzoek nodig.

Referenties

Bartholomeus (red.) R.P. (2021). Programma Lumbricus, Integrale benadering van een klimaatrobuuste inrichting en beheer van stroomgebieden: Een overzicht. Stowa 2021.05, Amersfoort.

Bartholomeus, R., van Huijgevoort, M., van den Eertwegh, G. & van Deijl, D. (2019). Efficiëntie van beregening en subirrigatie uit grondwater: Modelmatige analyses met SWAP en Hydrus-2D. KWR rapport 2019.059.

Bartholomeus, R., van Loon, A. & van Huijgevoort, M. (2018). Hergebruik van industrieel restwater voor de watervoorziening van de landbouw: Praktijkproef subirrigatie met gezuiverd restwater van Bavaria. KWR rapport 2018.089.

De Wit, J., van Huijgevoort, M., van Deijl, D., van den Eertwegh, G. & Bartholomeus, R. (2021). Regelbare drainage met subirrigatie en slimme stuwen - Veldproeven en modelanalyses in het zandgebied van Nederland voor een robuustere waterhuishouding op lokale en regionale schaal. KWR 2021.028

Dingemans, M. M., P. W. Smeets, G. Medema, J. Frijns, K. J. Raat, A. P. v. Wezel and R. P. Bartholomeus (2020). Responsible Water Reuse Needs an Interdisciplinary Approach to Balance Risks and Benefits. *Water* 12(5): 1264.

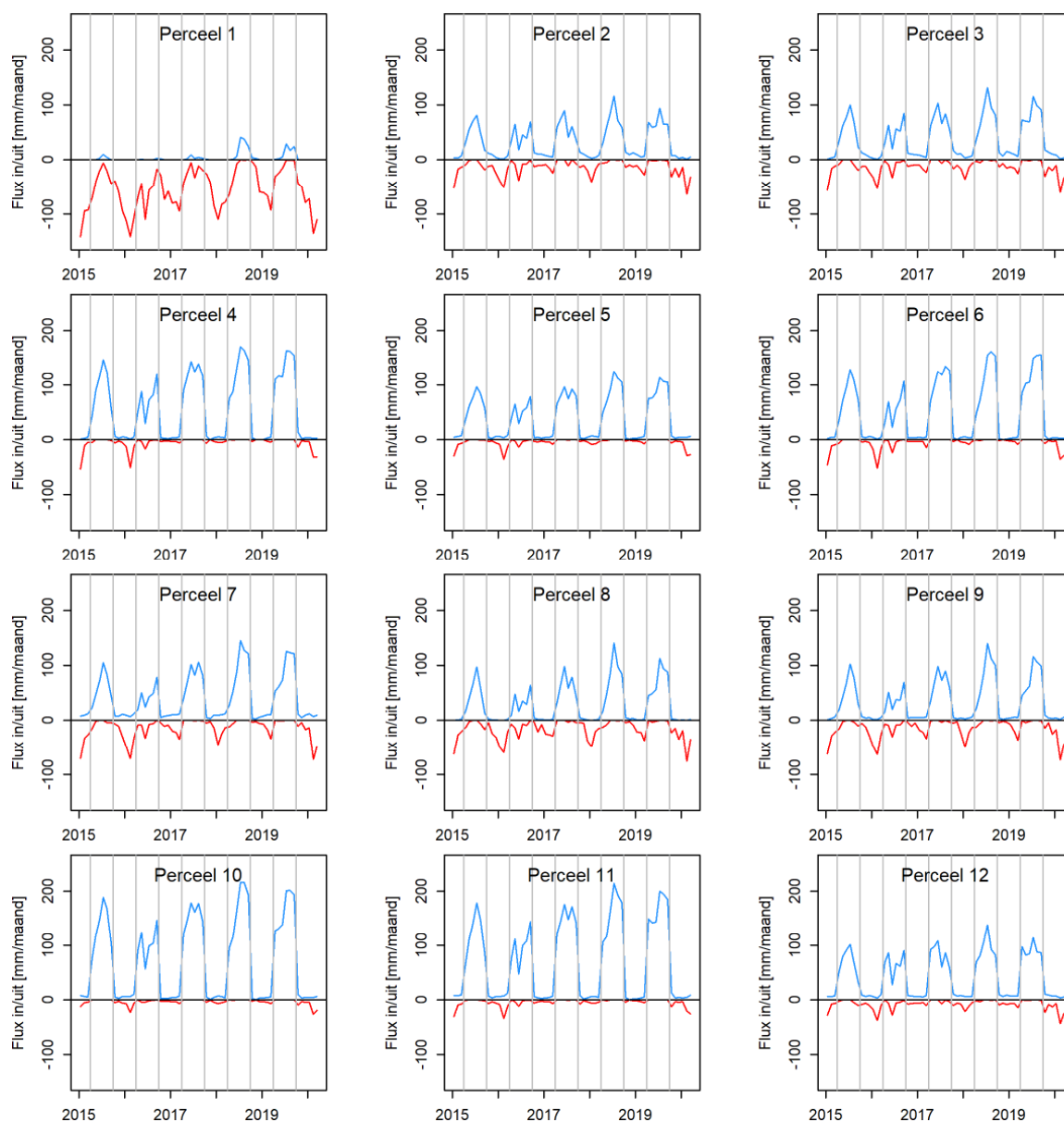
Kroes J.G., van Dam J.C., Bartholomeus R.P., Groenendijk P., Heinen M., Hendriks R.F.A., Mulder H.M., Supit I., van Walsum P.E.V. (2017) SWAP version 4 : theory description and user manual. Wageningen Environmental Research, Wageningen.

Pouwels, J. (2020). Lumbricus Wellend Water - Regionale analyse maatregelen: Eerste resultaten van doorrekenen peilgestuurde drainage met subirrigatie. Memo Deltares, 25-09-2020.

Pronk, G. J., T. C. G. W. van Dooren, S. F. Stofberg and R. P. Bartholomeus (2020). Waterhergebruik en de zoetwatervoorziening (Managementsamenvatting en dataoverzicht op dia's). Nieuwegein, KWR: 19.

TNO (2020). Totstandkomingsrapport GeoTOP – met nieuwe methodiek lagenmodellering. TNO rapport R10758, Utrecht.

Bijlage 1: gemodelleerde QSUB-fluxen



Figuur 16: Gemodelleerde QSUB-fluxen vanuit het subirrigatiemodel voor de twaalf percelen. Blauw= QSUB_IN, rood = QSUB_UIT. Verticale grijze lijnen geven de periodes waarin wateraanvoer in het model 'aan' staat (april-september).