



BTO 2017.062 | Oktober 2017

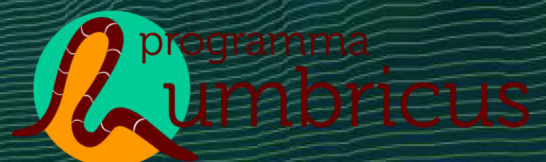
BTO rapport

Hergebruik restwater voor
zoetwatervoorziening in
het landelijk gebied:
Monitoring sub-irrigatie
met RWZI-effluent
Haaksbergen - 2016



KnowH₂O

Advies, Innovatie en Verbinding in Water



KWR

Watercycle
Research
Institute

BTO

Herbruik restwater voor zoetwatervoorziening in het landelijk gebied: Monitoring sub-irrigatie met RWZI-effluent Haaksbergen - 2016

BTO 2017.062 | Oktober 2017

Opdrachtnummer

401378

Projectmanagers

dr. Klaasjan J. Raat, ir. Jan Willem Kooiman

Opdrachtgevers

- Waterschap Vechtstromen
- Bedrijfstakonderzoek van de Nederlandse drinkwaterbedrijven (BTO) - Thematisch onderzoek - Duurzame bronnen en watersystemen
- Zoetwatervoorziening Oost-Nederland (ZON)
- Deltafonds
- Programma Lumbricus
Het kennisprogramma Lumbricus (www.programmalumbricus.nl) is een consortium bestaande uit STOWA, Deltares, KnowH2O, KWR (Watercycle Research Institute), FutureWater, Radboud Universiteit, Louis Bolk Instituut, Universiteit Twente, Wageningen Universiteit en Wageningen Environmental Research, waterschap Limburg, waterschap Aa en Maas, en waterschap Vechtstromen.

Kwaliteitsborger

Prof.dr. Pieter J. Stuyfzand

Auteurs

dr.ir. Ruud P. Bartholomeus, dr. Sija F. Stofberg, dr.ir. Gé A.P.H. van den Eertwegh/KnowH₂O, dr.ir. D. Gijsbert Cirkel

Verzonden aan

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten, Waterschap Vechtstromen en de Rijn-Oost werkgroep ZON en is openbaar.

Jaar van publicatie
2017

Meer informatie

dr.ir. Ruud P. Bartholomeus
T 030-6069530
E ruud.bartholomeus@kwrwater.nl

Keywords

circulaire economie, droogte, effluent, hergebruik, landbouw

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511
F +31 (0)30 60 61 165
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl



BTO ? | December 2015 © KWR

Alle rechten voorbehouden.

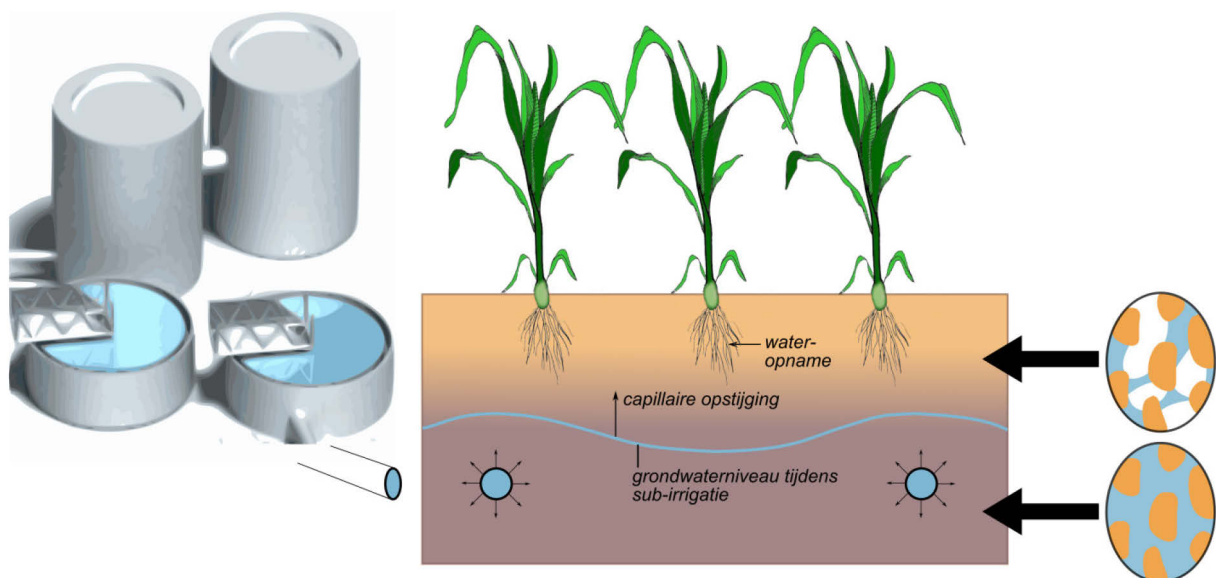
Niets uit deze uitgave mag worden veeleenvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

BTO Managementsamenvatting

Hergerbruik restwater voor de zoetwatervoorziening in het landelijk gebied: sub-irrigatie met RWZI effluent te Haaksbergen - 2016

Auteurs dr.ir. Ruud Bartholomeus, dr. Sija Stofberg, dr.ir. Gé van den Eertwegh (KnowH₂O), dr.ir. Gijbert Cirkel

Ondergrondse infiltratie door middel van sub-irrigatie biedt evidente kwantitatieve voordelen in het op peil houden of verhogen van de grondwaterstand en het bodemvochtgehalte in landbouwpercelen. In droogtegevoelige gebieden kan effluent een zoetwaterbron vormen die over het gehele seizoen beschikbaar is. Dit rapport gaat in op het tweede jaar van monitoring (2016) bij RWZI-Haaksbergen (Waterschap Vechtstromen), waar een deel van de effluentstroom in het Klimaat Adaptieve Drainagesysteem (KAD) van een aangrenzend akkerbouwperceel werd gebracht. Het onderzoek toonde aan dat het bodemvochtgehalte op peil gehouden werd, maar dat gedurende het groeiseizoen resten van geneesmiddelen in lage concentraties tot de wortelzone van het gewas zijn doorgedrongen. Resten van in het effluent aanwezige stoffen zijn tevens aangetroffen in het grondwater tot 2.5 m diepte, maar niet in het diepere grondwater (tot 10 m diepte). Verspreiding van o.a. geneesmiddelen naar het diepere grondwater is een belangrijk risico bij gebruik van effluent als aanvullende bron van zoetwater. Sub-irrigatie is een methode om watertekorten in de landbouw te verminderen door restwater voor droogtebestrijding te gebruiken, in plaats van af te voeren via het open water. Ondanks watertekorten in de landbouw lozen RWZI's en industrieën dagelijks gezuiverd afvalwater op het oppervlaktewater. Een groeiende disbalans in watervraag en -aanbod leidt tot toenemende droogteschade aan landbouwgewassen en meer druk op beschikbaar grond- en oppervlaktewater. Verhoging van de regionale zelfvoorziening in de zoetwatervraag door efficiënt gebruik van beschikbare waterbronnen is daarom van groot belang.



Sub-irrigatie met continue wateraanvoer maakt actieve regeling van grondwaterstand en het bodemvochtregime mogelijk

Belang: adaptieve maatregelen nodig om schaderisico's door droogte te beperken

Klimaatverandering leidt naar verwachting tot toenemende droogteschade aan landbouw en natuur en druk op waterbeschikbaarheid voor hoogwaardige toepassingen, zoals de productie van drinkwater. Voor een goede gewasopbrengst is een optimale watervoorziening cruciaal. Door gebrek aan bodemvocht tijdens de vaker voorkomende droge periodes kunnen gewasopbrengsten teruglopen. Voor de hogere zandgronden gaat het hierbij om een schadepost van € 200 miljoen in een droog jaar. Omdat het klimaat steeds grilliger wordt, zullen bij ongewijzigd waterbeheer de watertekorten verder toenemen. In dit project werken waterbeheerder en agrariërs samen aan adaptieve maatregelen voor een betere watervoorziening in de landbouw, gebaseerd op efficiënte(re) benutting van de beschikbare waterbronnen.

Aanpak: praktijkproef en monitoring van sub-irrigatie met RWZI-effluent in Haaksbergen

Bij RWZI-Haaksbergen (Waterschap Vechtstromen) is in 2012 in het kader van het project Landbouw op Peil de mogelijkheid gecreëerd om een deel van de effluentstroom in te brengen in het Klimaat Adaptieve Drainagesysteem (KAD) van een aangrenzend akkerbouwperceel. Via het KAD-systeem wordt het water ondergronds geïnfiltreerd door middel van sub-irrigatie, waardoor de grondwaterstand en het bodemvochtgehalte op peil blijven of worden verhoogd. Dankzij het KAD-systeem kan de agrariër zonder aanvullende beregening het vochtregime in zijn akker actief beheren. In 2015 is een meetopstelling ingericht om de verspreiding van het sub-irrigatiewater in zowel horizontale als verticale richting te monitoren, onder meer aan de hand van de chloride-bromideratio. Hierbij is bijzondere aandacht besteed aan monitoring van de verspreiding van resten van geneesmiddelen. Deze monitoring is in 2016 uitgebreid met meer meetpunten. Dit rapport bericht over de resultaten van 2016.

Resultaten: effluent bereikt wortelzone en bevat relatief lage concentraties geneesmiddelen

In 2016 heeft sub-irrigatie plaatsgevonden van 1 juni tot en met 21 september, waarbij gemiddeld

3.2 mm/d effluent is ingebracht. De verhoging van de grondwaterstand als gevolg van sub-irrigatie is dusdanig dat droogtestress bij het gewas wordt voorkomen. Tracering aan de hand van de chloride-bromide ratio (Cl:Br) wees erop dat gedurende het inlaten, het effluent zich vooral in het grondwater onder de drains verspreidt, en dat het in lagere concentraties de wortelzone bereikt. Resten van enkele geneesmiddelen, die in relatief hoge concentraties in het effluent voorkomen, zijn in de wortelzone in lage concentraties (<0.04 µg/l) teruggevonden.

Implementatie: verantwoorde toepassing effluent biedt kans voor benutting andere restwaterstromen

Het inzetten van restwater voor droogtebestrijding is een technische vorm van (klimaat)adaptatie om te anticiperen op toenemende watertekorten in de landbouw. Ondiepe sub-irrigatie van effluent via KAD is een nieuwe inpassing van water uit de waterketen in het watersysteem. Hierbij wordt het water ingebracht waar en wanneer het nodig is. Het sub-irrigeren geeft bij Haaksbergen een evidente verbetering van de vochtvoorziening.

Behalve RWZI's zijn ook restwaterstromen van industrieën beschikbaar om in te zetten voor de regionale watervoorziening. Bij hergebruik van RWZI-effluent voor sub-irrigatie zullen echter de meeste vragen omtrent waterkwaliteit en gezondheid worden gesteld. Dit onderzoek is van belang om verspreiding van onder andere geneesmiddelen richting grondwater en wortelzone te kwantificeren. Om risico's beter in te kunnen schatten is meerjarige monitoring (ook van meer stofgroepen) en modellering van de verspreiding van stoffen noodzakelijk.

De risico's voor verspreiding van effluent richting het diepere grondwater en eventuele drinkwaterwinningen hangen sterk af van de lokale hydrologische situatie en opbouw van de ondergrond, en zullen per locatie in kaart gebracht moeten worden.

Rapport

Dit onderzoek is beschreven in het rapport *Hergerbruik restwater voor zoetwatervoorziening in het landelijk gebied: Monitoring sub-irrigatie met RWZI-effluent Haaksbergen - 2016* (BTO-2017.062).

Inhoud

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Inleiding | 3 |
| 2 | Methode | 7 |
| 2.1 | Algemeen | 7 |
| 2.2 | Klimaat Adaptieve Drainage systeem Haaksbergen | 8 |
| 2.3 | Meetopstelling | 11 |
| 2.4 | Monstername bodemwater en analyses chemische samenstelling | 18 |
| 2.5 | Interpretatie stijghoogten | 19 |
| 3 | Resultaten | 21 |
| 3.1 | Metingen waterkwantiteit | 21 |
| 3.2 | Metingen waterkwaliteit | 34 |
| 4 | Discussie en conclusie | 57 |
| 4.1 | Sub-irrigatie met RWZI-effluent in Haaksbergen | 57 |
| 4.2 | Beschouwing van de risico's in Haaksbergen en mogelijke andere locaties voor sub-irrigatie met effluent | 58 |
| 4.3 | Aanbevelingen | 60 |
| 5 | Referenties | 63 |

1 Inleiding

Klimaatverandering en beschikbaarheid zoetwater

Klimaatverandering leidt naar verwachting tot toenemende droogteschade aan landbouw en natuur, en druk op waterbeschikbaarheid voor hoogwaardige toepassingen, zoals de productie van drinkwater. Om deze risico's beheersbaar te maken, worden, onder meer binnen het Deltaprogramma Zoetwater, strategieën ontwikkeld om de zoetwatervoorziening op de lange termijn veilig te stellen. Eén van de pijlers van deze strategieën is het verhogen van de regionale zelfvoorziening in de zoetwatervraag, zodat de afhankelijkheid van oppervlaktewateraanvoer afneemt en beschikbare waterbronnen efficiënter worden benut.

Ondergrondse waterberging en voorraadvorming bieden kansen voor de ontwikkeling van een veerkrachtig watersysteem en een verantwoorde benutting daarvan. In vergelijking met laag-Nederland zijn praktijktoepassingen op de hoge zandgronden in Oost- en Zuid-Nederland tot nu toe beperkt, terwijl juist daar droogtegevoelige gebieden liggen, grondwater gewonnen wordt voor drinkwater en de watervraag hoog is.

Klimaatverandering en landbouw

Gewasopbrengsten in de landbouw zijn in belangrijke mate afhankelijk van de hoeveelheid vocht in de wortelzone. 's Zomers is er vaak een gebrek aan bodemvocht, waardoor er berekend moet worden om te voorkomen dat landbouwopbrengsten teruglopen. De jaarlijkse grondwateronttrekking voor beregning in Nederland wordt geschat op ca. 100 miljoen m³ in een gemiddeld jaar tot ca. 200 miljoen m³ in een droog jaar. Beregning vindt doorgaans vooral plaats in droge perioden, waarbinnen de onttrekking voor beregning 2 tot 3 maal groter kan zijn dan alle overige Nederlandse onttrekkingen samen (Stuurman, Baggelaar et al. 2008). Met een onvoldoende aan het toekomstige, grilligere klimaat aangepast waterbeheer, zullen watertekorten in het groeiseizoen verder toenemen. Voor de hogere zandgronden gaat het om een schadepost voor de landbouw van €200 miljoen in een droog jaar (Ter Maat and Van der Vat 2015) en de gemiddelde droogteschade voor de landbouw kan in 2050 ongeveer 2,5x groter worden dan nu (Zoetwatervoorziening Oost Nederland 2012). Adaptieve maatregelen om schaderisico's door droogte én druk op andere functies als natuur en drinkwater te beperken zijn daarom nodig. Dit is ook opgenomen in het Deltaplan Zoetwater, waarin voor de Hoge Zandgronden wordt ingezet op het vasthouden en besparen van water, zoals bijvoorbeeld het hergebruik van restwater om de grondwateraanvulling op perceelniveau te vergroten.

Rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's) en industrieën lozen dagelijks, dus ook tijdens perioden met watertekort, gezuiverd afvalwater op het oppervlaktewater. Door dit water niet af te voeren via het open watersysteem, maar direct te benutten voor droogtebestrijding in de landbouw, kunnen watertekorten lokaal worden verminderd. Aangezien het gezuiverde RWZI-effluent een grote variatie aan stoffen bevat, roept het gebruik hiervan waterkwaliteitsvragen op.

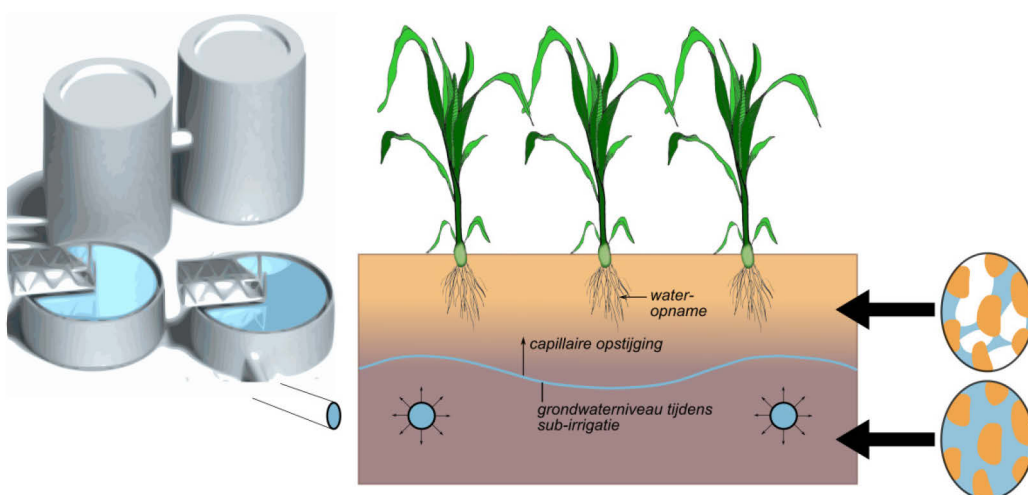
Hergebruik restwater Haaksbergen

In 2013 werd in het project 'Landbouw op Peil' door Waterschap Vechtstromen een proef met RWZI-effluent opgestart, waarbij een klein deel van de effluentstroom (5 a 6% van de droogweerafvoer) van de RWZI te Haaksbergen is aangesloten op het Klimaat Adaptieve Drainagesysteem (KAD) in een aangrenzend snijmaïspaneel (Figuur 1-1). Via KAD kan het

effluentwater ondergronds worden geïnfiltrerd: we noemen dit *sub-irrigatie* (Figuur 1-2). Zo kan de agrariër het vochtregime in zijn akker actief beheren en de plantgroei en -productie optimaliseren, zonder aanvullend te hoeven beregenen. Deze praktijkproef past in een trend van de laatste jaren om effluentstromen uit industrieën en RWZI's beter te benutten en te hergebruiken als zoetwaterbron. In 2013 is kortstondig (8 april tot 18 juni 2013) het KAD-systeem voor sub-irrigatie getest (Schaap, Lamberink et al. 2014).



FIGUUR 1-1: RWZI HAAKSBERGEN MET AANGRENZEND TEN NOORDWESTEN HET PERCEEL MET KAD-SYSTEEM.



FIGUUR 1-2: SUB-IRRIGATIE MET CONTINUE WATERAANVOER VIA DRAINS, WAARMEE DE GRONDWATERSTAND EN HET BODEMVOCHTREGIME ACTIEF EN ONLINE GEREGLD KUNNEN WORDEN.

Het toepassen van sub-irrigatie via een KAD systeem heeft verschillende voordelen: (1) een betere controle over het bodemvocht-regime en daardoor betere groeiomstandigheden, (2) een verminderde beregeningsbehoefte (waterbesparing) en geen directe verdampingsverliezen van het geïrrigeerde water. Dat bij de sub-irrigatie gebruik wordt gemaakt van effluent heeft als potentieel voordeel dat het oppervlaktewater mogelijk minder belast wordt met meststoffen en antropogene verontreinigen, met name restanten van geneesmiddelen en gewasbeschermingsmiddelen. Deze verminderde belasting kan direct zijn, doordat minder effluent geloosd wordt op het oppervlaktewater, en/of indirect doordat het effluent het oppervlaktewater pas bereikt na bodempassage.

Tegenover deze voordelen staan ook risico's en vragen. Verontreiniging van het grondwater met diverse microverontreinigingen waaronder geneesmiddelen is een belangrijk potentieel risico. Een belangrijke vraag is of en hoe resten van o.a. geneesmiddelen en bacteriën/virussen zich verspreiden bij sub-irrigatie en hoe ze zich gedragen tijdens de bodempassage. Een andere vraag is hoe de verspreiding en het gedrag van microverontreinigingen bij sub-irrigatie zich verhouden tot die bij de directe beregening met, in de zomermaanden voor een groot deel uit effluent bestaand, oppervlaktewater (Cirkel, Van den Eertwegh et al. 2017). Tenslotte rijst ook de vraag of subirrigatie tot meer of minder opslag van schadelijke stoffen in het gewas leidt.

In 2015 is een eerste monitoring van de effecten van sub-irrigatie met RWZI-effluent uitgevoerd, gericht op inzicht verschaffen in een deel van genoemde kansen en risico's. In 2016 heeft monitoring plaatsgevonden die meer gericht was op lokale grondwaterstroming en mogelijke verspreiding als gevolg van deze stroming. Centraal doel van voorliggend rapport is de ruimtelijke verspreiding van het sub-irrigatiewater in zowel horizontale als verticale richting in beeld te brengen, inclusief verspreiding van (resten van) geneesmiddelen.

Dit rapport bevat:

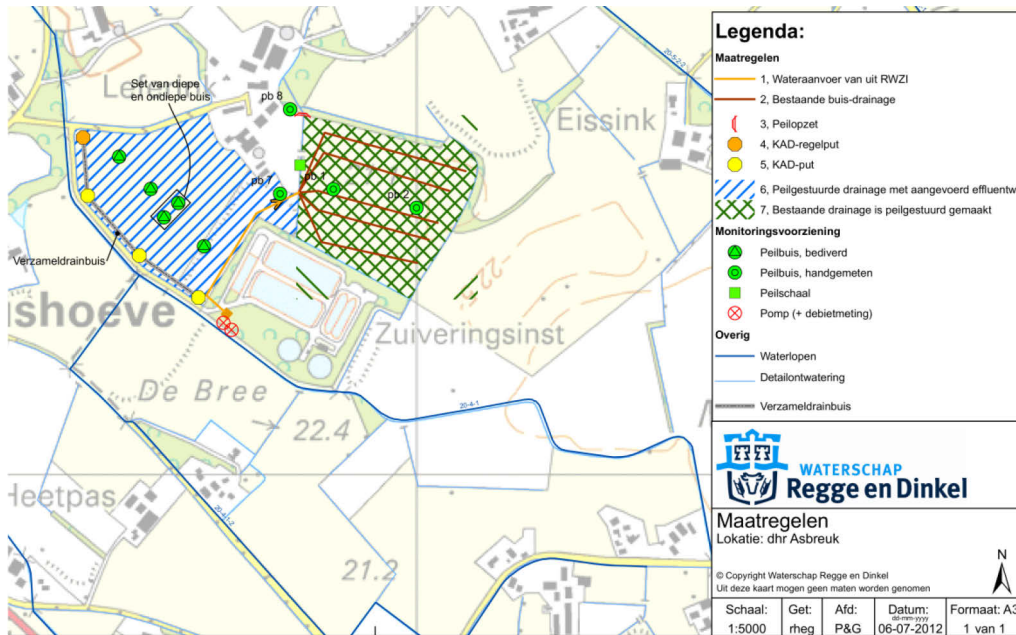
1. Beschrijving van het ingerichte monitoringsnetwerk om de effecten van sub-irrigatie van RWZI-effluent op de ruimtelijke verspreiding van het sub-irrigatiewater in zowel horizontale als verticale richting te kunnen kwantificeren in het KAD-perceel te Haaksbergen.
2. Overzicht van de metingen aan de grondwaterkwantiteit (stijghoogten) en een interpretatie van de lokale grondwaterstroming tijdens de periode van sub-irrigatie.
3. Overzicht van de grondwaterkwaliteit (geselecteerde tracers en resten van geneesmiddelen) van de referentiesituatie (d.w.z. situatie na periode zonder enige irrigatie) in het KAD-perceel te Haaksbergen.
4. Overzicht van de grondwaterkwaliteit (geselecteerde tracers en resten van geneesmiddelen) tijdens en na de periode van sub-irrigatie in het KAD-perceel te Haaksbergen.

2 Methode

2.1 Algemeen

De sub-irrigatie proef met RWZI-effluent heeft plaatsgevonden op een drainage-proefperceel, direct naast de RWZI in Haaksbergen. Op dit perceel is in het kader van Landbouw op Peil in 2011 een Klimaat Adaptief Drainage (KAD) systeem geïnstalleerd (Figuur 2-1) dat erop gericht is om waterschappen en agrariërs te laten samenwerken om water vast te houden in de bodem (Van den Eertwegh, Kuipers et al. 2013). Vervolgens is binnen TKI-Watertechnologie gewerkt aan een online aansturing van het KAD-systeem. Doel hiervan was om door tijdig te anticiperen op het weer en de vochttoestand van de bodem een dynamisch beheer van het drainageniveau mogelijk te maken: water vasthouden wanneer mogelijk en water afvoeren indien nodig (Bartholomeus, Simons et al. 2015, Bartholomeus, Van den Eertwegh et al. 2015). Naast deze ontwikkelingen die bijdragen aan een meer adaptief waterbeheer, is in 2013 op dezelfde locatie een experiment gestart met sub-irrigatie van RWZI-effluent via het KAD-systeem. Op het perceel wordt al jaren mais verbouwd. Bovengrondse irrigatie heeft, in ieder geval de laatste jaren, niet plaatsgevonden.

In dit hoofdstuk geven we wat meer achtergrondinformatie over het KAD-systeem, de meetopstelling en de bemeaten parameters om de verspreiding van het sub-irrigatiewater in beeld te brengen en een eerste modelopzet om de meetresultaten in ruimte en tijd te kunnen extrapoleren.



FIGUUR 2-1: RWZI EN KAD-SYSTEEM (BLAUW GEARCEERDE PERCEEL) TE HAAKSBERGEN, ZOALS INGERICHT EIND 2011. BRON: WATERSCHAP VECHTSTROMEN.

2.2 Klimaat Adaptieve Drainage systeem Haaksbergen

Klimaat Adaptieve Drainage (KAD) is een bijzondere vorm van regelbare drainage, die het mogelijk maakt om de drainagebasis via internet op afstand te besturen (Figuur 2-3). De technische kenmerken van KAD maken het mogelijk om continu en online de bodemvochtcondities in een landbouwperceel te beheren en tijdig te anticiperen op te droge of te natte groeicondities. KAD is in twee fasen ontwikkeld als innovatie in waterbeheer (SBIR-Klimaatadaptatie en Water). Allereerst is er een haalbaarheidsstudie uitgevoerd (Droogers, Kuipers et al. 2010). Daarna is KAD verder onderzocht en ontwikkeld (Van den Eertwegh, Kuipers et al. 2013).

Reductie van piekafvoeren en een grotere mate van zelfvoorziening zijn de voornaamste doelen van KAD voor het waterbeheer. KAD is in 2010-2012 getest in het veld op drie locaties in Nederland. Op deze locaties is nauw samengewerkt met eindgebruikers van het systeem, te weten waterbeheerders en agrariërs. Het KAD-systeem is erop gericht water vast te kunnen houden in de bodem van landbouwpercelen. De bodem krijgt zo een actieve rol in het operationele waterbeheer.

Er zijn bij drie agrariërs binnen de waterschappen Brabantse Delta, Hunze en Aa's en Vechtstromen (Figuur 2-1, Figuur 2-4) prototypen van KAD aangelegd. Deze prototypen zijn in wezen één volledige unit van een geheel KAD systeem. Elk KAD-systeem bestaat uit een samengesteld regelbaar drainagesysteem, een op afstand online en traploos regelbare drainageput, en de volledige infrastructuur voor telemetrie en dataopslag. Daarnaast worden grondwaterstanden continu geregistreerd. Via telemetrie zijn alle data en alle handelingen steeds in te zien. De prototypen zijn uitgerust met een monitoringsysteem om in detail het functioneren van KAD te onderzoeken, maar ook om potentiële eindgebruikers inzicht te geven in de processen die aan KAD en de effecten van de toepassing ten grondslag liggen. Het resultaat van deze demonstratie-prototypen was in 2012:

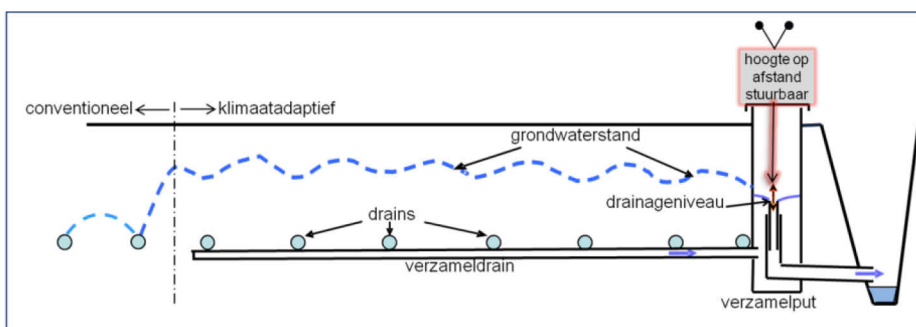
- KAD werkt in de praktijk goed;
- enkele technische verbeteringen zijn doorgevoerd en het systeem is robuust;
- een extra "tussenschakel" is ontwikkeld, de zogenaamde vlotterput, waardoor KAD ook in licht glooiende gebieden kan worden toegepast; er wordt een peilverschil binnen het KAD-systeem van stroomopwaarts +0,3 m gemaakt per vlotterput; ook kunnen drainafvoeren worden gemeten binnen het systeem;
- deelnemende agrariërs zijn als potentiële eindgebruiker tevreden over het systeem.

Op het KAD-perceel in Haaksbergen hebben de polypropeen zuigdrains een buitendiameter van 6 cm en een binnendiameter van 5,5 cm (Figuur 2-2). Ze zijn omhuld met een kunststof filter ($O_{90}=450 \mu\text{m}$). De geribbelde wand kent een afstand tussen twee ribben van 0,7 cm. Elke cirkelvormige rib heeft een drietal rechthoekige perforaties van 0,2 cm bij 0,5 cm, uniform verdeeld over de cirkelomtrek. De zuigdrains bevinden zich op een diepte van 1,2 m-m.v. en onderlinge afstand van 6 m. Ze liggen te Haaksbergen in een drietal 'waaiers' of segmenten, waarbij de buizen dus niet helemaal parallel lopen aan elkaar. De drie segmenten zijn het gestuurde deel met de KAD-put, het deel bovenstrooms van vlotterput 2 en het deel vanaf de vlotterput 1 richting de infiltratie-verdeelput in de zuidoosthoek, nabij de RWZI. Elke vlotterput creëert een hoogteverschil in drainageniveau van +0,3 m ten opzichte van het benedenstroomse segment. De drainafvoer vanuit de KAD-put kan worden geschat met behulp van het waterpeil in de KAD-put en een gefitte afvoerrelatie (Q-h relatie) van de twee v-schotten in het KAD-systeem (Van Bakel, Meijs et al. 2013).



FIGUUR 2-2. FOTO VAN EEN DRAIN ZOALS GEBRUIKT IN HAAKSBERGEN.

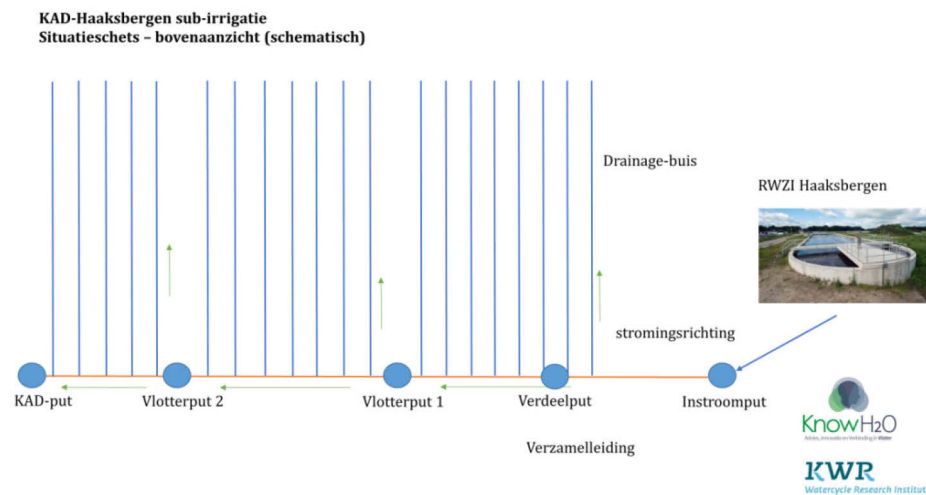
In 2013 heeft Waterschap Vechtstromen een eerste vingeroefening uitgevoerd naar benutting van gezuiverd RWZI-effluent voor droogtebestrijding in de landbouw. Nabij RWZI Haaksbergen was de effluentstroom aangesloten op het KAD-systeem in het aangrenzende akkerbouwperceel van 8 april tot en met 18 juni 2013 (Figuur 2-5). Via het KAD-systeem werd water ondergronds in de bodem gebracht (sub-irrigatie). In 2015 heeft sub-irrigatie plaatsgevonden van 3 juni tot en met 9 oktober. In 2016 heeft sub-irrigatie plaatsgevonden van 1 juni tot en met 21 september.



FIGUUR 2-3: KLIMAAT ADAPTIEVE DRAINAGE (KAD) SYSTEEM: DRAINS, VERBONDEN MET EEN GESLOTEN VERZAMELDRAIN, DIE UITMONDT IN EEN VERZAMELPUT MET OP AFSTAND REGELBAAR GESTUURD DRAINAGENIVEAU VIA TELEMETRIE, EN EEN AFVOERLEIDING NAAR HET OPPERVLAKTEWATER.



FIGUUR 2-4: KAD-PERCEEL IN HAAKSBERGEN (5,8 HA). LINKSBOVEN: OPZET VAN HET KAD EN IN 2011 GEÏNSTALLEERDE MONITORINGSSYSTEEM; LIGGING PEILBUIZEN IN GROEN, VERZAMELPUT IN ORANJE, VLOTTERPUTTEN IN GEEL. RECHTSBOVEN: FOTO VAN HET SNIJMAÏS-PERCEEL IN JUNI 2013. LINKSONDER: MECHANISCHE INSTALLATIE VOOR CONTROLE DRAINAGEBASIS DIE GEÏNSTALLEERD IS IN DE VERZAMELPUT. RECHTSONDER: OP AFSTAND BESTUURBARE CONTROLE-EENHEID MET DAARACHTER DE VERZAMELPUT.



FIGUUR 2-5: SCHEMATISCH BOVENAANZICHT KAD-PROEFVELD HAAKSBERGEN EN DE AANSLUITING OP DE RWZI.

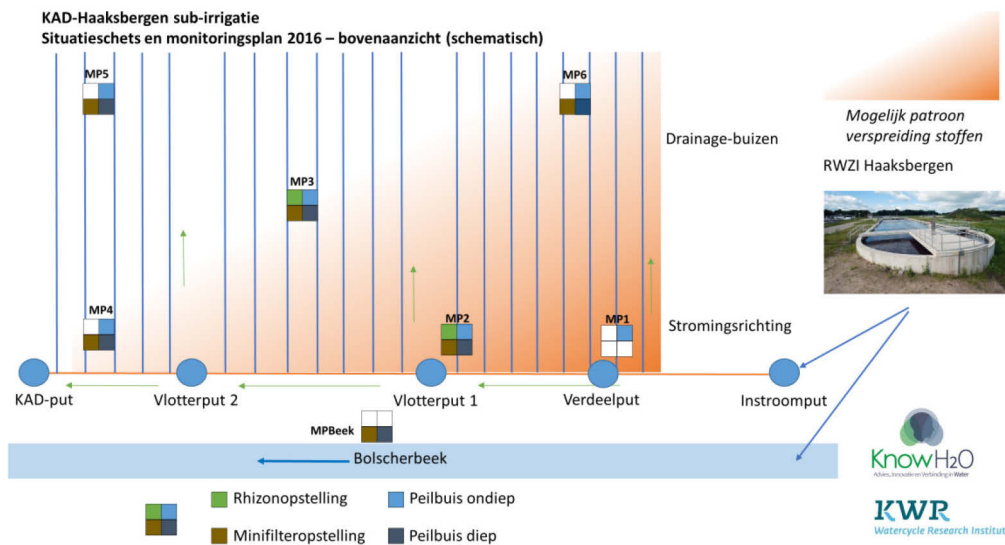
2.3 Meetopstelling

In 2015 is een meetopstelling ingericht voor het monitoren van de verspreiding van het sub-irrigatiewater in zowel horizontale als verticale richting, inclusief verspreiding van stoffen in het effluent, zoals resten van geneesmiddelen (Bartholomeus, van den Eertwegh et al. 2016). In 2016 is deze meetopstelling uitgebreid met enkele extra meetpunten, om zowel de verspreiding van stoffen in de ruimte (horizontaal) als in de diepte beter in beeld te brengen.

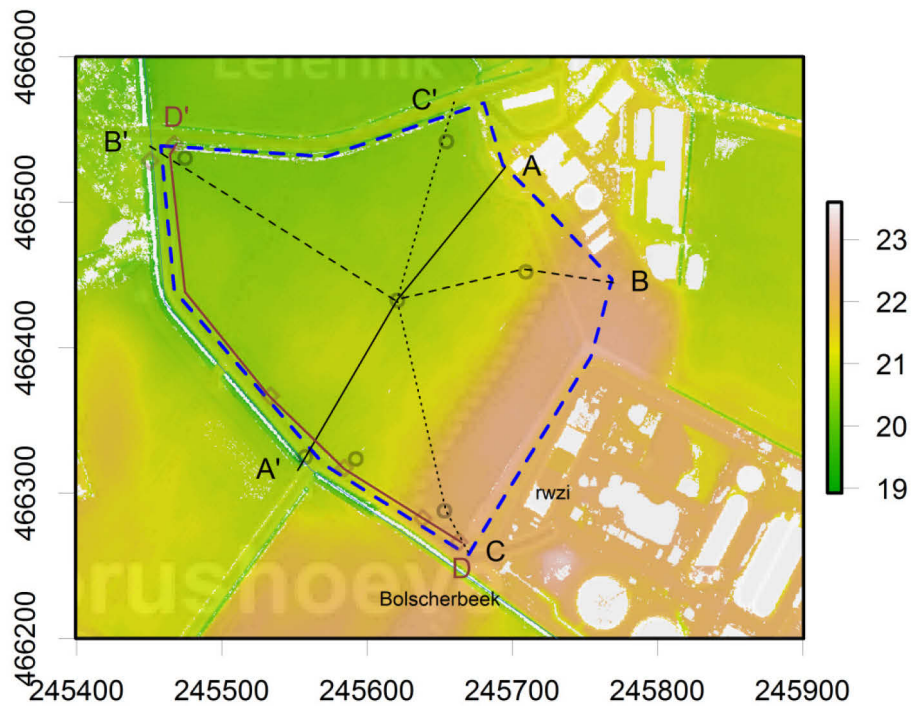
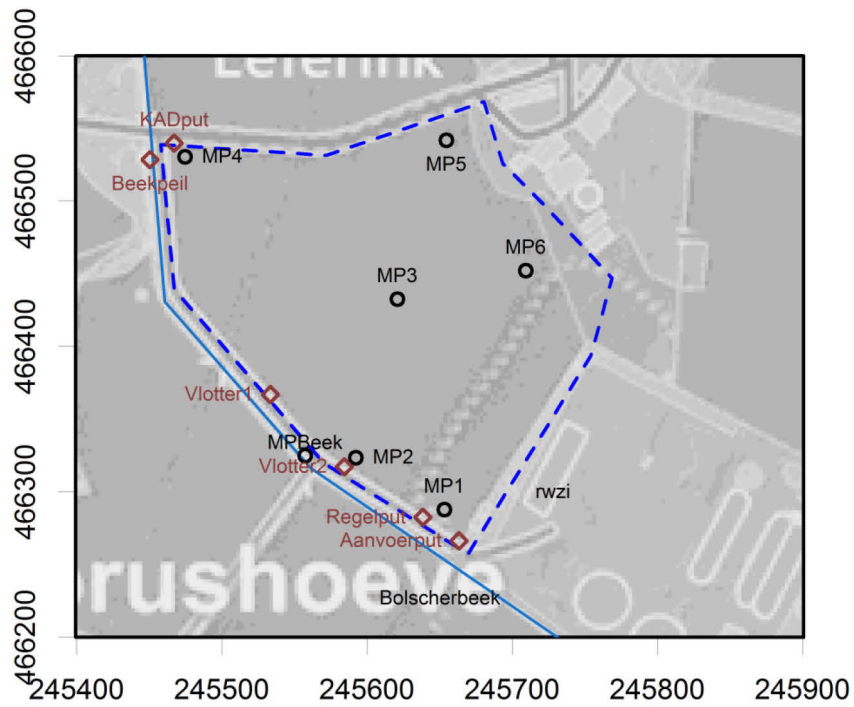
In 2015 zijn monitoringspunten ingericht op plekken waar we het meeste effect van sub-irrigatie op de kwaliteit van het bodemwater verwachtten (MP1, MP2, MP3) (Figuur 2-6, Figuur 2-7). Voor de monitoring van de waterkwaliteit en de verspreiding van het RWZI-effluent is de meetopstelling van 2015 uitgebreid met vijf meetpunten (Figuur 2-7, Figuur 2-11, Figuur 2-12, Tabel 2-1). De gehele opstelling bestaat sedert 2016 uit:

1. MP1: ondiepe peilbuis met minifilters nabij de inlaat van het RWZI-effluent, direct naast een drain.
2. MP2: ondiepe peilbuis met minifilters, en rhizon bodemvochtnemers 'bovenstrooms' van de eerste vlotterput, direct naast een drain
3. MP3: in het midden van het perceel
 - a. MP3A: diepe en ondiepe peilbuis met minifilters, en rhizon bodemvochtnemers midden tussen twee drains
 - b. MP3B: ondiepe peilbuis met minifilters, en rhizon bodemvochtnemers direct naast een drain
4. MP4-6: combinatie van ondiepe en diepe peilbuizen met minifilters direct naast drains
5. MPbeek: diepe peilbuis met minifilters direct naast de beek

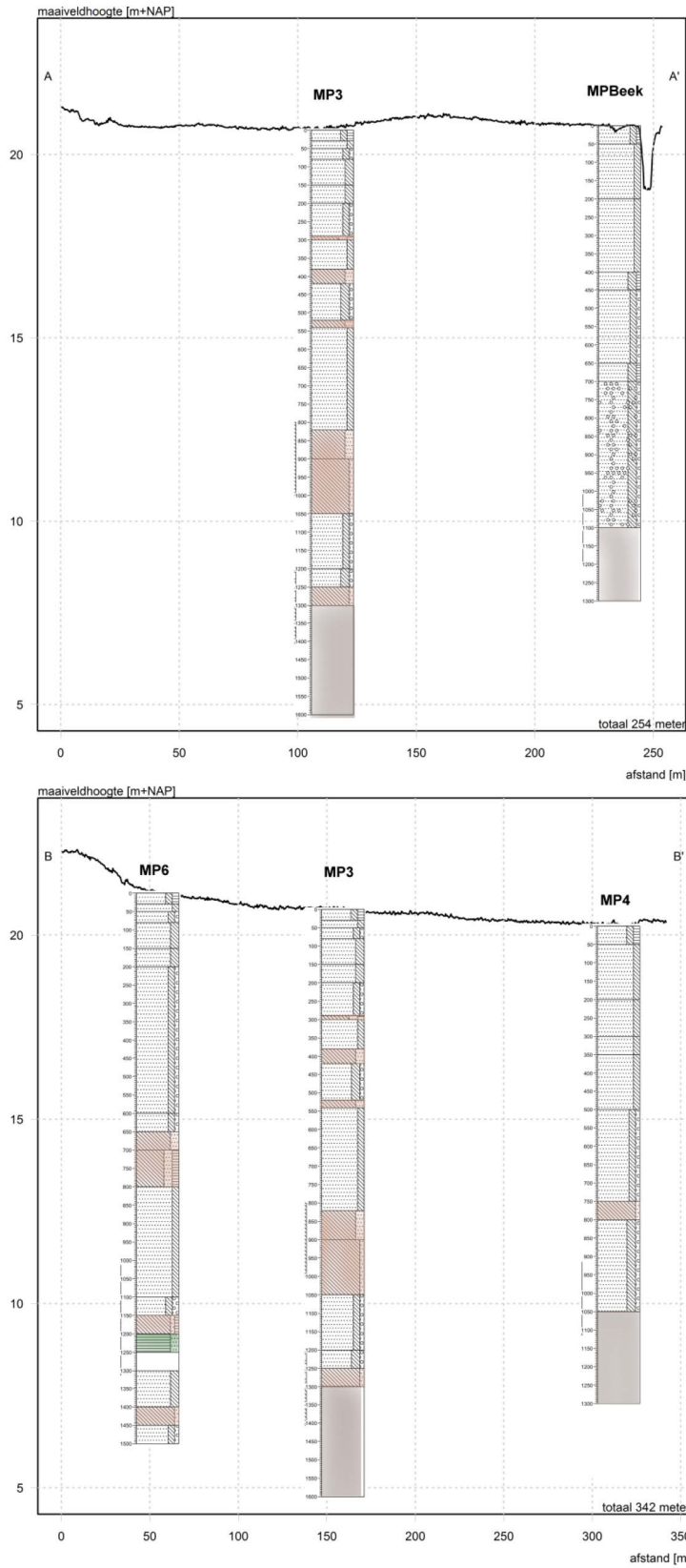
Bij MP2 en MP3B worden ook bodemvochtgehalten boven drainniveau gemeten (Figuur 2-13).



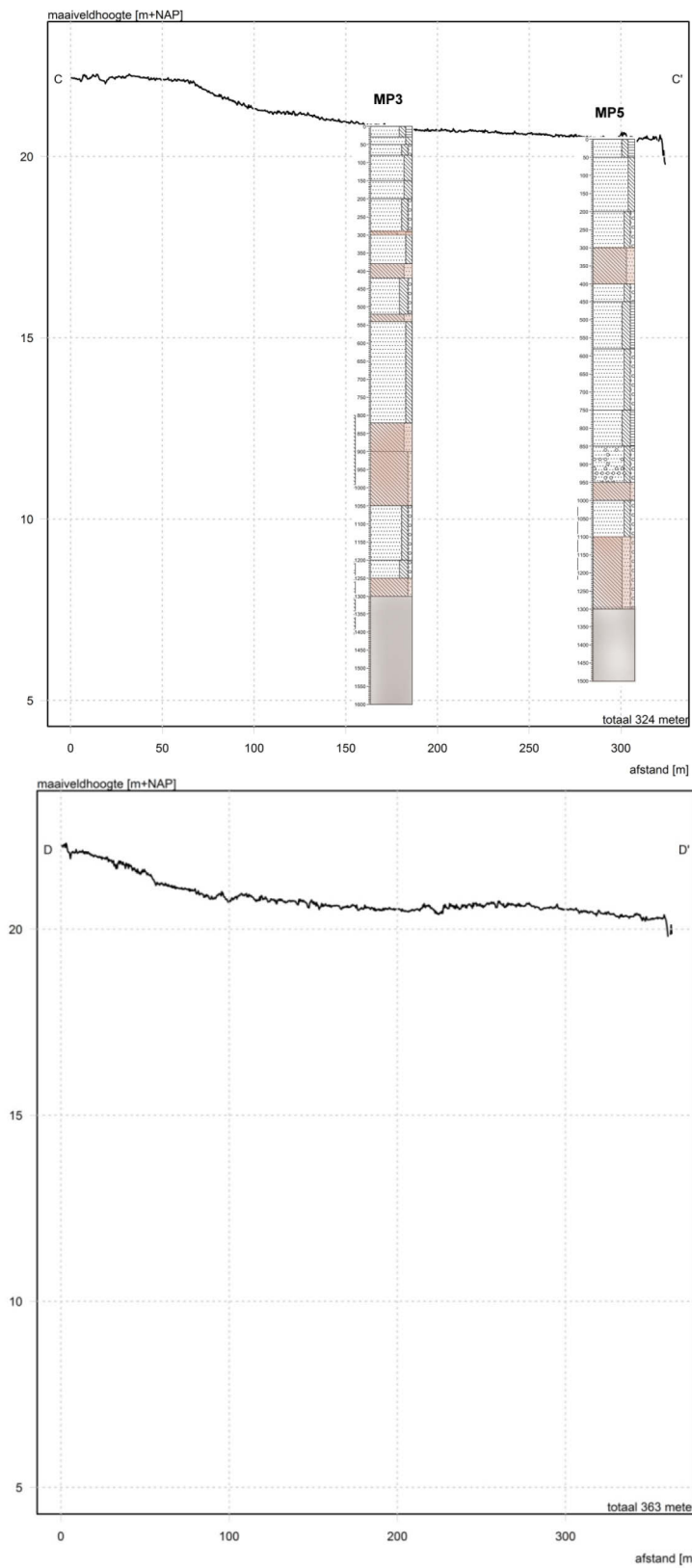
FIGUUR 2-6: SCHEMATISCH BOVENAANZICHT KAD-PROEFVELD HAAKSBERGEN MET MOGELIJKE VERSPREIDING VAN STOFFEN DIE IN RWZI-EFFLUENT AANWEZIG ZIJN OVER HET GEDRAINEERDE PERCEEL. DE MET MP.. AANGEDUIDE PUNTEN ZIJN MEETPUNTEN. DE KLEUREN IN DE VIERKANTEN GEVEN AAN WELK TYPE METINGEN EN MONSTERNAMES BIJ DEZE MEETPUNTEN PLAATSVONDEN.



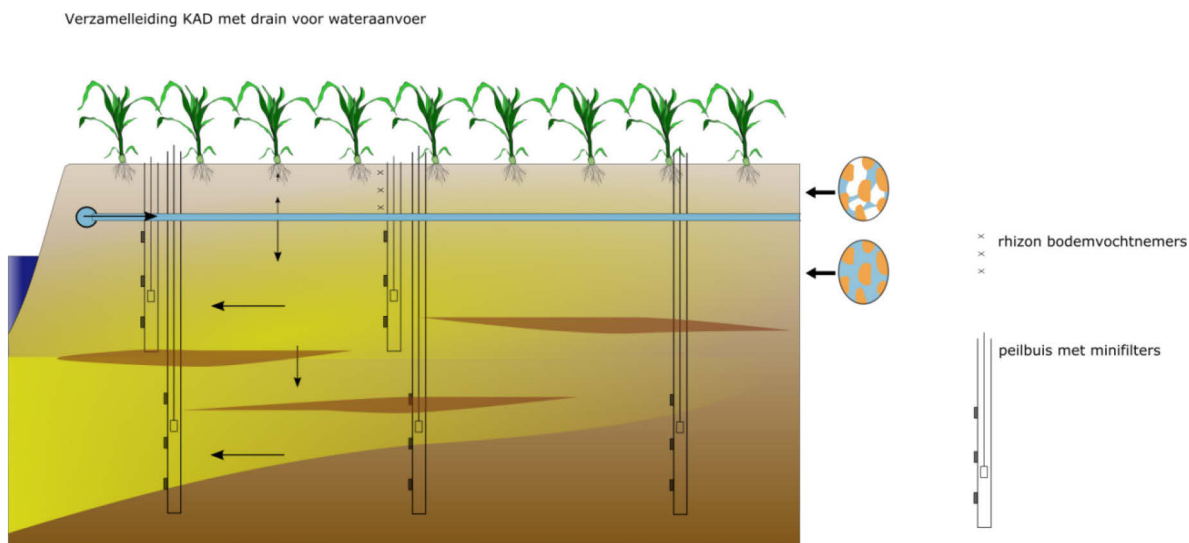
FIGUUR 2-7: MEETPUNTEN (BOVEN) EN TRANSECTEN (ONDER) OP DE HOOGTEKAART (M+NAP) VAN HET PROEFPERCEEL TE HAAKSBERGEN (BLAUW OMRAND) EN DE DIRECTE OMGEVING. MP1, MP2, MP3, MP4, MP5, MP6 EN MPBEEK ZIJN DE MEETLOCATIES WAAR PEILBUIZEN, MINIFILTERS EN/OF RHIZON BODEMVOCHTNEMERS ZIJN GEPLAATST.



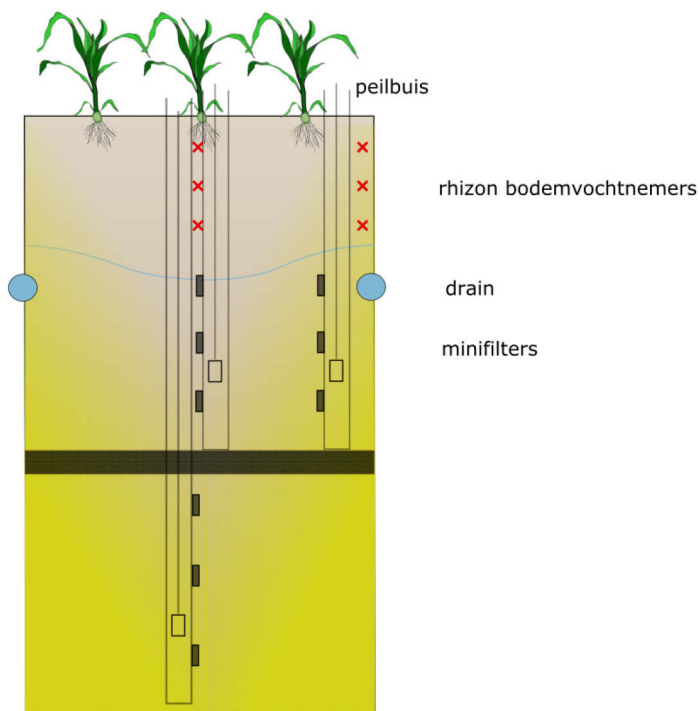
FIGUUR 2-8. BOVEN: TRANSECT A-A' MET BODEMPROFIELEN. ONDER: TRANSECT B-B' MET BODEMPROFIELEN. SLECHTDOORLATENDE LAGEN ZIJN MET KLEUR BENADRUKT (BRUIN VOOR LEMLAGEN, GRIJS VOOR KEILEEM (KLEIIG, SLECHT-DOORLATEND) EN GROEN VOOR VEEN).



FIGUUR 2-9. BOVEN: TRANSECT C-C' MET BODEMPROFIELEN. ONDER: TRANSECT D-D'. SLECHTDOORLATENDE LAGEN ZIJN MET KLEUR BENADRUKT (BRUIN VOOR LEEMPLAGEN EN GRIJS VOOR KEILEEM).



FIGUUR 2-10: SCHEMATISCHE DWARSDOORSNEDE VAN DE SITUATIE TE HAAKSBERGEN. PIJLEN GEVEN DE (VERMOEDELIJKE) STROMINGSRICHTING. DE GELE VLAKKEN GEVEN DE MOGELIJKE VERSPREIDING VAN STOFFEN UIT HET AANGEVOERDE RESTWATER.



FIGUUR 2-11: SCHEMATISCH OVERZICHT VAN DE MEETOPSTELLING BIJ MP3 EN DE MOGELIJKE VERSPREIDING VAN STOFFEN (IN GEEL). BIJ MP3 ZIJN 2 PEILBUIZEN (FILTERLENGTE 100CM) GEPLAATST MET DAARAAN BEVESTIGD (LANGS BUITENZIJDE STIJGBUIS) MINIFILTERS OP DRIE DIEPTES VOOR DE BEMONSTERING VAN GRONDWATER ONDER HET FREATISCH GRONDWATERNIVEAU DIRECT NAAST EN TUSSEN TWEE DRAINS. TUSSEN DE DRAINS IS TEVENS EEN DIEPE PEILBUIS GEPLAATST. BOVEN DRAINNIVEAU ZIJN OP DRIE DIEPTES MACRORHIZON BODEMVOCHTNEMERS GEPLAATST VOOR DE BEMONSTERING VAN BODEMVOCHT IN DE ONVERZADIGDE ZONE DIRECT NAAST EN TUSSEN TWEE DRAINS.



FIGUUR 2-12: MEETOPSTELLING EN BEMONSTERING VAN BODEMVOCHT MET MACRORHIZONS (LINKS) EN GRONDWATER MET MINIFILTERS (RECHTS) TER PLEKKE VAN MP3. FOTO: RUUD BARTHOLOMEUS.



FIGUUR 2-13: BODEMVOCHTSENSOREN BIJ MP2 OP VIER MEETDIEPTES.

TABEL 2-1: METADATA VAN DE MEETOPSTELLING

| | MP1 | MP2 | MP3A tussen drains | MP3C tussen drains | MP3B bij drain | MP4 | MP5 | MP6 | MPbeek |
|---|--------------------|--------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------------|
| x (RD) | 466287.87 | 466323.71 | 466428.61 | 466430.47 | 466433.9 | 466530.54 | 466541.86 | 466452.23 | 466325.07 |
| y (RD) | 245653.29 | 245592.43 | 245618.46 | 245619.54 | 245618.1 | 245474.75 | 245654.73 | 245709.31 | 245557.48 |
| maaiveld (m+NAP) | 22.18 | 21.00 | 20.77 | 20.82 | 20.74 | 20.32 | 20.48 | 21.24 | 20.39 |
| drain (m-mv) | 0.55 | 1.00 | 1.06 | 1.11 | | 0.79 | 0.99 | 1.02 | |
| drain (m+NAP) | 21.63 | 20.00 | 19.71 | 19.71 | 19.71 | 19.53 | 19.49 | 20.23 | |
| diepte MacroRhizons (m-mv) | 0.2; 0.4 | 0.2; 0.6; 1.0 | | 0.2; 0.6; 1.0 | 0.2; 0.6; 1.0 | | | | |
| ondiepe minifilters tov drain (m-drain) | 0.25; 0.8; 1.30 | 0.25; 0.8; 1.30 | | 0.25; 0.8; 1.30 | 0.25; 0.8; 1.30 | 0.25; 0.8; 1.30 | 0.25; 0.8; 1.30 | 0.25; 0.8; 1.30 | |
| diepte diepe minifilters (m-mv) | | | | 11.8; 7.5; 5 | | 9; 7; 5 | 10.0; 7.5; 4 | 14; 9.8; 8.5; 5 | 10; 7.5; 5; 2.5; 1.5 |
| rhizon 1 (m+NAP) | 21.98 | 20.80 | | 20.62 | 20.54 | | | | |
| rhizon 2 (m+NAP) | 21.78 | 20.40 | | 20.22 | 20.14 | | | | |
| rhizon 3 (m+NAP) | | 20.00 | | 19.82 | 19.74 | | | | |
| minifilter 1 (m+NAP) | 21.38 | 19.75 | | 19.46 | 19.46 | 19.28 | 19.24 | 19.98 | 18.89 |
| minifilter 2 (m+NAP) | 20.83 | 19.20 | | 18.91 | 18.91 | 18.73 | 18.69 | 19.43 | 17.89 |
| minifilter 3 (m+NAP) | 20.33 | 18.70 | | 18.41 | 18.41 | 18.23 | 18.19 | 18.93 | 15.39 |
| minifilter 4 (m+NAP) | | | 15.77 | | | 15.32 | 16.48 | 16.24 | 12.89 |
| minifilter 5 (m+NAP) | | | 13.27 | | | 13.32 | 12.98 | 12.74 | 10.39 |
| minifilter 6 (m+NAP) | | | 8.97 | | | 11.32 | 10.48 | 11.44 | |
| minifilter 7 (m+NAP) | | | | | | | | 7.24 | |
| diepte filter diepe peilbuis (m-mv) | | | 12-13 | | | 9-10 | 10-11 | 10-11 | 10-11 |
| bovenkant filter diepe peilbuis (m+NAP) | | | 8.77 | | | 11.32 | 10.48 | 11.24 | 10.39 |
| bentoniet diepe peilbuis (m-mv) | | | 8-10 | | | | | ong 13 | |

2.4 Monsternamen bodemwater en analyses chemische samenstelling

Op de meetlocaties zijn op 24 mei 2016, voorafgaand aan sub-irrigatie, monsters genomen voor het in beeld brengen van de referentiesituatie van de grondwatersamenstelling. Vervolgens zijn monsters genomen gedurende sub-irrigatie (op 18 juli en 14 september 2016) en nadat sub-irrigatie is gestopt (1 november 2016). Oogst van de snijmaïs vond plaats op 24/25 september 2016. Laboratoriumanalyses van de waterkwaliteit richtten zich op tracers voor detectie van het infiltratiewater en zijn hieronder besproken.

2.4.1 Chloride en bromide, macro- en sporenelementen

In rioolwater is een significante bijdrage van steenzout (ingrediënt van keukenzout en stroozout bijvoorbeeld) aan de zoutvrucht te verwachten. Bij vorming van steenzout (haliet-kristallen) door het indampen van zeewater wordt verhoudingsgewijs meer chloride in de kristalstructuur ingebouwd dan bromide. De bijdrage van opgelost steenzout aan rioolwater zal hierdoor resulteren in een duidelijk verhoogde chlorideconcentratie en een ten opzichte van chloride verhoudingsgewijs lage bromideconcentratie. Neerslagwater in Oost-Nederland bevat weinig chloride (LMRE meetpunt Valthermond (gemiddeld 1,5 mg/L in 2013 (wet only)), en heeft geschatte Cl:Br verhoudingen rond de 300 (Stuyfzand 1993). Het effluent is aldus qua chloride en bromide afwijkend ten opzichte van de natuurlijke achtergrond en neerslagwater. Zowel de chlorideconcentratie als de ratio tussen chloride en bromide kan hierdoor worden gebruikt als tracer voor de verspreiding van rioolwater tijdens sub-irrigatie in het proefperceel. Chloride- en bromideconcentraties zijn bepaald door Bureau Veritas Minerals - Acme Labs, met de SO200 - ICP-MS analyse. Binnen deze analyse zijn tevens concentraties van 68 macro- en sporenelementen bepaald.

2.4.2 pH en EC

Gedurende de periode met sub-irrigatie zijn van de grondwatermonsters ook de pH, het EC (elektrisch geleidingsvermogen; in het Engels EC, electrical conductivity) en de temperatuur bepaald, omdat dit kwaliteitsindicatoren zijn die eenvoudig in het veld te meten zijn. Ze geven een eerste indicatie van de herkomst van het water tijdens de veldwerkzaamheden, en dan met name het EC en de temperatuur. De pH is doorgaans betrokken bij chemische reacties en geeft hierdoor een minder eenvoudig te interpreteren signaal.

2.4.3 Restanten van geneesmiddelen

De verwijdering van (restanten van) geneesmiddelen in RWZI's kan sterk verschillen per geneesmiddel. De emissie van geneesmiddelen naar het oppervlaktewater is daarom onder meer voor waterschappen een belangrijk aandachtspunt (Oosterhuis, Groteboer et al. 2011). Voor de drinkwaterwinning op de hoge zandgronden is verontreiniging van het onttrokken grondwater met geneesmiddelen van groot belang (Van der Aa, Kommer et al. 2008). Daarnaast is het doordringen van resten geneesmiddelen in de wortelzone van het gewas ongewenst. Concentraties van 10 geneesmiddelen en metaboliëten zijn bepaald voor 49 watermonsters, door het Laboratorium voor Materialenonderzoek en Chemische analyse (LMC) van KWR.

2.4.4 Nutriënten en organische stof

Nutriëntenconcentraties en organische stofgehalten zijn van belang voor het inschatten van de redoxcondities van het grondwater, afbraakprocessen en de invloed van bemesting. Concentraties van IC, TC, NPOC (resp. anorganisch, totaal en niet deeltjesgebonden koolstof), $N-NH_4$, $N-(NO_3+NO_2)$, Nts (ts = totaal oplosbaar) en $P-PO_4$ (ortho) zijn bepaald door het Chemisch Biologisch Laboratorium Bodem (CBLB) van Wageningen UR.

2.5 Interpretatie stijghoogten

In het rapport BTO2016.050 (Bartholomeus, van den Eertwegh et al. 2016) zijn de resultaten van een 2D modellering van de verzadigde en onverzadigde stroming rondom een drain beschreven. In deze modellering is laterale stroming als gevolg van stijghoogteverschillen in het perceel niet meegenomen. In de huidige studie zijn stijghoogten op meerdere punten gemeten, waardoor een beeld van de stroming verkregen kan worden, hoewel er geen ruimte was voor een nieuwe (2D of 3D) modellering op basis van deze nieuwe meetresultaten. De gemeten stijghoogten zijn echter wel gebruikt voor een interpretatie van de stromingsrichtingen en een schatting van de ordegrootte van stroming. Hiervoor zijn de hydraulische doorlatendheden en weerstanden geschat op basis van de bodemprofielen uit Figuur 2-8 en Figuur 2-9. De weerstanden voor verticale stroming zijn per bodemlaag geschat met behulp van Tabel 3.13 en 3.14 uit het Grondwaterzakboekje (Bot 2016). De horizontale doorlatendheden zijn geschat op basis van Tabel 3.3 uit het Grondwaterzakboekje (Bot 2016). In het geval van stroming tussen twee meetpunten is uitgegaan van het gemiddelde van de geschatte horizontale doorlatendheid op beide meetpunten.

3 Resultaten

3.1 Metingen waterkwantiteit

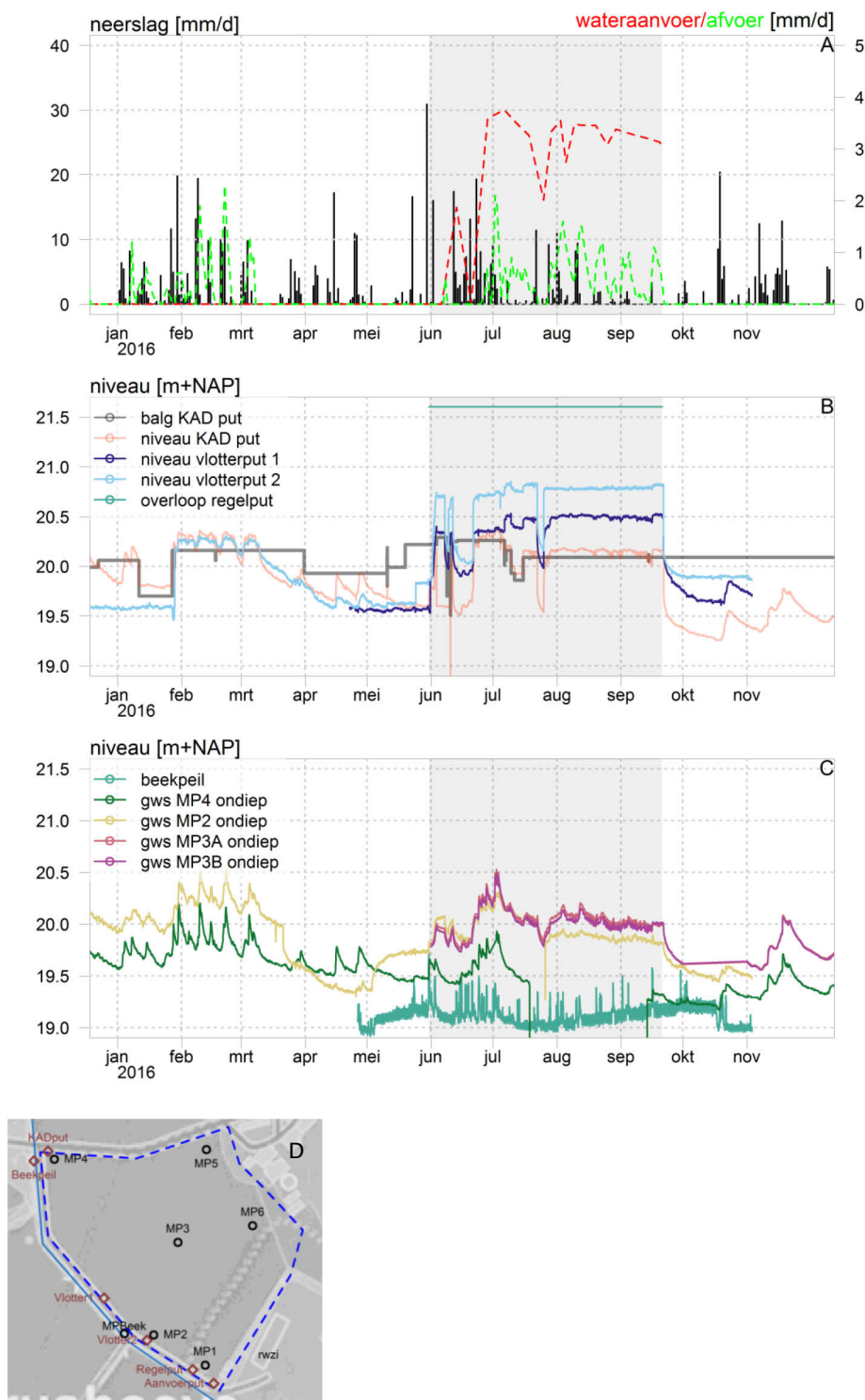
Figuur 3-1 geeft de gemeten neerslag, aangevoerde hoeveelheid effluent afgeleid uit debietmetingen, vlotterpeilen en grondwaterstanden weer. In de periode voorafgaande aan sub-irrigatie daalt de waterstand in de KAD-put en de grondwaterstand in het perceel (Figuur 3-1B), waarbij ook enkele pieken zichtbaar zijn als gevolg van neerslag.

Aan het begin van sub-irrigatie was er sprake van storingen in de pomp, waardoor de sub-irrigatie tijdelijk stil kwam te liggen. Eind juli is de wateraanvoer stilgelegd door te hoge grondwaterstanden in verband met de combinatie van overvloedige neerslag en sub-irrigatie. Figuur 3-1B laat goed zien dat de waterstanden in de KAD-put en de vlotterputten snel reageren op het stopzetten van wateraanvoer. Gemiddeld is van 1 juni tot 21 september zo'n 184 m³ per dag effluent in het KAD-systeem ingelaten (5 a 6% van de droogweerafvoer), wat neerkomt op ongeveer 3.2 mm/d voor het proefperceel. In deze periode is er gemiddeld iets minder dan 0.5 mm/d afgevoerd door de drains naar de beek, zo'n 16% van het volume van het aangevoerde effluent. Deze afvoer vond vooral plaats na neerslagpieken ten tijde van de sub-irrigatie. Het afgevoerde water kan bestaan uit zowel aangevoerd effluent als geïnfilterd neerslagwater.

De overvloedige neerslag in juni en juli 2016 zorgde voor hoge grondwaterstanden (Figuur 3-1C). Interessanter voor de werking van sub-irrigatie zijn de relatief droge maanden augustus en september: ondanks de weinige neerslag wordt de grondwaterstand op een vrij constant niveau gehouden; de daling van de grondwaterstand van begin augustus tot aan het eind van de periode met sub-irrigatie is slechts enkele centimeters.

De waterniveaus in de KAD-put en de vlotterputten zijn aanzienlijk hoger dan de gerealiseerde grondwaterstand in het perceel. Dit is met name goed waarneembaar in de droge periode augustus-september. Om de grondwaterstand op niveau te houden en voldoende water te infiltreren is een stijghoogteverschil van ongeveer 0.5-0.8 m nodig. Zowel de beek als het lager gelegen deel van het perceel zorgt voor drainage vanuit het hogere deel.

Opvallend is de initiële daling en latere stijging van de grondwaterstand bij MP2 voorafgaand aan sub-irrigatie. Deze stijging lijkt samen te vallen met een stijging van het beekpeil. Dit patroon hangt mogelijk samen met de aanleg van een vistrap rond die periode, waarvoor vermoedelijk bemaling heeft plaatsgevonden. Dit patroon is niet waargenomen bij de andere meetpunten.

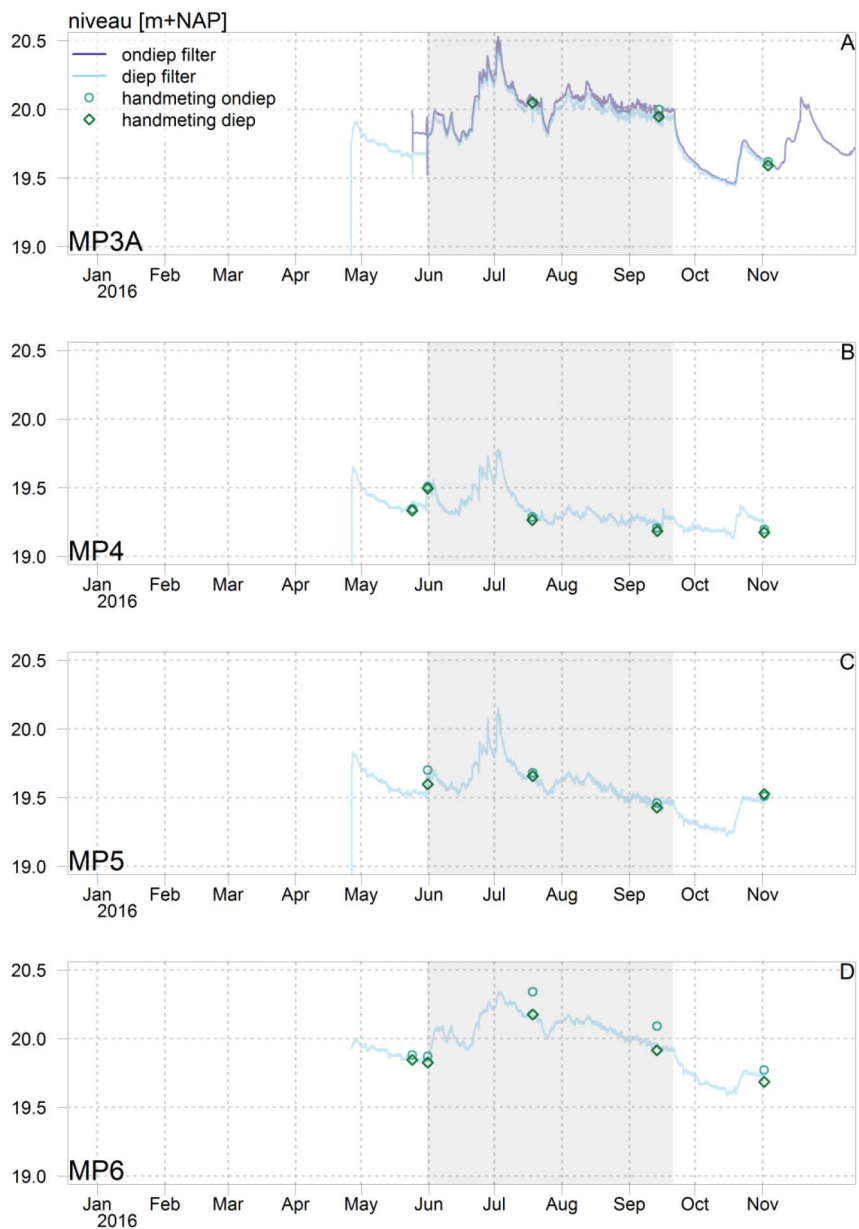


FIGUUR 3-1: A) NEERSLAG EN DEBIET VAN AANGEVOERD EN AFGEVOERD RWZI-EFFLUENT (STIPPELLIJNEN). B) NIVEAU T.O.V. NAP VAN BALG KAD-PUT, WATERSTAND IN DE KAD-PUT, WATERSTAND IN VLOTTERPUTTEN 1 EN 2 EN HET NIVEAU VAN DE OVERLOOP IN DE REGELPUT. C) STIJGHOOGTES T.O.V. NAP VAN DE ONDIEPE FILTERS BIJ MP4, MP2, MP3A (TUSSEN DRAINS) EN MP3B (NAAST DRAIN). OOK IS HET BEEKPEIL T.O.V. NAP GEGEVEN. HET GRIJZE VLAK GEEFT DE PERIODE VAN SUB-IRRIGATIE MET RWZI-EFFLUENT IN 2016. D) VERKLEINDE WEERGAVEN VAN DE MEEPTUNEN UIT FIGUUR 2-7.

3.1.1 Verticale stroming

In Figuur 3-2 zijn de verschillen in stijghoogte tussen de ondiepe en diepe filters weergegeven. Bij MP4, waar leemlagen ontbreken, zijn de stijghoogtes nagenoeg gelijk op beide diepten. Bij MP3 en MP5 bedraagt het stijghoogteverschil enkele centimeters. Bij MP6 is in de periode van sub-irrigatie het stijghoogteverschil aanzienlijk groter dan daarbuiten, wat mogelijk te verklaren is door ofwel een grotere verticale weerstand dan op de andere meetpunten, ofwel een grotere neerwaartse stroming doordat er meer sub-irrigatie plaatsvindt. De bodemprofielen wijzen niet op een grotere verticale weerstand (op MP3 zijn er meer en dikkere leemlagen aanwezig), hoewel heterogeniteit van de ondergrond wel kan zorgen voor lokale verschillen in doorlatendheid.

Voor de schatting van de verticale stroming zijn weerstanden geschat op basis van het bodemprofiel (Tabel 3-1 en Tabel 3-2). Op de meetpunten lijkt er sprake te zijn van ofwel een vrijwel neutrale situatie (verwaarloosbare verticale stroming) ofwel een kleine neerwaartse stroming van minder dan 1 mm/d. Aangezien de doorlatendheid van de ondergrond niet gemeten is, en gezien de vermoede heterogeniteit van de ondergrond, moeten de berekende fluxen als een grove indicatie worden gezien.



FIGUUR 3-2. GEMETEN STIJGHOOGTES IN DE DIEPE EN ONDIEPE FILTERS BIJ A) MP3, WAARBIJ VOOR ZOWEL HET ONDIEPE ALS DIEPE FILTER CONTINU IS GEMETEN, EN B-D) MP4, MP5 EN MP6.

TABEL 3-1. GEMIDDELDE STIJGHOOGTEVERSCHILLEN, GESCHATTE WEERSTAND TUSSEN DE FILTERS EN GESCHATTE STROMING (POSITIEF IS KWEL, NEGATIEF IS WEGZIJGING) EN HET AANTAL MEETMOMENTEN WAAROP DE GEMIDDELDES ZIJN GEBASEERD.

| Meetpunt | Gemiddelde stijghoogte-verschil (cm) | | | |
|----------|--------------------------------------|--------------------|-----------------------|------------------|
| | Gehele periode | Vóór sub-irrigatie | Tijdens sub-irrigatie | Na sub-irrigatie |
| MP3 | -4.6 | 0 | -4.8 | -3.2 |
| MP4 | 0.05 | -1.2 | 1.3 | |
| MP5 | -2.6 | -4.2 | -1.8 | |
| MP6 | -8.6 | -2.5 | -14.7 | |

| Meetpunt | Geschatte hydraulische weerstand (d) | Geschatte gemiddelde stroming (mm/d) | Aantal meetmomenten |
|----------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------|
| MP3 | 273 | -0.1 | 2988 |
| MP4 | 80 | 0.006 | 4 |
| MP5 | 107 | -0.2 | 3 |
| MP6 | 122 | -0.7 | 4 |

3.1.2 Laterale stroming

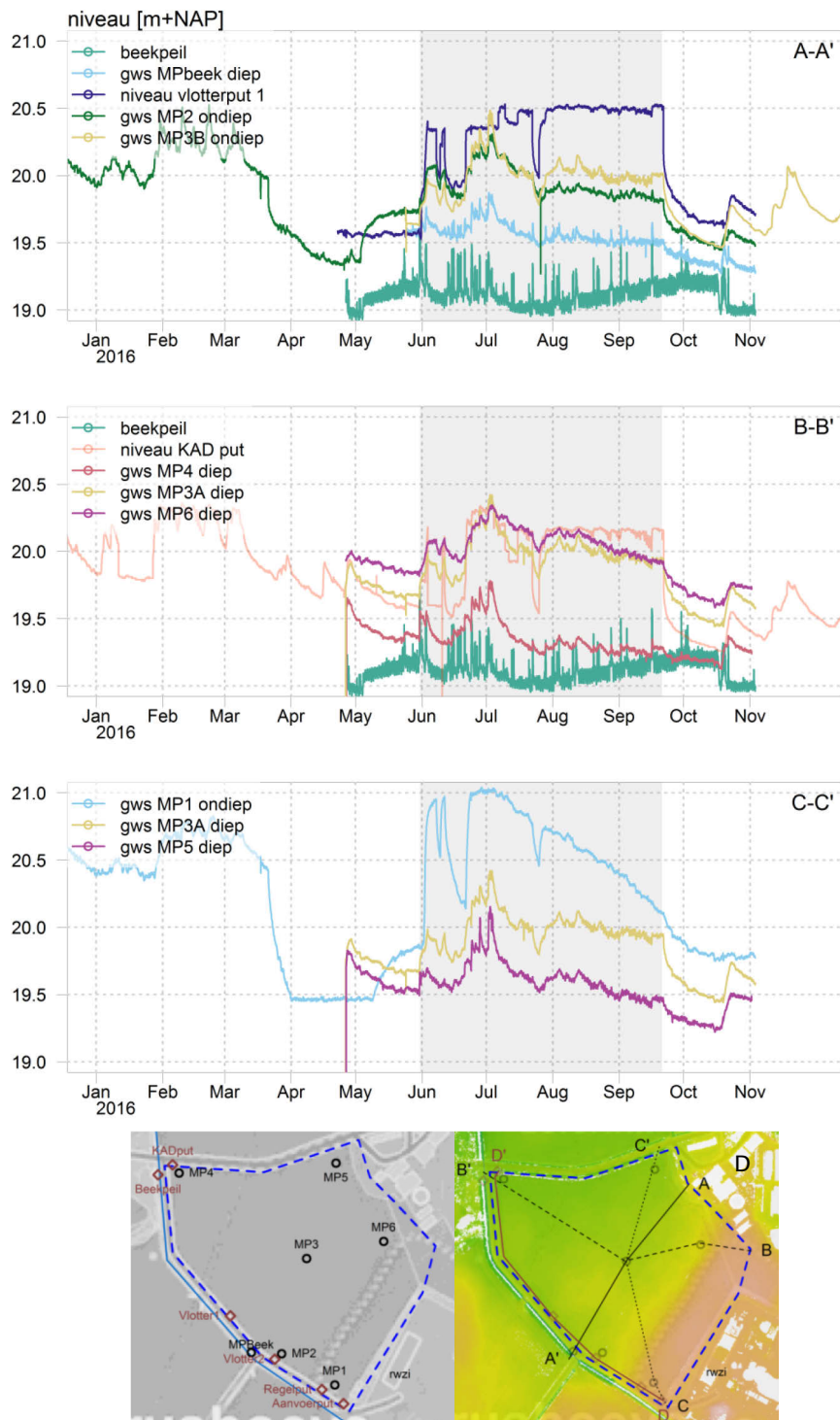
Figuur 3-3 geeft de gemeten stijghoogtes in de transecten zoals gegeven in Figuur 2-7, en Tabel 3-2 en Tabel 3-3 geven de gemiddelde stijghoogteverschillen aan tussen de meetpunten, welke hieronder worden besproken.

A-A': Het niveau in vlotterput 1 is fors hoger dan in MP2 en MP3. Er is sprake van een daling van de stijghoogte vanuit het midden van het perceel naar de beek, zoals verwacht mag worden. De gradiënt vanuit MP2 naar MPbeek en het waterniveau in de beek is groot als gevolg van sub-irrigatie. Na het stoppen van wateraanvoer nam de gradiënt af. Ondanks dat MPbeek buiten het perceel is geplaatst, wordt ook hier de grondwaterstand beïnvloed door de waterstand in het perceel; direct na het stoppen van sub-irrigatie is hier ook direct een daling van de grondwaterstand te zien.

B-B': De grondwaterstand bij MP3 en MP4 wordt op een vrij constant niveau gehouden; de daling van de grondwaterstand van begin augustus tot aan het eind van de sub-irrigatie is slechts enkele centimeters. Bij MP6 is sprake van een sterkere daling van de grondwaterstand in de droge periode augustus-september: deze daalt tot het niveau bij MP3. Het niveau in het KAD-systeem houdt de grondwaterstand niet geheel op peil. Buiten de periode van sub-irrigatie is het stijghoogteverschil tussen MP3 en MP6 groter dan tijdens de sub-irrigatie.

C-C': direct na start van sub-irrigatie stijgt het niveau bij MP1, direct bij de waterinlaat, tot ongeveer 21 m+NAP. Dit peil wordt bepaald door een vast niveau in de regelput (ong. 21.6m+NAP). Dit niveau wordt echter niet vastgehouden; in de loop van het seizoen daalt de grondwaterstand bij MP1 tot het niveau van MP3. Mogelijk is hier sprake van verstopping van het systeem, waardoor onvoldoende water kan worden aangevoerd. Echter, bij aanvang van de sub-irrigatie is infiltratie goed mogelijk, wat aangeeft dat mogelijke verstopping veroorzaakt in 2015 geen grote rol meer speelt. De daling van de grondwaterstand bij MP3 kan tevens veroorzaakt worden door drainage naar benedenstrooms gelegen delen.

Het effect van sub-irrigatie is goed te zien direct na het stoppen van de wateraanvoer: de waterniveaus in het KAD-systeem en de grondwaterstanden dalen direct. Dit geldt voor alle meetpunten.



FIGUUR 3-3: GEMETEN STIJGHOOGTES IN DE TRANSECTEN ZOALS GEGEVEN OP DE KAARTJES (ONDER, VERKLEIND UIT FIGUUR 2-7)

TABEL 3-2. STIJGHOOGTEVERSCHILLEN EN STROMING TUSSEN DIEPE FILTERS. POSITIEVE WAARDEN WIJZEN OP STROMING NAAR HET EERSTGENOEMDE MEETPUNT TOE, NEGATIEVE WAARDEN WIJZEN OP STROMING NAAR HET LAATSTGENOEMDE MEETPUNT.

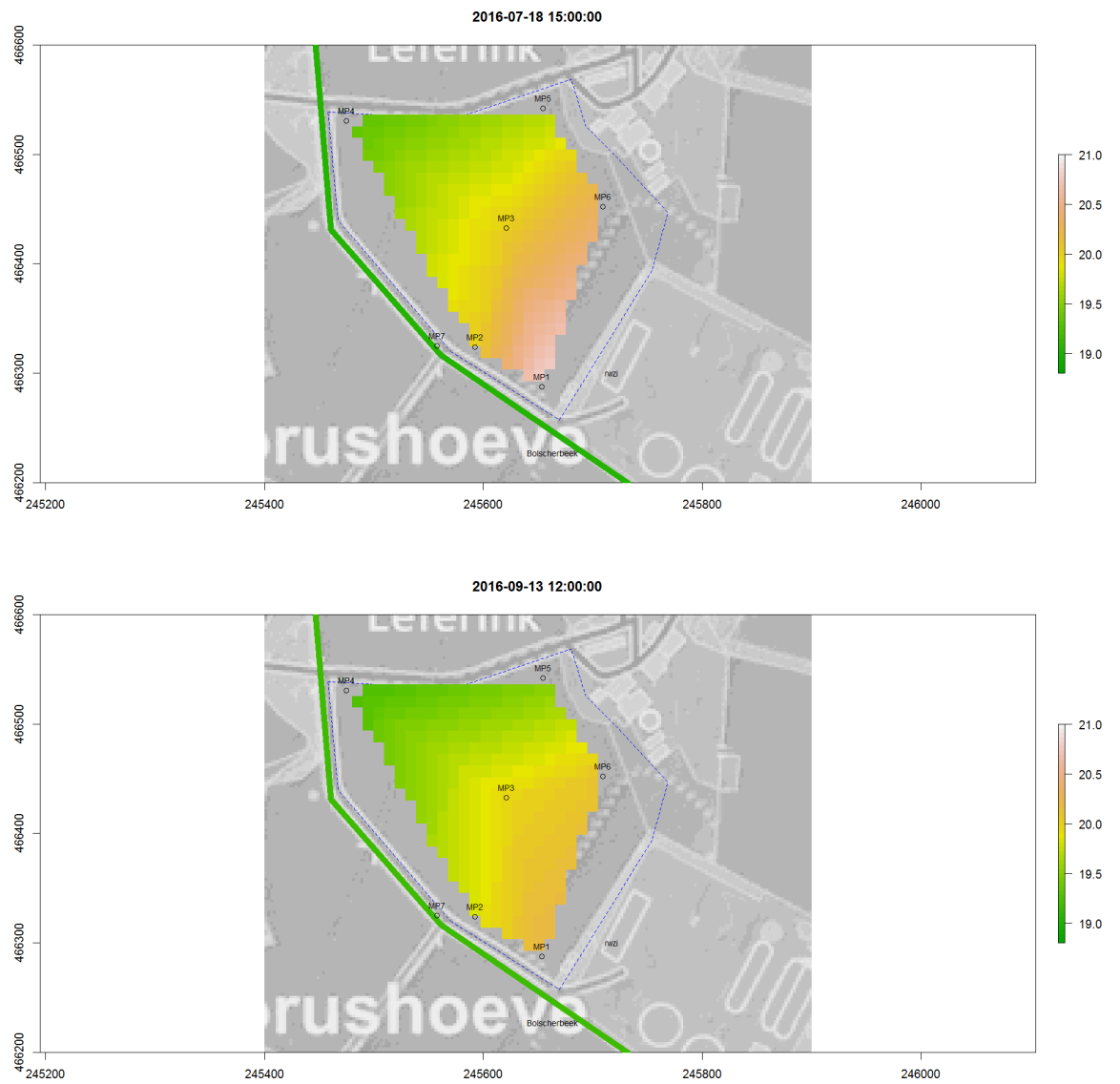
| Meetpunten | Gehele periode | Gemiddeld stijghoogte-verschil (cm) | | |
|------------|----------------|-------------------------------------|-----------------------|------------------|
| | | Voor sub-irrigatie | Tijdens sub-irrigatie | Na sub-irrigatie |
| MP3 - MP4 | -55 | -29 | -64 | -36 |
| MP3 - MP5 | -33 | -8 | -38 | -23 |
| MP3 - MP6 | 11 | 15 | 8 | 12 |
| MP4 - MP5 | 22 | 21 | 25 | 13 |
| MP5 - MP6 | 43 | 23 | 47 | 35 |

TABEL 3-3. STIJGHOOGTEVERSCHILLEN TUSSEN ONDIEPE FILTERS. POSITIEVE WAARDEN WIJZEN OP STROMING NAAR HET EERSTGENOEMDE MEETPUNT TOE, NEGATIEVE WAARDEN WIJZEN OP STROMING NAAR HET LAATSTGENOEMDE MEETPUNT.

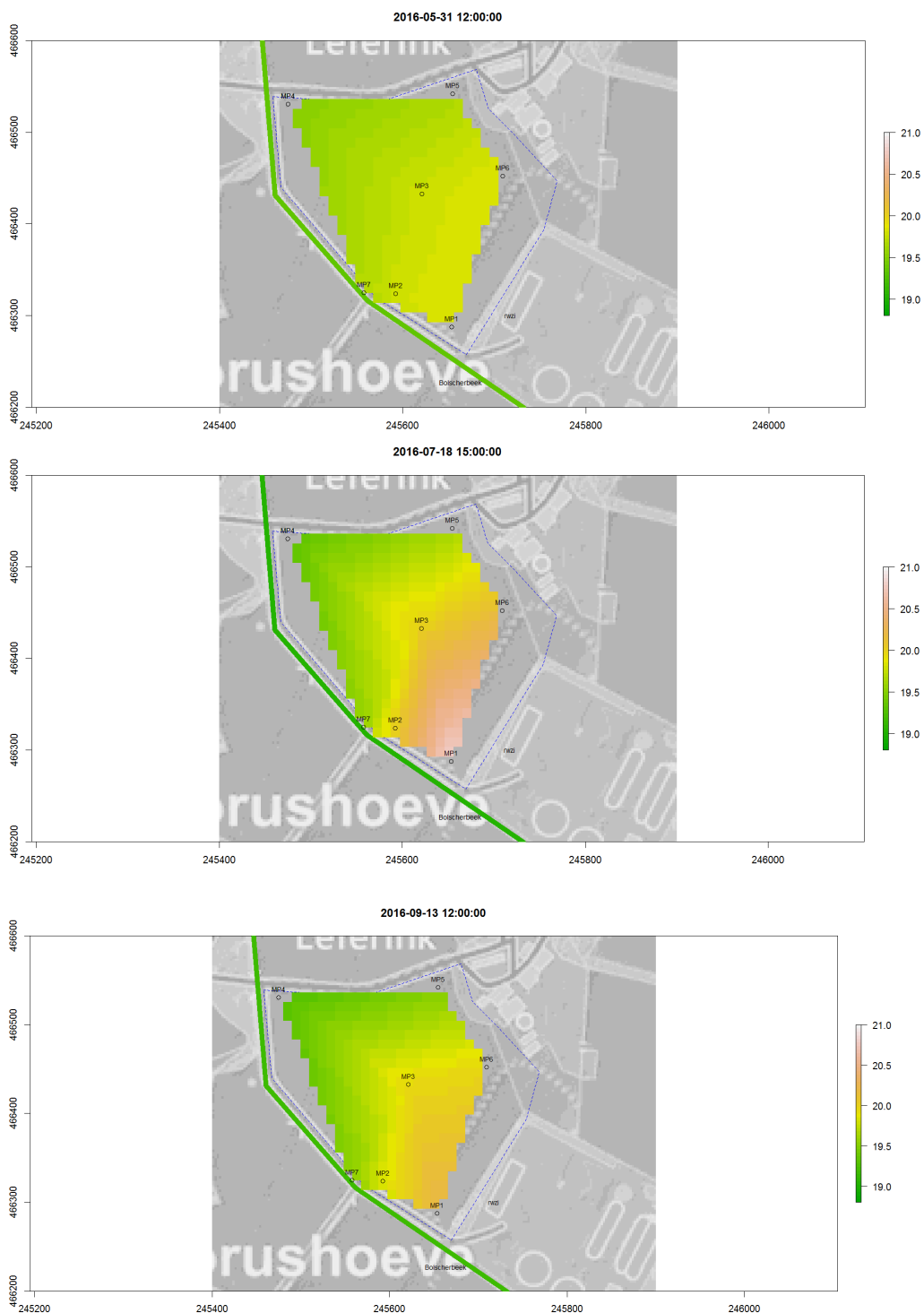
| Meetpunten | Gehele periode | Gemiddeld stijghoogte-verschil (cm) | | |
|----------------|----------------|-------------------------------------|-----------------------|------------------|
| | | Voor sub-irrigatie | Tijdens sub-irrigatie | Na sub-irrigatie |
| MP1 - MP2 | -41 | -25 | -67 | -29 |
| MP2 - MP3 | 6 | -1 | 6 | 9 |
| MP2 - MPBeek | -31 | -14 | -38 | -18 |
| MP3 - MP4 | -76 | | | |
| MP3 - MP5 | -43 | | | |
| MP4 - Beekpeil | -16 | | | |

In Figuur 3-4 en Figuur 3-5 worden lineaire interpolaties van de stijghoogten tussen de meetpunten weergegeven. Bij deze interpolatie is geen rekening gehouden met mogelijk slecht doorlatende locaties, waar sterkere gradiënten worden verwacht, bijvoorbeeld bij de weg die tussen het perceel en de beek loopt. In het midden van het perceel ligt de belangrijkste gradiënt in noordwestelijke richting, zowel tijdens als buiten de sub-irrigatie. Vóór de sub-irrigatie is deze gradiënt relatief klein. Tijdens de sub-irrigatie wordt deze gradiënt groter door de sterke stijging van de stijghoogten in het hoger gelegen deel van het perceel. Daarnaast zijn er meer nabij de beek, duidelijke gradiënten in de richting van de beek.

De doorlatendheid van de bodem is geschat op basis van de bodemprofielbeschrijvingen en varieert per meetpunt in het perceel tussen 3.2 en 5.1 m/d. Indien deze schatting juist is en de bodem in horizontale richting isotroop is, zou de laterale stroming die door deze gradiënten wordt veroorzaakt variëren van enkele mm/d tot zo'n 2 cm/d in noordwestelijke richting. Tussen het perceel (MP2) en de beek (MPbeek) zou er laterale stroming kunnen voorkomen in de ordegrootte van 1-2 cm/d buiten de periode van sub-irrigatie tot meer dan 4 cm/d tijdens sub-irrigatie.



FIGUUR 3-4. LINEAIR GEINTERPOLEERDE STIJGHOOGTEN (IN M + NAP) VAN ONDIEPE PEILBUIZEN TIJDENS (BOVEN) EN NA (ONDER) DE SUB-IRRIGATIE. DE KLEUR VAN DE BEEK GEEFT HET GEMETEN BEEKNIVEAU AAN ZOALS GEMETEN OP HET MEETPUNT (ZIE FIGUUR 2-7).



FIGUUR 3-5. LINEAIR GEINTERPOLEERDE STIJGHOOGTEN VAN METINGEN IN ONDIEPE PEILBUIZEN OP MP1, MP2 EN MP3 EN DIEPE PEILBUIZEN OP DE OVERIGE MEETPUNTEN VOOR (BOVEN), TIJDENS (MIDDEN) EN NA (ONDER) DE SUB-IRRIGATIE. DE KLEUR VAN DE BEEK GEEFT HET GEMETEN BEEKNIVEAU AAN ZOALS GEMETEN OP HET MEETPUNT (FIGUUR 2-7).

Voor de belangrijkste stroomrichting zijn de gradiënten van de diepe filters vermenigvuldigd met het geschatte doorlaatvermogen (kD) en vergeleken met de verwachte stroming op basis van de waterbalans. Voor deze laatste zijn de geschatte grondwateraanvulling (jaargemiddelde) en sub-irrigatie binnen het perceel bij elkaar opgeteld. Vergelijking tussen de twee resultaten kan laten zien of er aanwijzingen zijn voor laterale stroming vanuit omliggend gebied (Tabel 3-4). Aangezien de gradiënten wijzen op een kleinere stroming dan de waterbalans, geven deze resultaten geen aanwijzingen voor laterale stroming vanuit buiten het perceel gelegen gebied. Een mogelijke verklaring voor het gebrek aan stroming op grotere diepte is dat een groot deel van de stroming op geringere diepte plaatsvindt, mede veroorzaakt door aanwezigheid van de leemlagen.

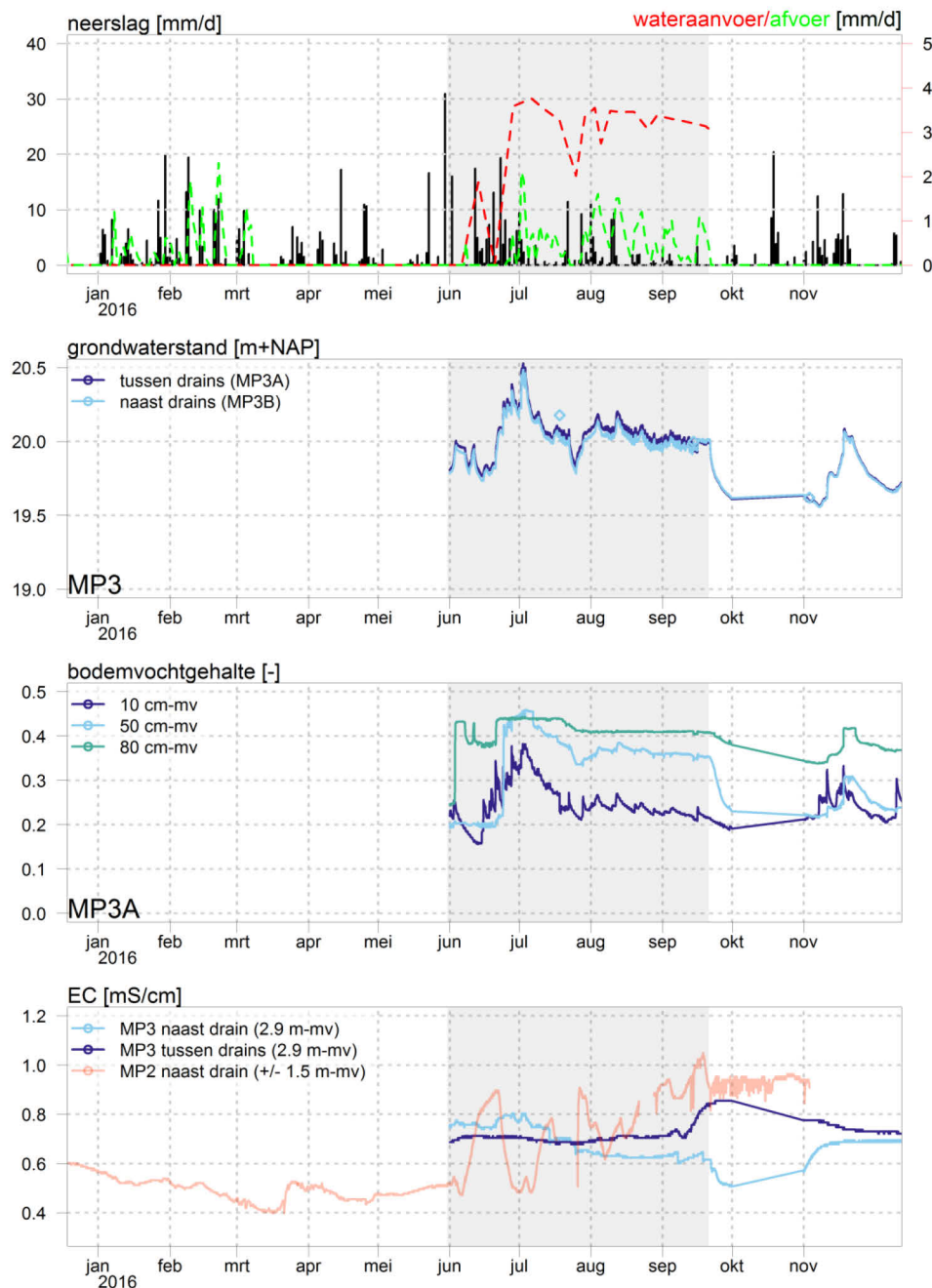
TABEL 3-4. LATERALE STROMING GESCHAT OP BASIS VAN DE WATERBALANS (JAARGEMIDDELTE GRONDWATERAANVULLING EN SUB-IRRIGATIE BINNEN HET PERCEEL) VERGELEKEN MET DE BEREKENDE STROMING OP BASIS VAN GEMETEN GRADIËNTEN EN GESCHAT DOORLAATVERMOGEN (KD).

| | Stroming voor sub-irrigatie (m ² /d) op basis van | | Stroming na sub-irrigatie (m ² /d) op basis van | |
|---------|--|------------|--|------------|
| | Waterbalans | Gradiënten | Waterbalans | Gradiënten |
| MP3-MP4 | 0.3 | 0.1 | 1.2 | 0.1 |
| MP5-MP6 | 0.2 | 0.1 | 0.8 | 0.2 |

3.1.3 Stroming tussen drains

Figuur 3-6 geeft de metingen bij MP3A (tussen drains) en MP3B (bij drains). De stijghoogteverschillen tussen deze twee meetpunten zijn zeer klein, gemiddeld zo'n 2.5 cm, waardoor niet gesproken kan worden van een duidelijke opbolling of uitholling van het grondwaterniveau. Dit vlakke profiel wordt verwacht bij sub-irrigatie, en hangt mogelijk mede samen met het beperkte cumulatieve potentieel neerslagtekort in 2016.

De bodemvochtgehalten gemeten tussen twee drains laten zien dat tijdens de overvloedige neerslag in juni en juli 2016 het hele profiel nagenoeg verzadigd raakte; ook op 10 cm-mv is het vochtgehalte hoog. In de droge maanden augustus en september blijft het vochtgehalte op 80 en 50 cm-mv vrij constant. Op 10 cm-mv is wat meer variatie als gevolg van neerslag en is er sprake van een geleidelijke daling van het vochtgehalte. Direct na het stoppen van sub-irrigatie dalen de vochtgehalten. Al met al blijkt uit de metingen dat het bodemvochtgehalte in de wortelzone op niveau blijft tijdens sub-irrigatie.



FIGUUR 3-6: GEMETEN STIJGHOOGTES, BODEMVOCHTGEHALTES EN EC BIJ MEETPUNT 3.

3.1.4 Waterbalans proefperceel

Een (grove) waterbalans van het proefperceel is op te maken met cijfers van het KNMI over neerslag via de stations Rekken (674) en Markelo (682) en referentie-gewasverdamping volgens Makkink via stations Twente (290) en Hupsel (283). We hebben rekenkundig gemiddelde waarden van de stationswaarnemingen gebruikt. Met de gewasfactoren volgens Feddes (CHO-TNO 1988) voor snijmaïs kan de potentiële verdamping worden bepaald. We nemen aan dat we met sub-irrigatie een mogelijke reductie van deze verdamping tot de werkelijke verdamping in de zomer op 5% na beperken. De aanvoer van water via rwzi-effluent hebben we via de flowmeters gemeten. De drainafvoeren zijn berekend via de

gemeten overstorthoogte in de KAD-put en de Q-h-relatie van de scherpe V-stuwen. De lekkage bij de KAD-put in seizoen 2016 is geschat op 0,25 l/s. De verandering van de berging van water in het perceel is berekend via de gemeten grondwaterstanden nabij de KAD-put, rekening houdend met een porositeit van 0,35. De wegzijging naar het grondwater en de directe afvoer naar de beek kwamen uit de voorgaande beschouwing uit op <1 mm/d. Om de waterbalans op jaarbasis ongeveer sluitend te maken is hier een waarde gebruikt van 1,15 mm/d. Deze komt ongeveer overeen met de eerder genoemde schatting. In Tabel 3-5 is de waterbalans weergegeven. Voor de hydrologische jaren sluit de balans voor 1-4-2015 t/m 31-3-2017 met de gebruikte wegzijging.

TABEL 3-5. WATERBALANS PROEFPERCEEL KAD HAAKSBERGEN 1-4-2015 T/M 31-3-2016 EN 1-4-2016 T/M 31-3-2017. P : PRECIPITATIE, ET_p : POTENTIELE EVAPOTRANSPIRATIE, E_{RED} : REDUCTIE EVAPOTRANSPIRATIE, Q_{IN} : AANVOER EFFLUENT VIA DRAIN, Q_{DRAIN} : AFVOER DOOR DRAIN, Q_{LEK} : AFVOER DOOR LEK KAD-PUT, DS : VERSCHIL IN BERGING, Q_{WEG} : WEGZIJGING

| Periode | P | ET_p | E_{red} | Q_{in} | Q_{drain} | Q_{lek} | dS | Q_{wan} | Q_{rest} | % rest van totaal IN |
|---------------|------|--------|-----------|----------|-------------|-----------|------|-----------|------------|----------------------|
| | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | |
| 2015 hyd jaar | 975 | 630 | 32 | 499 | 271 | 0 | -158 | 420 | 27 | 2 |
| zomer | 470 | 523 | 26 | 499 | 180 | 0 | -193 | 210 | -110 | -11 |
| winter | 504 | 107 | 0 | 0 | 92 | 0 | 35 | 210 | 130 | 26 |
| 2016 hyd jaar | 784 | 628 | 31 | 356 | 53 | 46 | -53 | 420 | -27 | -2 |
| zomer | 392 | 519 | 26 | 356 | 52 | 46 | -123 | 210 | -175 | -23 |
| winter | 392 | 109 | 0 | 0 | 1 | 0 | 70 | 210 | 142 | 36 |

3.1.5 Discussie

Bij het interpreteren van de gemeten stijghoogten zijn verschillende onzekerheden gesignaleerd, waaronder:

- Onzekerheden in de opbouw van de ondergrond en bijbehorende doorlatendheden. Uit de bodemprofielen blijkt dat de leemlagen heterogeen over het perceel zijn verdeeld. De weerstanden en doorlatendheden kunnen daarom lokaal sterk verschillen. De doorlatendheden die gebruikt zijn in de berekeningen zijn slechts gebaseerd op het bodemprofiel, waardoor de resultaten niet meer dan een indicatie van de ordegrrootte zijn.
- Onzekerheden in de fluxen. Het is wel bekend hoeveel effluent de drains aanvoerden, en er kan ingeschat worden hoeveel er afgevoerd is door de drains. Deze waarden zijn echter relatief onzeker, in verband met een ondergrondse lekkage van de KAD put. Bovendien is niet bekend of de aan- en afvoer gelijkmatig over het perceel plaatsvond. Vermoed wordt dat er relatief meer aanvoer plaatsvond op het hoger gelegen deel van het perceel (waar de grondwaterstand als gevolg van de sub-irrigatie sterker steeg) en dat er meer aanvoer plaatsvond bij drains rondom een vlotterput (waar een groter verschil in stijghoogte werd opgelegd) (Figuur 3-7). Waterkwaliteitsmetingen in de KAD-, vlotter- en aanvoerputten tijdens perioden van drainage zouden hier mogelijk meer duidelijkheid over kunnen geven, omdat verdunning door regenwater gesignaleerd zou kunnen worden. Op 14 september 2016 zijn EC metingen in deze putten verricht, maar dit was op een dag waarop geen afvoer plaatsvond, waardoor hier geen uitspraken over gedaan kunnen worden.

Om een goed beeld te krijgen van de grondwaterstroming in het perceel zouden deze onzekerheden verkleind moeten worden, en zou een 3D grondwatermodel gebruikt kunnen

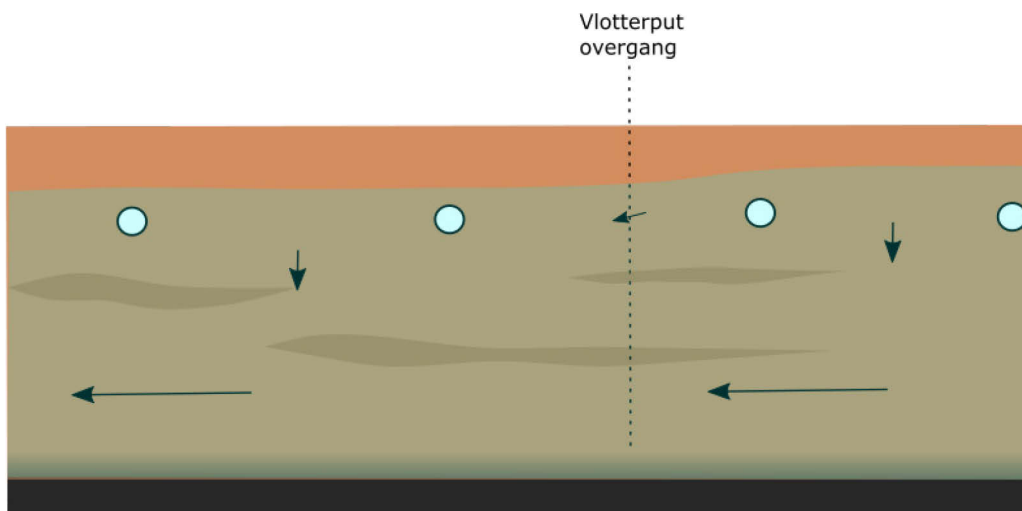
worden om de stroming te berekenen. Hieronder wordt een eerste interpretatie op basis van de stijghoogten gedaan.

Het grondwater in het midden van het perceel stroomt globaal richting het noordwesten, met een geschatte fluxdichtheid tot enkele cm per dag. Daarbij heeft de grondwaterstroming op de meeste meetpunten een kleine neerwaartse component van minder dan 1 mm per dag. Gezien de algemene stroomrichtingen, is het aannemelijk dat er over het grootste deel van het perceel grondwateraanvulling plaatsvindt, en dat een deel hiervan bij de beek of sloot tot afvoer komt of lateraal verder stroomt om elders tot afvoer te komen. Gezien de basis van keileem is het niet waarschijnlijk dat er wegzijging naar diepere lagen plaatsvindt. Bij een aangenomen porositeit van 0.35 zouden de gevonden waarden een effectieve snelheid van minder dan 20 meter per jaar in horizontale richting kunnen betekenen, en minder dan 1 m per jaar in neerwaartse richting. Aan de rand van het perceel zijn gradiënten waargenomen tussen het grondwater in het perceel en (het grondwater onder) de beek. Op deze locaties wordt afvoer van grondwater richting de beek verwacht. Het is niet bekend tot hoever in het perceel dit patroon reikt. De ordegrootte van de stroming nabij de beek wordt geschat op één tot enkele cm per dag. Dit zou een verplaatsing van enkele tientallen meters per jaar betekenen voor mobiele stoffen.

De globale stroomrichting richting het noordwesten in het midden van het perceel hangt samen met de verschillende stijghoogten die worden opgelegd vanuit de drains, zoals geregeld via de vlotterputten. Het is mogelijk dat er meer effluent wordt ingebracht in drains die dichtbij een overgang in stijghoogte liggen (Figuur 3-7). Daarnaast zijn er sterke gradiënten waargenomen tussen het perceel en (het grondwater onder) de beek. Ook bij deze overgangen wordt er extra instroom van effluent verwacht. Het voorkomen van dergelijke stromingspatronen zou echter bevestigd moeten worden door middel van metingen en/of modellering.

De waterbalans sluit op jaarbasis, maar niet op seizoenbasis. De drainafvoer en de in de tijd constante wegzijging, deze laatste als combinatie van voeding van het grondwater en directe afvoer naar de beek, zijn waarschijnlijk de meest onzekere posten in de waterbalans. Een seizoenvariatie in de wegzijging is waarschijnlijk, waarbij deze in de zomer groter is dan we nu aannemen en in de winter kleiner. We zullen door de sub-irrigatie, waarbij we lokaal op het perceel hogere grondwaterstanden creëren vergeleken met de omgeving rondom zonder sub-irrigatie, wellicht extra water verliezen naar de ondergrond. Dit is een mogelijke en plausibele verklaring van de afwijkingen die we constateren in de waterbalans.

Voor het transport van het effluent is daarnaast ook de variatie van de stroming in de tijd van belang. Bij de start van de sub-irrigatie wordt de grondwaterspiegel sterk verhoogd door de aanvoer van effluent, vooral in het hoger gelegen deel van het perceel. Tijdens de periode daarna kunnen variaties in neerslag en evapotranspiratiefluxen in de tijd leiden tot afwisselend aanvoer van effluent en afvoer van omringend grondwater (wat deels uit effluent kan bestaan) door de drains. Na de periode van sub-irrigatie zakte de grondwaterstand over het gehele perceel tot niveaus die lager waren dan het drainniveau. Dit wijst erop dat afvoer niet alleen via de drains plaats vond, maar ook door de ondergrond.



FIGUUR 3-7. CONCEPTUEEL MODEL VAN MOGELIJKE GRONDWATERSTROMING IN EEN DOORSNEDE VAN HET PERCEEL: TUSSEN DRAINS MET GELIJKE STIJGHOOGTE ZIJN ER NAUWELIJKS STIJGHOOGTEVERSCHILLEN, TUSSEN DRAINS RONDOM EEN VLOTTERPUT OVERGANG ONTSTAAN STIJGHOOGTEVERSCHILLEN. DE GLOBALE STIJGHOOGTEGRADIËNT OVER HET MIDDEN VAN HET PERCEEL LEIDT TOT EEN KLEINE NEERWAARTSE STROMINGSCOMPONENT EN EEN GROTERE LATERALE STROMING IN NOORDWESTELIJKE RICHTING, PARALLEL AAN DE BEEK. DICHTER BIJ DE BEEK IS DE STROMING PARALLEL AAN DE DRAINS RICHTING DE BEEK. DOORSNEDE IS NIET OP SCHAAL, EN IS IN VERTICALE RICHTING UITGEREKT.

3.2 Metingen waterkwaliteit

3.2.1 Effluent

De metingen van de kwaliteit van het effluent uit RWZI Haaksbergen zijn vergeleken met gemiddelde totaalconcentraties van stoffen voor RWZI effluent in Nederland (Tabel 3-6) (Cirkel, Van den Eertwegh et al. 2017). De concentraties in het effluent in Haaksbergen zijn vergelijkbaar of soms iets lager vergeleken met het landelijk gemiddelde in 2014 wat betreft nutriënten en zware metalen. Voor arseen en koper liggen de concentraties iets hoger.

Vergeleken met de indicatieve streefwaarden voor irrigatiewater (Tabel 3-7) zijn de stofconcentraties voldoende laag om te gebruiken als irrigatiewater voor akkerbouw en grasland. Hierbij moet opgemerkt worden dat er geen streefwaarden voor geneesmiddelen en biologische parameters bekend zijn.

In Tabel 3-8 is de stofbelasting per hectare als gevolg van sub-irrigatie weergegeven, en wordt deze voor enkele stoffen vergeleken met de stofbelasting als gevolg van bemesting en atmosferische depositie. Sub-irrigatie met effluent brengt vooral zouten in het perceel (macro ionen). De belasting met nutriënten is ten opzichte van de reguliere

landbouwbemesting 10-15% van N-bemesting en ongeveer 20% van P-bemesting en van vergelijkbare orde grootte als atmosferische depositie van stikstof.

TABEL 3-6. VERGELIJKING VAN GEMIDDELDE CONCENTRATIES IN RWZI EFFLUENT IN NEDERLAND (CBS-STATLINE, 2016, ZOALS GERAPPORTEERD IN (CIRKEL, VAN DEN EERTWEGH ET AL. 2017)) VOOR VERSCHILLENDE JAREN MET DE CONCENTRATIES IN HET EFFLUENT VAN RWZI HAAKSBERGEN IN 2016.

| | CZV | BZV | N-tot | P-tot | Cu | Cr | Zn | Pb | Cd | Ni | Hg | As |
|-------------|------|-----|-------|-------|------|-----|------|-----|-------|-----|------|-----|
| Nederland | mg/l | | | | µg/l | | | | | | | |
| 1990 | 80 | 14 | 24 | 3.8 | 21 | 8 | 85 | 15 | 0.5 | 12 | 0.2 | 1.5 |
| 2000 | 46 | 5.7 | 15 | 1.4 | 9.2 | 2.8 | 55 | 4.9 | 0.2 | 6.6 | 0.1 | 1.4 |
| 2014 | 36.4 | 3.5 | 7.7 | 1.2 | 4.4 | 1.2 | 39.7 | 1.2 | 0.1 | 4.1 | 0 | 1.8 |
| Haaksbergen | | | | P-PO4 | | | | | | | | |
| 7/18/2016 | | | 5.6 | 1.3 | 5.3 | 1 | 39.9 | 0.3 | <0.05 | 2 | <0.1 | 3.4 |
| 9/13/2016 | | | 6.5 | 1.35 | 6.4 | 0.9 | 37.9 | 0.5 | <0.05 | 1.2 | <0.1 | 3.3 |

TABEL 3-7. VERGELIJKING VAN INDICATIEVE STREEFWAARDEN SAMENSTELLING IRRIGATIEWATER IN NEDERLAND (CIRKEL, VAN DEN EERTWEGH ET AL. 2017) MET CONCENTRATIES IN HET EFFLUENT IN HAAKSBERGEN.

| Parameter | Akkerbouw en grasland | Haaksbergen 7/18/2016 | Haaksbergen 9/13/2016 |
|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| EC-25 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | 2700 | 947 | 1156 |
| pH | 5.5 - 8 | 7.12 | 7.34 |
| Na (mg/L) | - | 150.7 | 189.0 |
| K (mg/L) | | 24.4 | 29.9 |
| Ca (mg/L) | | 54.6 | 63.3 |
| Mg (mg/L) | | 8.3 | 10.35 |
| Fe (mg/L) | 7 - 15 | 0.025 | <0.01 |
| Mn (mg/L) | 2 | 0.088 | 0.056 |
| NH ₄ (mg N/L) | - | 0.10 | 0.19 |
| Cl (mg/L) | 600-1200 | 121 | 150 |
| NO ₃ (mg N/L) | - | 4.3 | 4.92 |
| PO ₄ tot (mg P/L) | - | 1.3 | 1.35 |
| Br ($\mu\text{g}/\text{L}$) | 400 | 149 | 157 |
| Zn ($\mu\text{g}/\text{L}$) | 2000 | 39.9 | 37.9 |
| B ($\mu\text{g}/\text{L}$) | 2000 / 1000 | 113 | 128 |
| Cu ($\mu\text{g}/\text{L}$) | 200 | 5.3 | 6.4 |
| Co ($\mu\text{g}/\text{L}$) | 50 | 0.44 | 0.39 |
| As ($\mu\text{g}/\text{L}$) | 50 | 3.4 | 3.3 |
| Be ($\mu\text{g}/\text{L}$) | 100 | <0.05 | <0.05 |
| Cd ($\mu\text{g}/\text{L}$) | 10 | <0.05 | <0.05 |
| Cr tot ($\mu\text{g}/\text{L}$) | 1000 | 1 | 0.9 |
| Hg ($\mu\text{g}/\text{L}$) | - | -0.1 | -0.1 |
| Ni ($\mu\text{g}/\text{L}$) | 200 | 2 | 1.2 |
| Pb ($\mu\text{g}/\text{L}$) | 50 | 0.3 | 0.5 |
| Se ($\mu\text{g}/\text{L}$) | 20 | 1 | 1.2 |

TABEL 3-8. STOFBELASTING PER HECTARE ALS GEVOLG VAN SUBIRRIGATIE MET EFFLUENT (AANGENOMEN DAT HET TOEGEVOERDE EFFLUENT HET PERCEEL NIET VERLAAT VIA HET DRAINAGESYSTEEM), VERGELEKEN MET STOFBELASTING ALS GEVOLG VAN BEMESTING (MET RUNDVEE MEST VOLGENS DE STIKSTOFNORM) EN ATMOSFERISCHE DEPOSITIE.

| Stofbelasting | Effluent | Bemesting | Depositie | |
|---------------------|----------|-----------|-----------|------------|
| IC | 154.85 | | | kg/ha.jr |
| TC | 191.93 | | | kg/ha.jr |
| NPOC_TOC | 37.72 | | | kg/ha.jr |
| N-NH4 | 0.46 | | | kg/ha.jr |
| N-(NO3+NO2) | 14.67 | | | kg/ha.jr |
| N _{totaal} | 19.26 | 140 | 14 | kg N/ha.jr |
| P-PO4 | 4.22 | 22.9 | | kg P/ha.jr |
| Ag | <0.16 | | | g/ha.jr |
| Al | 60.48 | | | g/ha.jr |
| As | 10.66 | 1.2 | | g/ha.jr |
| Au | <0.16 | | | g/ha.jr |
| B | 383.54 | | | g/ha.jr |
| Ba | 42.68 | | | g/ha.jr |
| Be | <0.16 | | | g/ha.jr |
| Bi | 0.29 | | | g/ha.jr |
| Br | 430.75 | | | g/ha.jr |
| Ca | 187 | | | kg/ha.jr |
| Cd | <0.16 | 0.7 | | g/ha.jr |
| Ce | 0.06 | | | g/ha.jr |
| Cl | 374 | | | kg/ha.jr |
| Co | 1.32 | | | g/ha.jr |
| Cr | 3.02 | 24.9 | | g/ha.jr |
| Cs | 0.40 | | | g/ha.jr |
| Cu | 18.62 | 132.3 | | g/ha.jr |
| Dy | <0.03 | | | g/ha.jr |
| Er | <0.03 | | | g/ha.jr |
| Eu | <0.03 | | | g/ha.jr |
| Fe | 23.87 | | | g/ha.jr |
| Ga | <0.16 | | | g/ha.jr |
| Gd | 0.92 | | | g/ha.jr |
| Ge | <0.16 | | | g/ha.jr |
| Hf | <0.06 | | | g/ha.jr |
| Hg | <0.32 | 0.1 | | g/ha.jr |
| Ho | <0.03 | | | g/ha.jr |
| In | <0.03 | | | g/ha.jr |
| K | 86 | | | kg/ha.jr |
| La | <0.03 | | | g/ha.jr |
| Li | 23.08 | | | g/ha.jr |

| | | | | |
|-------------------------|-------|-------|--|----------|
| Lu | <0.03 | | | g/ha.jr |
| Mg | 29 | | | kg/ha.jr |
| Mn | 229 | | | g/ha.jr |
| Mo | 17.35 | | | g/ha.jr |
| Na | 541 | | | kg/ha.jr |
| Nb | 0.02 | | | g/ha.jr |
| Nd | 0.05 | | | g/ha.jr |
| Ni | 5.09 | 50.4 | | g/ha.jr |
| P | 7 | | | kg/ha.jr |
| Pb | 1.27 | 50.4 | | g/ha.jr |
| Pd | <0.64 | | | g/ha.jr |
| Pr | <0.03 | | | g/ha.jr |
| Pt | <0.03 | | | g/ha.jr |
| Rb | 69.61 | | | g/ha.jr |
| Re | <0.03 | | | g/ha.jr |
| Rh | 0.03 | | | g/ha.jr |
| Ru | <0.16 | | | g/ha.jr |
| S | 99 | | | kg/ha.jr |
| Sb | 2.77 | | | g/ha.jr |
| Sc | <3.2 | | | g/ha.jr |
| Se | 3.50 | | | g/ha.jr |
| Si | 21 | | | kg/ha.jr |
| Sm | <0.06 | | | g/ha.jr |
| Sn | 0.53 | | | g/ha.jr |
| Sr | 923 | | | g/ha.jr |
| Ta | <0.06 | | | g/ha.jr |
| Tb | <0.03 | | | g/ha.jr |
| Te | <0.16 | | | g/ha.jr |
| Th | <0.16 | | | g/ha.jr |
| Ti | <31.8 | | | g/ha.jr |
| Tl | <0.03 | | | g/ha.jr |
| Tm | <0.03 | | | g/ha.jr |
| U | 0.11 | | | g/ha.jr |
| V | 9.23 | | | g/ha.jr |
| W | 0.14 | | | g/ha.jr |
| Y | 0.14 | | | g/ha.jr |
| Yb | 0.02 | | | g/ha.jr |
| Zn | 124 | 491.4 | | g/ha.jr |
| Zr | 0.33 | | | g/ha.jr |
| 2-Hydroxy carbamazepine | 0.29 | | | g/ha.jr |
| 4-Formylaminoantipyrine | 0.21 | | | g/ha.jr |
| Carbamazepine | 1.87 | | | g/ha.jr |
| Clindamycin | 0.31 | | | g/ha.jr |

| | | | | |
|------------------|------|--|--|---------|
| Diclofenac | 1.04 | | | g/ha.jr |
| Guanylurea | 140 | | | g/ha.jr |
| Metformine | 5.71 | | | g/ha.jr |
| Metoprolol | 7.87 | | | g/ha.jr |
| Sulfamethoxazool | 0.47 | | | g/ha.jr |
| Tramadol | 1.13 | | | g/ha.jr |

3.2.2 Chloride en chloride-bromide ratio

De resultaten van de referentiemeting zijn weergegeven in Tabel 3-9. Het gaat hierbij zowel om monsters van grondwater door middel van minifilters als om bodemvochtmonsters door middel van rhizons. Bij de interpretatie moet rekening gehouden worden met de detectiegrens van de stofconcentraties. Bij enkele metingen in het bodemvocht ('rhizons') lag de chlorideconcentratie onder deze grens, waardoor de Cl:Br niet betrouwbaar ingeschat kon worden.

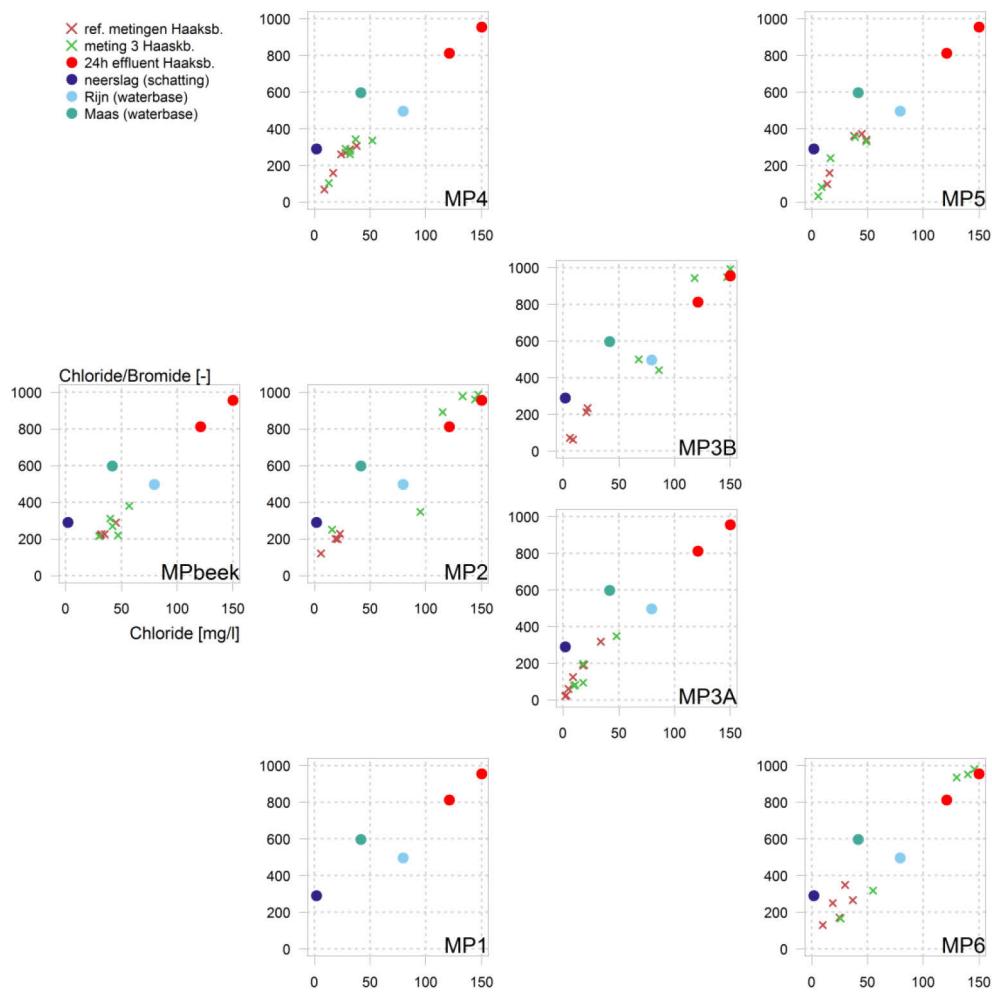
In de referentiemeting zijn chlorideconcentraties in het bodemvocht in alle meetpunten laag, met uitzondering van diepste rhizon bij MP3B (direct naast de drain). Met uitzondering van dit punt zijn de getallen in lijn met de regenwatersamenstelling in Oost-Nederland, waar gezien de grote afstand tot de kust lage chlorideconcentraties te verwachten zijn. Als de chlorideconcentratie van het eveneens oostelijk gelegen LMRE meetpunt Valthermond (gemiddeld 1,5 mg/L in 2013 (wet only)) als referentie wordt genomen dan is de chlorideconcentratie in het bodemvocht een aantal keer in concentratie is toegenomen. De gemeten chlorideconcentraties reflecteren hiermee vooral het effect van indikking door verdamping (naast regenwater zijn er geen/weinig andere bronnen); zij blijven beneden de streefwaarden voor irrigatiewaarden (Sectie 3.2.1).

In Figuur 3-8 is de ratio tussen chloride en bromide (hierna aangeduid als Cl:Br) uitgezet tegen chloride voor de genomen watermonsters. Dit gedaan voor zowel de referentiemeting als de laatste meting tijdens sub-irrigatie. Ter referentie zijn waarden voor het RWZI-effluent te Haaksbergen (18 juli 2016 en 13 september 2016), gemiddelde waarden voor de Maas en Rijn en schattingen voor regenwater opgenomen. De meeste monsters in de referentiesituatie vallen in de te verwachten range van (ingedikt) regenwater. Opgemerkt moet worden dat de Cl:Br in niet door effluent beïnvloed water zeer laag is. De oorzaak hiervan is niet duidelijk. Mogelijke verklaringen kunnen zijn dat bromide afkomstig is van mineralisatie van organische stof, of van bijvoorbeeld methylbromideapplicatie in het verleden. Ook kan de oorzaak analytisch van aard zijn: mogelijk wordt bij zeer lage chlorideconcentraties de bromideconcentratie overdreven. Dit vergt nadere analyse en is niet uitgewerkt in deze rapportage.

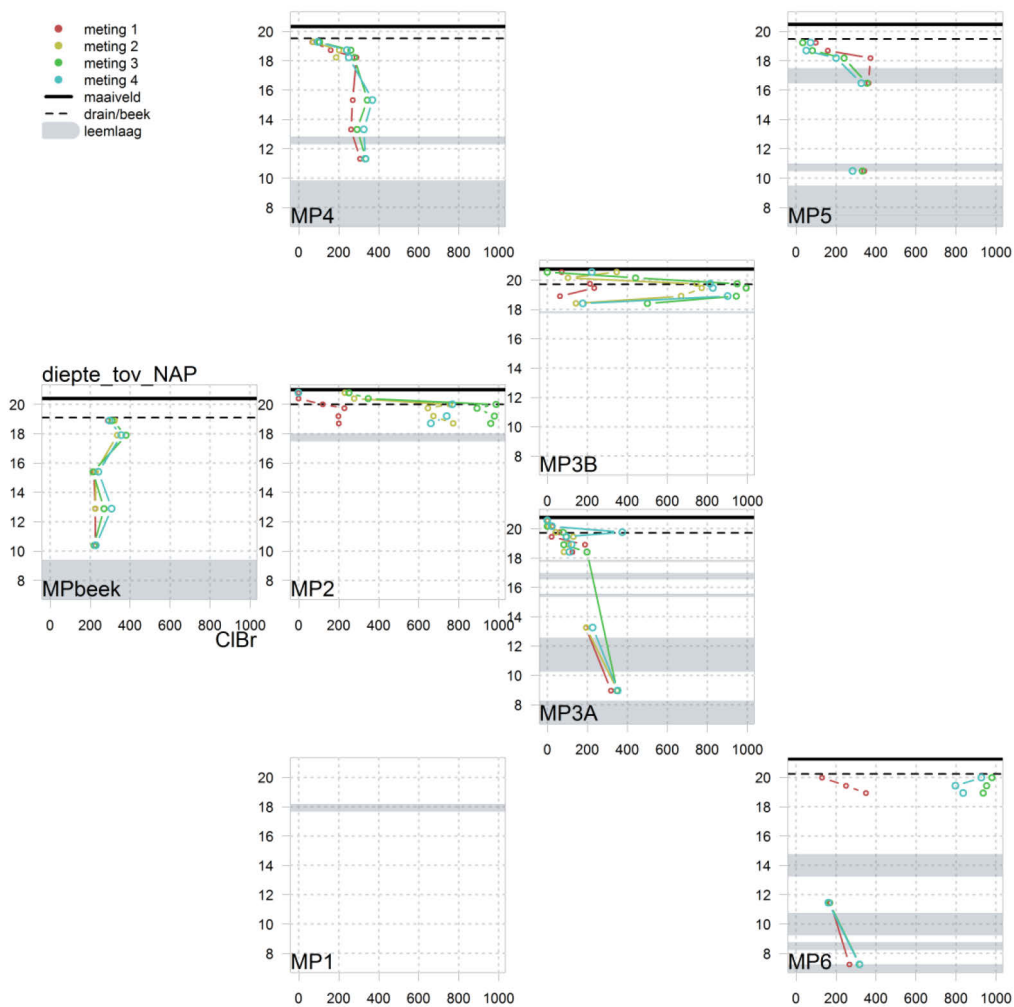
Figuur 3-9 en Figuur 3-10 geven de chlorideconcentraties met de diepte aan voor de vier meetmomenten op de verschillende meetpunten. Als gevolg van sub-irrigatie is alleen voor de meetlocaties MP2, MP3B en MP6 een duidelijke verschuiving richting de samenstelling van RWZI-effluent te zien. Deze verschuiving geldt niet voor alle dieptes. Bij MP3A, op 3 meter afstand van MP3B waar effluent duidelijk aanwezig is, is geen/nauwelijks een verschuiving richting effluentsamenstelling, behalve in de rhizon net boven drainniveau na de periode van sub-irrigatie. Ook benedenstreams, bij MP4 en MP5, is nauwelijks of geen verschuiving richting effluent waarneembaar, ondanks dat ook deze meetpunten direct naast een drain zitten. Dit geeft aan dat er mogelijk geen of weinig effluent via de drains is aangevoerd. Direct naast de beek (MPbeek) is ook nauwelijks/geen effect van sub-irrigatie waarneembaar. Op grotere diepte wordt wel een lichte verhoging van Cl:Br waargenomen met de tijd.

TABEL 3-9: MEETRESULTATEN CHLORIDE EN BROMIDE IN REFERENTIESITUATIE OP 24 MEI 2016, VÓÓR DE START VAN DE SUB-IRRIGATIE. MF STAAT VOOR MINIFILTER, WAARBIJ 1 ONDIEP EN 7 DIEP. RH STAAT VOOR RHIZON, WAARBIJ 1 ONDIEP EN 3 DIEP.

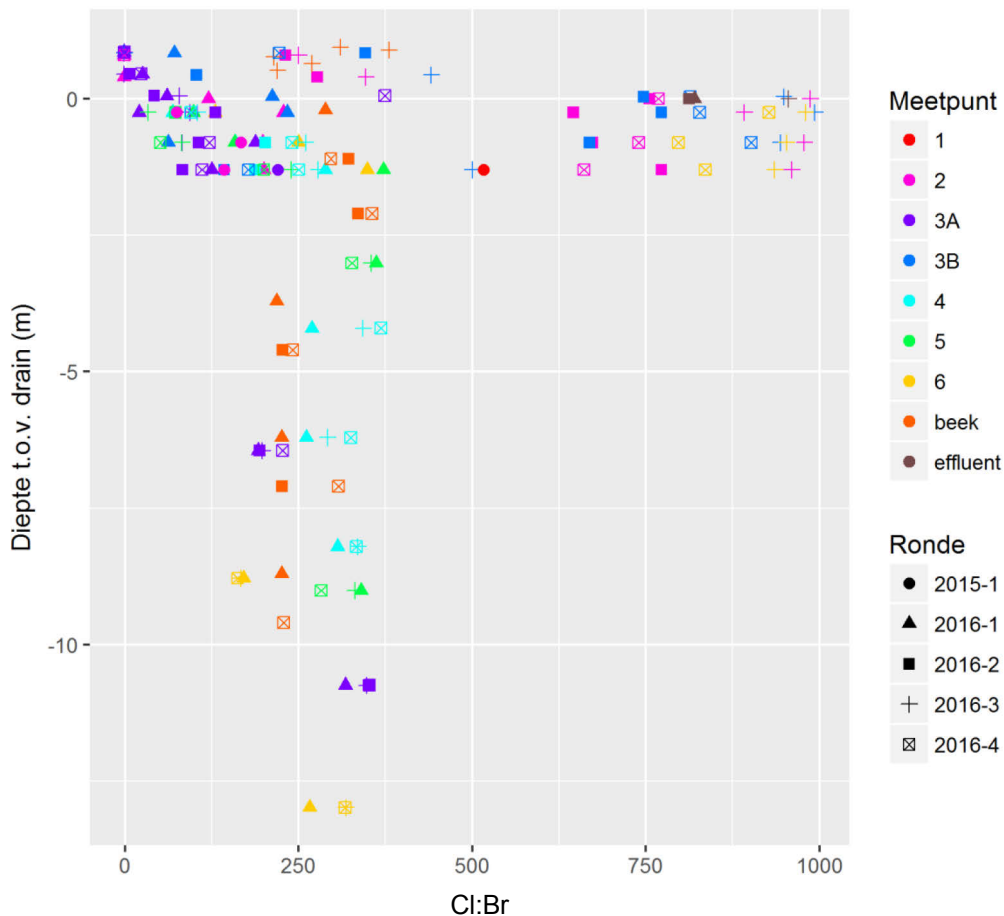
| meetpunt | omschrijving | Chloride mg/l | Bromide mg/l | Cl/Br - | meetpunt | omschrijving | Chloride mg/l | Bromide mg/l | Cl/Br - |
|----------|--------------|------------------|-----------------|------------|-------------|--------------|------------------|-----------------|------------|
| MP2_MF1 | minifilter1 | 23.0 | 0.101 | 228 | MP4_MF1 | minifilter1 | 9.0 | 0.131 | 69 |
| MP2_MF2 | minifilter2 | 21.0 | 0.106 | 198 | MP4_MF2 | minifilter2 | 17.0 | 0.107 | 159 |
| MP2_MF3 | minifilter3 | 19.0 | 0.095 | 200 | MP4_MF3 | minifilter3 | 32.0 | 0.111 | 288 |
| MP2_RH1 | Rhizon1 | <1 | 0.100 | >10 | MP4_MF4 | minifilter4 | 28.0 | 0.104 | 269 |
| MP2_RH2 | Rhizon2 | <1 | 0.071 | >14 | MP4_MF5 | minifilter5 | 24.0 | 0.092 | 261 |
| MP2_RH3 | Rhizon3 | 6.0 | 0.050 | 120 | MP4_MF6 | minifilter6 | 38.0 | 0.124 | 306 |
| MP3A_MF1 | minifilter1 | 2.0 | 0.097 | 21 | MP5_MF1 | minifilter1 | 14.0 | 0.142 | 99 |
| MP3A_MF2 | minifilter2 | 18.0 | 0.096 | 188 | MP5_MF2 | minifilter2 | 16.0 | 0.101 | 158 |
| MP3A_MF3 | minifilter3 | 9.0 | 0.072 | 125 | MP5_MF3 | minifilter3 | 45.0 | 0.121 | 372 |
| MP3A_MF4 | minifilter4 | | | | MP5_MF4 | minifilter4 | 38.0 | 0.105 | 362 |
| MP3A_MF5 | minifilter5 | 19.0 | 0.099 | 192 | MP5_MF5 | minifilter5 | | | |
| MP3A_MF6 | minifilter6 | 34.0 | 0.107 | 318 | MP5_MF6 | minifilter6 | 49.0 | 0.144 | 340 |
| MP3A_RH1 | Rhizon1 | <1 | 0.059 | >17 | MP6_MF1 | minifilter1 | 10.0 | 0.077 | 130 |
| MP3A_RH2 | Rhizon2 | 3.0 | 0.119 | 25 | MP6_MF2 | minifilter2 | 19.0 | 0.076 | 250 |
| MP3A_RH3 | Rhizon3 | 5.0 | 0.083 | 60 | MP6_MF3 | minifilter3 | 30.0 | 0.086 | 349 |
| MP3B_MF1 | minifilter1 | 22.0 | 0.094 | 234 | MP6_MF4 | minifilter4 | | | |
| MP3B_MF2 | minifilter2 | 9.0 | 0.144 | 63 | MP6_MF5 | minifilter5 | | | |
| MP3B_MF3 | minifilter3 | | | | MP6_MF6 | minifilter6 | 25.0 | 0.146 | 171 |
| MP3B_RH1 | Rhizon1 | 6.3 | 0.088 | 71 | MP6_MF7 | minifilter7 | 37.0 | 0.139 | 266 |
| MP3B_RH2 | Rhizon2 | | | | MP_beek_MF1 | minifilter1 | 45.0 | 0.156 | 288 |
| MP3B_RH3 | Rhizon3 | 21.0 | 0.099 | 212 | MP_beek_MF2 | minifilter2 | | 0.000 | |
| | | | | | MP_beek_MF3 | minifilter3 | 31.0 | 0.142 | 218 |
| | | | | | MP_beek_MF4 | minifilter4 | 32.0 | 0.142 | 225 |
| | | | | | MP_beek_MF5 | minifilter5 | 35.0 | 0.155 | 226 |



FIGUUR 3-8: RELATIE TUSSEN CHLORIDECONCENTRATIE (X-AS) EN DE RATIO TUSSEN CHLORIDE EN BROMIDE (Y-AS) VOOR DE REFERENTIESITUATIE (24 MEI 2016), VOORAFGAAND AAN SUB-IRRIGATIE EN VOOR METING 3 AAN HET EIND VAN SUB-IRRIGATIE (14 SEPTEMBER 2016). ALS REFERENTIE ZIJN GEMIDDELDE WAARDEN OPGENOMEN VOOR DE MAAS (EIJSDEN), DE RIJN (LOBITH) EN VAN HET EFFLUENT TE HAAKSBERGEN (18 JULI 2016 EN 13 SEPTEMBER 2016). DAARNAAST IS EEN SCHATTING WEERGEGEVEN VAN CL:BR VAN REGENWATER (STUYFZAND 1993), GECOMBINEERD MET EEN SCHATTING VAN DE CHLORIDECONCENTRATIE OP BASIS VAN (WET-ONLY) METINGEN BIJ VALTHERMOND.



FIGUUR 3-9: VERLOOP VAN CL:BR MET DE DIEPTE (VERTICALE AS) EN IN DE TIJD (METING 1 T/M 4).



FIGUUR 3-10. CHLORIDE:BROMIDE VERHOUDING (X-AS) VERSUS DIEPTE VAN DE BODEMPROFIELEN (Y-AS) BIJ DE VERSCHILLENDE MEETPUNTEN VOOR DE REFERENTIEMETING IN 2015 EN DE VIER MEETRONDEN IN 2016. DE REFERENTIEDIEPTE (0 M) IS DE HOOGTE VAN DE DRAIN. DE KLEUREN GEVEN HET MEETPUNT AAN EN DE VORMEN LATEN ZIEN VAN WELK MOMENT DE METING AFKOMSTIG IS.

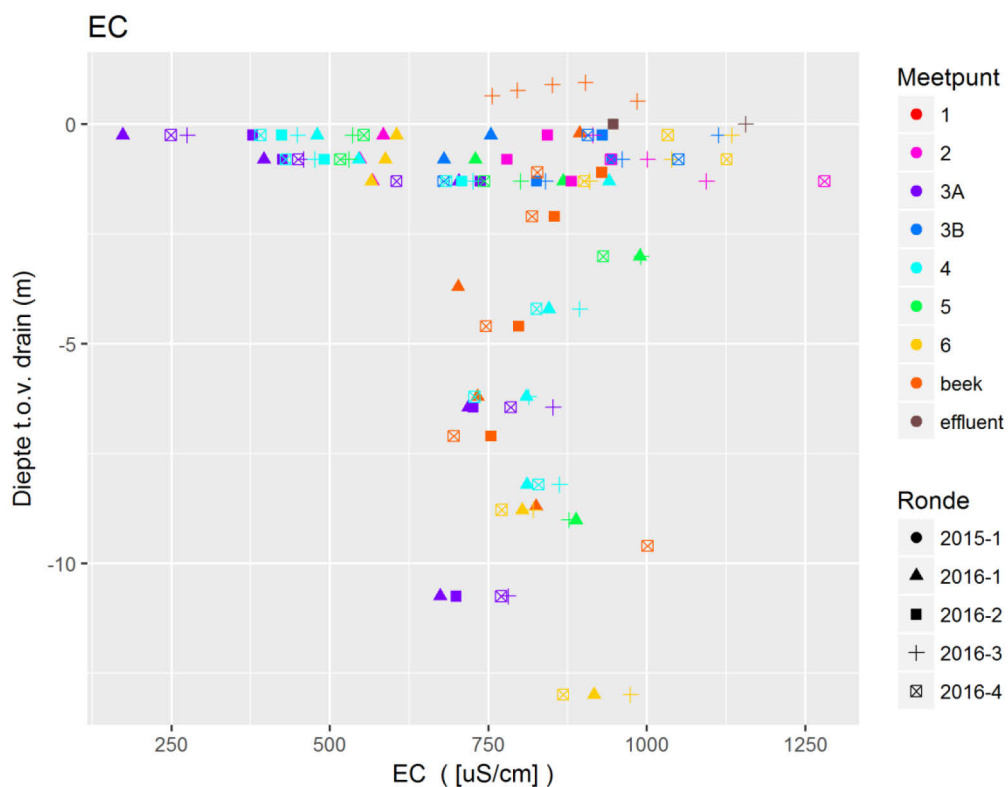
Wanneer de Cl:Br van alle meetpunten ten opzichte van de draindiepte geplot wordt (Figuur 3-10), wordt zichtbaar dat hoge ratio's (>500) van deze tracer alleen voorkomen bij enkele meetpunten (MP1, MP2, MP3B en MP6) op dieptes net onder de drains (0 tot 2 m onder referentieniveau). Deze hoge ratio's wijzen op de aanwezigheid van effluent, dat een kenmerkend hoge Cl:Br ratio heeft. Dieper onder de drains worden ratio's rondom 250 gevonden, wat waarschijnlijk de natuurlijke achtergrond voor de Cl/Br ratio is. Over het algemeen stijgt de Cl:Br ten tijde van de sub-irrigatie en neemt deze af na afloop hiervan.

Ook boven de drains, in de (wisselend) onverzadigde zone stijgt de Cl:Br tijdens de periode van sub-irrigatie, hoewel deze stijging beperkt is ten opzichte van de metingen onder de drains.

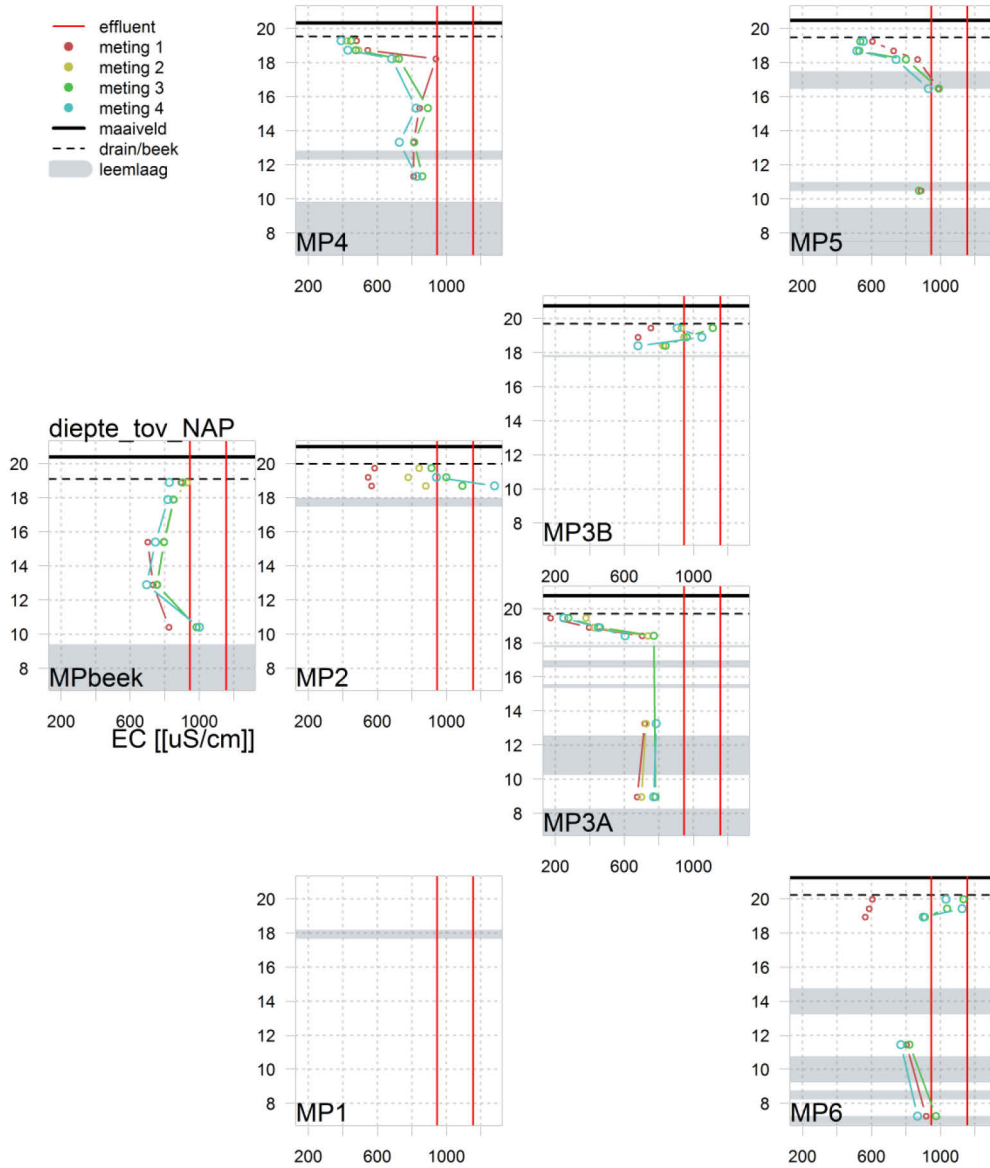
3.2.3 EC en pH

In Figuur 3-11 tot en met Figuur 3-14 worden het EC (electrical conductivity) en de pH met de diepte van de profielen weergegeven. Uit deze figuren blijkt een grote variatie in EC en pH waarden vlak onder de drains, waar regenwater, effluent en door meststoffen beïnvloed autochtoon grondwater in wisselende samenstelling kunnen voorkomen. Op grotere diepte wordt een smallere bandbreedte aan waarden gevonden, rondom 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en pH 7.5. Waarschijnlijk zijn deze waarden de lokale achtergrondwaarden. Hoewel EC relatief goed correleert met Cl:Br, worden hoge EC waarden ook gevonden in combinatie met lage Cl:Br waarden, wat impliceert dat effluent niet de enige bron van een hoge EC is. De variatie van EC met de tijd in MP2 en MP3 (Figuur 3-6) laat geen eenduidig patroon zien in reactie op de sub-irrigatie en neerslag.

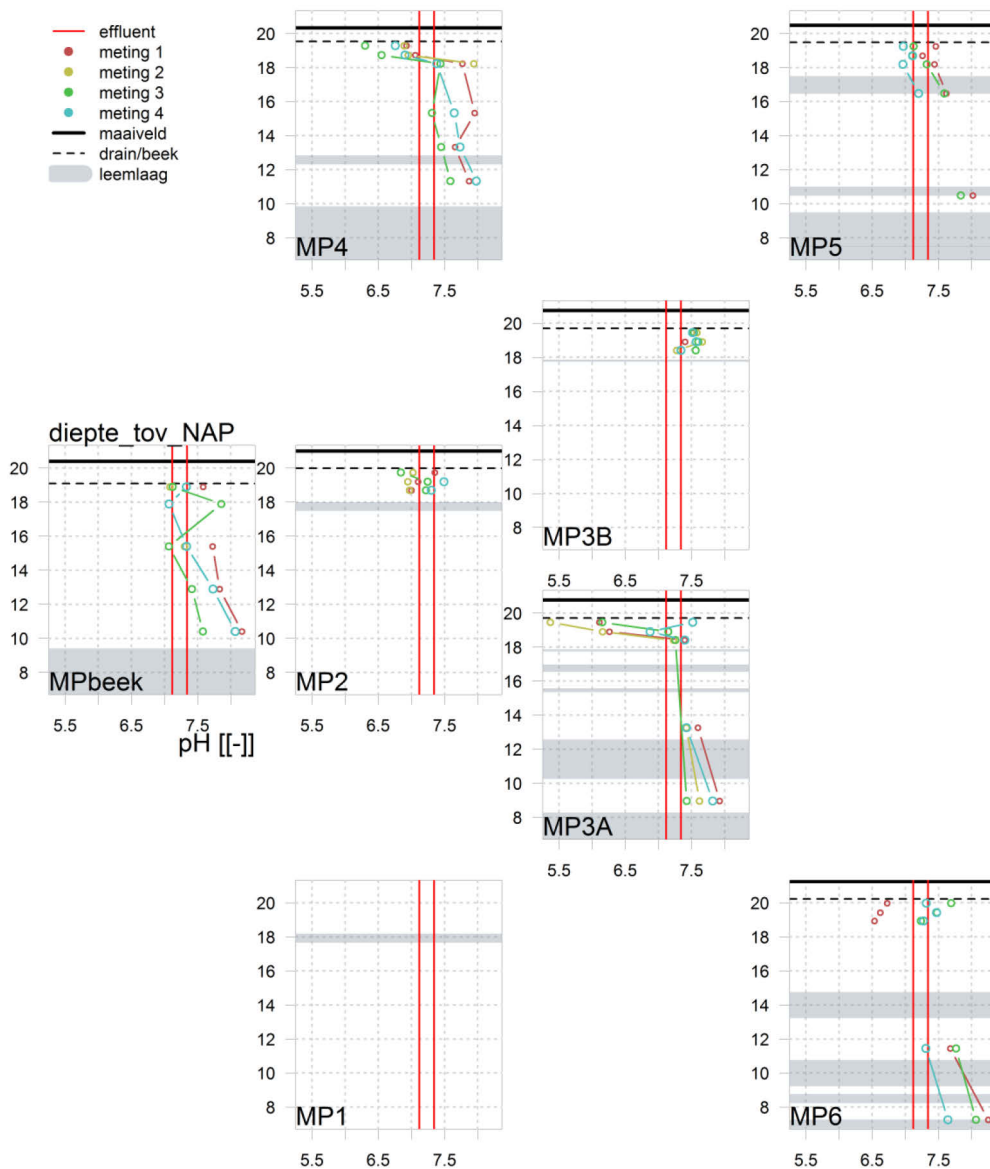
Opvallend zijn de lage EC en pH waarden op MP3A, het enige meetpunt tussen drains. Deze lage waarden zouden kunnen wijzen op een relatief grote invloed van regenwater. Dit is in lijn met de geobserveerde opbolling tussen de drains, waardoor een regenwaterlens kan ontstaan.



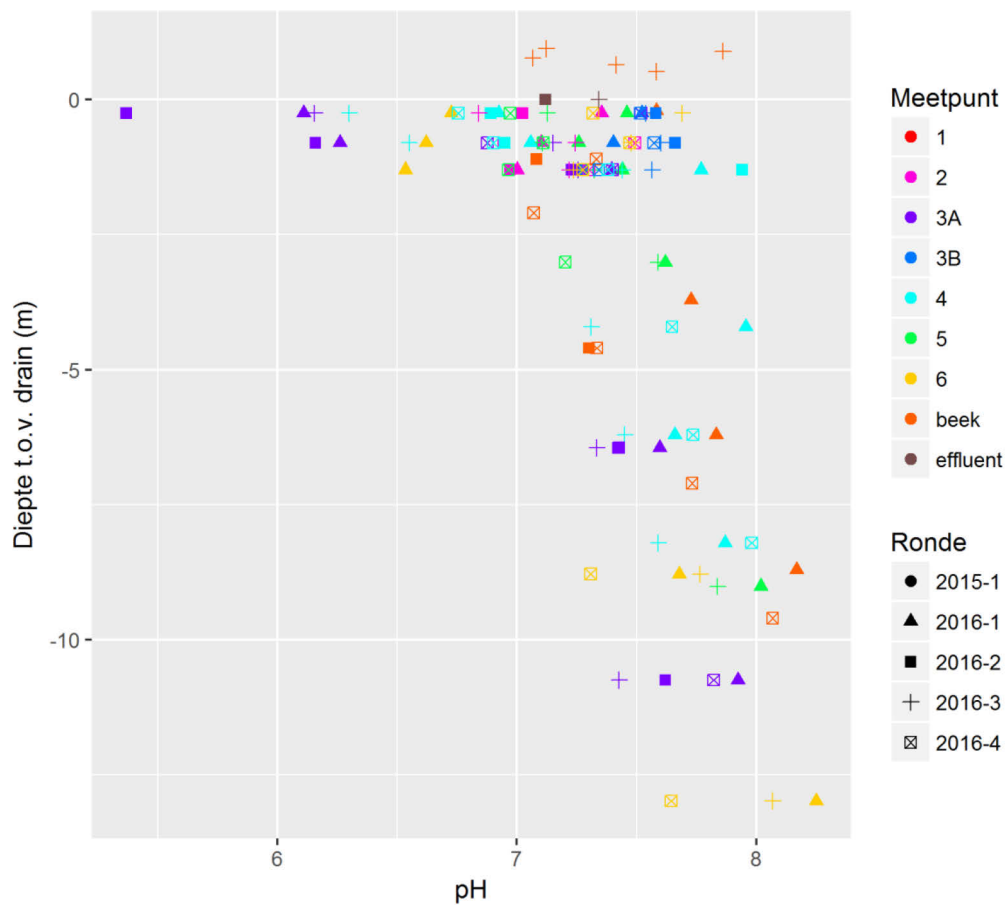
FIGUUR 3-11. EC (ELECTRICAL CONDUCTIVITY) IN MICROSIEMENS/CM VERSUS DIEPTE TEN OPZICHTE VAN HET DRAINNIVEAU, MET DE DRAIN ALS REFERENTNIVEAU (0 M) VOOR DE VERSCHILLENDE MEETPUNTEN EN MEETRONDEN.



FIGUUR 3-12. EC (ELECTRICAL CONDUCTIVITY) IN MICROSIEMENS/CM MET DE DIEPTE OP DE VERSCHILLENDE MEETPUNTEN VOOR DE VERSCHILLENDE MEETMOMENTEN IN 2016. ALS REFERENTIE ZIJN GEMIDDELDE WAARDEN OPGENOMEN VAN HET EFFLUENT TE HAAKSBERGEN (18 JULI 2016 EN 13 SEPTEMBER 2016).



FIGUUR 3-13. PH MET DE DIEPTE OP DE VERSCHILLENDE MEETPUNTEN VOOR DE VERSCHILLENDE MEETMOMENTEN IN 2016. ALS REFERENTIE ZIJN GEMIDDELTE WAARDEN OPGENOMEN VAN HET EFFLUENT TE HAAKSBERGEN (18 JULI 2016 EN 13 SEPTEMBER 2016).

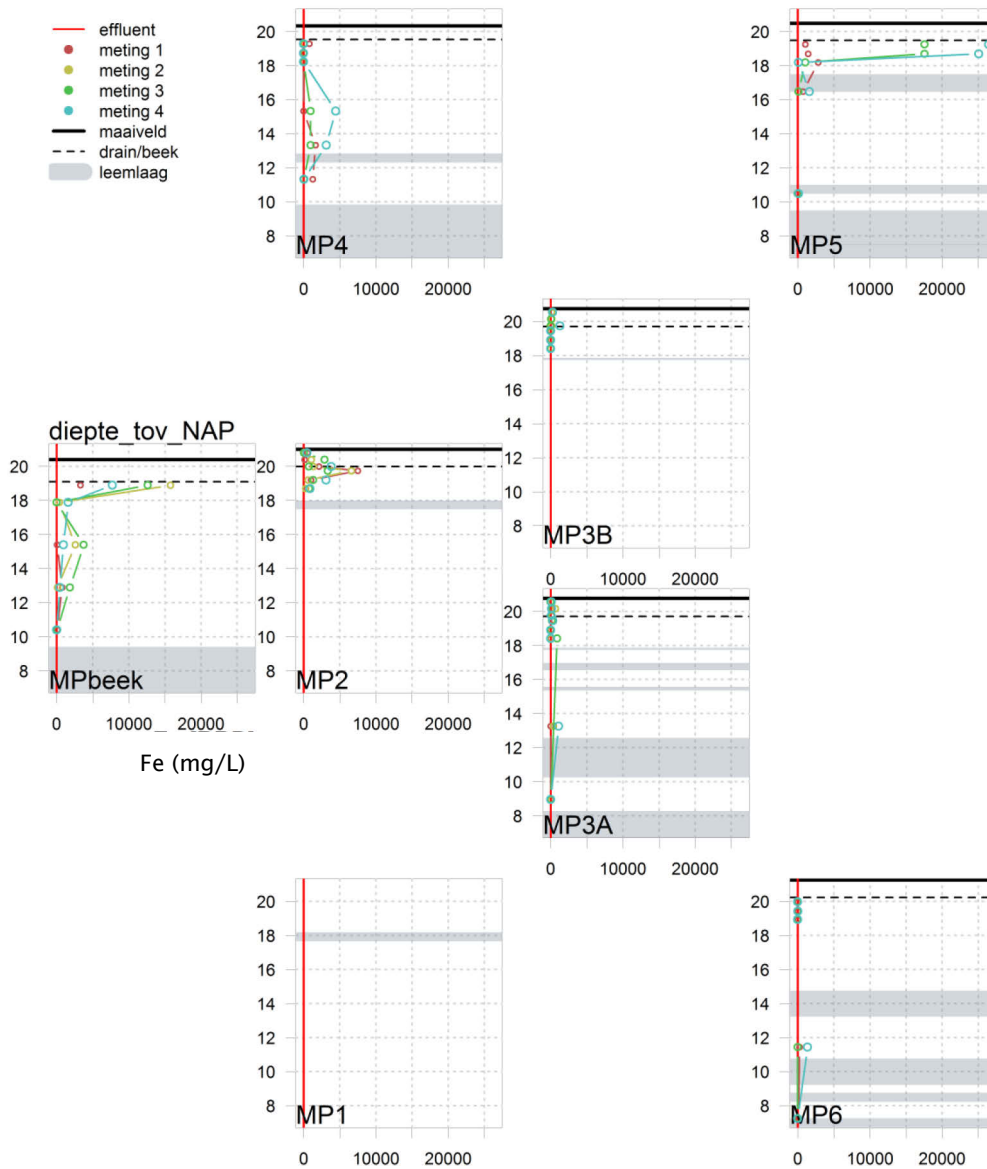


FIGUUR 3-14. PH MET DE DIEPTE, MET DE DRAIN ALS REFERENTIELEVEL (0 M) VOOR DE VERSCHILLENDE MEETPUNTEN EN MEETRONDEN.

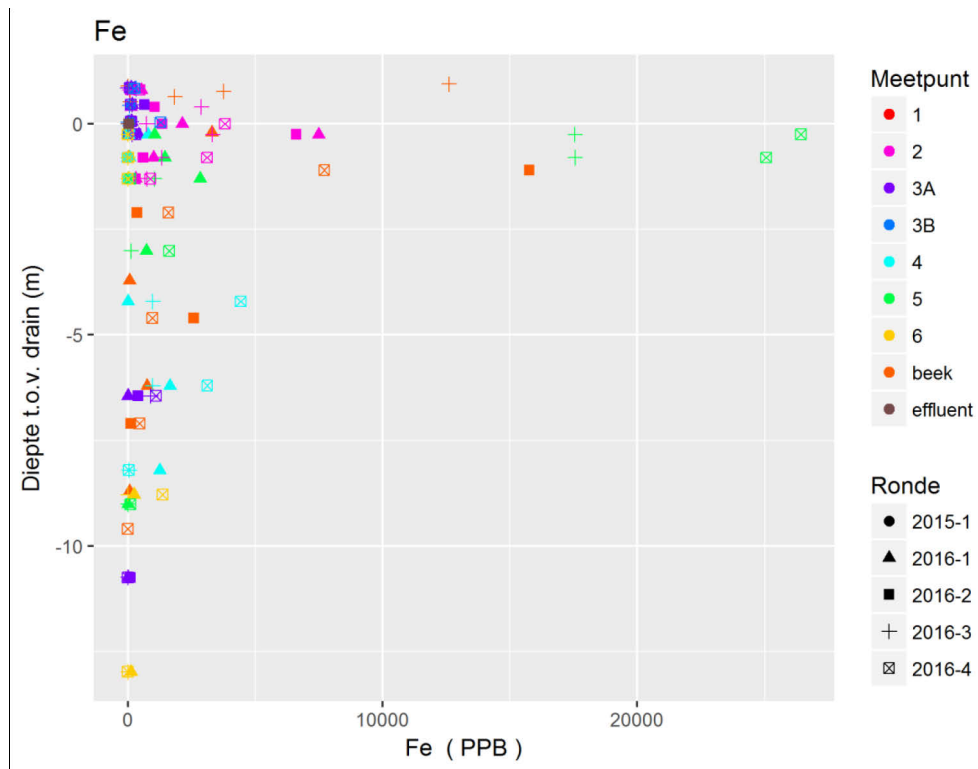
3.2.4 Elementen: IJzer en arseen

Van veel elementen zijn de concentraties gemeten. Van enkele stoffen (chloride, natrium, fosfor, rubidium en zwavel, geneesmiddelen) die in verhoogde concentraties voorkomen in het effluent hangt de concentratie (beperkt) samen met de Cl:Br. In de sectie hieronder worden de resultaten voor geneesmiddelen behandeld. In deze paragraaf wordt ingegaan op ijzer en arseen, welke op enkele plekken in relatief hoge concentraties gevonden zijn. Van de overige elementen zijn de resultaten te vinden in de digitale bijlage.

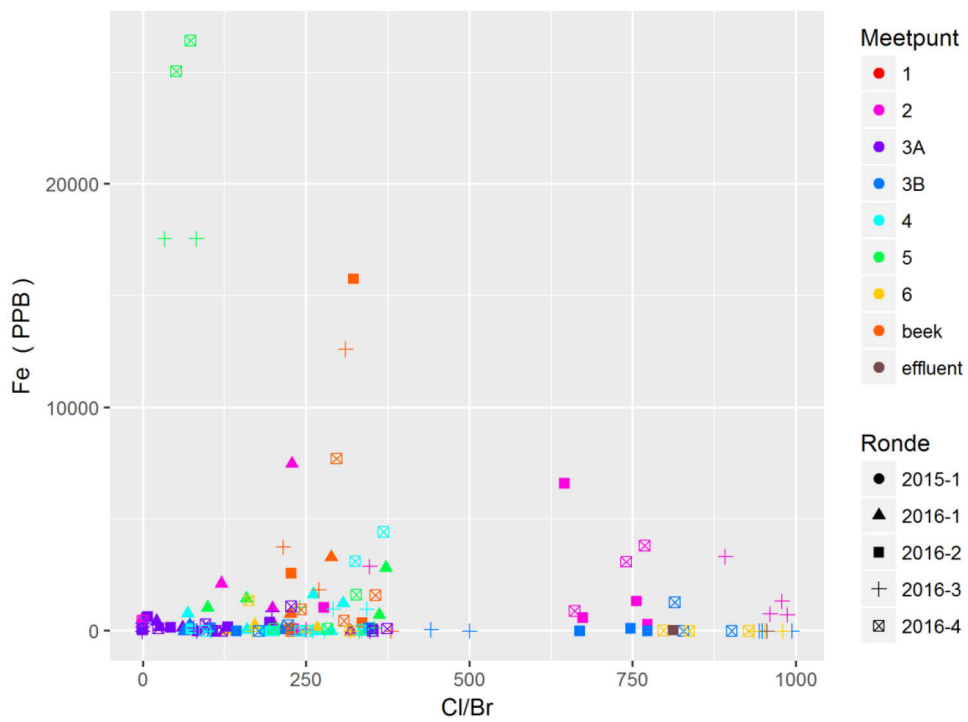
In Figuur 3-15 tot en met Figuur 3-19 worden de concentraties van ijzer en arseen met de diepte ten opzichte van de drains weergegeven. Op MP5 en MPbeek zijn tijdens en na de sub-irrigatie ijzerconcentraties gevonden die hoger liggen dan de streefwaarden voor akkerbouw en grasland (Sectie 3.2.1). Deze concentraties zijn veel hoger dan de concentraties in het effluent. Hoewel mobilisatie kan plaatsvinden als gevolg van reductie (bijvoorbeeld door effluent), hangt het niet samen met een verhoogde Cl:Br (Figuur 3-17). De verandering in concentratie hangt wel samen met de periode van sub-irrigatie, maar andere parameters wijzen niet op een direct verband met de sub-irrigatie. Er zijn geen verhoogde zwavelconcentraties waargenomen (zie resultaten voor zwavel in de digitale bijlage) die zouden kunnen duiden op pyrietoxidatie.



FIGUUR 3-15. IJZERCONCENTRATIES OVER DE DIEPTE OP DE VERSCHILLENDE MEETPUNTEN VOOR DE VERSCHILLENDE MEETMOMENTEN IN 2016. ALS REFERENTIE ZIJN GEMIDDELDE WAARDEN OPGENOMEN VAN HET EFFLUENT TE HAAKSBERGEN (18 JULI 2016 EN 13 SEPTEMBER 2016).

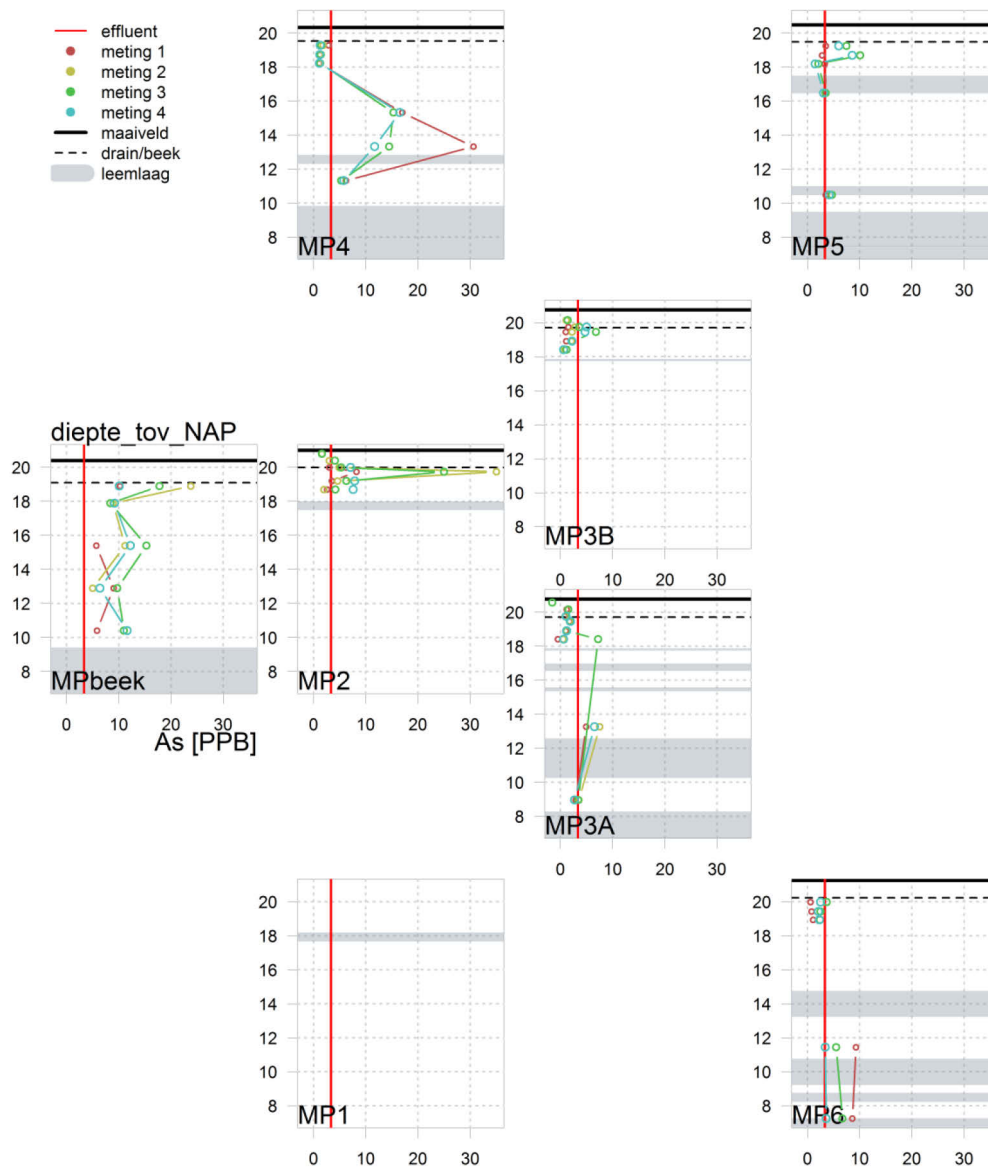


FIGUUR 3-16. CONCENTRATIES VAN IJZER (MICROGRAM/L) MET DE DIEPTE TEN OPZICHT VAN HET DRAINNIVEAU OP DE VERSCHILLENDE MEETPUNTEN EN TIJDENS VERSCHILLENDE MEETRONDEN.

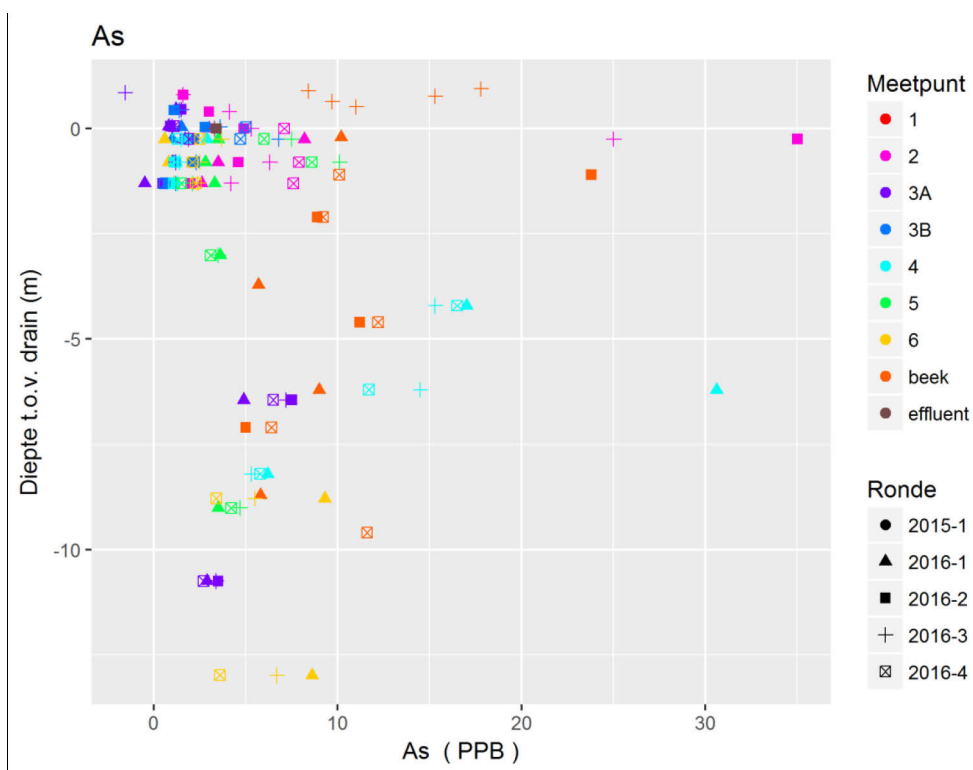


FIGUUR 3-17. CONCENTRATIES VAN IJZER TEN OPZICHT VAN CL:BR OP VERSCHILLENDE MEETPUNTEN EN TIJDENS VERSCHILLENDE MEETMOMENTEN.

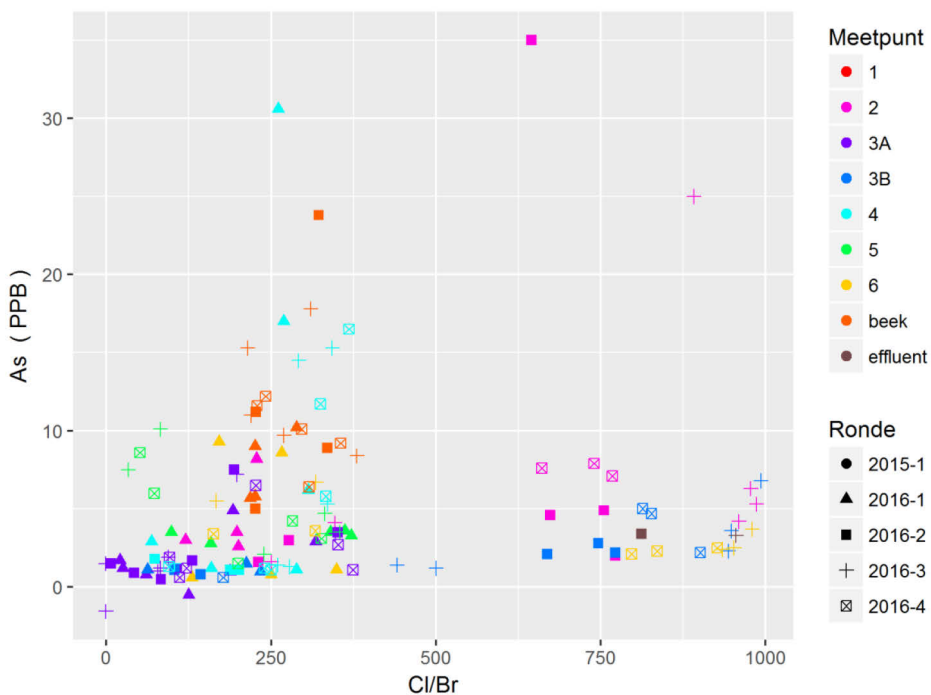
Verhoogde arseenconcentraties zijn op beperkte diepte (<2 m-mv) gevonden op MP2 en het meetpunt bij de beek, en op grotere diepte (>5m-mv) op MP4. Met uitzondering van de twee datapunten voor MP2 (Figuur 3-19) hangen deze concentraties niet samen met verhoogde Cl:Br (Figuur 3-20). Er zijn geen aanwijzingen dat de verhoogde arseenconcentraties te verklaren zijn door de sub-irrigatie met effluent.



FIGUUR 3-18. ARSEENCONCENTRATIES MET DE DIEPTE OP DE VERSCHILLENDE MEETPUNTEN VOOR DE VERSCHILLENDE MEETMOMENTEN IN 2016. ALS REFERENTIE ZIJN GEMIDDELDDE WAARDEN OPGENOMEN VAN HET EFFLUENT TE HAAKSBERGEN (18 JULI 2016 EN 13 SEPTEMBER 2016).



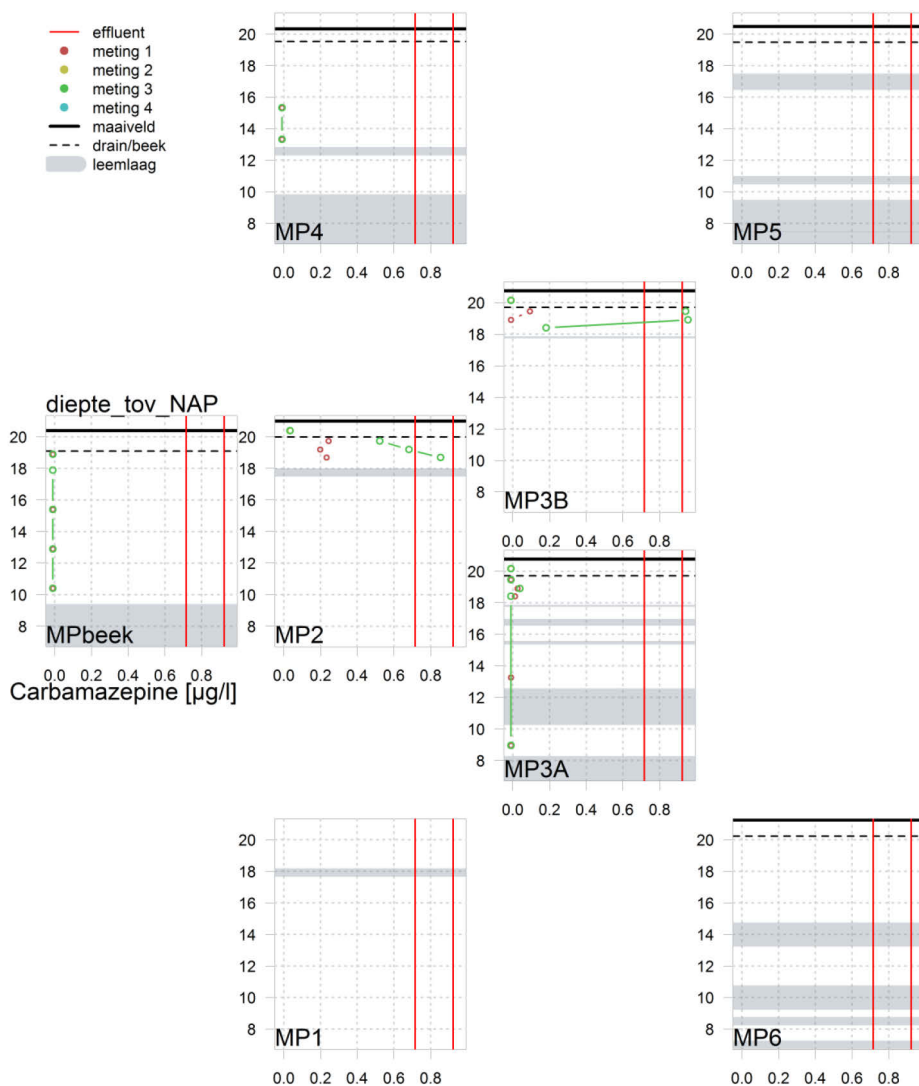
FIGUUR 3-19. CONCENTRATIES VAN ARSEEN (MICROGRAM/L) OVER DE DIEPTE TEN OPZICHTE VAN HET DRAINNIVEAU OP DE VERSCHILLENDE MEETPUNTEN EN TIJDENS VERSCHILLENDE MEETRONDEN. NEGATIEVE WAARDEN LIGGEN ONDER DE DETECTIEGREN VAN 0.5 MICROGRAM/L.



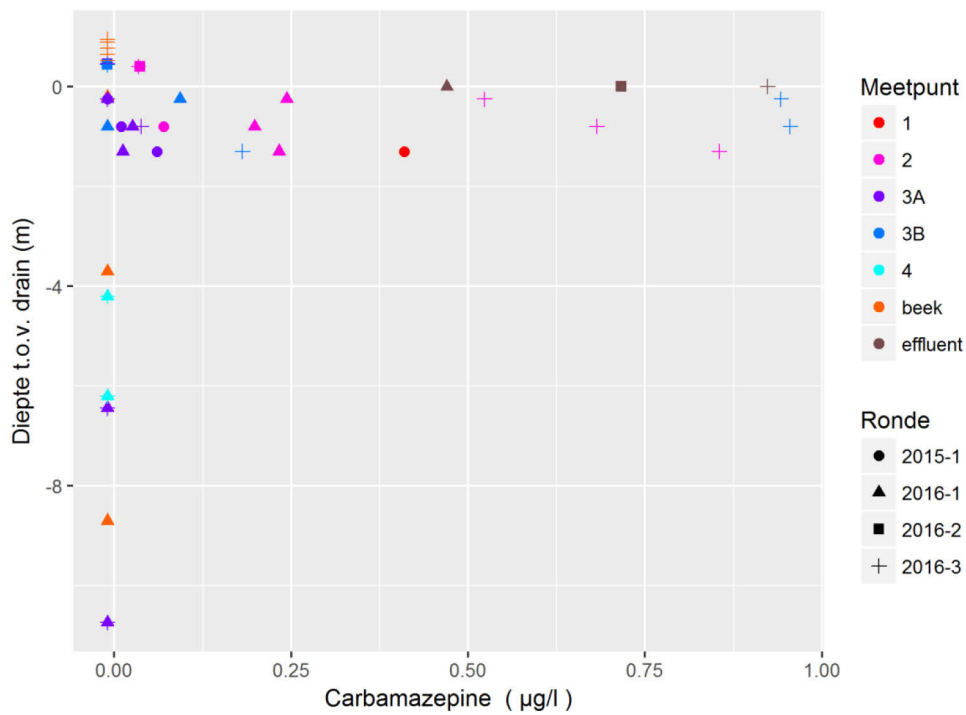
FIGUUR 3-20. CONCENTRATIES VAN ARSEEN TEN OPZICHTE VAN CL:BR OP VERSCHILLENDE MEETPUNTEN EN TIJDENS VERSCHILLENDE MEETMOMENTEN.

3.2.5 Restanten van geneesmiddelen

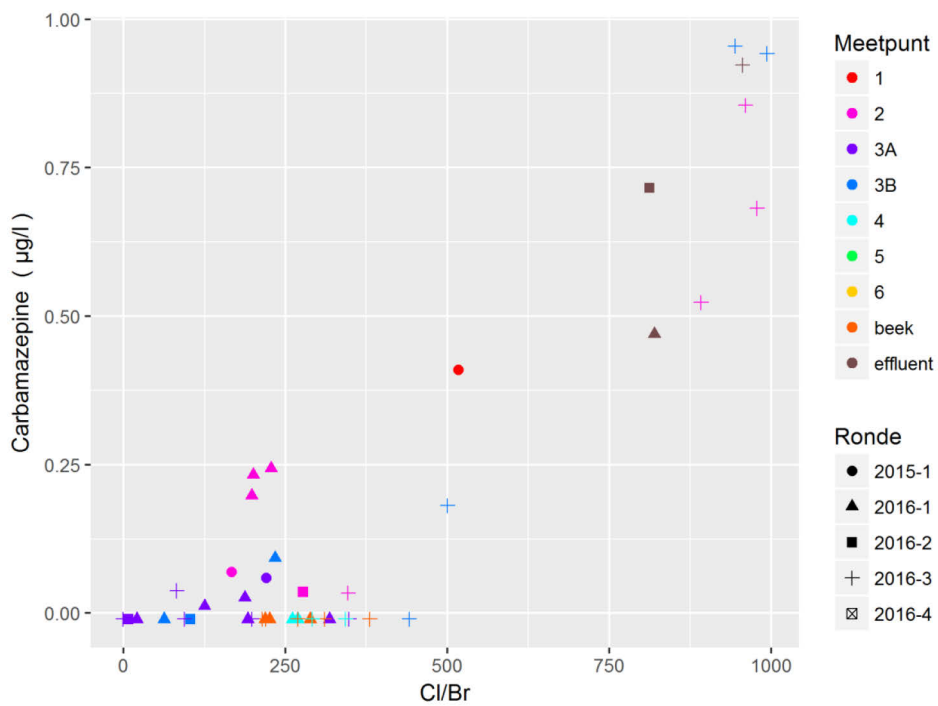
Concentraties van restanten van geneesmiddelen zijn vóór en tijdens de sub-irrigatie gemeten op enkele meetpunten. In Figuur 3-21 en Figuur 3-22 worden de concentraties van carbamazepine weergegeven. De concentraties van de overige geneesmiddelenrestanten worden weergegeven in de digitale bijlage. Tijdens de initiële meetronde op 8 april 2015 werden op meetpunten 2 en 3A (zeer) licht verhoogde concentraties van enkele van deze stoffen gevonden ((2-hydroxy)carbamazepine, clindamycine, diclofenac, metformine, metoprolol), en duidelijk verhoogde concentraties op MP1 (metoprolol, sulfamethoxazol, (2-hydroxy)carbamazepine). Alleen bij dit laatste meetpunt hing deze verhoogde concentratie samen met een verhoogde Cl:Br. Mogelijk zijn deze concentraties nabij de drains overblijfselen uit eerdere sub-irrigatie in 2013.



FIGUUR 3-21. CARBAMAZEPINECONCENTRATIES MET DE DIEPTE OP DE VERSCHILLENDE MEETPUNTEN VOOR DE VERSCHILLENDE MEETMOMENTEN IN 2016. ALS REFERENTIE ZIJN GEMIDDELDE WAARDEN OPGENOMEN VAN HET EFFLUENT TE HAAKSBERGEN (18 JULI 2016 EN 13 SEPTEMBER 2016).



FIGUUR 3-22. CONCENTRATIE VAN CARBAMAZEPINE (MICROGRAM/L) IN DE WATERMONSTERS BIJ DE VERSCHILLENDE MEETPUNTEN TIJDENS DE INITIELE MEETRONDE IN 2015 EN DRIEMEETRONDEN IN 2016 TEN OPZICHTE VAN DE DIEPTE VAN DE DRAIN (0 M). CONCENTRATIES <0 LIGGEN BENEDEN DE DETECTIEGREN VAN 0.01 MICROGRAM/L.



FIGUUR 3-23. CARBAMAZEPINECONCENTRATIES TEN OPZICHTE VAN CL:BR OP VERSCHILLENDE MEETPUNTEN EN TIJDENS VERSCHILLENDE MEETMOMENTEN.

TABEL 3-10: EXPERT-INSCHATTING (THOMAS TER LAAK, KWR) VAN DE GENEESMIDDELEN DIE IN RWZI-EFFLUENT VOORKOMEN EN WELKE DAARVAN DE BODEM KUNNEN PASSEREN.

| Geneesmiddel of omzettingsproduct | Mobiel |
|--|--------|
| 10,11-trans-diol-carbamazepine ^c | X |
| 2-hydroxy carbamazepine ^c | X |
| 3-hydroxy carbamazepine ^c | X |
| 4-acetaminophen sulphate ^c | |
| 4-formylaminoantipyrine ^c | X |
| α-hydroxy metoprolol ^c | |
| AMPH ^c | X |
| atenolol ^a | |
| bezafibrate ^a | |
| carbamazepine ^a | X |
| carbamazepine-10,11-epoxide ^c | |
| clindamycin | |
| clofibrac acid | X |
| diatrizoate (amidotrizoic acid) ^a | X |
| diclofenac ^a in basische bodem misschien ook | |
| erytromycin A ^a | |
| phenazone ^a (obsoleet medicijn) | X |
| furosemide ^a | |
| gemfibrozil ^a | |
| guanylurea ^c (zeer hoge concentraties in effluent) | |
| hydroxy ibuprofen ^c | |
| ketoprofen ^a | |
| lincomycin ^a | |
| metformin ^a (zeer hoge concentraties) | |
| metoprolol ^a | |
| N4-acetyl sulfamethoxazole ^{c,d} | X |
| naproxen ^a | |
| o-Desmethyl tramadol | |
| oxcarbamazepine ^{a(c)} | |
| paracetamol ^a (alleen als zuivering slecht werkt) | |
| propranolol ^a | |
| propyphenazon ^a | X |
| salicylic acid ^c (mogelijk ook van nature aanwezig) | X |
| sotalol ^a | |
| sulfamethoxazole ^{a(b)} | X |
| tramadol ^a | |
| trimethoprim ^{a,b} | |
| venlafaxine ^a | |

^a humaan geneesmiddel; ^b (voornamelijk) diergeneesmiddel; ^c omzettingsproduct van human geneesmiddel; ^d omzettingsproduct van diergeneesmiddel; ^e natuurlijk hormoon; ^f recovery voor waterige matrices, recovery voor vast materiaal is onbekend

Voor de start van de sub-irrigatie in 2016 zijn verhoogde concentraties geneesmiddelen ((2-hydroxy)carbamazepine, clindamycine, metoprolol, tramadol en in mindere mate diclofenac en sulfamethoxazol) gevonden op MP2, in combinatie met een lage Cl:Br. Voor enkele stoffen zijn op tijdens deze meetronde ook (zeer) licht verhoogde concentraties gevonden in MP3A en B. De diepte waarop deze concentraties zijn gevonden is direct onder de drain. Voor onder andere carbamazepine, diclofenac, clindamycine, metoprolol en sulfamethoxazol is persistentie in het milieu bekend (Zhang, Geißen et al. 2008, Kodešová, Kočárek et al. 2016). Hoewel enkele van deze stoffen als relatief mobiel worden aangemerkt (Tabel 3-10), lijkt er sprake te zijn van retardatie, aangezien op de betreffende punten geen verhoogde Cl:Br is aangetroffen.

In Tabel 3-11 zijn de correlatiecoëfficiënten tussen Cl:Br en de geneesmiddelenresten weergegeven. In grondwatermonsters die qua Cl:Br duidelijk beïnvloed zijn door effluent (Cl:Br >500), wordt in alle gevallen (2-hydroxy)carbamazepine, 4-formylaminoantipyridine en diclofenac aangetroffen.

Tijdens de sub-irrigatie zijn verhoogde concentraties van geneesmiddelenrestanten gevonden op MP2 en MP3B, in combinatie met hoge Cl:Br ratio's. Het gaat hier uitsluitend om dieptes tot 1.5 meter onder de drains, behalve voor carbamazepine en clindamycine in MP2, dat in beperkte concentraties ook boven de drain is gevonden. Voor een aantal stoffen zijn de gevonden concentraties onder de drain in dezelfde concentratierange als het effluent ((2-hydroxy)carbamazepine, 4-formylaminoantipyridine, clindamycine, diclofenac, tramadol en op een enkele plek guanylurea). Dit wijst er op dat in tijdens de periode van sub-irrigatie er geen significante afbraak van deze stoffen plaatsvindt.

Voor andere stoffen (metformine, metoprolol, sulfamethoxazol) zijn concentraties gevonden die iets lager zijn dan het effluent. Opvallend is dat hierbij geen duidelijk onderscheid wordt waargenomen tussen mobiele stoffen ((2-hydroxy)carbamazepine, 4-formylaminoantipyridine en sulfamethoxazol) en minder mobiele stoffen (overige). De relatief lage concentraties kunnen wijzen op afbraak, maar kunnen ook veroorzaakt zijn door een beperkte mobiliteit.

TABEL 3-11. PEARSON CORRELATIECOEFFICIENTEN VOOR CL:BR EN DE CONCENTRATIES VAN DE RESTANTEN VAN GENEESMIDDELEN. CORRELATIES MET $P > 0.05$ ZIJN NIET WEERGEGEVEN.

| Correlatiecoëfficiënt | Cl:Br | 2Hydroxycarbamazepine | 4Formylaminoantipyridine | Carbamazepine | Clindamycine | Diclofenac | Guanylurea | Metformine | Metoprolol | Sulfamethoxazol |
|--------------------------|-------|-----------------------|--------------------------|---------------|--------------|------------|------------|------------|------------|-----------------|
| 2Hydroxycarbamazepine | 0.85 | | | | | | | | | |
| 4Formylaminoantipyridine | 0.9 | 0.93 | | | | | | | | |
| Carbamazepine | 0.88 | 0.95 | 0.92 | | | | | | | |
| Clindamycine | 0.37 | 0.6 | 0.41 | 0.5 | | | | | | |
| Diclofenac | 0.88 | 0.98 | 0.97 | 0.95 | 0.55 | | | | | |
| Guanylurea | 0.48 | 0.51 | 0.57 | 0.56 | | 0.59 | | | | |
| Metformine | | | | | | | 0.43 | | | |
| Metoprolol | 0.58 | 0.77 | 0.68 | 0.68 | 0.83 | 0.75 | 0.38 | | | |
| Sulfamethoxazol | 0.8 | 0.76 | 0.8 | 0.91 | | 0.77 | 0.53 | | 0.51 | |
| Tramadol | 0.66 | 0.82 | 0.75 | 0.76 | 0.8 | 0.83 | 0.63 | | 0.94 | 0.57 |

3.2.6 Discussie

- Het effluent van RWZI Haaksbergen is qua samenstelling vergelijkbaar met effluent van andere Nederlandse RWZI's. De chemische samenstelling van het effluent blijft onder de streefwaarden voor irrigatie van akkerbouw en grasland. Er is niet gekeken naar de verspreiding van micro-organismen.
- Verhoogde Cl:Br ratio's, die wijzen op de aanwezigheid van effluent, zijn onder drainniveau op de hoger op het perceel gelegen meetpunten (MP2, MP3B, MP6) gemeten. Op deze meetpunten zijn ook verhoogde concentraties van geneesmiddelenrestanten gevonden, alsmede van enkele elementen. Een aantal van de onderzochte geneesmiddelen vertoont geen tekenen van afbraak tijdens de periode van sub-irrigatie. Bij enkele andere restanten van geneesmiddelen waren de concentraties lager dan in het effluent, wat kan wijzen op afbraak, maar ook op een beperkte mobiliteit (sterke retardatie door bijvoorbeeld sorptie).
- Op de lager op het perceel gelegen meetpunten zijn geen verhoogde concentraties gevonden die duiden op de invloed van effluent. Mogelijk vindt de effectieve toevoer van effluent vooral plaats op de hoger gelegen delen van het perceel, waar duidelijk verhoogde Cl:Br ratio's zijn waargenomen.
- Bij het meetpunt bij de beek (MPBeek) zijn geen verhoogde concentraties gemeten, ondanks de verwachte stroming tussen het perceel en de beek. Gezien de geschatte stroming en effectieve snelheden is het mogelijk dat de pluim van effluent dit meetpunt nog niet heeft bereikt ten tijde van de meetmomenten.
- Boven drainniveau zijn licht verhoogde Cl:Br ratio's gemeten tijdens en na de sub-irrigatie. Op deze meetpunten zijn ook (zeer) lage concentraties van enkele geneesmiddelenrestanten aangetroffen.
- EC en pH metingen wijzen op de aanwezigheid van regenwaterlenzen tussen de drains. Het grondwater heeft hier eigenschappen die wijzen op een grote invloed van regenwater.
- Voor verhoogde concentraties van ijzer en arseen op enkele meetpunten lijkt geen direct verband te bestaan met het effluent.
- Bij de meetronden voorafgaand aan de sub-irrigatie zijn verhoogde concentraties geneesmiddelenrestanten gevonden. Deze concentraties zijn mogelijk overblijfselen van sub-irrigatie tijdens eerdere jaren. Andere mogelijke oorzaken omvatten irrigatie met beekwater (dat voor een groot deel uit effluent bestaat) of verspreiding via het grondwater van rwzi-effluent dat elders geïnfiltrerd is. De aangetroffen restanten van geneesmiddelen zijn relatief persistent en hebben een beperkte mobiliteit. Het is mogelijk dat er oplading van de bodem plaatsvindt bij langdurige en/of regelmatige blootstelling aan effluent.

4 Discussie en conclusie

4.1 Sub-irrigatie met RWZI-effluent in Haaksbergen

Op de Hoge Zandgronden neemt de druk op beschikbare waterbronnen door klimaatverandering toe, terwijl RWZI's dagelijks zoet restwater lozen op het oppervlaktewater. Gangbare irrigatiemethoden zijn mogelijk weinig efficiënt als gevolg van 'verwaaiing en verdamping' van het aangevoerde water. Bovendien leggen zij lokaal een sterke claim op beschikbare bronnen (Stuurman, Baggelaar et al. 2008). Sub-irrigatie kan efficiënter zijn doordat gewassen via de wortelzone, in plaats van via de lucht, van water worden voorzien. Op die manier vindt er geen verdamping van interceptiewater en vanuit de bodem plaats. Uiteraard wordt aandacht gevraagd voor verspreiding van geneesmiddelen en andere prioritair stoffen in gewas en grondwater bij sub-irrigatie met RWZI-effluent. Overtuigd van het belang om waterstromen in de toekomst optimaal te benutten, heeft Waterschap Vechtstromen het initiatief genomen om RWZI-effluent in een proefopstelling te hergebruiken middels sub-irrigatie. Door de techniek in een praktijkopstelling te testen en effecten in het veld te monitoren is een belangrijke stap gezet om de kansen en bedreigingen objectief vast te stellen.

In 2013 (korte test), 2015 en 2016 heeft sub-irrigatie met RWZI-effluent plaatsgevonden op een maïspaneel te Haaksbergen. In 2013 betrof dat een kortdurende proef, in 2015 is sub-irrigatie toegepast van 3 juni t/m 9 oktober. Gemiddeld is in 2016 van 1 juni tot 21 september 184 m³ per dag effluent in het KAD-systeem ingelaten, wat neerkomt op gemiddeld ongeveer 3,2 mm/d voor het proefperceel van 5,8 ha. Sub-irrigatie zorgt voor een dusdanige verhoging van de grondwaterstand en het bodemvochtgehalte in de wortelzone, dat droogtestress bij het gewas wordt verminderd.

Op basis van de gemeten stijghoogten lijken er een kleine neerwaartse flux van <1 mm/d en een grotere laterale flux (tot enkele cm/d) in de richting van de aangebrachte stijghoogtegradiënt plaats te vinden. Het effluent dat door middel van sub-irrigatie is ingebracht in het perceel, is vooral teruggevonden onder de drains. Tussen de drains zijn geen tracers van effluent waargenomen, en wezen EC en pH bovendien op de aanwezigheid van een regenwaterlens. Beide patronen lijken elkaar hier te bevestigen. De waterbalans laat zien dat de stroming van water vanuit het perceel naar het regionale grondwater en direct naar de beek in de orde van grootte is van 1 mm/d. Door sub-irrigatie is deze stroming 's zomers groter dan 's winters, omdat in het groeiseizoen de grondwaterstanden op het KAD-perceel hoger zijn dan in de directe omgeving met percelen zonder sub-irrigatie.

De stapsgewijs aangebrachte peilen in de drains verklaarden de algemene stroming van het diepere grondwater in noordwestelijke richting, en deden vermoeden dat de sub-irrigatieflux van effluent rondom de locaties met steilere gradiënten groter zou zijn dan elders. Dit is echter niet bevestigd door metingen. De metingen van de waterkwaliteit lieten zien dat effluent vooral op de hoger gelegen meetpunten (MP2, MP3B en MP6) gevonden werd. Op deze hoger gelegen locaties werd de grondwaterstand ook het sterkst beïnvloed door de sub-irrigatie. Op de lager gelegen meetpunten werd deze veel minder sterk waargenomen en zijn tevens geen aanwijzingen gevonden voor de aanwezigheid van effluent. Mogelijk vindt de sub-irrigatie vooral plaats op de hoger gelegen delen van het perceel en niet of nauwelijks op de lager gelegen delen.

Door enkele onzekerheden over de eigenschappen van de ondergrond en de hydrologische randvoorwaarden is nog veel onbekend over de stromingspatronen in het perceel. Naast het verkleinen van deze onzekerheden zou meer inzicht verkregen kunnen worden door een 3D modellering van de grondwaterstroming tussen drains, die verschillende stijghoogten als randvoorwaarde opleggen. De gemeten aan- en afvoer van het drainagesysteem zou gebruikt kunnen worden om deze simulaties te valideren. In de modellering zou conservatief en reactief stoftransport (met sorptie en afbraak) kunnen worden opgenomen, hoewel dit laatste veel aandacht voor parametrisatie vraagt.

Eerdere modellering van de stroming rondom een drain (Bartholomeus, van den Eertwegh et al. 2016) suggereerde dat bij het beëindigen van de sub-irrigatie een significant deel van de effluentbel via de drains uit het systeem stroomt. In deze modellering is echter geen rekening gehouden met laterale grondwaterstroming als gevolg van de aangebrachte stijghoogteverschillen. Middels een aanvullende modellering zou onderzocht kunnen worden op welke manier de laterale grondwaterstroming bijdraagt aan de verspreiding van het effluent.

Waterkwaliteitsmetingen boven de drains laten zien dat effluent zich in beperkte mate verspreidt in de richting van de wortelzone (minder dan 50% van de Cl:Br ratio's van het effluent). De onderzochte geneesmiddelen lijken hierbij minder mobiel te zijn dan de conservatieve tracers: van twee geneesmiddelen werden lage concentraties ($<0.04 \mu\text{g/l}$, $<5-8\%$ van de concentratie in het effluent) aangetroffen boven drainageniveau op één meetpunt.

4.2 Beschouwing van de risico's in Haaksbergen en mogelijke andere locaties voor sub-irrigatie met effluent

Effluent bevat een breed scala aan bestanddelen (waaronder vele contaminanten), met uiteenlopende eigenschappen op het gebied van toxiciteit, mobiliteit en persistentie/reactiviteit. Cirkel et al. (2017) gaan in op de verspreiding van verschillende stofgroepen die aanwezig kunnen zijn in effluent. De risico's die mogelijk schadelijke bestanddelen opleveren voor verschillende doeleinden, hangen samen met de verspreiding en de mate van verwijdering. Deze processen hangen mede af van de hydrologische situatie en bodemeigenschappen van de locatie waar sub-irrigatie plaatsvindt.

Verspreiding naar het oppervlak of gewas:

- In Haaksbergen is relatief beperkte verspreiding van effluent richting de onverzadigde zone en wortelzone waargenomen, waarbij de verspreiding van medicijnresten beperkt was. In deze situatie leek echter meestal sprake te zijn van een neerslagoverschot. In jaren waarin een (groot) neerslagtekort ontstaat in de zomer zou verspreiding door capillaire nalevering groter kunnen zijn.
- Het is niet bekend hoe de verspreiding van stoffen zich verhoudt tot de praktijk van beregenen met effluent-gevoed oppervlaktewater. Het is waarschijnlijk dat beregening leidt tot meer blootstelling van het bodemoppervlak en gewas indien het beregeningswater vergelijkbare concentraties heeft als effluent. Er zijn echter van dergelijke situaties geen metingen beschikbaar waarmee vergeleken kan worden.
- In de Nederlandse situatie is sprake van een jaarlijks gemiddeld neerslagoverschot, met 's zomers een neerslagtekort en 's winters een neerslagoverschot. Hierdoor is het onwaarschijnlijk dat mobiele stoffen zich over verschillende jaren ophopen in of rondom de wortelzone. Voor minder mobiele, persistente stoffen zou er wel accumulatie kunnen plaatsvinden. In Haaksbergen zijn rondom de drain verhoogde concentraties van persistente geneesmiddelen uit eerdere jaren waargenomen. De verspreiding en persistentie van deze stoffen, hoe deze afhangen van overige variabelen en welke

risico's hieraan verbonden zijn, zijn gewenste aandachtspunten voor verdere monitoring en onderzoek.

Verspreiding in het (diepere) grondwater

- Het risico van verontreiniging van het diepere grondwater is sterk afhankelijk van de hydrologische situatie. Voor zowel mobiele als minder mobiele stoffen zijn in Haaksbergen geen indicatoren van effluent gevonden op meer dan 2 meter onder de drains, wat in de lijn der verwachting ligt bij de geringe neerwaartse flux. Het effluent zal zich waarschijnlijk in laterale richting verder verspreiden. Uiteindelijk zal het grondwater lokaal of regionaal tot afvoer komen. Onderweg kan daarbij voor verschillende stoffen retardatie of afbraak plaatsvinden waardoor deze in lagere concentraties (of niet) in het oppervlaktewater terecht komen. Minder mobiele, persistente stoffen kunnen daardoor ophopen in de ondergrond, terwijl een pluim van mobiele stoffen via het grondwater tot afvoer zal komen.
- In gebieden waar het effluent zich tot grotere diepte kan verspreiden, bijvoorbeeld in infiltratiegebieden met meer neerwaartse stroming en diepere pakketten, zal de pluim langer verblijven in de ondergrond. Dit betekent dat er een grotere kans is op verspreiding over grotere afstanden, waarbij het risico toeneemt dat andere grondwatergebruikers (zoals drinkwaterwinningen) blootgesteld worden aan effluent.
- In kwelgebieden is de kans op grootschalige verspreiding in het grondwater van effluent kleiner, omdat het oppervlakkige grondwater hier relatief snel en lokaal tot afvoer komt.

Verspreiding via het oppervlaktewater:

- Aangezien bij sub-irrigatie bepaalde stoffen in de bodem (deels) achterblijven of afbreken, kan sub-irrigatie leiden tot minder verontreiniging van het oppervlaktewater, vergeleken met directe lozing op het oppervlaktewater.
- Voor conservatieve stoffen geldt dat tijdens de sub-irrigatie concentratiepieken in het oppervlaktewater worden afgevlakt doordat dispersie optreedt.
- Bij beëindiging van de sub-irrigatie kan echter een relatief grote concentratiepiek ontstaan, wanneer een deel van het toegevoegde effluent via het drainagesysteem in een korte periode naar het oppervlaktewater stroomt, als er drainage van neerslagoverschot plaatsvindt. Op locaties zoals Haaksbergen, waar de afvoer van de beek voor een groot deel uit effluent bestaat, zal dit waarschijnlijk weinig verschil maken, maar op locaties met relatief schoon oppervlaktewater is het mogelijk dat er effecten zijn.

Risico's voor drinkwaterwinningen:

- Voor grondwaterwinningen kan sub-irrigatie met effluent een risico vormen als de pluim zich in het diepere grondwater kan verspreiden, wat het geval kan zijn in infiltratiegebieden. Vergeleken met lozing van rwzi-effluent op een (infiltrerend) oppervlaktewaterlichaam, betekent sub-irrigatie dat stoffen zich gemakkelijker en diffuser kunnen verspreiden naar het grondwater.
- Voor oppervlaktewaterwinningen in wateren waar rwzi-effluent bovenstrooms geloosd wordt, kan sub-irrigatie met effluent betekenen dat tijdens de groeiperiode bepaalde stoffen in lagere concentraties aanwezig zullen zijn en het water mogelijk van iets constantere kwaliteit wordt. Dit is echter mogelijk niet het geval tijdens de periode kort na de beëindiging van sub-irrigatie, wanneer effluent via de drains terug kan stromen naar het oppervlaktewater, waardoor tijdelijk concentratiepieken kunnen ontstaan. Tijdens de winterperiode verandert er niets ten opzichte van de huidige situatie.
- Voor oppervlaktewaterwinningen in wateren waarop geen rwzi-effluent bovenstrooms geloosd wordt, kan sub-irrigatie van nabije landbouwgebieden ervoor zorgen dat stoffen uit het effluent in het oppervlaktewater terechtkomen via het grondwater en/of het drainagesysteem.

- Gezien bovenstaande punten is sub-irrigatie met effluent minder risicovol voor drinkwaterwinningen wanneer het effluent zich minder ver kan verspreiden in de ondergrond, zoals in kwelgebieden, en wanneer de drainageafvoer niet in oppervlaktewateren uitmondt die gebruikt worden voor drinkwater.

4.3 Aanbevelingen

Het inzetten van restwater voor droogtebestrijding is een vooruitstrevende technologische vorm van (klimaat)adaptatie om te anticiperen op toenemende watertekorten in de landbouw. Ondiepe sub-irrigatie van effluent via KAD is een nieuwe inpassing van water uit de waterketen in het watersysteem, waarbij het water ingebracht wordt daar waar en wanneer het nodig is. Het beeld uit de veldmetingen en modelberekeningen maakt het evident dat de vochtvoorziening van het gewas door sub-irrigatie wordt verbeterd.

Behalve RWZI's zijn ook restwaterstromen van industrieën beschikbaar om in te zetten voor de regionale watervoorziening. Bij hergebruik van RWZI-effluent voor sub-irrigatie zullen de meeste vragen omtrent waterkwaliteit en gezondheid worden gesteld. Dit onderzoek draagt eraan bij om verspreiding van geneesmiddelen richting grondwater en wortelzone te kwantificeren. Om risico's beter in te kunnen schatten is meerjarige monitoring op een veel breder scala aan stoffen noodzakelijk.

Om de kansen en risico's rondom waterhergebruik verder in beeld te brengen, worden de volgende stappen aanbevolen:

- Langjarig voortzetten en uitbreiden van de monitoring van effecten van sub-irrigatie met RWZI-effluent op het KAD-perceel Haaksbergen, met nadrukkelijke aandacht voor verspreiding naar het grondwater, om de vraag te beantwoorden in welke richting de stoffen zich bewegen, en of deze lokaal tot afvoer komen.
- Verscherping van de bepaling van het aandeel effluent in het bodemsysteem en KAD drainagewater door multitracing. Het huidige gebruik van de indicatoren (tracers) Cl, Cl/Br, EC en pH behoeft uitbreiding om de zekerheid te vergroten.
- In kaart brengen van de afvoer van water en effluent via het KAD systeem, inclusief waterkwaliteit, waarmee ingeschat kan worden hoeveel effluent in het perceel blijft en hoeveel met welke kwaliteit wordt afgevoerd.
- Uitbreiden met monitoring van specifieke microverontreinigingen in effluent en microbiologie (bacteriën/virussen).
- Stofeigenschappen onderzoeken ten aanzien van transport in bodem en grondwater van stof-, virus- en bacterietransport met behulp van literatuurstudie van kolomexperimenten en deze toepassen op in-situ metingen om werkelijke transportverschijnselen in de bodem te karakteriseren.
- RWZI-effluent wordt normaal gesproken afgevoerd via het oppervlaktewater. Het kan echter het grondwatersysteem alsnog bereiken door infiltratie vanuit beken, of doordat beregend wordt vanuit het oppervlaktewater. In de zomerperiode worden sommige beken op de hogere zandgronden vooral gevoed met RWZI-effluent (Figuur 4-1). We stellen daarom voor ook grondwaterkwaliteitsanalyse uit te voeren nabij een infiltrerende beek, gevoed met RWZI-effluent. Op die manier kunnen de effecten van reguliere lozing vergeleken worden met die van sub-irrigatie.
- Daarnaast stellen we voor om de verspreiding van microverontreinigingen en micro-organismen bij sub-irrigatie met effluent te vergelijken met die bij beregening met, deels uit effluent bestaand, oppervlaktewater en ook aandacht te besteden aan mogelijke risico's bij deze praktijk.
- 2D/3D verzadigd-onverzadigde modellering van grondwaterstroming, met aandacht voor de laterale grondwaterstroming als gevolg van de aangebrachte stijghoogtegradiënten.

- Modelleren uitbreiden met conservatief en reactief stoftransport in de bodem na sub-irrigatie
- Integrale verkenning voor hergebruik van gezuiverd restwater op grotere schaal met aandacht voor: regionale analyse waterhergebruik (kosten, baten, m³), beschikbare bronnen, effecten op de regionale grondwateraanvulling, analyse van de kansen en risico's omtrent hergebruik van industrieel vs. communaal effluent, inpassing waterhergebruik in het beleid, en ethiek, publieke perceptie en communicatie rondom waterhergebruik
- Verder bevorderen van de samenwerking tussen watertechnologen (waterketen) en hydrologen (watersysteem), waterschappen en drinkwaterbedrijven.



FIGUUR 4-1: VOEDING VAN DE BOLSCHERBEEK MET EFFLUENT (LINKS) IS IN DE ZOMERPERIODE GROTER DAN DE NATUURLIJKE AFVOER (RECHTS, OVER DE STUW). FOTO BOVEN BAS WORM, SITUATIE 8-7-2015. FOTO BENEDEN GÉ VAN DEN EERTWEGH, SITUATIE 18-7-2016.

5 Referenties

- Bartholomeus, R.P., Simons, G.W.H., Van den Eertwegh, G.A.P.H., 2015a. Anticipating on amplifying water stress: Optimal crop production supported by climate-adaptive water management. KWR 2015.062, KWR, Nieuwegein.
- Bartholomeus, R.P., van den Eertwegh, G.A.P.H., Cirkel, D.G., 2016. Hergebruik restwater voor zoetwatervoorziening in het landelijk gebied: Monitoring sub-irrigatie met RWZI-effluent Haaksbergen. BTO 2016.050 KWR, Nieuwegein.
- Bartholomeus, R.P., Van den Eertwegh, G.A.P.H., Simons, G.W.H., 2015b. Naar online en optimale sturing van Klimaat Adaptieve Drainage. Stromingen, 24(4): 27-41.
- Bot, B., 2016. Gwz2016. Bot, Rotterdam.
- CHO-TNO, 1988. Van Penman naar Makkink. Rapporten en Nota's., CHO-TNO.
- Cirkel, D.G., Van den Eertwegh, G., Stofberg, S.F., Bartholomeus, R., 2017. Kennisdocument Hergebruik van Restwater voor de Landbouwwatervoorziening. BTO 2017.009 KWR, Nieuwegein.
- Droogers, P., Kuipers, L., Van Bakel, P.J.T., Van Iersel, A., 2010. Klimaat Adaptieve Drainage: een innovatieve methode om piekafvoeren en watertekorten te verminderen. September 2010. Eindrapportage Haalbaarheidsonderzoek. Opdrachtgever: Ministerie van Verkeer en Waterstaat – SBIR programma. FutureWater Rapport nr. 96.
- Kodešová, R. et al., 2016. An analysis of the dissipation of pharmaceuticals under thirteen different soil conditions. Science of the Total Environment, 544: 369-381.
- Oosterhuis, M., Groteboer, A., van der Wiele, P., 2011. Emissie geneesmiddelen bij de bron aanpakken. H 2 O, 44(9): 30.
- Schaap, J., Lamberink, K., Hoving, I., Van Essen, E., Van Bakel, J., 2014. Monitoringsrapport Landbouw Op Peil, Aequator Groen & Ruimte bv, Dronten.
- Stuurman, S., Baggelaar, P., Berendrecht, W., Buma, J., De Louw, P., Oude Essink, G., 2008. Toekomst van de Nederlandse grondwatervoorraad in relatie tot klimaatverandering, TNO-rapport 2008-U-R0074/B. TNO Bouw en Ondergrond, Utrecht.
- Stuyfzand, P.J., 1993. Hydrochemistry and hydrology of the coastal dune are of the Western Netherlands. KIWA, afd. Onderzoek & Advies, Nieuwegein.
- Ter Maat, J., Van der Vat, M., 2015. Cumulatieve effecten van externe ingrepen voor de zoetwatervoorziening in de 21e eeuw, Deltares.
- Van Bakel, P.J.T., Meijs, R.M., van den Eertwegh, G.A.P.H., 2013. KlimaatAdaptieve Drainage. Ontwerp, kalibratie en installatie van een meetinrichting voor het debiet uit het drainagesysteem, FutureWater.

Van den Eertwegh, G.A.P.H., Kuipers, L., Klerk, W., Van Bakel, J., Stuyt, L., Van Iersel, A., Talsma, M., 2013. KlimaatAdaptieve Drainage: een innovatieve methode om piekafvoeren en watertekorten te verminderen. Eindrapportage Fase 2 'Onderzoek en Ontwikkeling'. Referentienummer SBIR113008. , FutureWater rapport nr. 121.

Van der Aa, N., Kommer, G., de Groot, G., Versteegh, J., 2008. Geneesmiddelen in bronnen voor drinkwater. Monitoring, toekomstig gebruik en beleidsmaatregelen, Pharmaceuticals in sources for drinking water. Monitoring, future consumption and policy measures. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu RIVM.

Zhang, Y., Geißen, S.U., Gal, C., 2008. Carbamazepine and diclofenac: Removal in wastewater treatment plants and occurrence in water bodies. Chemosphere, 73(8): 1151-1161.

Zoetwatervoorziening Oost Nederland, 2012. Regionale rapportage Regio Oost voor deelprogramma Zoetwater.

Bijlage I Figuren gemeten stofconcentraties (digitaal)