

# SPAARWATER

## Effectief watergebruik: Druppelirrigatie en fertigatie

Deelrapport 2013-2015



MRT  
2016

## Samenvatting

---

Dit rapport 'Effectief watergebruik: Druppelirrigatie en fertigatie' is onderdeel van de serie rapporten van het project Spaarwater I. In deze rapportage worden de effecten van druppelirrigatie met perceelseigen water uit de ondergrondse opslag op de bodemvochthuishouding beschreven, zoals getest in de pilotlocaties in Breezand en Borgsweer. Tevens wordt de invloed van fertigatie op de nutriënten voorziening van de bollenteelt in Breezand, en de mogelijke uitspoeling van nutriënten naar het drainwater beschreven.

Uit het onderzoek blijkt dat in kleigrond van Borgsweer druppelirrigatie de vochtlevering aan de plant sterk kan verbeteren, omdat het vocht leverend vermogen van kleigronden in droge tijden beperkt is. In zandgrond van Breezand is de toegevoegde waarde van druppelirrigatie voor de vochtvoorziening minder, als deze wordt gecombineerd met een kunstmatig verhoogde grondwaterstand. Deze hoge grondwaterstand zorgt namelijk voor een goede vochtlevering aan de plant in droge tijden.

De fertigatie via druppelslangen, die in Breezand is toegepast heeft wel een duidelijke toegevoegde waarde. Middels de fertigatie konden de benodigde meststoffen op eenvoudige wijze op de juiste plaats worden toegediend. De combinatie van watervoorziening en het gericht toedienen van meststoffen heeft op het zandperceel met bloembollen geleid tot een meeropbrengst in de vorm van een grotere bloembollen (ziftmaat). Dit resulteert naar schatting tot een meeropbrengst van enkele duizenden euro per ha. De verbeterde watervoorziening heeft in het kleiperceel in Borgsweer geleid tot een betere opbrengst met betrekking tot zowel aantal aardappelknollen als het totaalgewicht. Het verschil in opbrengst kan voorzichtig worden vertaald naar een meeropbrengst van naar schatting € 1000 tot €1500 per ha.

---

## Colofon

Documenttitel	. Spaarwater: Effectief zoetwater gebruik met druppelirrigatie
Status	. Achtergrondrapportage
Datum	. 1 maart 2016
Projectnummer	. 532
Hoofdauteurs	. Maarten Waterloo (Acacia Water), Jaco van der Gaast (Acacia Water), Wyncko Tonckens (Delphy), Guus Braam (Delphy), Arie-Jan Broere (Broere Beregening), Sieger Burger (Acacia Water)
Met bijdragen van	. Michel Verbruggen (Acacia Water), Thijs Langeveld (Teler Breezand), Pieter Noordam (Teler Borgsweer), Peter van Noort (Yara), Jasper van de Pijl (Yara), Mirjam van Maanen (Student VU), Ticho Cornelisse (Student VU), Jacob Dogterom (Delphy), Jouke Velstra (Acacia Water)

---

### Disclaimer

Rapport: Aan dit rapport kunnen geen rechten worden ontleend. De auteurs zijn niet verantwoordelijk voor eventuele fouten of consequenties. Aanvullingen of verbeteringen zijn welkom via [info@acaciainstitute.nl](mailto:info@acaciainstitute.nl)

---

# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding.....</b>	<b>1</b>
1.1	Algemene introductie en doelstelling.....	1
1.2	Bodemvocht en irrigatie .....	2
1.3	Hypothese en onderzoeksvragen.....	5
1.4	Leeswijzer.....	5
<b>2</b>	<b>Proeflocaties Breezand en Borgsweer .....</b>	<b>7</b>
2.1	Breezand.....	7
2.1.1	Bodem .....	8
2.1.2	Klimaat .....	9
2.2	Borgsweer.....	9
2.2.1	Bodem .....	9
2.2.2	Klimaat .....	9
<b>3</b>	<b>Methoden .....</b>	<b>11</b>
3.1	Opvangen, infiltreren en onttrekken.....	11
3.2	Het systeem Breezand.....	12
3.3	Het systeem Borgsweer.....	13
3.4	Monitoring in Breezand.....	14
3.5	Monitoring in Borgsweer .....	16
3.6	Laboratoriumanalyses .....	17
3.7	Modelleren van onverzadigde zone .....	17
<b>4</b>	<b>Resultaten van de metingen .....</b>	<b>19</b>
4.1	Vochthuishouding.....	19
4.1.1	Zandperceel Breezand .....	19
4.1.2	Kleiperceel Borgsweer .....	24
4.2	Watergift en grondwaterstand.....	32
4.2.1	Zandperceel Breezand .....	32
4.2.2	Kleiperceel Borgsweer .....	32
4.3	Bodemvochtsimulaties.....	34
4.3.1	Simulaties voor het zandperceel Breezand .....	39
4.3.2	Simulaties voor het kleiperceel Borgsweer .....	42
<b>5</b>	<b>Fertigatie.....</b>	<b>45</b>
5.1	Bemesting.....	45
5.1.1	Bemesting zandperceel Breezand.....	45
5.1.2	Bemesting kleiperceel Borgsweer.....	46

5.2	Chemie van het onttrokken grondwater Breezand .....	46
5.3	Uitspoeling van nutriënten .....	47
5.3.1	Fertigatie en verspreiding van nutriënten in de bodem van het zandperceel Breezand....	48
5.3.2	Druppelirrigatie en stikstof in het kleiperceel Borgsweer .....	52
5.4	Effect van druppelbevloeiing en fertigatie op de gewasopbrengst.....	53
5.5	Samenvatting van de resultaten .....	54
<b>6</b>	<b>Systeminnovaties .....</b>	<b>55</b>
6.1	Aanleg oppervlakkig druppelirrigatiesysteem Breezand.....	55
6.2	Aanleg diep druppelirrigatiesysteem Borgsweer .....	56
6.3	Irrigatie en bodemvocht .....	57
6.4	Systeemverandering ter voorkoming van anoxische condities in de bodem.....	58
<b>7</b>	<b>Conclusies .....</b>	<b>59</b>
7.1	Inleiding .....	59
7.2	Locatie specifieke elementen die bepalend zijn voor succes .....	59
7.2.1	Druppelirrigatie en bodemvocht .....	59
7.2.2	Nutriënten toediening .....	60
7.3	Generieke elementen die bepalend zijn voor succes .....	61
7.4	Conclusies.....	61
7.4.1	Opbrengst.....	61
7.4.2	Watergebruik .....	62
7.4.3	Kleiperceel en poot aardappelteelt.....	62
7.4.4	Zandperceel met bollenteelt .....	62
7.4.5	Nutriënten.....	62
7.4.6	Aanleg en functioneren van de systemen .....	63
7.5	Aanbevelingen .....	64
7.5.1	Veldstudies .....	64
7.5.2	Modelstudies .....	65
<b>8</b>	<b>Referenties .....</b>	<b>67</b>

Deze rapportage is onderdeel van onderstaande serie rapporten

### Hoofdrapport

Spaarwater pilots rendabel en duurzaam agrarisch watergebruik in een verziltende omgeving van de Waddenregio, Resultaten 2013-2015

### Achtergrondrapporten

- Eigen watervoorziening – Zoetwaterbeschikbaarheid.
- **Effectief watergebruik met druppelirrigatie**
- Verziltingsbestrijding met systeem gerichte drainage
- Eigen watervoorziening – Vastlegging en afbraak van nutriënten en bacteriën
- Eigen watervoorziening – Gewasbeschermingsmiddelen
- Technisch-juridische handreiking risicobeoordeling ‘ondergrondse waterberging’
- Economische Haalbaarheid Spaarwater
- Verslag kennisdeling en communicatie

De rapportages zijn digitaal beschikbaar op [www.Spaarwater.com](http://www.Spaarwater.com)







# 1 Inleiding

## 1.1 Algemene introductie en doelstelling

Het gebied langs de Waddenzee leent zich bij uitstek voor landbouw en staat bekend als één van de beste landbouwgronden van Europa. De landbouw is een belangrijke economische motor in het gebied. Het Waddengebied kenmerkt zich echter ook door een ondiepe zoet-zout overgang in het grondwater en van nature zoute sloten. Dit zorgt ervoor dat de zoetwatervoorziening in dit gebied niet vanzelfsprekend is. Door klimaatverandering en een toenemende vraag naar zoetwater kan de zoetwatervoorziening onder druk komen te staan. Daarom worden in het project Spaarwater een aantal zoetwatermaatregelen ontwikkeld die verzilting tegengaan en lokaal zoetwater beschikbaar maken ten behoeve van de landbouw.

Spaarwater bestaat uit vier innovatieve onderdelen, die afzonderlijk, of in combinatie kunnen worden toegepast:

1. Eigen watervoorziening door het opvangen van perceelseigen water,
2. Eigen watervoorziening door ondergrondse zoetwaterberging,
3. Effectief watergebruik voor landbouw met druppelirrigatie en,
4. Verziltingsbestrijding met systeem gerichte drainage.

Op vier locaties worden pilots uitgevoerd. Op de proefpercelen Breezand en Borgsweer wordt een combinatie van ondergrondse zoetwaterberging van perceeleigen water en druppelirrigatie getest. In Hornhuizen en Herbaijum worden verschillende vormen van systeemgerichte drainage onderzocht.

Dit rapport is onderdeel van een serie Spaarwater rapporten. In deze rapportage worden de effecten van druppelirrigatie met perceelseigen water uit de ondergrondse opslag op de bodemvochthuishouding beschreven, zoals getest in de pilotgebieden in Breezand en Borgsweer. Tevens wordt de invloed van fertigatie op de nutriënten voorziening van de bollenteelt in Breezand, en de mogelijke uitspoeling van nutriënten naar het drainwater beschreven. De studie richt zich op:

- Het gebruik van druppelirrigatie voor vollegrondsteelt en rotatieteelt in een gematigd klimaat, ter optimalisatie van de hoeveelheid voor de plant beschikbaar bodemwater in het groeiseizoen in zand en kleibodems;
- Verschillen in aanleg en gebruik van druppelirrigatie tussen zand en kleipercelen, en tussen oppervlakkige en diepe watergift in de bodem;
- Toediening van nutriënten via fertigatie voor gewasproductie en gevolgen van deze toediening voor uitspoeling naar het ondiepe grondwater;

Voor resultaten op het gebied van de waterkwantiteit, inclusief zoet-zout aspecten van kunstmatige infiltratie, de haalbaarheid voor het beschikbaar maken van zoetwater voor irrigatie, en begrip van de werking van het systeem voor opvang van perceelseigen water en ondergrondse zoetwaterberging wordt verwezen naar rapport A in de Spaarwaterreeks.

Vernieuwend is de combinatie met het toedienen van zoetwater dat op het perceel zelf is opgevangen en opgeslagen (zie rapportage A). Hiermee kan een gesloten systeem worden gerealiseerd, waardoor bijvoorbeeld gewasziektes minder kans krijgen (dit onderdeel is verder beschreven in rapportage D). Op deze wijze zou irrigatie mogelijk worden in gebieden waar dat voorheen, door bijvoorbeeld het risico van bruinrot, verboden was, of waar de kwaliteit van het oppervlaktewater onvoldoende was.

Verwacht werd dat de toepassing van druppelirrigatie tot de volgende voordelen leidt:

- Effectievere benutting van het beschikbare water (meer opbrengst per m<sup>3</sup> water) ten opzichte van andere vormen van irrigatie, zoals via sproei installaties;
- Betere mogelijkheid tot optimalisatie van het voor de plant beschikbare bodemvocht in de wortelzone gedurende alle fasen van de gewasgroei;
- Tijdige en makkelijk uitvoerbare gift van nutriënten direct in de wortelzone, waardoor een reductie gerealiseerd zou kunnen worden van benodigde meststoffen;
- Verhoging van de gewasopbrengst, zowel in gewicht als in kwaliteitsklasse

Om deze verwachtingen te toetsen het doel en de onderzoeksvragen van deze studie zodanig geformuleerd, dat met behulp van metingen en modelstudies meer inzicht werd verkregen in de toepassing van druppelirrigatie voor bewatering en fertigatie in een gematigd, niet aride klimaat, en in sterk verschillende zand- en kleibodems. De twee belangrijke onderzoeksvragen hierbij zijn 1) hoe het irrigatiewater in de bodem herverdeeld wordt na toediening, en 2) of de toegediende nutriënten ook in de wortelzone terechtkomen en daar beschikbaar blijven voor opname door de plant. Verder is het belangrijk inzicht te krijgen in de optimale manier van aanleg en gebruik van druppelirrigatiesystemen voor verschillende gewasypen (e.g. bloembollen- en aardappelteelt).

## 1.2 Bodemvocht en irrigatie

Variaties in het bodemvochtgehalte worden in een natuurlijke situatie veroorzaakt door infiltratie van regenwater, verdamping vanuit de bodem en onttrekking van bodemvocht door plantenwortels (transpiratie). Indien een bodem te nat wordt kan er een zuurstoftekort in de wortelzone ontstaan, terwijl als de bodem teveel uitdroogt onttrekking van water en nutriënten door de wortels bemoeilijkt wordt. In beide situaties veroorzaakt dit suboptimale gewasgroei. Een adequate regeling van het bodemvochtgehalte binnen bepaalde limieten is derhalve een voorwaarde voor optimale productie (Shaxon en Barber, 2003; Shock en Wang, 2011) en het voorkomen van droogte- of natschade. Een optimaal beheer van bodemvocht ter voorkoming van droogteschade wordt in de praktijk bereikt door tijdige beregening (Snellen en van Hattum, 2015; Katoele en Overgauw, 2015), terwijl een goed werkend drainagesysteem dient ter voorkoming van natschade (van Bakel et al., 2008). Beregening wordt echter ook wel toegepast ter voorkoming van ziekten, zoals schurft (*Streptomyces scabies*) bij pootaardappelen (Alblas en Froot, 2002). De beregening wordt nu gewoonlijk gedaan met beregeningsinstallaties (beregeningboom of waterkanon), die gevoed worden met oppervlakte- of grondwater van de juiste kwaliteit (zoutgehalte, pathogenen). Nadelen van deze methode van beregening is dat er relatief veel water verloren gaat via verdamping tijdens het sproeien, dat waterdruppels die op het gewas achterblijven schimmelinfecties of verbranding kunnen veroorzaken, dat er bodemerosie op kan treden door druppelinslag en oppervlakkige waterafvoer, en dat het beregende water ongelijkmatig verdeeld wordt over het perceel, zeker als er enige wind staat (Katoele en Overgauw, 2015).

Druppelirrigatie is een alternatieve techniek waarmee water via kunststof slangen met op regelmatige afstand geplaatste ventielen aan het bodemoppervlak, of in de bodem op worteldiepte, gedoseerd kan worden gegeven. In tegenstelling tot beregeningsystemen zorgt dit systeem voor een heel precieze toediening van water aan elke plant, waardoor het veel efficiënter is in het watergebruik en in aride gebieden besparingen van 10% tot 50% kunnen worden gerealiseerd (van Geel, 2004; Thomson et al., 1999; Katoele en Overgauw, 2015; Miles et al., 2015). Druppelirrigatie, al dan niet in combinatie met fertigatie, levert vooral voordelen op in droge gebieden en op arme gronden (van Geel, 2004).



Deze methode van irrigeren heeft niet de nadelen van de methode waarbij een beregeningsstelsel gebruikt wordt, maar kan arbeidsintensiever in de aanleg en verwijdering zijn, en levert derhalve mogelijk hogere kosten op.

De vragen die bij irrigatie en fertigatie belangrijk zijn is wanneer en hoeveelvocht en nutriënten toegediend moeten worden voor een optimale opbrengst. Voor optimale groei van een gewas moet de vochtigheid van de bodem tussen bepaalde grenswaarden liggen. Indien voor een bepaald gewas deze grenswaarden bekend zijn kan daarop gestuurd worden door bij dreigend vochttekort het irrigatiesysteem tijdig in werking te stellen waardoor de bodem altijd voldoende vocht bevat. Het vochtgehalte waarbij er te weinig vocht in de bodem aanwezig is voor optimale groei, is afhankelijk van zowel het soort gewas als van de bodemtextuur. Voor een zandige bodem kan dit minimum vochtgehalte onder de 10% liggen, terwijl een kleiige bodem al te droog kan zijn bij een vochtgehalte van 30%. Om deze reden wordt dan ook als grenswaarde de kracht waarmee het water gebonden is in de poriën van de bodem gebruikt. Dit wordt ook wel de bodemvochtspanning genoemd. Deze vochtspanning wordt uitgedrukt als een hydrostatische onderdruk in drukeenheden, zoals de hectoPascal (hPa), kiloPascal (kPa) of in cm waterkolom.

De situatie die in de bodem ontstaat na uitzakking van regenwater vormt de begrenzing van de voor de plant beschikbaar hangwater aan de natte zijde. Uitgaande van een grondwaterstand van 100 cm beneden maaiveld aan het begin van het groeiseizoen ligt de minimum bodemvochtspanning in de wortelzone rond die 100 cm water. Dit wordt ook wel de veldcapaciteit genoemd. Bij waarden van onder de 100 cm is de bodem te nat en ontstaat er in het algemeen een gebrek aan zuurstof in de bodem, wat leidt tot wortelschade. Bij bodemvochtspanningen van rond de 16.000 cm in de wortelzone, daarentegen, is de bodem zo droog geworden dat de meeste planten permanente verwelking ondergaan en afsterven. Omdat de retentie van vocht in de bodem niet lineair is, wordt de bodemvochtspanning vaak in logaritmische eenheden uitgedrukt. Hierbij wordt dan gesproken over de pF, die de logaritmische waarde voorstelt van de hydrostatische onderdruk in cm water. Een pF waarde van 2,0 (=  $^{-10}\log 100$ ) geeft dan de veldcapaciteit weer, terwijl het permanente verwelkingspunt bij een pF waarde van 4,2 bereikt wordt. Het voor de planten beschikbare water is het water dat uit de bodem onttrokken kan worden tussen deze extremen. Dit is voor een grofkorrelige zandige bodem minder dan voor een fijnkorrelige kleibodem. Voor een goede gewasproductie wordt aangehouden dat tijdige irrigatie nodig is zodat het bodemvochtgehalte niet daalt onder 50% van het voor de plant beschikbare water (Singh, 1969; Trotter, 2015).

In het algemeen worden bodemvochtspanningen in de wortelzone van 10-20 kPa (pF waarde tussen de 2,0 en 2,3) als ondergrens voor gewassen beschouwd, waaronder irrigatie gestopt kan worden (Trotter, 2015). Voor een zandige bodem wordt irrigatie aanbevolen als de bodemvochtspanning in de wortelzone in droge perioden oploopt tot boven de 40 kPa (pF= 2,6), terwijl de bodemvochtspanning voor zware klei wat verder op zou mogen lopen tot 60-80 kPa (pF= 2,8-2,9; Trotter, 2015). Trotter (2015) adviseerde om de bodemvochtspanning in de wortelzone nooit op te laten lopen tot boven de 100 kPa (pF= 3,0) om schade te voorkomen.

De tolerantie voor natschade en droogte verschilt tussen gewassen. Shock en Wang (2011) en Trotter (2015) hebben voor een aantal gewassen drempelwaarden gepubliceerd waarboven irrigatie gewenst is. Voor een select aantal gewassen zijn deze waarden gegeven in tabel 1-1 **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden..** De laagste waarden werden voor sla (*Lactuca sativa*; 6,5 kPa, pF=1,8) en spinazie (*Spinacea Oleracea*; 9 kPa, pF= 2,0) gemeten, terwijl wortel (*Daucus carota* var. *sativa*) en bonen beter tegen droogte kunnen, en bij een vochtspanning van rond de 50 kPa (pF= 2,7) geïrrigeerd moeten worden. Voor granen en mais geeft van der Schans (2015) een pF-waarde van 2,9 als grenswaarde voordat beregening nodig is. Paauw (2001) hield een vochtspanning aan van 35 kPa (pF= 2,55) waarboven geïrrigeerd werd voor Bintje consumptieaardappelen op kleigrond.

Tabel 1-1. Grenswaarden voor bodemvochtspanningen waarboven irrigatie gestart dient te worden voor een selectie van gewassen. De meetzone geeft aan op welke diepte de vochtspanning in de wortelzone gemeten werd en is een indicatie voor de wortelzone.

Gewas	Meetzone [m]	Bodemvochtspanning [kPa]	pF	Bron
Broccoli	0,2-0,6	24	2,4	Trotter (2015)
Broccoli <sup>1</sup>	0,3	10-12	2,0-2,1	Shock en Wang (2011)
Kool	0,2-0,6	35	2,5	Trotter (2015)
Kool <sup>2</sup>	0,1	25	2,4	Shock en Wang (2011)
Aardappel	0,1-0,6	25	2,4	Trotter (2015)
Aardappel	0,1-0,4	-	2,6	Van der Schans (2015)
Aardappel <sup>3</sup>	0,1-0,6	30-60	2,5-2,8	Shock en Wang (2011)
Uien	0,1-0,4	25	2,4	Trotter (2015)
Uien <sup>4</sup>	0,2	10-30	2,0-2,5	Shock en Wang (2011)

<sup>1</sup>*Brassica oleracea* var. *italica*

<sup>2</sup>*Brassica oleracea* var. *capitata*

<sup>3</sup>*Solanum tuberosum*

<sup>4</sup>*Allium cepa*

Een druppelirrigatiesysteem kan ook gebruikt worden om nutriënten of pesticiden op het juiste tijdstip en in de juiste dosering dicht bij de wortels te leveren. In dit geval is er sprake van fertigatie. Fertigatie vermindert de kans op afspoelen van de nutriënten tijdens perioden van hoge neerslag of van het vervluchtigen in periodes van droogte (Bal ab en Verhage, 2012). Ook is aangetoond dat fertigatie met N de kwantiteit en kwaliteit van het product kan verbeteren en daarmee ook de financiële opbrengst kan verhogen, zonder dat verontreiniging van het grondwater met N hoeft op te treden (Pier en Doerge, 1995; Thomson en Doerge, 1996; Paauw, 2001)

In een studie naar de effecten van fertigatie met stikstof via druppelbevloeiing van pootaardappelen met de slangen bovenin de ruggen op droge zandgronden in Nederland bleek dat de hogere kosten van een fertigatiesysteem niet opwogen tegen de voordelen. Uit een studie naar de effecten van beregenen, irrigeren en fertigatie met N-gift bij Bintje consumptie-aardappelen, uitgevoerd tussen 1998 en 2000, bleek dat beregenen en irrigeren bij gelijke N-gift geen voordelen bood, maar dat de N-gift bij fertigatie sterk verlaagd kon worden voor eenzelfde opbrengst (Paauw, 2001). De N-gift had een positief effect op het onderwatergewicht en de grofheid van de oogst. Paauw (2001) merkte wel op dat de resultaten beïnvloed waren door de goede bodemvochtcondities tijdens de proef. Onder deze condities bleken de hogere kosten van het fertigatiesysteem (1.000 euro ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup>) niet terugverdiend te worden. In het aride klimaat van Tunesië, waar de jaarlijkse neerslag minder dan 200 mm is, stelde Thabet (2013) echter een waterbesparing vast van 60% voor druppelbevloeiing van een zandige bodem ten opzichte van oppervlakte irrigatie, en een 65% hogere opbrengst van peper (*Capsicum annuum*. L.). Dit geeft aan dat de voordelen van druppelbevloeiing mede afhankelijk zijn van de beschikbare hoeveelheid water in de bodem en hoger worden naarmate er minder neerslag is.

In de kustzones van Noordwest Nederland en in Zuid Nederland is het langjarige jaarlijkse hoeveelheid neerslagoverschot lager dan in midden Nederland (bron: KNMI Klimaatatlas), en heeft men te maken met zoutwater problematiek in de bodem, waardoor druppelirrigatie een gunstige effecten kan hebben op de efficiëntie van de landbouw. De in deze rapportage besproken druppelirrigatiesystemen zijn geïntegreerd in een groter systeem dat de agrariër zelfvoorzienend zou kunnen maken voor zijn watervoorziening, *i.e.* dat deze niet meer afhankelijk is van een goede kwaliteit van het oppervlaktewater voor de beregening. In dit systeem wordt zoet water dat in natte perioden via buisdrainage uit het perceel zou worden afgevoerd verzameld en ondergronds opgeslagen. Dit water wordt dan later, zodra irrigatie/fertigatie nodig is, opgepompt en via het druppelirrigatiesysteem naar het gewas gebracht.

Verwacht wordt dat in de toekomst de beschikbaarheid van zoet water op bepaalde plaatsen in Nederland zal verminderen (Klein Tank en Lenderink, 2009; Vuurens en Speets, 2011; van Minnen en Ligtoet, 2012) en dat extreme weersomstandigheden een grotere invloed op de landbouw zullen krijgen (Grontmij, 2010; Blom en den Braber, 2010; Zoetendal, 2010). De hoge waterefficiëntie van een dynamisch waterlevering systeem zou een oplossing kunnen zijn om de gevolgen van veranderingen in neerlag ten gevolge van klimaatverandering op te vangen.

In deze studie zijn op twee proeflocaties, Breezand en Borgsmeer, studies gedaan naar de effecten van druppelirrigatie en nutriënten gift op de opbrengst. Op het proefperceel in Breezand is gewerkt aan de zoetwaterbeschikbaarheid en bestrijding van verzilting door ondergrondse opslag van perceeleigen water, verzameld uit het ontwateringssysteem van het perceel (zie rapport A). Het in de winter geïnjecteerde water werd later op een efficiënte wijze hergebruikt middels druppelirrigatie (deze rapportage). Verder is er een studie gedaan naar afbraak van nutriënten en de vermindering van de afspoeling daarvan naar het oppervlaktewater (zie rapport D). Op het perceel in Borgsmeer, waar het grondwater zout is, is gewerkt aan het beschikbaar maken van zoet water en het bestrijden van verzilting van bodemwater door het gebruik van ondergrondse opslag van perceeleigen water (zie rapport A). Efficiënte druppelirrigatie is op dit perceel uitgetest middels een onder de bouwvoor gelegen druppelirrigatiesysteem (deze rapportage). Ook is er gekeken naar de potentie van het systeem voor afbraak van pathogenen (zie rapport D).

Op beide locaties waren naast de proefvelden referentiepercelen aangelegd die op eenzelfde manier werden gemonitord om de resultaten van verschillende beheersmaatregelen te kunnen evalueren.

### 1.3 Hypothese en onderzoeksvragen

In het licht van bovenstaande is de algemene hypothese dat druppelirrigatie en fertigatie in Nederland potentie heeft om de efficiëntie van water en nutriënten gebruik te verhogen, en tevens kan leiden tot een hogere opbrengst. Om deze hypothese te testen zijn de volgende concrete onderzoeksvragen geformuleerd:

1. Wat is de invloed druppelirrigatie op het bodemvocht;
2. Welke invloed heeft de textuur van de bodem op de verdeling van het bodemvocht met en zonder druppelirrigatie;
3. Wat is het verschil tussen ondiepe en diepe druppelirrigatie;
4. Hoeveel water dient er toegediend te worden voor een goede vochtthuishouding, en met welke frequentie van watergift is dit te realiseren;
5. Hoe worden de nutriënten die bij fertigatie ingebracht worden verdeeld in de bodem;
6. Vindt uitspoeling van nutriënten plaats naar het ondiepe grondwater tijdens het groeiseizoen;
7. Wat is de invloed van fertigatie op de gewas productie.

Deze onderzoeksvragen en de daarvoor verrichte metingen en modelsimulaties worden in deze rapportage behandeld, en worden voorzien van conclusies en aanbevelingen.

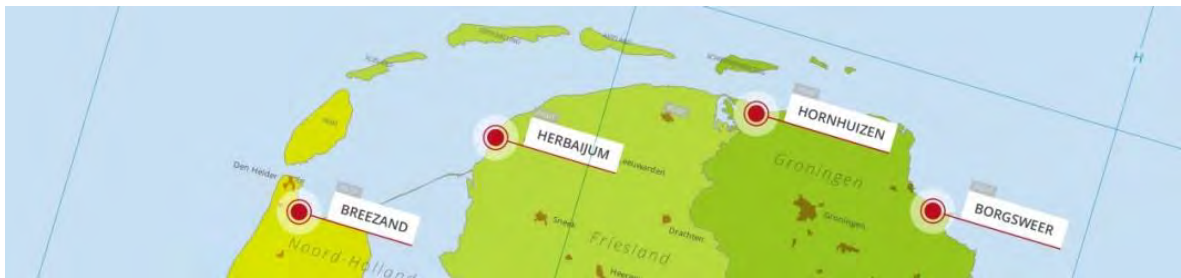
### 1.4 Leeswijzer

In dit rapport worden de resultaten van de pilotproeven gegeven. Een overzicht van de proeflocaties en de gebruikte onderzoeksmethoden zijn gegeven in hoofdstukken 2 en 3. De resultaten van de metingen van bodemvocht, vochtspanning en watergift, en de daaraan verbonden modelsimulaties van de bodemvochtthuishouding zijn beschreven in hoofdstuk 4, terwijl de aspecten van fertigatie behandeld zijn in hoofdstuk 5. In Hoofdstuk 6 worden deze resultaten bediscussieerd. In hoofdstuk 7 worden de conclusies en aanbevelingen beschreven.



# 2 Proeflocaties Breezand en Borgsweer

Binnen het Spaarwater project zijn studies gedaan op vier proeflocaties (zie figuur 2-1). Op de proeflocaties Breezand en Borgsweer werd ondergrondse opslag van perceeleigen water gerealiseerd om dit water later te hergebruiken via druppelirrigatie. In Herbaijum en Hornhuizen werden experimenten uitgevoerd met systeemgerichte drainage. In deze rapportage wordt het gebruik via druppelirrigatie van het ondergronds opgeslagen perceeleigen water in het zandperceel Breezand en het kleiperceel Borgsweer beschreven.



*Figuur 2-1. Geografische ligging van de Spaarwater proefvelden in Noord Holland (Breezand), Friesland (Herbaijum) en Groningen (Hornhuizen, Borgsweer).*

## 2.1 Breezand

Het zandperceel in Breezand ligt op ongeveer 1,3 km afstand van de Waddenzee in de Anna Paulowna polder, één van de noordelijkste polders van het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier in Noord Holland. Voor de inpoldering in de 19<sup>e</sup> eeuw had de zee vrij spel in het gebied. Gevolg hiervan is dat de toplaag van de bodem zeer inhomogeen kan zijn, daar kreekruggen, klei en veenlagen op korte afstand van elkaar kunnen voorkomen. Na de inpoldering zijn in de loop der tijd de percelen geschikt gemaakt voor bloembollenteelt. Hiervoor zijn watergangen aangelegd voor afwatering, die later ook een functie gekregen voor zoetwateraanvoer. Daarnaast is een toplaag van 70 cm, bestaande uit fijn zand, op de percelen gebracht. Dit is gebeurd door een omkering van het grondprofiel, waarbij de oorspronkelijke toplaag onder de huidige toplaag is komen te liggen. Tot slot is het perceel voorzien van een drainagesysteem aangelegd in een schelpenbed om de grondwaterstand te verlagen tot het gewenste niveau voor de bollenteelt. Het maaiveld binnen het perceel varieert tussen de -0,3 en + 0,3 m NAP. Het perceel is voorzien van een drainagesysteem met een onderlinge afstand van 8 m.

De Anna Paulowna polder is voor doorstroming van het oppervlaktewatersysteem in de zomer volledig afhankelijk van aanvoer van zoet water uit het IJsselmeer wat tijdens langere perioden van droogte niet geleverd kan worden. In droge perioden kan het derhalve voorkomen dat er niet voldoende zoet oppervlaktewater beschikbaar is, wat problemen oplevert voor de beregening van de gewassen met oppervlaktewater. Bollenteelt is de belangrijkste agrarische sector in het gebied, en voldoende toegang tot water van goede kwaliteit is van vitaal belang voor de productie.

De pilot Breezand vond plaats op het perceel van bollenteler Langeveld. Het betreft een perceel van ca. 2,3 ha met een toplaag van duinzand (dekzand), afgezet op klei en veenlagen tot een diepte van ongeveer 10 m onder het maaiveld. Onder de kleilaag bevindt zich een zandlaag van meer dan 20 m dikte die dient als eerste watervoerend pakket. Het grondwater is brak en het zoutgehalte neemt met de diepte toe. Tijdens de experimenten in 2014-2015 werden op het perceel hyacinten geteeld.

### 2.1.1 Bodem

De bodem in Breezand bevatte 81 kg ha<sup>-1</sup> N, wat boven het landelijke gemiddelde voor zandbodems lag (7 kg ha<sup>-1</sup>), maar onder het aanbevolen niveau voor landbouwgronden (93-147 kg N ha<sup>-1</sup>). Het fosfaatgehalte in de bodem was hoog (620 kg ha<sup>-1</sup>) in vergelijking tot de normale waarde voor Nederlandse zandgronden (38 kg ha<sup>-1</sup>), wat verklaard zou kunnen worden door een overmatig toedienen van kunstmest in het verleden, waarbij het teveel aan toegediende PO<sub>4</sub> in de bodem geadsorbeerd bleef. Vanwege deze hoge fosfaatgehalten werd er geen fosfaat met het fertigatie water aangeleverd.

Op vijf locaties in het proefveld werd het %C, %N, de pH en de pH<sub>KCl</sub> van de bovenste 5 cm van de bodem bepaald (de Hilster, 2015). Het koolstofgehalte varieerde tussen 1,2 en 1,6% en het stikstofgehalte tussen 0,06 en 0,25%. De C/N ratio in de bovenste 5 cm van de bodem was relatief laag en varieerde tussen 5 en 18. De bodem pH was gemiddeld 6,5 en varieerde tussen de 5,9 en 6,6. De pH<sub>KCl</sub>, waarbij K<sup>+</sup> ionen H<sup>+</sup> ionen vervangen die gebonden zijn aan uitwisselplaatsen op organisch materiaal of klei waardoor de zuurgraad in het water daalt, was wat lager met een gemiddelde van 5,8 en varieerde tussen 5,1 en 6,3. De lage bodem pH heeft invloed op de hogere pH van het infiltrerend bodemvocht, wat een gunstige uitwerking heeft op de oplosbaarheid en beschikbaarheid van fosfaat in de bodem, die het hoogst is tussen een pH van 6-7.

De resultaten van de bodemanalyses zijn gegeven in tabel 2-1 en tabel 2-1. De bodem bevatte nauwelijks klei en de dichtheid nam toe met de diepte. Het organische stofgehalte vertoonde een maximum op 30 cm diepte, wat vermoedelijk mede te maken heeft met het insnijden van de gebruikte groenbemester op het perceel. Het calciumgehalte nam toe met de diepte, wat duidde op vertering van carbonaat in de toplaag, terwijl magnesium en kalium vrij constant bleven in het profiel. De gehalten van andere elementen namen af met de diepte, maar waren ook op 60 cm vlak, boven de waterspiegel (peil op 70-80 cm onder maaiveld), nog aanwezig.

Tabel 2-1. Fysische en chemische eigenschappen van de bodem in het zandperceel Breezand.

Diepte	Lutum [%]	Dichtheid [kg m <sup>-3</sup> ]	Org. stof [%]	pH-SrCl <sup>2</sup> [-]	CaCO <sub>3</sub> [g kg <sup>-1</sup> ]
15	2	1,24	2.6	6,60	0,2
30	<1	1,31	3.4	7,13	0,5
40	<1	1,52	2.6	6,97	0,1
50	<1	1,42	1.1	7,22	1,0
60	<1	1,66	0.3	7,20	1,8

Tabel 2-2. Analyse van elementenconcentraties in de bodem van het zandperceel Breezand.

Diepte	Ca [%]	Mg [%]	K [%]	P [%]	Al [%]	Fe [%]	Mn [%]	Zn [%]
15	0.17	0.05	0.03	0.05	0.12	0.19	0.006	0.003
30	0.21	0.05	0.03	0.05	0.12	0.20	0.007	0.003
40	0.17	0.06	0.04	0.05	0.14	0.21	0.006	0.003
50	0.48	0.05	0.03	0.04	0.10	0.15	0.003	0.001
60	0.75	0.06	0.02	0.02	0.08	0.14	0.003	0.001



### 2.1.2 Klimaat

Volgens de KNMI klimaatatlas (1981-2010) is de gemiddelde jaarlijkse neerslag relatief laag op 825-850 mm en is de gemiddelde jaarlijkse verdamping relatief hoog op 590-600 mm. Dit leidt tot een relatief laag gemiddeld jaarlijks neerslagoverschot van 200-240 mm. De mediaan van het maximaal potentieel neerslagtekort ligt op 225-240 mm, wat het maximum is voor Nederland, terwijl dit tekort in de 5% droogste jaren op 300-315 mm ligt. Hiermee ligt Breezand in een relatief droog deel van Nederland.

## 2.2 Borgsweer

Borgsweer ligt in noordoost Groningen, ten oosten van Delfzijl, op een kilometer afstand van de zeedijk (figuur 2-1). De pilot Borgsweer vond plaats op het perceel van agrariër Noordam. Het perceel was ongeveer 1,5 ha groot en de bodem bestond uit klei. Op dit perceel waren pootaardappelen het belangrijkste gewas. Dit gewas wordt in een rotatie van drie jaar geteeld, waardoor er ieder jaar 0,5 ha van het perceel beplant is met pootaardappelen. Vanwege de aanwezigheid van de bruinrotbacterie (*Ralstonia solanacearum*) was beregening met oppervlaktewater verboden door de Nederlandse Voedsel en Waren Autoriteit (NVWA), waardoor de groei van de pootaardappelen volledig afhankelijk was van voldoende hoeveelheden regenwater en berging van vocht in de bodem tijdens de groei. Omdat er in een rotatie van drie jaar werd gewerkt was er 0,5 ha van het perceel beplant met pootaardappelen. Het grondwater in het watervoerend pakket onder dit perceel was brak.

### 2.2.1 Bodem

Volgens de bodemkaart bestaat de bodem uit een toplaag van zware zavel (klei) op matig zware klei. Het maaiveld vertoont micro-topografie en ligt op -0,6 tot -0,8 m NAP. Het perceel is voorzien van een drainagesysteem op een diepte van ongeveer 1 m en met een onderlinge drainafstand van 12 m.

### 2.2.2 Klimaat

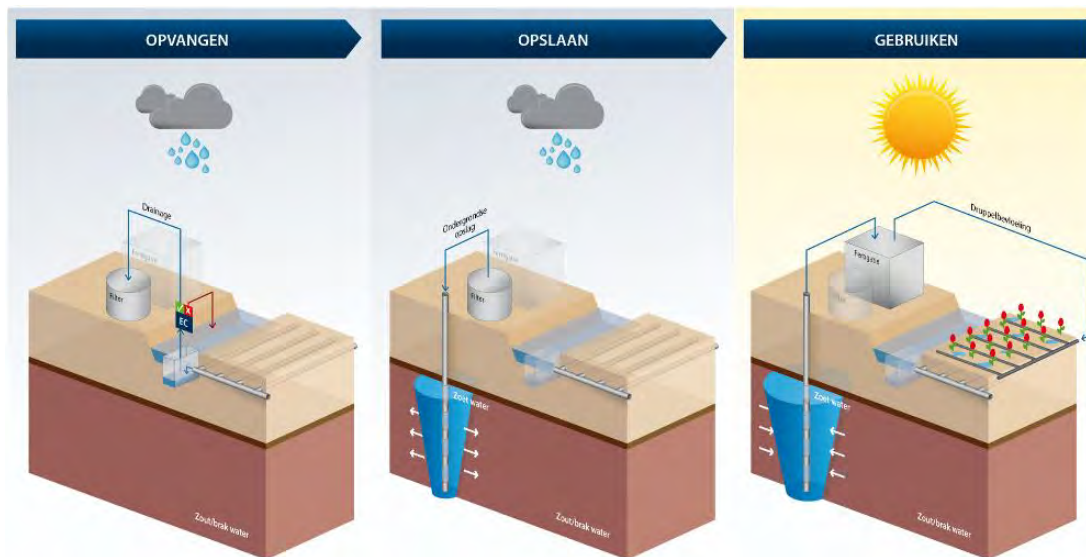
Volgens de KNMI klimaatatlas (1981-2010) is de gemiddelde jaarlijkse neerslag relatief laag op 800-825 mm en is de gemiddelde jaarlijkse verdamping ook relatief laag op 550-560 mm. Dit leidt tot een gemiddeld jaarlijks neerslagoverschot van 240-280 mm. De mediaan van het maximaal potentieel neerslagtekort ligt op 135-150 mm, wat relatief laag is voor Nederland. Het maximum potentieel neerslagtekort in de 5% droogste jaren ligt tussen 240 en 255 mm (bereik voor Nederland 195-330 mm).



# 3 Methoden

## 3.1 Opvangen, infiltreren en onttrekken

De in het zandperceel Breezand en het kleiperceel Borgsweer gebruikte proefinstallaties zorgden voor het bergen van zoet water uit de percelen in perioden met een neerslagoverschot, en het hergebruik ervan via druppelirrigatie tijdens perioden van droogte. Een algemeen schematisch overzicht van het systeem is gegeven in figuur 3-1.



*Figuur 3-1. Schematisch overzicht van de werking van een zoetwaterbergingssysteem waarbij water opgevangen wordt vanuit het perceel, geïnfiltreerd wordt in een aquifer, en later onttrokken wordt voor druppelirrigatie.*

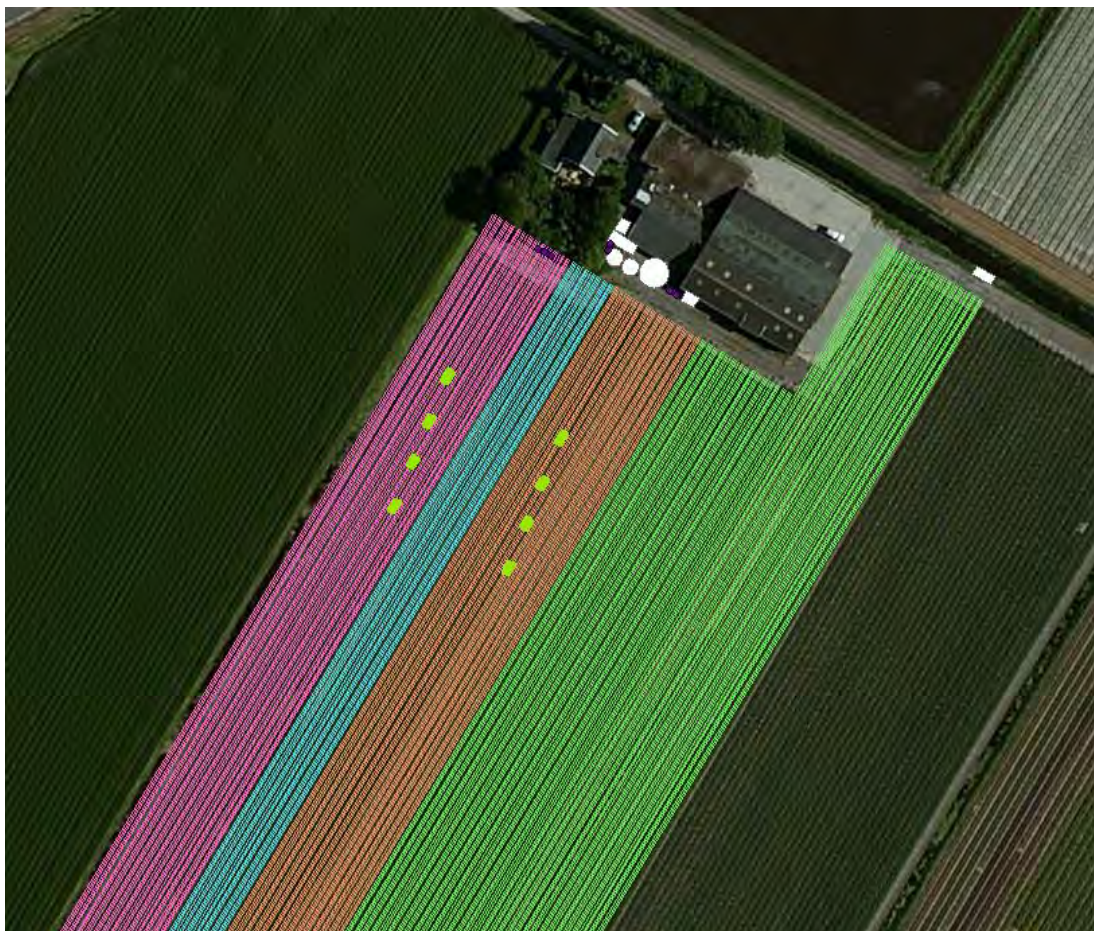
Het ontwateringssysteem van het perceel bestaat uit ingegraven drains, die normaal direct water lozen op het oppervlaktewater. Voor de opslag van water worden de drains werden aangesloten op een verzamelleiding die uitmondt in een reservoir. In dit reservoir wordt het elektrische geleidingsvermogen (EGV, een maat voor hoeveelheid opgeloste stof in water, ofwel het zoutgehalte) van het verzamelde water continu gemeten. In perioden dat het EGV van het drainagewater boven een gestelde drempelwaarde komt, en het water dus als te brak moet worden beschouwd, wordt dit water via een klep in het reservoir alsnog op het oppervlaktewater geloosd. Water van de juiste kwaliteit wordt door een pomp vanuit het reservoir naar een buffervat getransporteerd. Vervolgens wordt het water door zandfilters gevoerd ter voorzuivering en om materiaal in suspensie te verwijderen, waarna het via een infiltratieput via met een regelbaar debiet in de ondergrond opgeslagen wordt. Het zoete water infiltreert via een aantal filters, die in de proefpercelen tussen de 10 en 30 m diepte geplaatst zijn, in het brakke watervoerend pakket in de ondergrond. De opslag van water in het watervoerend pakket gebeurt voornamelijk in de winter, wanneer er door de geringe verdamping een overschot aan neerslag in het perceel ontstaat, wat door de drains afgevoerd wordt naar het reservoir.

Het fertigatie systeem wordt gebruikt voor het ondergronds beregenen met water, waaraan een dossering van kunstmest kan worden toegevoegd. In de proefvelden zijn ondergrondse druppelirrigatieleidingen aangelegd en bodemvocht- en vochtspanning sensoren geïnstalleerd. De leidingen zijn aangesloten op een doseersysteem voor kunstmest in opgeloste vorm, geplaatst in een fertigatie container, dat gevoed wordt vanuit een buffervat. Dit buffervat wordt gevoed door belucht grondwater dat uit de ondergrondse opslag gepompt wordt. Het fertigatie systeem is zo ontworpen dat er automatisch beregend kan worden zodra het bodemvocht onder een drempelwaarde komt, of dat het naar inzicht handmatig bediend kan worden door de agrariër. Tijdens de proef is handmatige bediening gebruikt, waarbij bodemvochtmetingen en het inzicht van de agrariër richtinggevend waren.

### **3.2 Het systeem Breezand**

Het zandperceel in Breezand was opgedeeld in 64 bedden waar bloembollen op werden geteeld. Van deze 64 bedden waren in het 2013 - 2014 groeiseizoen 16 bedden voorzien van vier druppelslangen per bedje. In het groeiseizoen 2014 - 2015 waren 23 bedden voorzien van drie druppelslangen elk. Deze druppelslangen werden aan het begin van het seizoen, direct na het planten van de bollen, aangelegd op ongeveer 5-10 cm diepte. Aan het einde van het seizoen, voor de oogst van de bollen, werden de slangen weer verwijderd. In 2014 - 2015 werden 21 bedden beregend (oppervlakte 0.7 ha) en werden op 13 bedden wel druppelslangen geïnstalleerd, maar werden deze niet gebruikt voor bevloeiing.

Het systeem werd gevoed vanuit de ondergrondse opslag, waarbij water opgepompt werd naar een reservoir, om dan naar het fertigatie systeem geleid te worden. Het fertigatie systeem was opgedeeld in drie delen, waarop elk 40 tot 45 slangen aangesloten waren. De drie delen werden door het fertigatie systeem afwisselend van water voorzien, waardoor het systeem kleiner kon worden uitgevoerd en de druk in de slangen voldoende bleef om ook uitstroom van water aan het einde van de druppelslangen te garanderen. In het groeiseizoen van 2013 - 2014 werden alle bedden op dezelfde manier gefertigeerd. In het groeiseizoen van 2014 - 2015 echter, werd ook getest of het mogelijk was om de afstand tussen de slangen te vergroten en daarmee toch de planten van voldoende water en meststoffen te voorzien, door met twee in plaats van drie slangen te werken.



*Figuur3-2. Overzicht van het systeem in Breezand (Noord Holland). De druppelirrigatiebedden voor 2015 zijn aangegeven in blauw (2 slangen) en oranje (3 slangen), terwijl het referentievelden roze is. De groene stippen markeren de proefveldjes in de referentie en druppelirrigatiebedden. Peilbuis locaties voor grondwaterstandsmetingen en infiltratie/extractie zijn in paars, terwijl het ondergrondse opslagsysteem in wit is weergegeven. Satellietfoto achtergrond is verkregen van Microsoft Virtual Earth.*

### 3.3 Het systeem Borgsweer

Het perceel in Borgsweer was 1,5 ha groot en was opgesplitst in drie delen van elk 0,5 ha. Dit was vereist om aan de wettelijk verplichting van een 1 op 3 rotatie te voldoen, die het risico op opbrengstdaling bij pootaardappelen door bodem gebonden ziekten (e.g. 3.1.2 *Erwinia*, *Ralstonia solanacearum* (bruinrot) *Verticillium*, netschurft, *Rhizoctonia*) vermindert (Bus et al., 1996). De druppelslangen zijn op 43 cm diepte gelegd, ongeveer 10 cm onder ploegdiepte. In tegenstelling tot het irrigatiesysteem in het zandperceel Breezand waar de druppelslangen tijdelijk aangelegd werden, liggen de druppelslangen in het kleiperceel Borgsweer permanent in de bodem. Deze zijn daarom van een betere kwaliteit, ook omdat ze door de diepere ligging niet moeten kunnen worden dichtgedrukt. (Netafim)

Het water onttrokken uit de ondergrond wordt ter beluchting bovenin de dagvoorraad reservoir gespreid zodat er zuurstof in het anoxische water op kan lossen. Ook de inlaat van de pomp werd bovenin het reservoir aangebracht om zo het meest zuurstofrijke water te kunnen onttrekken voor irrigatie. Dit water werd via de fertigatie container naar de druppelslangen gestuurd.

In 2014 werd het perceel elke dag geïrrigeerd. In 2015 werd het perceel opgedeeld in twee delen, waarbij het ene deel elke dag water ontving, en het andere deel 1 keer per 2 dagen werd geïrrigeerd.





*Figuur 3-3. Overzicht van het systeem in Borgsweer Groningen). De verschillende druppelirrigatieregimes voor 2015 zijn aangegeven in blauw (1 X / dag drip) en oranje (1 X / 2 dagen drip), terwijl het referentievelden roze is. De stippen in elk veld markeren de meetlocaties in de verschillende druppel regimes. Peilbuis locaties voor grondwaterstandsmetingen en infiltratie/extractie zijn in groen, terwijl het ondergrondse opslagsysteem in licht oranje is weergegeven. Satellietfoto achtergrond is verkregen van Microsoft Virtual Earth.*

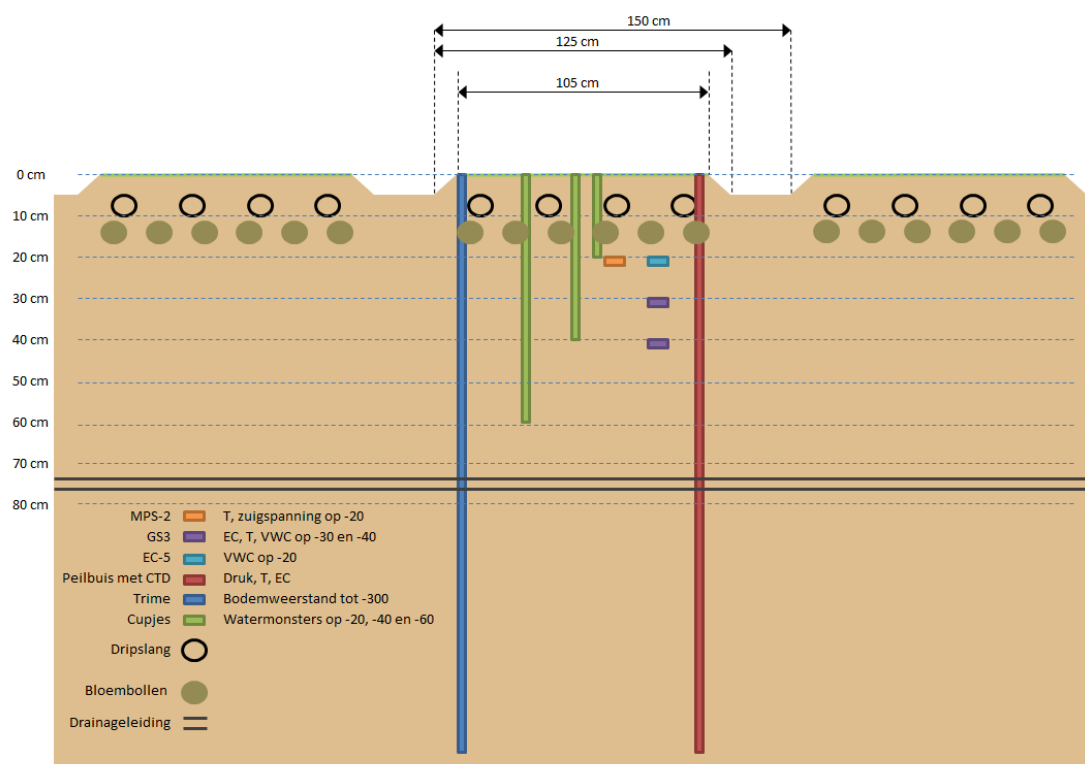
### 3.4 Monitoring in Breezand

De monitoring van het druppelirrigatie systeem van Breezand bestaat uit het continue meten van de hoeveelheid water die het systeem ingebracht wordt, en het elektrische geleidingsvermogen van dit water als maat voor de saliniteit. Deze metingen vormen onderdeel van de reguliere monitoring binnen het Dynamisch Water Systeem voor druppelbevloeiing en toediening nutriënten dat werd ontwikkeld en geïnstalleerd voor dit project in een samenwerking tussen Broere Beregening BV en Acacia Water. Op het perceel zijn zowel in de druppelbevloeiing- als in de referentiebedden vier proefveldjes van elk 1 m<sup>2</sup> grootte aangelegd. Op deze proefveldjes werden hyacinten gekweekt, om aan de hand van bolgrootte en gewicht te bepalen of er verschil waargenomen kon worden in opbrengst bij reguliere teelt en bij teelt met druppelirrigatie.

Om de invloed van de druppel irrigatie te bepalen op het bodemvocht zijn in de ondergrondse beregening en referentie proefvelden op verschillende diepten in de bodem sensoren geplaatst waarmee het bodemvocht, de geleidbaarheid en de bodemtemperatuur werden gemeten. De locaties van de verschillende sensoren in het bed zijn aangegeven in figuur 3-4.



De metingen zijn gedaan in de periode 6 februari 2014 tot 19 juni 2015 met een onderbreking van 5 juli 2014 tot 23 oktober 2014. Het meetinterval was 15 minuten. Op 20 cm diepte werd bodemvocht (EC-5, Decagon, USA) en de vochtspanning (MPS-2, Decagon, USA) gemeten, terwijl op 30 en 40 cm diepte naast bodemvocht ook temperatuur en geleidbaarheid werden gemeten (GS3, Decagon, USA). De MPS-2 sensor heeft een bereik van 10 – 500 kPa, ofwel pF 2-3.7. Als een druk van minder dan 10 kPa optreedt, wordt nog steeds 10 kPa gemeten, terwijl het misschien natter is. De grondwaterstand, temperatuur en geleidbaarheid van het grondwater werden tegelijkertijd gemeten in peilbuizen geplaatst op de drains en tussen de drains in met CTD Divers (Eijkelkamp Agriresearch BV, Nederland).



*Figuur 3-4. Schematische weergave van de meetopstelling in een bed met druppelirrigatie in het zandperceel Breezand.*

Keramische lysimeters werden gebruikt om water te onttrekken vanuit de onverzadigde zone op dieptes van 20, 40 en 60 cm voor chemische analyse. Een overzichtsfoto van de proefvakken met de instrumentatie is getoond in figuur 3-5.

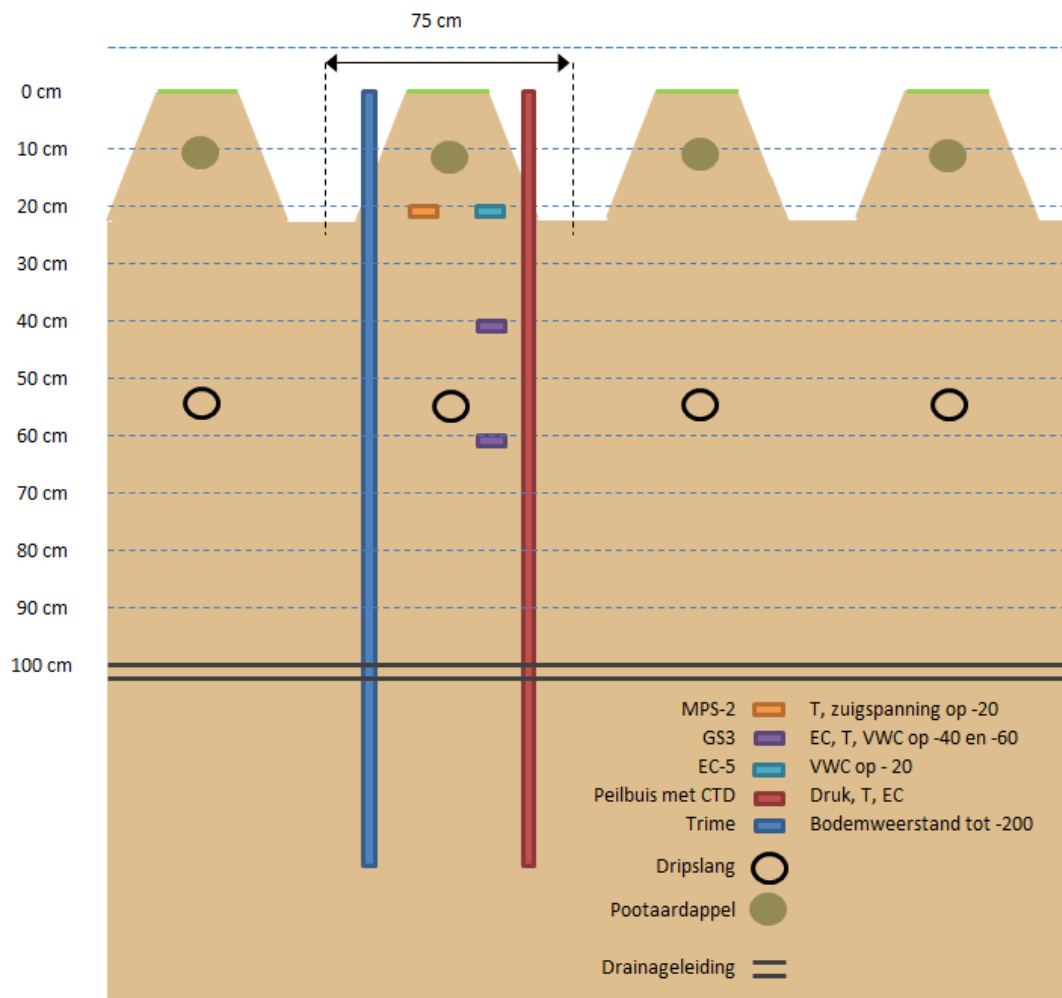


*Figuur 3-5. Foto van de experimentele proefvakken in Breezand, waarin de grondwaterstand, bodemvochtigheid en bodem- en waterchemie gemeten werd. In het proefvak waren hyacinthen geplant, en op de omliggende bedden stond krokus (Foto Mirjam van Maanen).*

### **3.5 Monitoring in Borgsweer**

Om de invloed van de beregening op het gewas te bepalen zijn er naast de druppelirrigatie velden vier ruggen met pootardappels aangelegd waar geen druppel irrigatie werd toegepast. In de velden met en zonder druppel irrigatie werden proef rooiingen gedaan om het verschil te bepalen in aantal knollen, diameter en gewicht van de knollen.

Voor het bepalen van het effect van de druppelirrigatie op de bodem is monitoringsapparatuur geplaatst in de ruggen met en zonder druppelirrigatie. Hier werden net zoals in Breezand de geleidbaarheid van het bodemvocht en grondwater, de grondwaterstand, de temperatuur van de bodem en de mate van verzadiging gemeten. Omdat de drainage en de druppelslangen in het kleiperceel Borgsweer dieper lagen dan in het zandperceel Breezand, zijn ook de verschillende sensoren op een andere dieptes geplaatst. De locaties van de verschillende sensoren zijn aangegeven in figuur 3-6. De sensoren waren allemaal geplaatst op diepten refererend aan de rughoogte. De rughoogte was 12-13 cm hoger dan de bodem van de voor tussen twee ruggen. De druppelleidingen lagen 40 cm onder de gemiddelde maaiveldhoogte.



Figuur 3-6. Schematische weergave van de meetopstelling in een bed met druppelirrigatie in het kleiperceel Borgsweer.

### 3.6 Laboratoriumanalyses

Watermonsters werden wekelijks genomen uit de verzameldrains. In Breezand zijn ook watermonsters genomen van het water dat het zandfilter gepasseerd had voor infiltratie in het aquifer, en van het water dat uit het watervoerend pakket teruggewonnen werd en diende als invoer voor het druppelirrigatiesysteem. De watermonsters zijn handmatig genomen in 100 ml PTFE flesjes en na monsternamen gekoeld bewaard. De analyse van anionen (F, Cl, Br, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>, SO<sub>4</sub>) is gedaan op een ionen chromatograaf (Dionex DX120, USA). Ammonium is geanalyseerd op een Konelab 20 discrete analyser (Labmedics Aquakem, USA).

Bodemmonsters werden in Breezand genomen ter bepaling van fysieke (lutum, dichtheid) en chemische eigenschappen (totaal C, CaCO<sub>3</sub>, Ca, Mg, K, P, Al, Fe). De analyses van deze bodems zijn verricht door B-Ware Research Centre van de Radboud Universiteit in Nijmegen.

### 3.7 Modelleren van onverzadigde zone

De methoden gebruikt voor het modelleren van het bodemvocht in het zandperceel Breezand zijn uitgebreid beschreven in van Maanen (2015). De stroming van de druppelirrigatie watergift werd gemodelleerd met het HYDRUS 2/3D model (Simunek et al., 1999).

Hier is een twee-dimensionaal symmetrisch model voor opgezet waarvan de geëigende toepassing reeds aangetoond was door Kandalous et al. (2011). Dit model werkt goed zodra het water afgegeven door de individuele druppelpunten overlapt in de bodem, waarna de watergift als lijnbron beschouwd kan worden, in plaats van als puntbron (Skaggs et al., 2004). Door de korte afstand tussen de druppelventielen werd verwacht dat deze overlap al na korte tijd zou plaatsvinden. Indien ook de begin situatie gemodelleerd zou moeten worden zou een veel complexer driedimensionaal model nodig zijn geweest.

Voor Breezand werd gekozen voor een domein voor het model ter grootte van de breedte van een bed en rijspoor (1,50 m) en ter diepte van de jaarlijkse gemiddelde grondwaterdiepte (0,75 m). Voor het modelleren van de situatie in Breezand werden de druppelleidingen als punten ingebracht op 5 cm diepte. Simulaties werden ook gedaan om te kijken wat het effect was van een variatie in de diepte voor de druppelleidingen, en met verschillende grondwaterstanden. Simulaties van de verdeling van bodemvocht en nutriënten werden verder gedaan met drie leidingen (de veldsituatie), en daarna met twee leidingen (van Maanen, 2015) en vier leidingen.

Voor het verkrijgen van geschikte waarden van bodemparameters werden bodemanalyses gedaan om het bodemtype te bepalen, waarna gebruik gemaakt van de Staring reeks (Wösten et al., 2001) voor het verkrijgen van de van Genuchten (1980, 1997) parameters die Hydrus gebruikt om de stroming te kunnen simuleren. De van Genuchten parameters werden verder aangepast tijdens kalibratie van het model, waarbij het gemeten bodemvochtgehalte op 15 cm diepte gebruikt werd (van Maanen, 2015). Het model voor het zandperceel Breezand bevatte een zandige oppervlaktebodemiaag met een dikte van 30 cm (ploegdiepte) op een 45 cm dikke onderlaag (van Maanen, 2015). Dat in Borgsweer werd opgebouwd met een bodemiaag van 40 cm diepte bestaande uit zware zavel, liggend op een onderlaag van matig zware klei. De rug in Borgsweer was 22 cm hoog en de totale dikte van het domein was derhalve 1,22 m.

# 4 Resultaten van de metingen

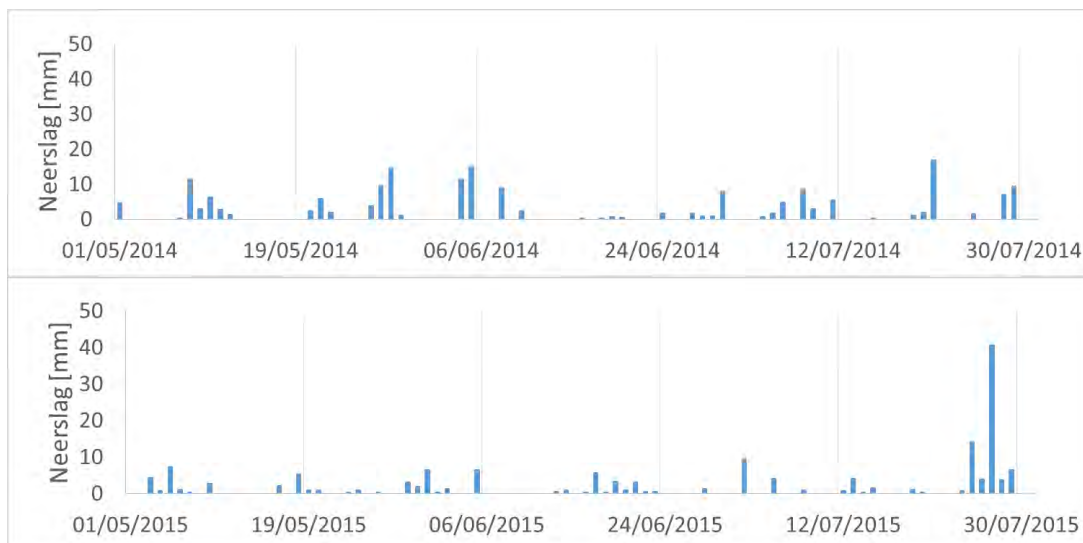
## 4.1 Vochthuishouding

Voor de groei van het gewas is het belangrijk dat het juiste vochtgehalte aangehouden wordt in de wortelzone. Bij de traditionele beregening via een beregeningsinstallatie wordt water van boven op het gewas aangebracht. Naast het gegeven dat veel water tijdens het sproeien kan verdampen, vooral als dit onder zonnige omstandigheden gebeurt, wordt het water vaak ook ruimtelijk niet goed over het perceel verdeeld door eigenschappen van de beregening installatie en door windeffecten (Katoele en Overgauw, 2015). Bij gebruik van een ondergronds druppelirrigatie systeem wordt het water direct in of net onder de wortelzone ingebracht, zonder dat er extra verliezen optreden door verdamping en met een veel gelijkmatigere ruimtelijke verdeling. Het gebruik van druppelirrigatie levert derhalve direct een besparing op in het watergebruik.

Bij de analyse van de vochthuishouding werden de metingen in de met druppelirrigatie beregende proefvakken vergeleken met die in de referentieproefvakken. Tijdens de aanleg van het druppelirrigatiesysteem in het kleiperceel Borgsweer bleek echter dat de gangbare methode voor oppervlakkige aanleg niet geschikt was voor aanleg van het systeem op grotere diepte in zware zavel. Hierdoor werkte het druppelirrigatiesysteem in 2014 niet naar behoren. Dit had tot gevolg dat er geen zekerheid bestaat waar het geïrrigeerde water in de bodem aangeleverd is, gezien de variaties in de diepte van aanleg lekken in het systeem ontstaan na het ploegen van de bodem. De analyse van deze metingen heeft wel plaatsgevonden, maar voor de interpretatie moet de nodige voorzichtigheid in acht genomen worden. Pas na de ontwikkeling van een nieuwe methode voor de aanleg van druppelirrigatieslangen op diepte later dat jaar functioneerde het systeem naar behoren in het groeiseizoen van 2015.

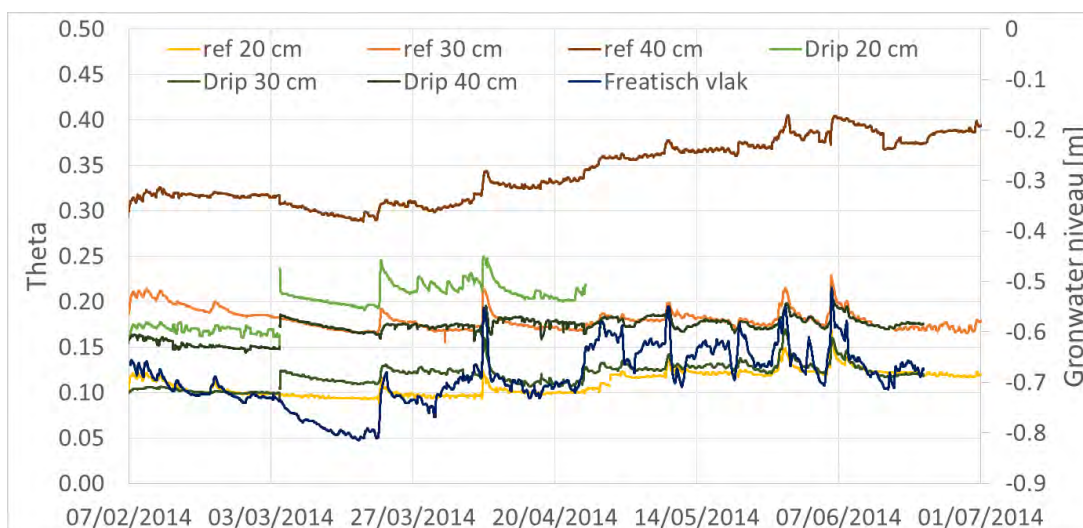
### 4.1.1 Zandperceel Breezand

Tijdens de groeiseizoenen van 2014 en 2015 werden experimenten uitgevoerd om de effecten van irrigatie op het bodemvocht te bestuderen. In het zandperceel Breezand werd in de maanden mei – juli 2014 206 mm aan neerslag geregistreerd, terwijl in dezelfde periode in 2015 159 mm aan neerslag viel. In 2015 was er minder neerslag in mei en juni dan in 2014, en viel er veel neerslag aan het einde van juli (figuur 4-1).



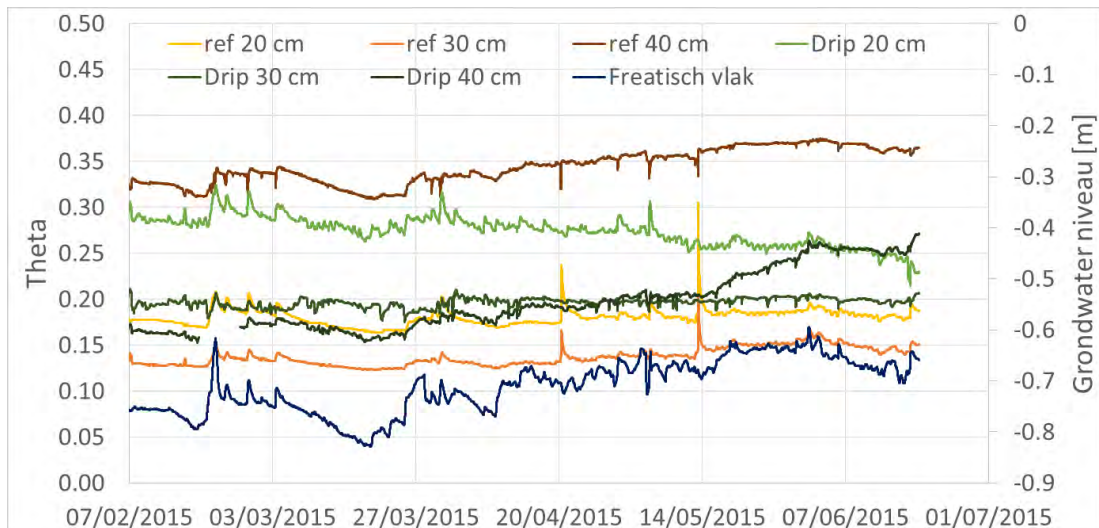
*Figuur 4-1. Dagelijkse neerslag in Breezand tijdens de groeiseizoenen (mei – juli) van 2014 (boven) en 2015 (onder). Bron KNMI station De Kooy.*

Het grondwaterpeil werd hoog gehouden op 60-80 cm onder maaiveld. Het volumetrisch bodemvochtgehalte werd gemeten in de wortelzone op 20, 30 en 40 cm diepte in de bodem. De vochtmetingen tijdens de seizoenen van 2014 en 2015 zijn respectievelijk grafisch weergegeven in figuur 4-2 en figuur 4-3. Gemeten bodemvochtgehalten op de verschillende diepten varieerden tussen 0.05 en 0.40, waarbij de hoogste waarden gemeten werden op 40 cm diepte in het referentieperceel. Het bodemvocht reageerde op neerslag, waarbij een tijdelijke verhoging geobserveerd werd op alle dieptes, en tevens een verhoging van de grondwaterstand plaatsvond. Ook druppelirrigatie veroorzaakte een kortstondige verhoging van het bodemvocht in het geïrrigeerde deel van het perceel.



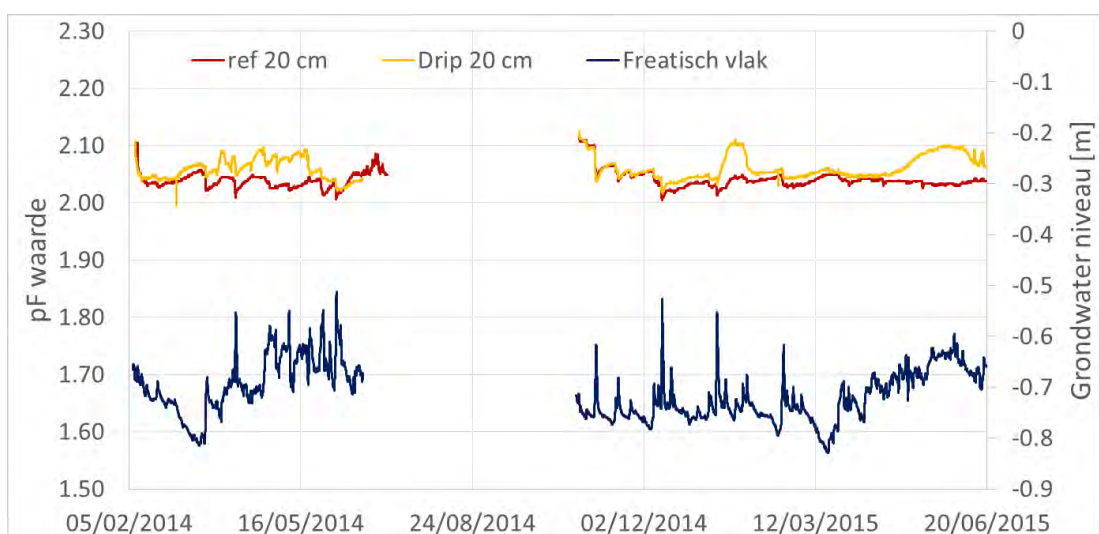
*Figuur 4-2. Tijdsree van het volumetrisch bodemvochtgehalte (Theta) zoals gemeten in het referentieperceel (ref) en het met druppelirrigatie bevoeide perceel (drip) in het zandperceel Breezand voor het groeiseizoen van 2014. De variatie in het grondwater niveau is weergegeven ter vergelijking.*





Figuur 4-3. Tijdsree van het volumetrisch bodemvochtgehalte (Theta) zoals gemeten in het referentieperceel (ref) en het met druppelirrigatie bevoeide perceel (drip) in het zandperceel Breezand voor het groeiseizoen van 2015. De variatie in het grondwater niveau is weergegeven ter vergelijking.

Gedurende het groeiseizoen van 2014 werd het grondwater niveau op 0,7 m onder maaiveld gehanteerd door middel van peilopzet, terwijl dat in 2015 op 0,6 m gesteld werd. Gezien de ondiepe grondwaterstand en de goede capillaire eigenschappen van fijn zand blijft de bodem permanent vochtig en is er weinig variatie in het bodemvochtgehalte in de tijd. De metingen van de vochtspanning (figuur 4-4) gaven aan dat de vochtspanning onder de waarde van 2,1 bleef in beide percelen. Dit betekent dat zowel het referentie deel als het geïrrigeerde deel van het perceel continu op of onder veldcapaciteit (pF waarde tussen 2,0 en 2,3) bleven, en dat er bij deze hoge grondwaterstand altijd, ook zonder druppelirrigatie, voldoende water in de bodem aanwezig is voor de groei van het gewas. Het geïrrigeerde water leidde daarom ook niet tot significante verhoging in het bodemvocht, daar het binnen korte tijd in de bodem herverdeeld werd. Waargenomen verschillen in bodemvochtgehalten tussen het referentieperceel en het geïrrigeerde veld zijn daarom meer te wijten aan subtiele verschillen in de textuur van de bodem, dan aan verschillen in vochtspanningen.

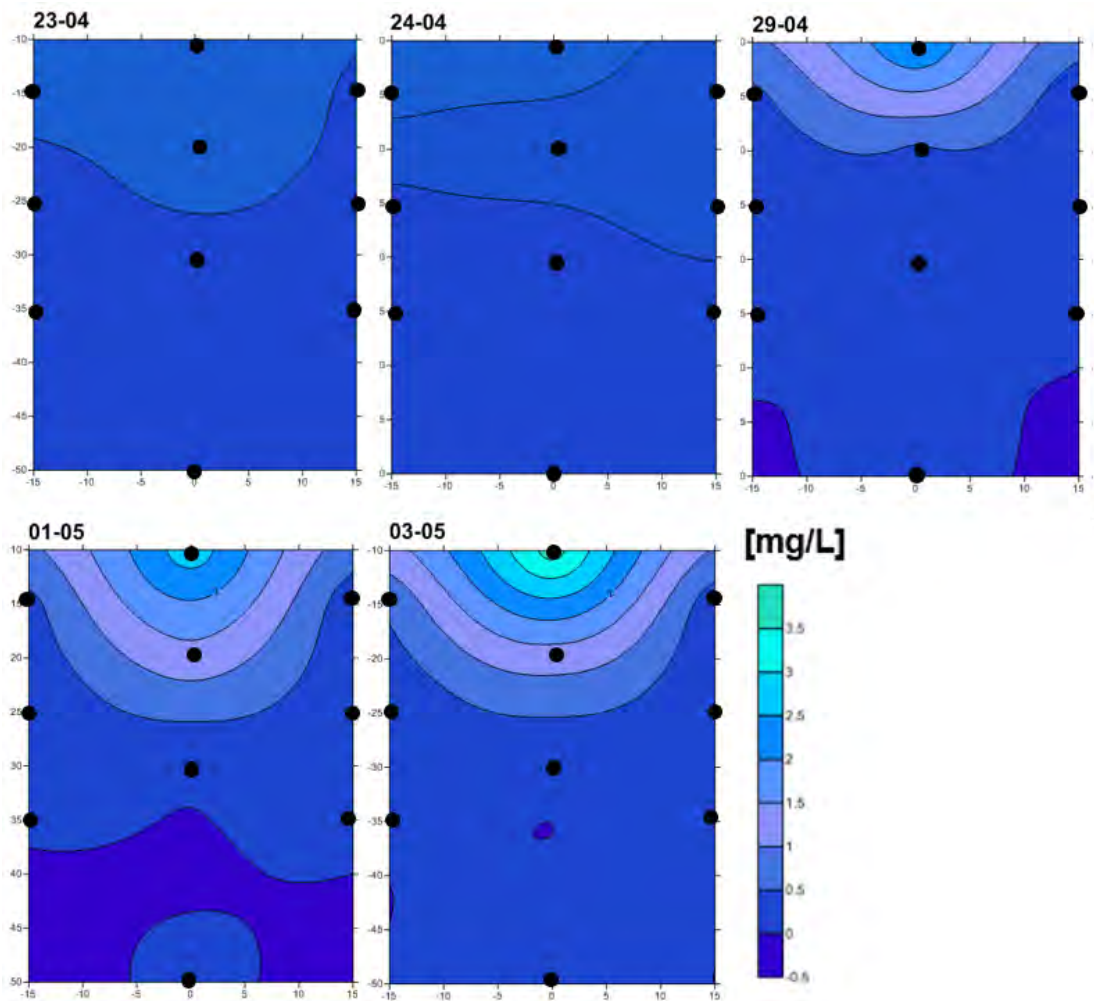


Figuur 4-4. Vochtspanningen op 20 cm diepte gemeten in het referentie en het geïrrigeerde perceel in Breezand over de hele meetperiode. De gemeten grondwaterstand is toegevoegd ter vergelijking.

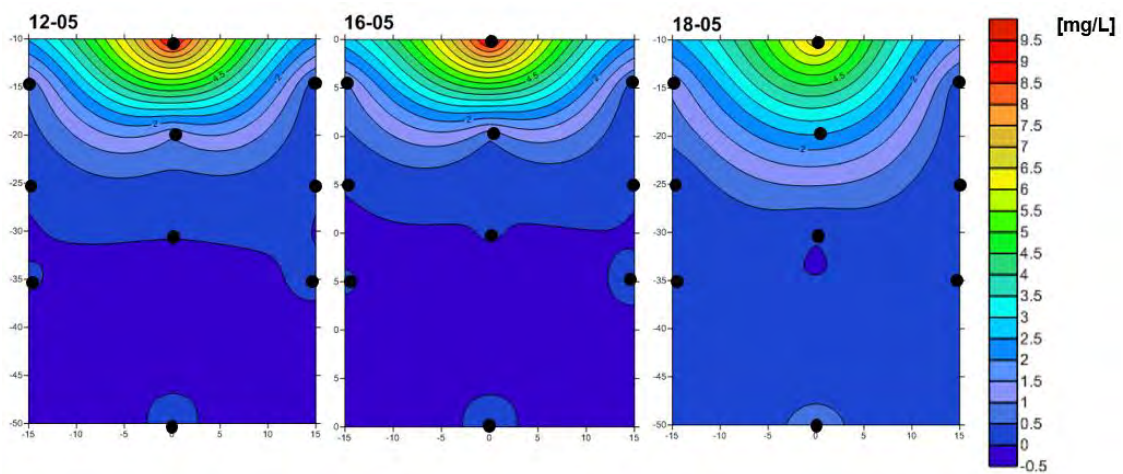
In april 2015 werd de infiltratie van het druppelirrigatiewater bestudeerd door het uitvoeren van een tracer test. Hierbij werd op twee gelegenheden het anion bromide toegevoegd aan het irrigatiewater zodat de concentratie van Br in het druppelirrigatiewater steeg, eerst naar 4,6 mg l<sup>-1</sup> op 29 april, en bij de toediening op 12 mei naar 14,7 mg l<sup>-1</sup>. Bromide kan beschouwd worden als een ion wat zich conservatief gedraagt, wat betekent dat het geen reactie ondergaat, noch met de bodem, nog door interactie of opname door vegetatie. Bromide komt in lage concentraties van onder de 0,5 mg l<sup>-1</sup> voor in het bodemvocht. Veranderingen in concentratie kunnen dan alleen te wijten zijn aan verdunning en dispersie tijdens transport in de bodem. Om het infiltratie proces te volgen werden er op regelmatige tijdstippen bodemvochtmonsters genomen op verschillende dieptes onder de druppelslang, en aan beide zijden op 15 cm langs de slang. Hiermee kon inzicht verkregen worden over de ruimtelijke en temporele aspecten van de verdeling van het infiltratiewater in de bodem.

De resultaten van deze tracer test zijn weergegeven in figuur 4-5 en figuur 4-6, en laten zien dat de verspreiding van het irrigatiewater met de bromide tracer zich beperkt tot de bovenste 25 cm van de bodem. Gedurende de proef was de stroming in dit deel van de onverzadigde zone sterk beïnvloed door verdamping en is er een netto opwaartse flux gevoed door capillaire opstijging die voor aanvulling van het verdampte water zorgt. Onder deze omstandigheden vindt er geen uitspoeling plaats naar het grondwater, hetgeen een verklaring geeft voor het ondiep blijven van de bromide. In het najaar echter, als het gewas geoogst is, de verdampingsflux lager wordt en het neerslagoverschot positief wordt, kan verwacht worden dat er een neergaande beweging komt van het bodemvocht in de wortelzone. Hierdoor kan bromide, en eventueel andere in de wortelzone achtergebleven mobiele nutriënten (e.g. NO<sub>3</sub>, K), wel uitspoelen naar het grondwater.

De combinatie van een verhoogde waterpeil (60-70 cm onder maaiveld) en een goed doorlatende zandige bodem in Breezand leidde tot voldoende aanvoer van grondwater via capillaire werking om de verliezen aan bodemvocht ten gevolge van gewasverdamping te compenseren. Onder deze omstandigheden, waar de bodemvochtigheid langdurig op veldcapaciteit was, had de aanvoer van extra water door het irrigatiesysteem weinig invloed. Het bodemvocht steeg tijdelijk en daalde als gevolg van een hoge doorlatendheid daarna weer naar het oorspronkelijke niveau in een vrij korte tijd na de irrigatie. Hierdoor treedt waarschijnlijk oog geen zuurstoftekort op. Het voordeel van het druppelirrigatiesysteem was dat nutriënten met het water meegegeven konden worden en dat beregening, om bijvoorbeeld nutriënten in de bodem te brengen, niet nodig was. Het systeem levert derhalve een kleine besparing van water op ten opzichte van beregening via beregening installaties daar de verdamping vermindert wordt.



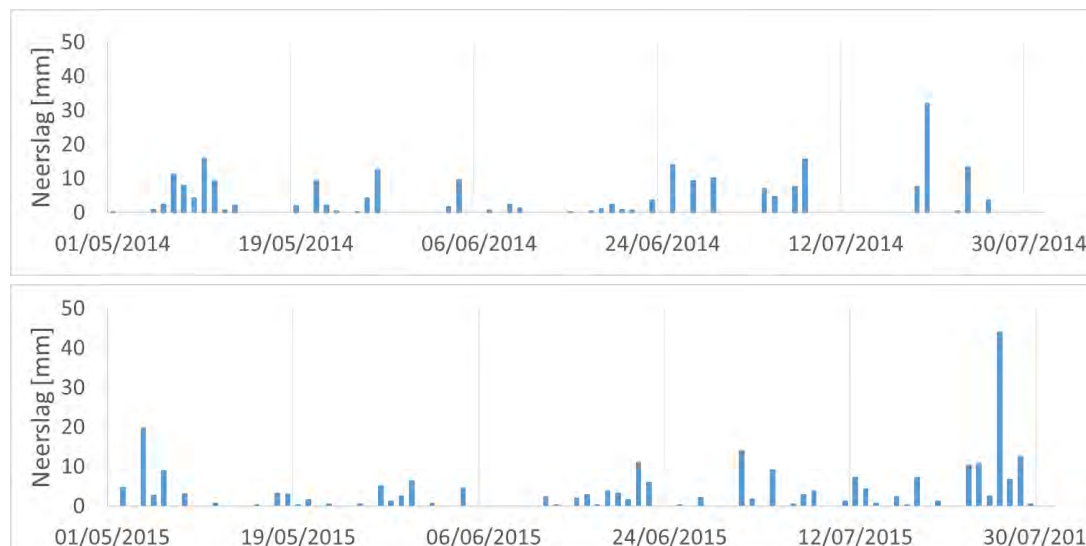
Figuur 4-5. Verdeling van bromide concentraties in de bodemlaag van 10 tot 50 cm diepte voor (23 en 24 april), en na toediening van bromide in het druppelirrigatiewater op 29 april, waarbij Br met een concentratie van  $4,6 \text{ mg l}^{-1}$  op 4 cm diepte werd ingebracht.



Figuur 4-6. Verdeling van bromide concentraties in de bodemlaag van 10 tot 50 cm diepte na toediening van bromide met een concentratie van  $14,7 \text{ mg l}^{-1}$  in het druppelirrigatiewater op 12 mei 2015.

#### 4.1.2 Kleiperceel Borgsweer

In Borgsweer was er een gering verschil in neerslag tussen de periode mei – juli in 2014 (234 mm) en 2015 (247 mm), maar de Neerslag was wel anders verdeeld met drogere condities in de eerste helft van het groeiseizoen in 2014 zoals getoond in figuur 4-7.



*Figuur 4-7. Dagelijkse neerslag in Borgsweer tijdens de groeiseizoenen (mei – juli) van 2014 (boven) en 2015 (onder). Bron KNMI station Nieuw Beerta.*

In het kleiperceel Borgsweer stond het grondwater dieper op 0,8-1,1 m onder maaiveld dan in het zandperceel Borgsweer (0,7 m onder maaiveld). Door de fijnere textuur van de bodem, en de daarmee verbonden hydraulische eigenschappen mag verwacht worden dat de capillaire opstijging van vocht uit het grondwater het verlies aan vocht in de bodem door verdamping zou kunnen compenseren. Naast capillaire eigenschappen en de snelheid van transport van water door de poriën, kan scheurvorming in klei en en zavelgronden echter ook een belangrijke rol spelen. In Borgsweer werden dan ook aanmerkelijk grotere variaties in bodemvochtgehalten gemeten dan in Breezand, zowel in de tijd, als tussen referentie en geïrrigeerde delen van het perceel.

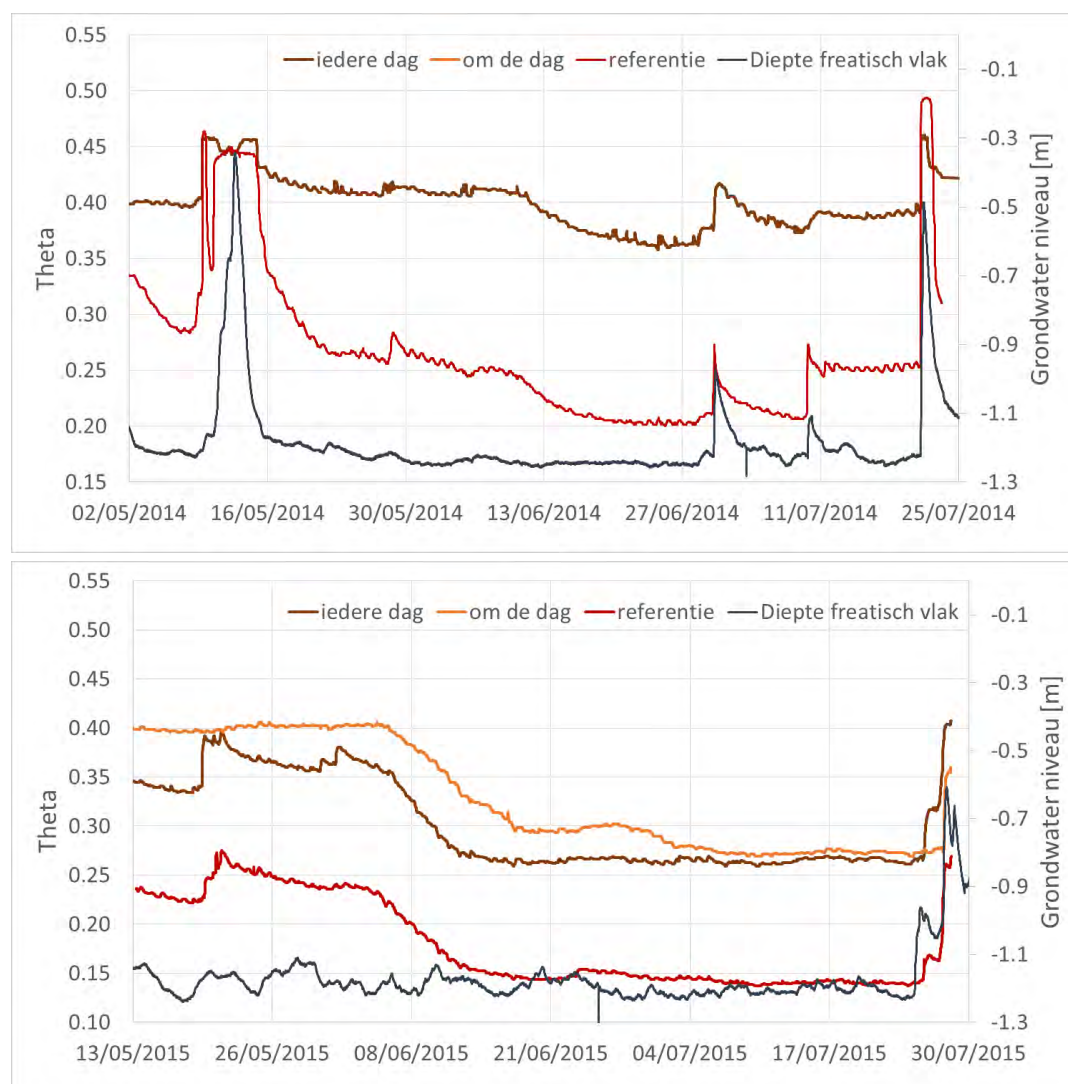
In het seizoen van 2014 werd in totaal 1.570 m<sup>3</sup> geïrrigeerd over een oppervlak van 37 x 105 m (3.885 m<sup>2</sup>), ofwel er was een gift van 404 mm. In 2015 werd een deel van het perceel iedere dag geïrrigeerd, waarbij in totaal 742 m<sup>3</sup> werd geïrrigeerd op een oppervlak van 2.400 m<sup>2</sup>, wat resulteerde in een berekening van 309 mm. Een ander deel van het perceel werd om de dag berekend met 177 m<sup>3</sup> over een oppervlak van 1.470 m<sup>2</sup>, wat gelijk stond aan een watergift van 120 mm.

In 2015 werd het volgende irrigatieregime aangehouden. Van 22 mei tot 2 Juni werd zes keer met een 2-uurlijks interval gedurende 10 minuten water toegediend, waarbij per etmaal totaal 7,38 m<sup>3</sup> werd geïrrigeerd over een oppervlakte van 20 x 120 m (2400 m<sup>2</sup>). Dit stond gelijk aan een bevloeiing van 3 mm dag<sup>-1</sup> in deze periode. Van 2 juni tot 15 Juni werd 10 keer met een 2-uurlijks interval gedurende 10 minuten water geïrrigeerd, waarbij per etmaal totaal 11,2 m<sup>3</sup> werd toegevoegd, ofwel 4,6 mm dag<sup>-1</sup>. Een verdere verhoging van de watergift vond plaats van 16 juni tot 9 juli, waarbij 12 keer per etmaal (1:40 uur interval) gedurende 9 minuten in totaal 12.12 m<sup>3</sup> werd toegevoegd, wat gelijk staat aan 5.05 mm dag<sup>-1</sup>. Hierna werd van 9 juli tot 19 juli gedurende 8 minuten 18 keer (1:20 uur interval) per etmaal in totaal 15.66 m<sup>3</sup> toegevoegd, ofwel 6.52 mm dag<sup>-1</sup>.

Tijdseries van bodemvochtgehalten op 20, 40 en 60 cm diepte, en van het grondwater niveau, zijn weergegeven in figuur 4-8, figuur 4-9 en figuur 4-10, respectievelijk, terwijl de vochtspanning op 20 cm diepte weergegeven zijn in figuur 4-13. In Borgsweer werd in 2015 berekend tussen 21 mei en 20 juli.



In tegenstelling tot het vrijwel constante verloop van het bodemvocht in de tijd in Breezand (figuur 4-2 en figuur4-3), ontstond er in Borgsweer een duidelijk verschil tussen het bodemvochtgehalte in het referentieveld en het geïrrigeerde veld. Na een regenperiode rond 16 mei 2014 steeg het grondwater van 1,2 naar 0,45 m onder maaiveld en raakte de bodem op 20 cm diepte in zowel het referentieveld als het geïrrigeerde veld voor een periode van enkele dagen verzadigd bij een bodemvochtgehalte  $\theta$  (Theta) van ongeveer 0,45. Hierna daalde het vochtgehalte  $\theta$  naar een stabiele waarde van ongeveer 0,40 in het dagelijks geïrrigeerde veld, terwijl  $\theta$  veel sterker daalde naar 0,20-0,25 in het referentieveld. De invloed van de druppelirrigatie was dus duidelijk merkbaar op 20 cm diepte.

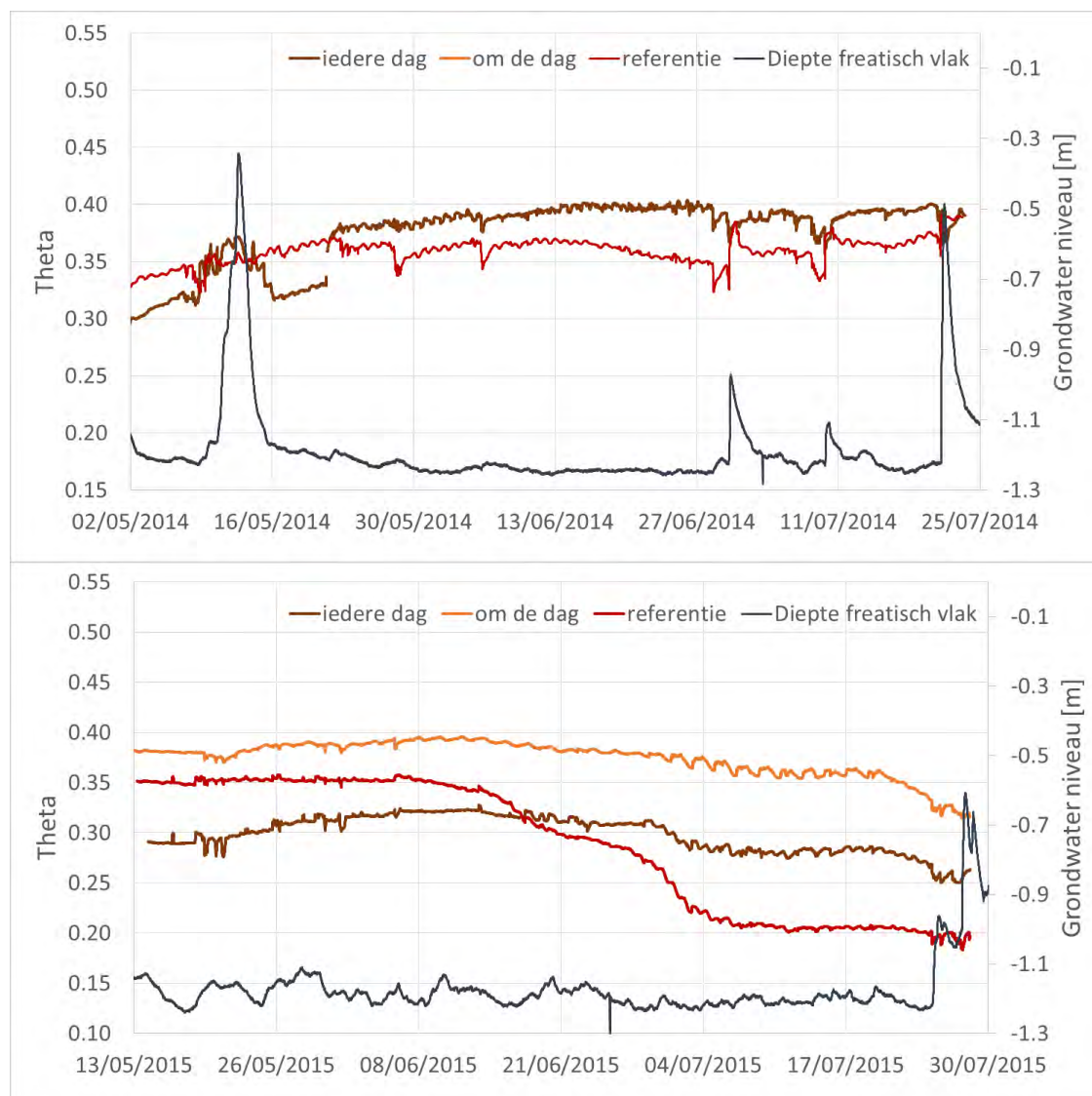


*Figuur4-8. Bodemvochtgehaltenes in referentie en geïrrigeerde delen van het kleiperceel Borgsweer gemeten op een diepte van 20 cm onder maaiveld in het groeiseizoen 2014 (boven) en 2015 (onder). In 2015 werd er zowel iedere dag, als om de dag geïrrigeerd op verschillende delen van het perceel. De grondwaterstand is getoond ter vergelijking.*

In 2015 was de bodem duidelijk droger aan het begin van het seizoen, en was de invloed van irrigatie ook duidelijk merkbaar gedurende het hele seizoen, hoewel het bodemvocht in half juni ook in het geïrrigeerde deel wel daalde van 0,35 naar 0,25.

Na een regenperiode eind juli 2015 stegen zowel het bodemvocht op 20 cm in alle velden, als het grondwaterniveau. Deze stijging gebeurde sneller in het dagelijks geïrrigeerde veld dan in het om de dag geïrrigeerde veld of het referentieveld.

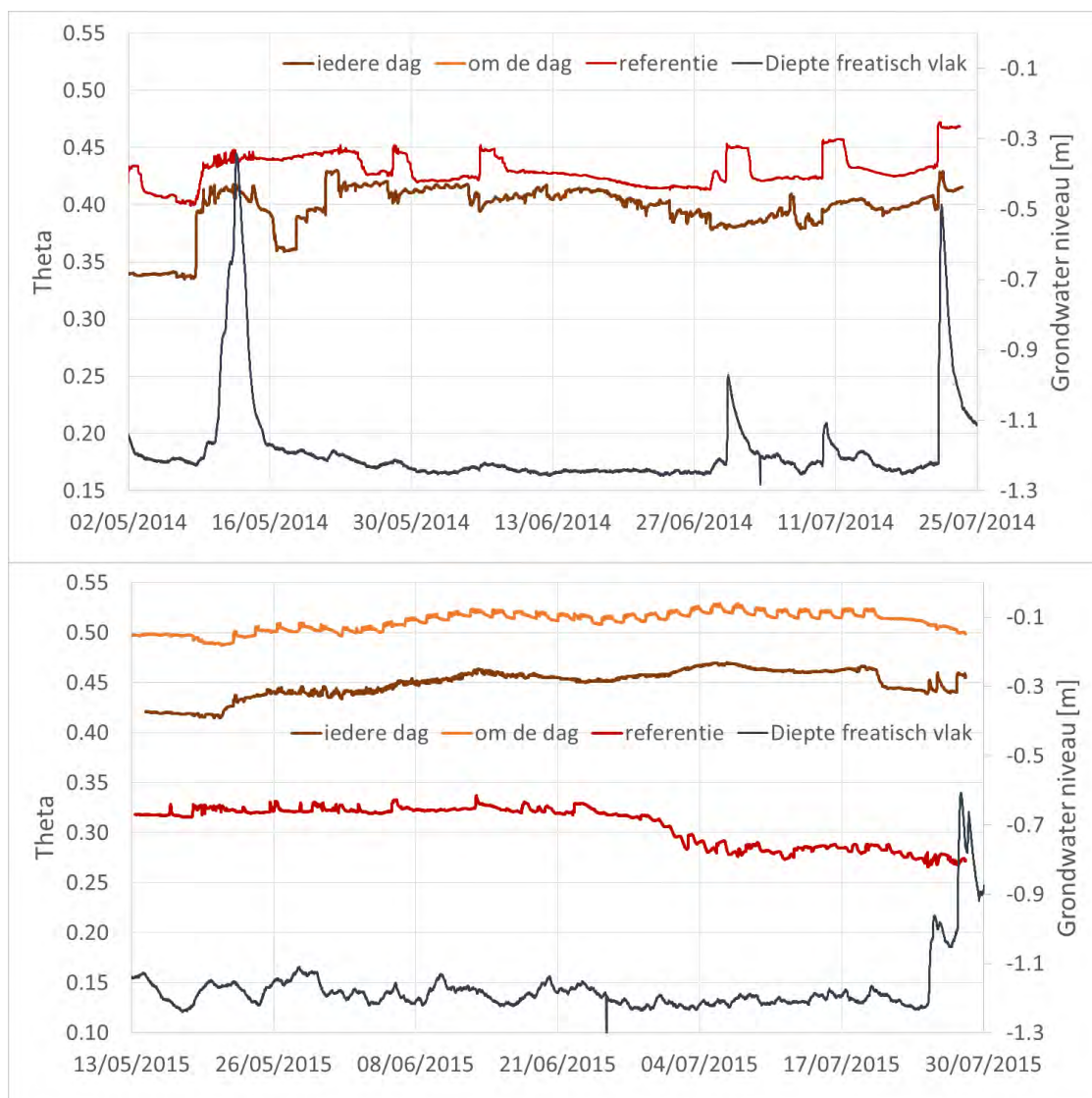
Dit suggereert dat het consistent hogere vochtgehalte van het om de dag geïrrigeerde veld een gevolg is van ruimtelijke variatie in de textuur, meer dan een indicatie voor een hogere vochtspanning in de bodem.



*Figuur 4-9. Bodemvochtgehalten in referentie en geïrrigeerde delen van het kleiperceel Borgsweer gemeten op een diepte van 40 cm onder maaiveld in het groeiseizoen 2014 (boven) en 2015 (onder). In 2015 werd er zowel iedere dag, als om de dag geïrrigeerd op verschillende delen van het perceel. De grondwaterstand is getoond ter vergelijking.*

Op 40 cm diepte, waar de druppelslangen lagen, werd in 2014 ook een hogere vochtgehalte gemeten bij irrigatie dan in het referentieveld, maar was het verschil in bodemvocht tussen irrigatie en referentie minder groot dan op 20 cm diepte. In 2015 droogde de bodem onder het referentieveld ook op deze diepte sterker uit (figuur 4-9 onder) dan in de geïrrigeerde delen van het perceel. Wel werden de hoogste vochtgehalten gemeten in het om de dag beregende veld, en niet in het dagelijks beregende veld. Dit kan echter te wijten zijn aan ruimtelijke verschillen in bodemtextuur tussen de proefvelden, en de hiermee samenhangende scheurvorming. De irrigatie veroorzaakte schommelingen in het vochtgehalte, naast de normale dagelijkse gang veroorzaakt door transpiratie, zoals te zien is in figuur 4-9 (onder) voor de periode 4 – 25 juli 2015.





*Figuur 4-10. Bodemvochtgehalten in referentie en geïrrigeerde delen van het kleiperceel Borgsweer gemeten op een diepte van 60 cm onder maaiveld in het groeiseizoen 2014 (boven) en 2015 (onder). In 2015 werd er zowel iedere dag, als om de dag geïrrigeerd op verschillende delen van het perceel. De grondwaterstand is getoond ter vergelijking.*

In 2014 was op 60 cm diepte weinig verschil tussen het bodemvocht van het geïrrigeerde veld en het referentieveld. De bodem leek na de regenperiode van midden-mei dicht tegen verzadiging aan te liggen, met vochtgehalten tussen 0,40 en 0,45. In het drogere seizoen van 2015 vertoonden beide geïrrigeerde velden hoge bodemvochtgehalten met  $\theta$ -waarden van boven de 0,40, in tegenstelling tot het referentieveld waar het vochtgehalte later in het seizoen daalde van 0,32 naar 0,28. Dit geeft aan dat zowel de dagelijkse irrigatie als de irrigatie om de dag zorgden voor een situatie waarbij de diepere bodem tegen verzadiging grensde. Aangezien dit niet nodig is voor optimale groei lijkt er een teveel aan irrigatiewater te zijn toegediend.

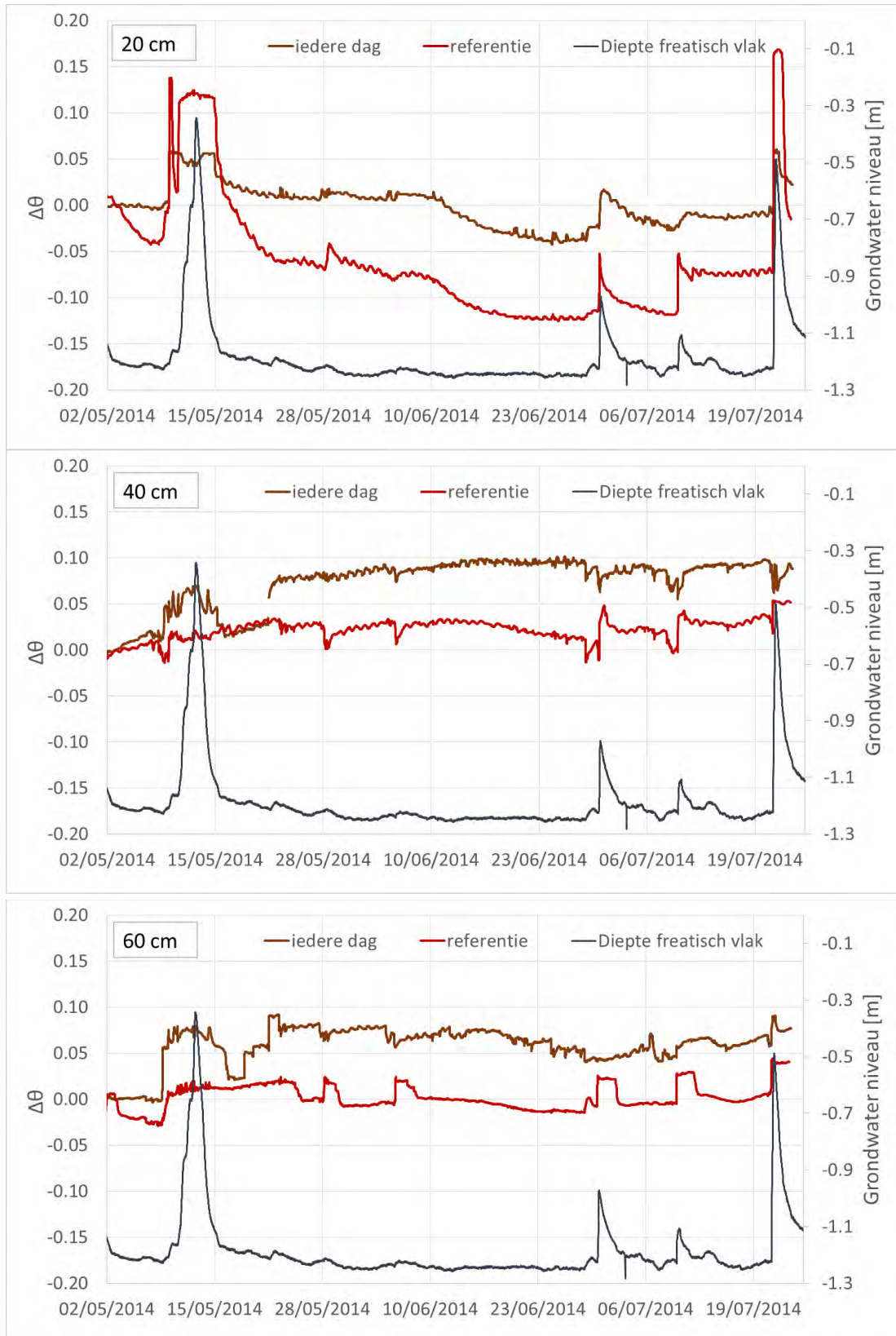
Om te corrigeren voor effecten van ruimtelijke variatie in textuur op de absolute bodemvochtgehalten zijn grafieken gemaakt, waarbij de verandering in bodemvocht ( $\Delta\theta$ ) in de tijd is uitgedrukt ten opzichte van het vochtgehalte aan het begin van het groeiseizoen, voordat er met irrigatie gestart werd. Daar alleen naar veranderingen van het bodemvochtgehalte in de tijd wordt gekeken, wordt duidelijker welke invloed de irrigatie heeft gehad op het bodemvocht. Deze grafieken zijn getoond in figuur 4-11 voor het groeiseizoen van 2014, en in figuur 4-12 voor dat van 2015.

In het relatief natte eerste deel van het seizoen van 2014 daalde het bodemvocht in het referentieveld met ongeveer 22%, terwijl dit in het geïrrigeerde veld minder dan 10% was (figuur 4-11), en voor een groot deel van de tijd rond de nullijn lag. Op 40 en 60 cm diepte was er weinig variatie in het bodemvocht van het referentieveld en schommelde de lijn rond de nul. In het geïrrigeerde deel steeg het bodemvocht na begin van de drainage en bleef daarna continu boven de nul met waarden van tussen de 5% en 10%. Irrigatie via druppelslangen op 40 cm diepte bleek dus op alle niveaus in de bodem te zorgen voor nattere omstandigheden, en een constanter verloop in het bodemvocht. Er werd opgemerkt dat de geïrrigeerde bodem in dit seizoen wellicht te nat is geweest, aangezien er tekenen waren van anoxie in de bodem (blauwe kleur).

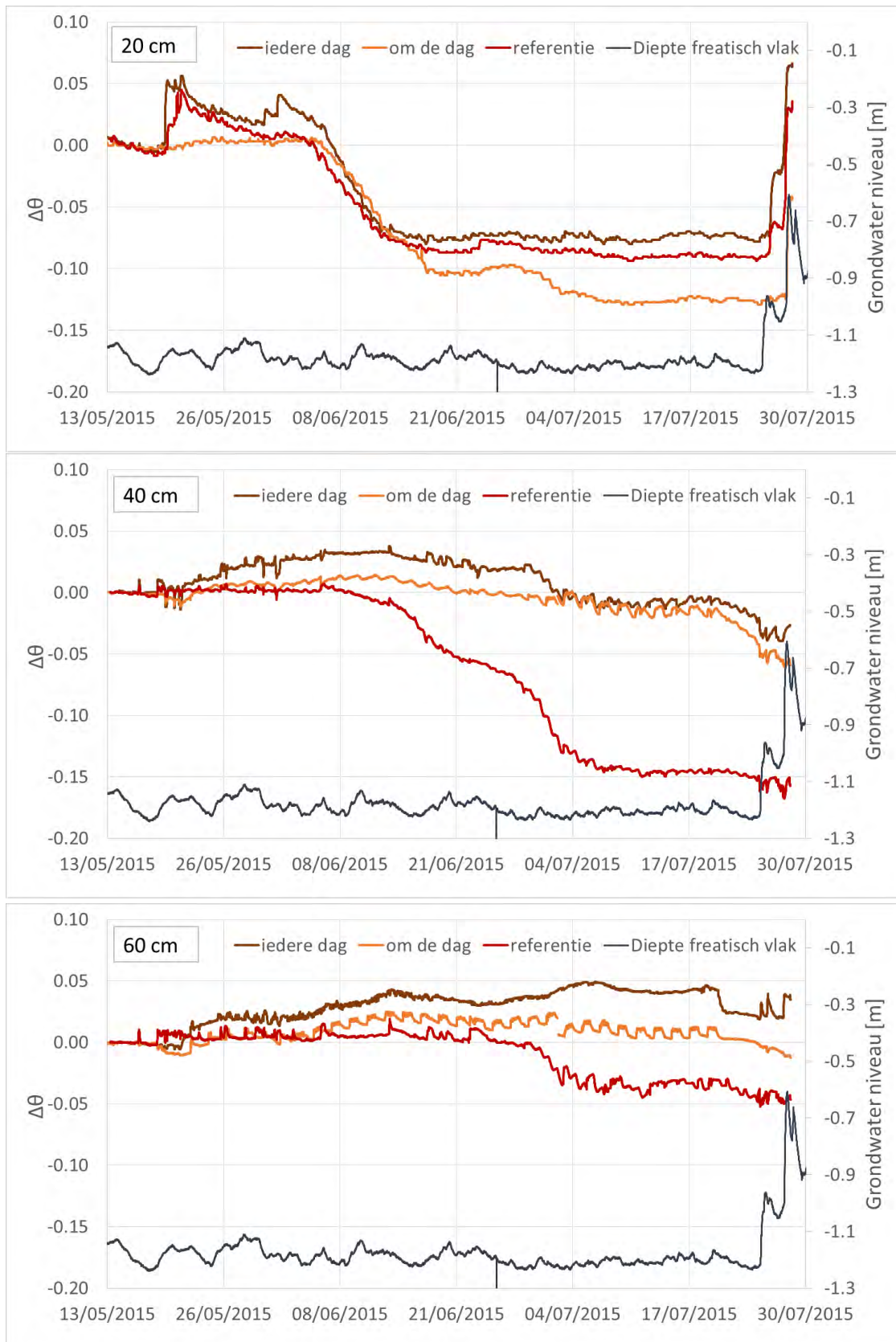
In het groeiseizoen van 2015 werd er naast het dagelijkse irrigatieschema ook een schema voor irrigatie om de dag geïmplementeerd. Bij de dagelijkse irrigatie werd de bodem in de periode tot begin juni op alle dieptes natter dan voor de start van de irrigatie (figuur 4-12). Op 20 cm diepte nam het vochtgehalte in het dagelijks geïrrigeerde veld toe met maximaal 5%. Tussen 7 en 16 juni daalde het bodemvocht op deze diepte tot 7% onder de beginwaarde en bleef toen verder stabiel. Op 40 cm nam  $\theta$  toe met ongeveer 3% boven de initiële waarde tot eind juni, en daalde daarna geleidelijk tot ongeveer 3% onder de initiële waarde. Op 60 cm diepte nam  $\Delta\theta$  geleidelijk toe naar een maximum van 5% begin juli en bleef de bodem over de hele periode natter dan voordat irrigatie startte. Een vergelijking van de metingen in 2015 met de wat minder betrouwbare metingen van 2014 toont aan dat irrigatie in beide jaren leidde tot nattere omstandigheden op alle diepten in het geïrrigeerde proefveld.

Bij irrigatie om de dag bleef de bodem op 20 cm na de start van de irrigatie op het initiële vochtgehalte en trad eenzelfde daling van  $\Delta\theta$  tot -10% op tussen 7 en 16 juni als in het iedere dag geïrrigeerde veld. Na 4 juli nam het bodemvocht verder af tot 13% onder de initiële waarde. Op 40 cm diepte schommelde  $\Delta\theta$  rond de 0% in het om de dag geïrrigeerde veld tot midden juli, en daalde tot -5% aan het einde van het groeiseizoen. De irrigatie om de dag hield de bodem op deze diepte dus voor het grootste deel van de tijd op de initiële waarde. Net als bij de dagelijkse irrigatie nam het bodemvocht bij irrigatie om de dag op 60 cm toe, maar met slechts 2% tot midden juli, waarna het geleidelijk naar de 0% daalde.

Op 20 cm diepte vertoonde het referentieveld eenzelfde verloop van  $\Delta\theta$  in de tijd als de geïrrigeerde velden, waarbij de waarden iets onder die van het dagelijks geïrrigeerde veld bleven. Op 20 cm diepte leek de irrigatie weinig effect te hebben gehad op het verloop van het bodemvocht. Op 40 cm diepte ontstond er echter een groot verschil na 8 juni tussen beide geïrrigeerde velden waar het bodemvocht redelijk dicht bij de initiële waarde bleef, en het referentieveld waar een daling van 15% geobserveerd werd. Ook op 60 cm diepte werd een daling in het referentieveld geobserveerd, alleen gebeurde dit later begin juli en bleef de daling beperkt tot 5% ten opzichte van de initiële waarde.

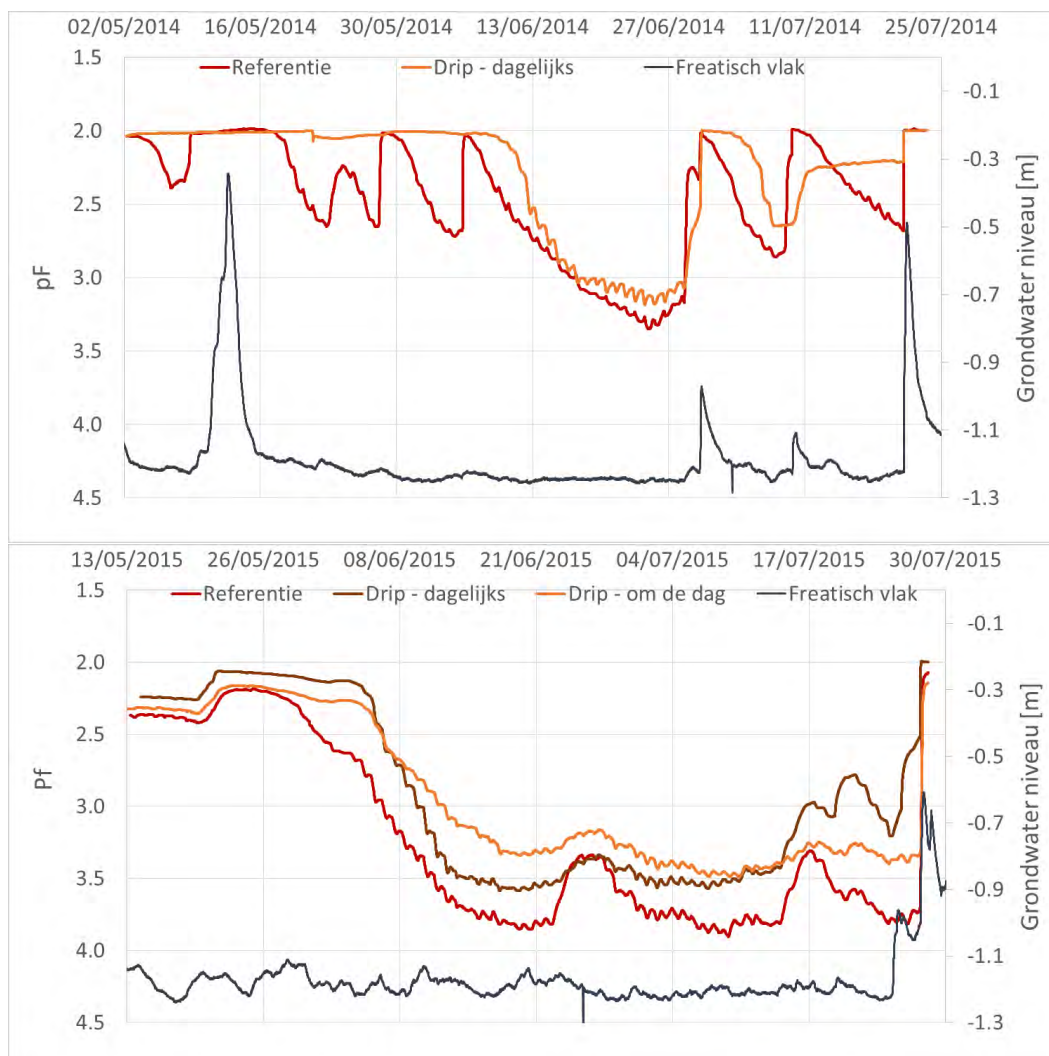


Figuur 4-11. Verandering van het bodemvochtgehalte ( $\Delta\theta$ ) op verschillende dieptes in het kleiperceel Borgsweer gedurende het groeiseizoen van 2015, ten opzichte van  $\theta$  gemeten op 2 mei 2014, 24:00 uur, voor de start van irrigatie.



Figuur 4-12. Verandering van het bodemvochtgehalte ( $\Delta\theta$ ) op verschillende dieptes in het kleiperceel Borgsweer gedurende het groeiseizoen van 2015, ten opzichte van  $\theta$  op 15 mei 2015, 24:00 uur, voor de start van irrigatie.





*Figuur 4-13. Verloop van de pF waarden in de bodem op 20 cm diepte in de referentie en de beregende delen van het kleiperceel Borgsweer voor de groeiseizoenen van 2014 (boven) en 2015 (onder). De grondwaterstand is toegevoegd ter vergelijking. In 2015 werd een deel van het perceel iedere dag beregend, een ander deel eenmaal in de twee dagen, en het referentieperceel niet beregend. De bodem is op veldcapaciteit bij een pF-waarde van 2,0-2,3, en op verwelkingspunt bij een pF van 4,2. De freatische grondwaterstand is bijgevoegd ter vergelijking.*

Vochtspanningen geven een betere indruk van mogelijke stress condities ten gevolge van teveel of te weinig water in de bodem. De gemeten vochtspanningen op 20 cm diepte in alle proefvelden zijn weergegeven in figuur 4-13. De minimum waarde die door de gebruikte sensors gemeten kon worden was  $pF=2.0$ . Waar de bodem permanent op of onder veldcapaciteit zat in Breezand ( $pF < 2,1$ ), was er in Borgsweer waar het grondwater dieper zat duidelijk te zien dat op 20 cm diepte tijdens het groeiseizoen droge omstandigheden voorkwamen. Dit gebeurde zowel in de geïrrigeerde velden, als in het referentieveld.

In 2014 vertoonde het referentieveld in de eerste helft van het seizoen een afwisseling van lage vochtspanning waarbij de bodem op of onder veldcapaciteit was ( $pF \leq 2,0$ ) na neerslag, gevolgd door een geleidelijk stijgende vochtspanning naar een pF waarde van 2,7. In deze periode bleef het geïrrigeerde veld continu op of onder veldcapaciteit. In de tweede helft van het seizoen, na 15 juni, stegen de vochtspanningen in beide velden, naar een pF van rond de 3,1 in het geïrrigeerde veld, en naar 3,3 in het beregende veld. Dit is boven de aanbevolen limiet waarbij aardappelen geïrrigeerd zouden moeten worden ( $pF = 2,8$ , **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**).

De vochtgehaltenes op 40 cm bleven echter in het groeiseizoen van 2014 zo hoog dat er voldoende vocht op wat grotere diepte in de wortelzone aanwezig moet zijn geweest, zodat stress condities voor het gewas in beide gevallen waarschijnlijk laag zijn gebleven. Na neerslag eind juni daalden de vochtspanningen op 20 cm diepte weer naar waarden van onder  $pF = 2,8$ . Voor een optimale groei is zowel zuurstof als vocht voor de plant van belang. Voor een optimale luchttoetreding is een daling van de  $pF$ -waarde op geringe diepte daarom wenselijk.

Het seizoen van 2015 (figuur 4-13, onder) begon met vochtspanningen rond veldcapaciteit ( $pF = 2,1-2,4$ ) in alle velden, waarna de vochtspanningen opliepen. De  $pF$  waarde van 3,0 werd het eerst bereikt in het referentieveld (6 juni) en later ook in het dagelijks geïrrigeerde veld (10 juni) en het om de dag geïrrigeerde veld (12 juni). In het referentieveld liep de vochtspanning op 20 cm diepte op tot  $pF = 3,9$  (9 juli), terwijl de vochtspanning minder hoog opliep, tot  $pF = 3,5-3,6$ , in beide geïrrigeerde velden. Het om de dag beregende veld vertoonde hier de laagste vochtspanning. De metingen gaven aan dat irrigatie om de dag de initiële vochtstatus op 40 en 60 cm diepte het beste bleef handhaven, terwijl dagelijkse irrigatie tot vernatting leidde en het referentieveld na midden juni uitdroogde in 2015.

In Borgsweer lag situatie anders dan in Breezand. Uit het bovenstaande blijkt dat bij een diepere grondwaterspiegel, in combinatie met een bodem van zware zavel, de capillaire opstijging de verdampingsvraag mogelijk niet kon bijhouden. Dit zorgde voor een uitdroging tot een  $pF$  van 3,7 op 20 cm bodemdiepte in het referentieproefvak. Uit het voorgaande blijkt dat de bovengrond in het proefperceel verder kan uitdrogen. Deze uitdroging van de bovengrond hoeft gezien de bewortelingsdiepte van aardappelen, die 100 cm kan bedragen, niet tot een vochttekort te leiden. De levering van water door dagelijkse en twee-dagelijkse watergiftten via het druppelirrigatiesysteem op 53 cm diepte hadden effect op de  $pF$  waarde die gemeten werd op 20 cm, wat aantoont dat het water ook een opwaartse beweging ondervond en dat irrigatie op deze diepte een stijging in het vochtgehalte in de hele wortelzone kon bewerkstelligen.

## 4.2 Watergift en grondwaterstand

### 4.2.1 Zandperceel Breezand

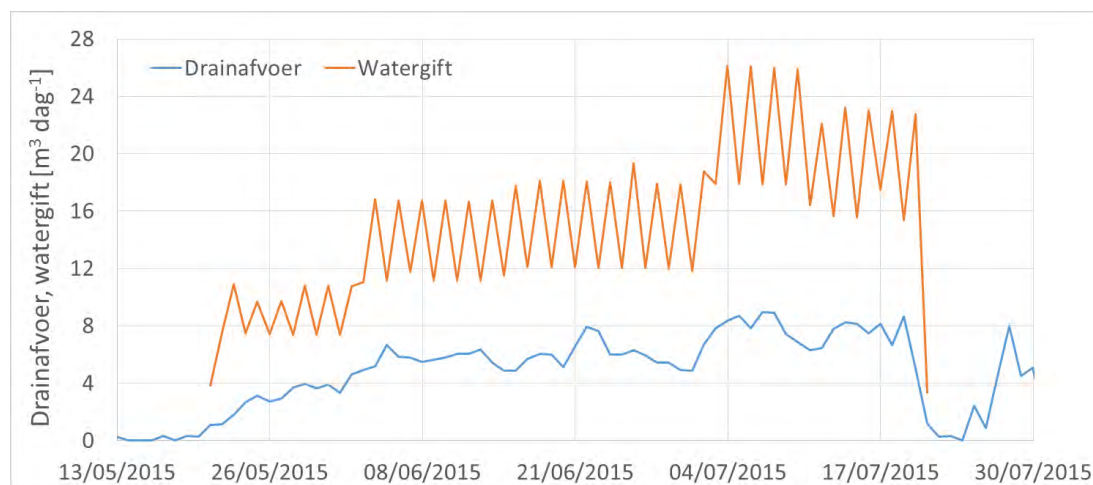
De watergift in zandperceel Breezand was onregelmatig met een frequentie van om de paar dagen tot een week en diende ter fertigatie, meer dan om het bodemvocht op peil te houden. Er werd er in 2014 tussen 27 maart en 20 mei geïrrigeerd, waarbij er over 15 dagen in deze periode 128 m<sup>3</sup> water toegevoegd werd. In 2015 werd er tussen 19 april en 12 mei gedurende 11 dagen 140 m<sup>3</sup> beregend. De grondwaterstand in Breezand, waar niet heel frequent geïrrigeerd werd reageerde vooral op neerslag (Figuur 4-4).

### 4.2.2 Kleiperceel Borgsweer

De aanleg van de druppelslange was in 2014 niet goed verlopen, waardoor de irrigatie niet betrouwbaar gelijkmatig over het veld verdeeld werd. Druppelirrigatie werd dagelijks gedoseerd tussen 30 mei tot 3 juli 2014. De eerste 6 dagen werd 9 m<sup>3</sup> toegevoegd en daarna werd het debiet verhoogd tot 13 m<sup>3</sup> per dag. In totaal werd er 424 m<sup>3</sup> toegevoegd. In dezelfde periode vloeide 190 m<sup>3</sup> uit de drains van het perceel, wat mogelijk veroorzaakt werd door een overmaat aan druppelirrigatie. Aannemend dat dit drainagewater betrekking heeft op weglekkend irrigatiewater, zou een watergift van 220 tot 250 m<sup>3</sup> in deze periode toereikend zijn geweest.

In 2015 werd tussen 20 mei en 20 juli geïrrigeerd en was de hoeveelheid hoger op 924 m<sup>3</sup>, waarvan 749 m<sup>3</sup> naar het dagelijks bevoeide veld (24 bedden) ging, en 174 m<sup>3</sup> naar het om de dag bevoeide veld (12 bedden). De watergift in 2015 veroorzaakte een stijging in het grondwater in het geïrrigeerde deel van het perceel. Hierdoor voerden de drains in deze periode ook continu water af (figuur 4-14, totaal 353 m<sup>3</sup>), waarvan het overgrote deel weer geïnfilterd werd in de ondergrondse opslag.

De drainafvoer was al gestopt begin mei en zou, indien niet beregend werd, alleen voorkomen tijdens perioden van hoge neerslag. De drainafvoer daalde ook naar nul direct nadat gestopt werd met irrigeren (figuur 4-14).

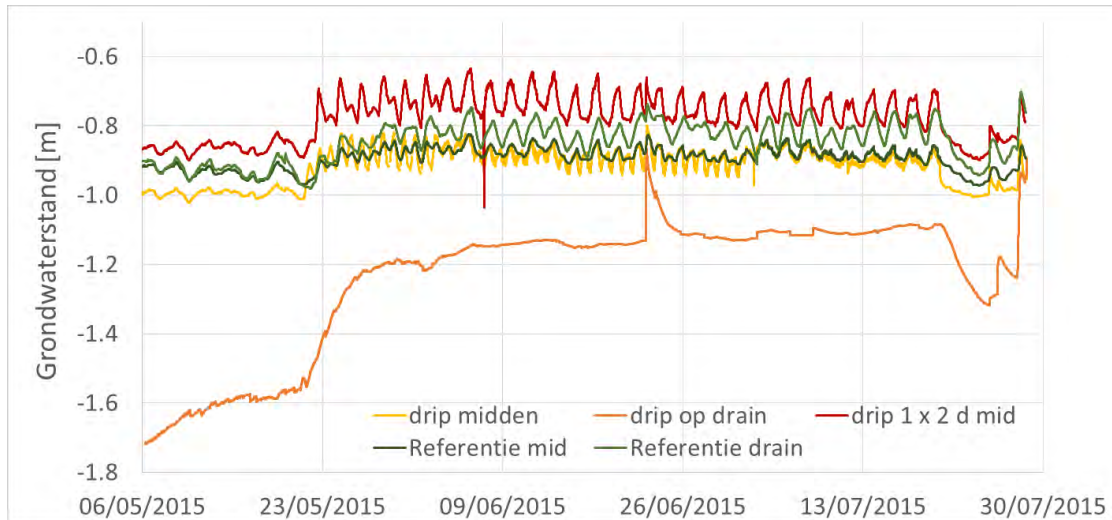


*Figuur 4-14. Watergift en drainafvoer uit het kleiperceel Borgsweer in het groeiseizoen van 2015. Het getande verloop in de watergift is een gevolg van de somming van de dagelijkse en de tweedaagse irrigatiehoeveelheden. De drainage is afkomstig uit alle velden, inclusief het referentieveld.*

Het is daarom aannemelijk dat in beide seizoenen, zeker in het dagelijks bevoeide veld, teveel werd geïrrigeerd, aangezien 38% van het irrigatiewater naar de drains ging. Dit betekent dat een bij dagelijkse gift in 2015 een totaal van 350 - 400 m<sup>3</sup> waarschijnlijk al voldoende geweest zou zijn om het bodemvocht op peil te houden. Daarnaast kan worden aangegeven dat de snelle reactie van de grondwaterstand op een irrigatie waarschijnlijk het gevolg is van scheurvorming in de bodem van zware zavel/klei. Hierdoor kunnen preferente stroombanen ontstaan die het overtollige irrigatiewater snel naar beneden transporteren. Indien er geen scheuren aanwezig zouden zijn zou, gezien de geringe doorlatendheid van klei en zavelgronden, een sterk vertraagde reactie mogen worden verwacht. In het dagelijks beregende veld werden ook tekenen van zuurstofloosheid in de bodem waargenomen (blauwe kleur van de klei) wat nadelig zou zijn voor de opname van stikstof door de aardappelplant.

De grondwaterstanden ingemeten ten opzichte van maaiveld in de referentie en in de geïrrigeerde percelen werd gemeten op de drain, en tussen de drains in, zijn getoond in figuur 4-15. Door geringe hoogteverschillen binnen het perceel varieerde de grondwaterstand in de verschillende peilbuizen van elkaar. De aanvoer van extra water via druppelirrigatie zorgde voor een verhoogde druk in de drains onder de bevoeide proefvakken en zorgde voor een stijging van ongeveer 10 cm. Ook waren fluctuaties in de grondwaterspiegel ten gevolge van irrigatie duidelijk waarneembaar in de metingen. Een uitzondering vormde de meting op de drain in het dagelijks bevoeide veld. Hier lag het grondwater dieper onder maaiveld en steeg ten tijde van de bevoeiing met ongeveer 40 cm, maar vertoonde niet de dagelijkse en twee-dagelijkse fluctuaties ten gevolge van de druppelirrigatie. De reden voor dit afwijkend patroon is niet duidelijk. Aangezien de drains dwars op de proefvakken lagen, zette de drukverhoging zich voort over het hele perceel, waardoor het grondwater ook in het referentieproefvak eenzelfde stijging en fluctuaties vertoonde ten gevolge van irrigatie. Dit heeft tot gevolg dat de referentie situatie, in tegenstelling tot de verwachting, niet onbeïnvloed is gebleven.





Figuur 4-15. Grondwaterstanden gemeten ten opzichte van maaiveld op en tussen de drains in het referentie proefvak, en in de geïrrigeerde proefvakken.

### 4.3 Bodemvochtsimulaties

Het hydrologisch model voor stroming in de onverzadigde zone Hydrus is gebruikt om de bodemvochtgehalten, vochtspanningen en stroming van bodemvocht te simuleren in de referentie en druppelirrigatie proefvakken. Twee-dimensionele modellen zijn ontwikkeld waar de effecten van druppelirrigatie op enkele centimeters onder maaiveld (zandperceel Breezand) en onder de ploegdiepte (kleiperceel Borgsweer) te simuleren. Voor de bodemtypering werd gebruik gemaakt van parameters uit de Staring reeks (tabel 4-1; Wösten et al., 2001). Deze parameters zijn voor de bovengrond van Breezand gekalibreerd. Voor Borgsweer moet de kalibratie plaatsvinden in de volgende fase, daar een langere tijdserie nodig bleek en scheurvorming invloed leek te hebben op een sneller transport van water uit de onverzadigde zone naar het grondwater toe. Dit bleek vooral uit de snelle reactie van het grondwater op druppelirrigatie.

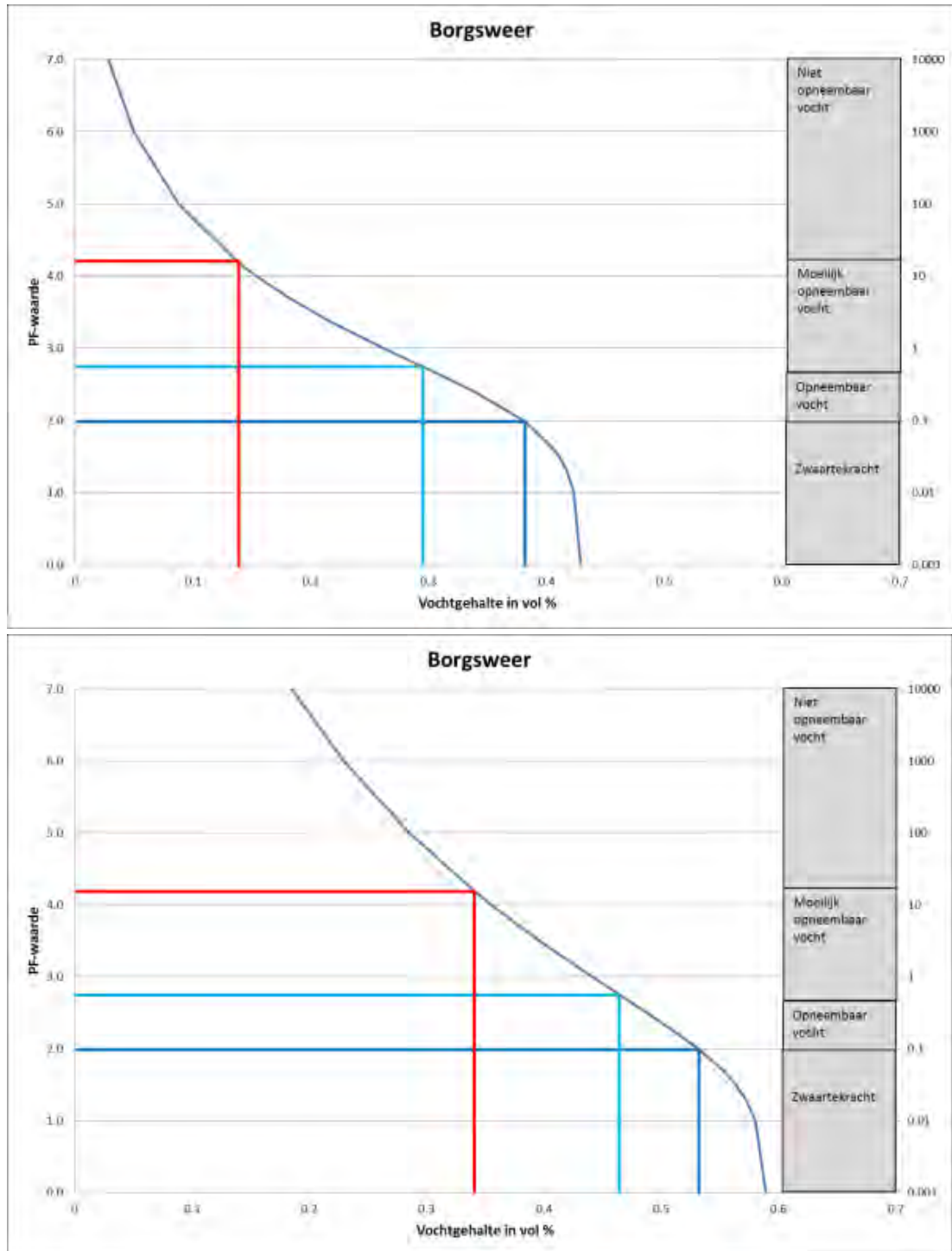
Tabel 4-1. Gebruikte bodemfysische parameters voor de simulaties met van het bodemvocht in Breezand en Borgsweer.

Diepte	$\Theta_r$	$\Theta_s$	$K_s$ cm d <sup>-1</sup>	$\alpha$ cm <sup>-1</sup>	$l$	$n$
	-	-			-	-
<b>Breezand</b>						
<b>B1-gecalibreerd</b>	0.02	0.41	84	0.0240	0	2.08
<b>O1</b>	0.01	0.36	120	0.0224	0	2.28
<b>Borgsweer</b>						
<b>B9</b>	0	0.43	1.54	0.0065	-2.161	1.325
<b>B11</b>	0.01	0.59	4.53	0.0195	-5.901	1.109

De hoeveelheid voor de plant beschikbaar water wordt bepaald door twee dynamische processen. Het wegzakken van water onder invloed van de zwaartekracht tijdens perioden met een overvloed aan water en het uitdrogen van de grond als gevolg van verdamping. Na een hevige regenbui of na irrigatie is de bodem al na korte tijd niet meer verzadigd. Een gedeelte van het water is zo weinig gebonden dat het gemakkelijk naar beneden kan wegstromen, hetgeen ook van belang is voor de zuurstofvoorziening van de plant. De situatie die na uitzakken van het overtollige water ontstaat vormt de bovengrens van het voor de plant beschikbare hangwater (figuur 4-16, figuur 4-17). In deze situatie wordt gesproken van veldcapaciteit (PF 2, uitgaande van een grondwaterstand van 100 cm beneden maaiveld).

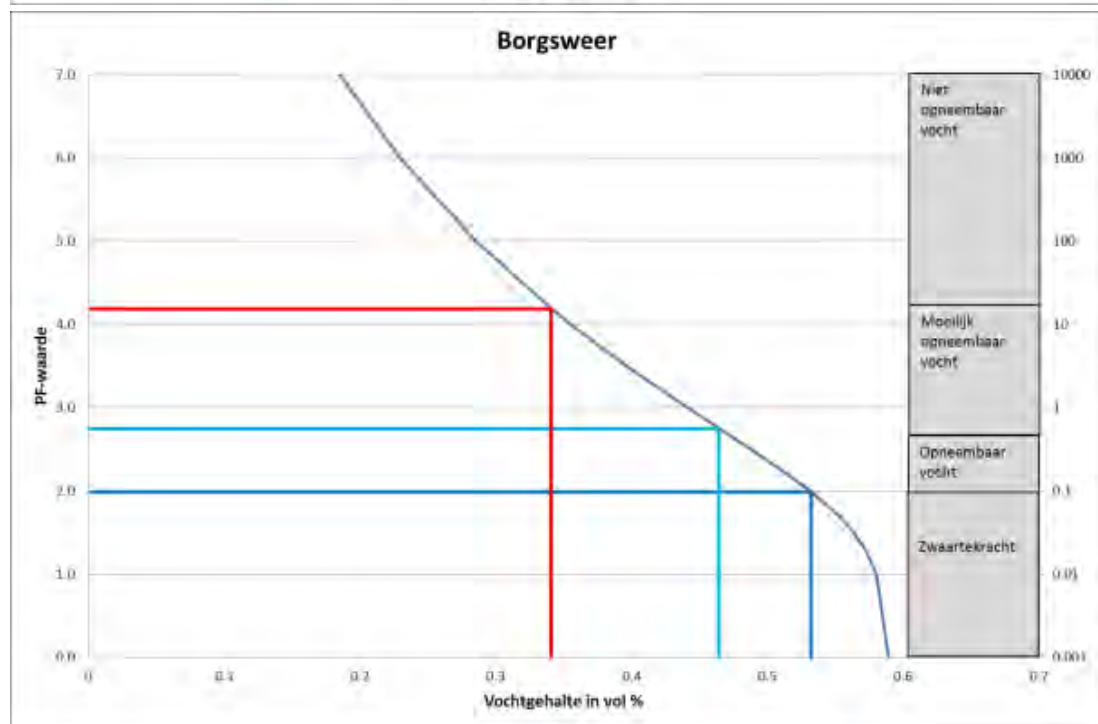
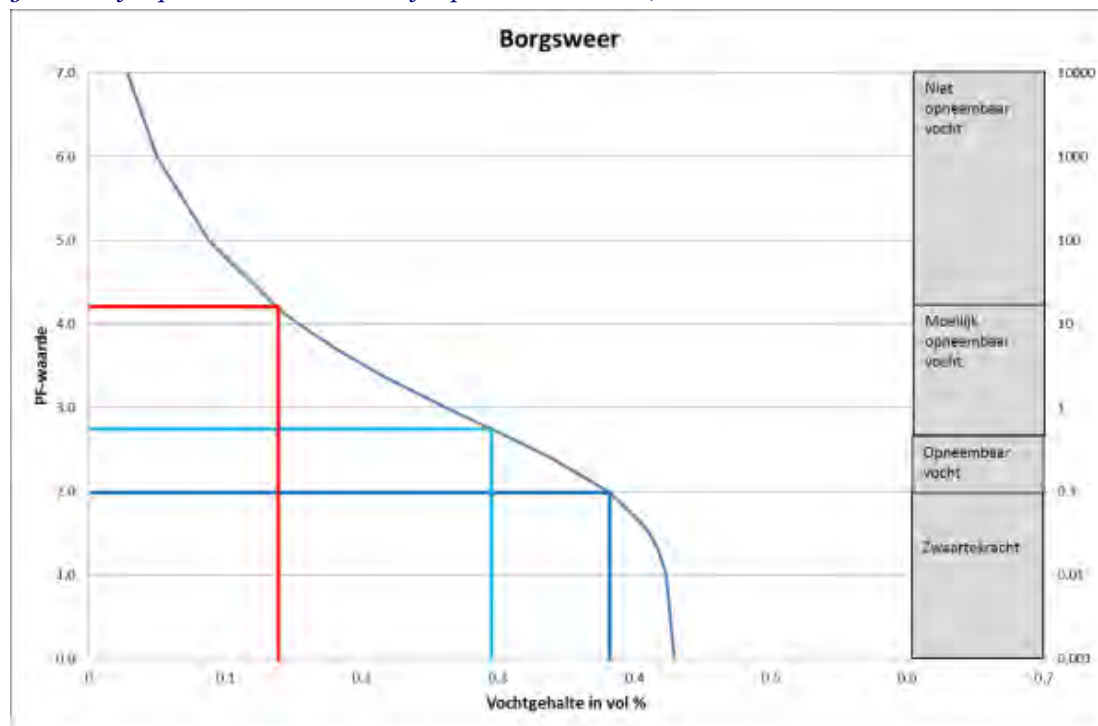
Uit de gehanteerde vochtkarakteristieken (pF-curves) blijkt dat het vochtgehalte bij veldcapaciteit voor beide locaties sterk verschillen. In Breezand is het vochtgehalte bij veldcapaciteit circa 20% en in Borgsweer 38% tot 54% (donkerblauwe lijn in figuur 4-16, figuur 4-17) .

Een tweede grens van het beschikbare hangwater is het verwelkingspunt (pF= 4,2), drukhoogte waarbij de plant geen water meer kan opnemen. In Breezand is het vochtgehalte bij verwelkingspunt circa 3% en in Borgsweer 14% in de bovengrond en 34% in de ondergrond (rode lijn in



Figuur 4-17, Figuur 4-18). Alvorens deze grens bereikt wordt heeft de plant al te maken met een minder gemakkelijke wateropname als gevolg van een afnemende drukhoogte. Er is daarom al eerder sprake van groeiremming als gevolg van een vochttekort bij lage pF waarden. Deze groeiremming gaat gepaard met een vermindering van de gewasproductie. De pF-waarde waarbij

remming gaat optreden is afhankelijk van de plantensoort (Tabel 1). De pF-waarde waarbij remming op gaat treden is een tussengrens waarbij de beschikbare hoeveelheid vocht overgaat van gemakkelijk opneembaar naar moeilijk opneembaar vocht (

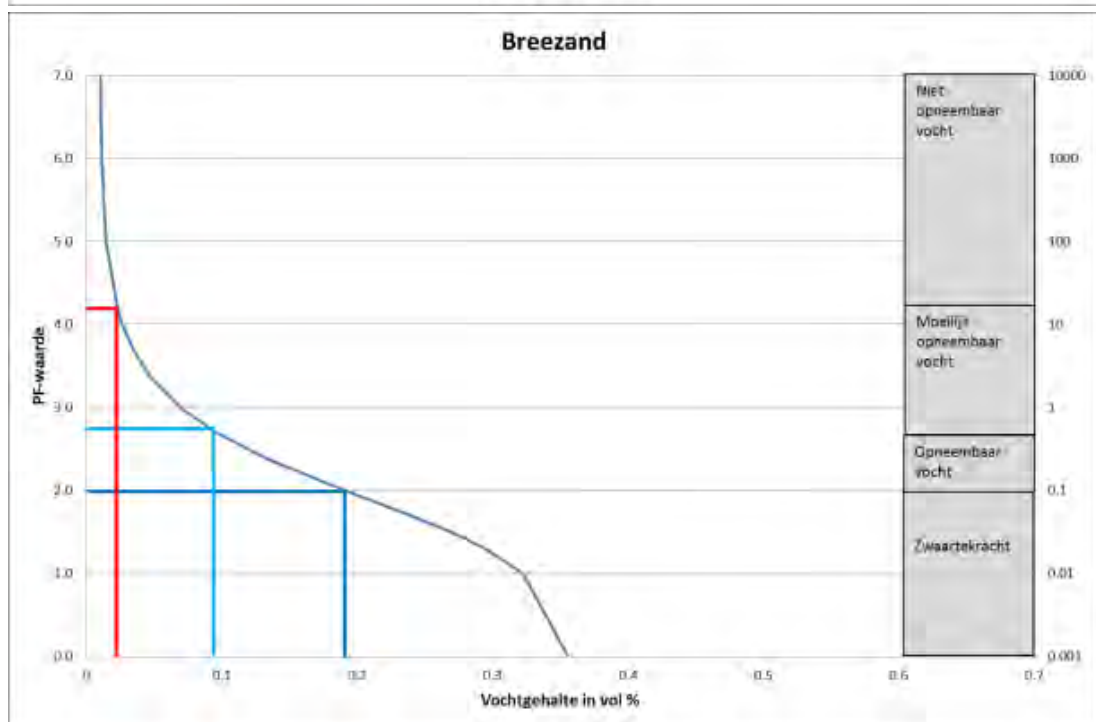
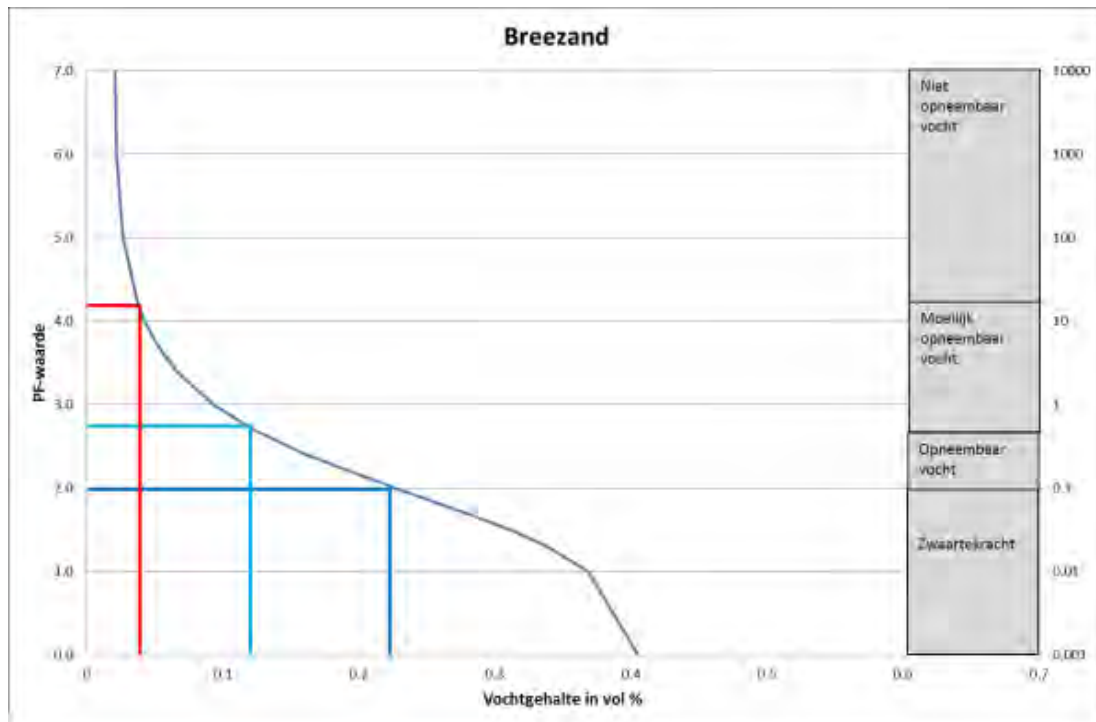


Figuur 4-17, Figuur 4-18). In Breezand is het vochtgehalte op de grens van gemakkelijk en moeilijk opneembaar vocht circa 10% en in Borgsweer 30% tot 46% (lichtblauwe lijn in figuur 4-16, figuur 4-17).

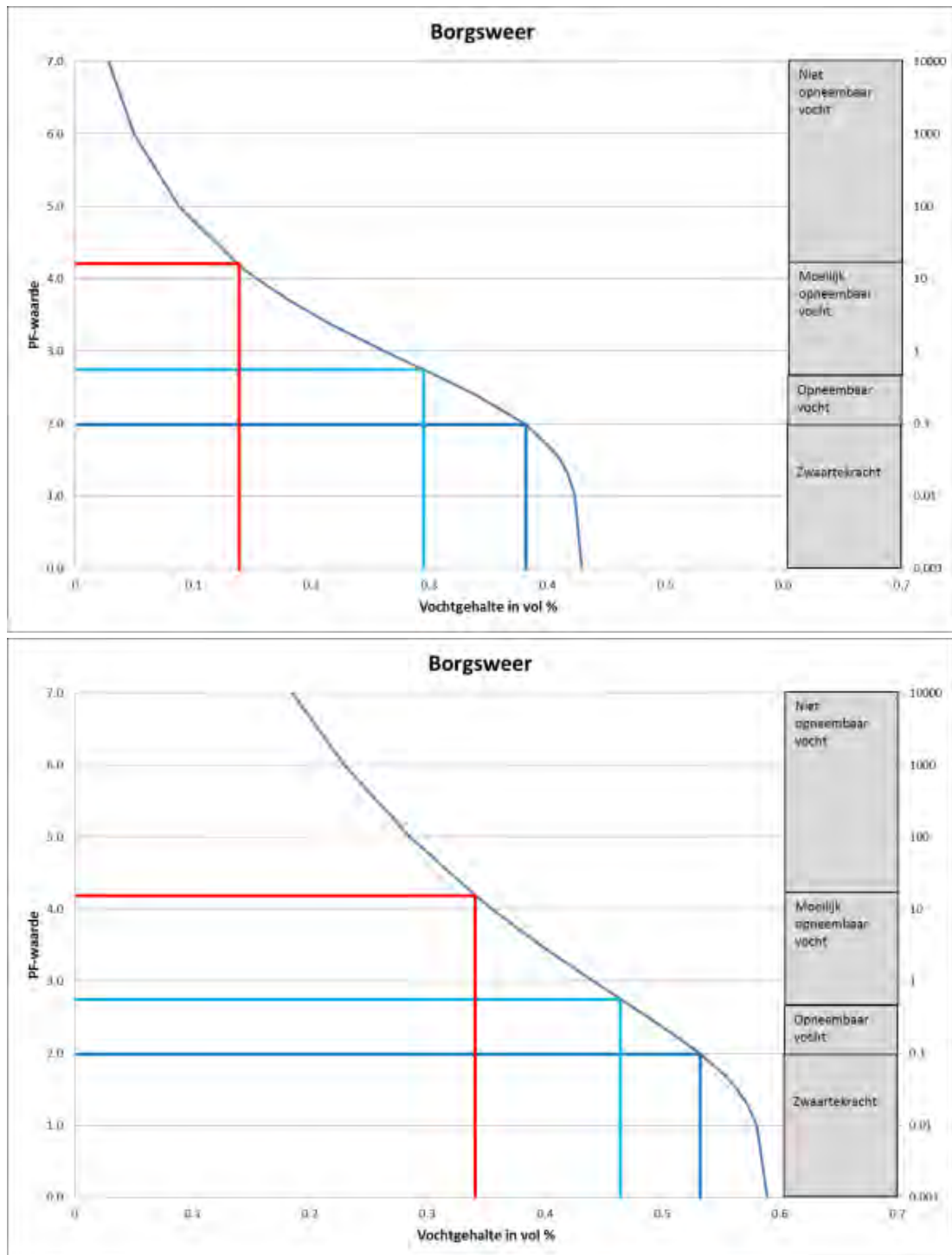
Voor een optimale watervoorziening is het van belang dat het vochtgehalte tussen veldcapaciteit (donkerblauwe lijn in figuur 4-16, figuur 4-17) en de overgang van gemakkelijk naar moeilijk opneembaar vocht blijft (lichtblauwe lijn in figuur 4-16, figuur 4-17). De hoeveelheid beschikbaar hangwater tussen deze grenzen bedraagt in Breezand 10% en in Borgsweer 8%. Ondanks het hogere

vochtgehalte in kleigrond blijkt de hoeveelheid gemakkelijk opneembaar vocht in een zandgrond groter. Dit is het gevolg van de hoge binding van vocht aan de grond in kleigronden.

De randvoorwaarden van de modellen voor beide percelen zijn aan de bovenkant atmosferisch, en de zijkanten hebben een geen-stroming conditie. Voor de watergift via de druppelslang werden variabele-stroming randvoorwaarden gebruikt. Voor Breezand werd aan de onderkant van het modeldomein een vaste waterstand aangenomen, overeenkomend met de hoge grondwaterstand na peilopzet. Voor de onderkant van het domein in Borgsweer werd vrije drainage ingesteld. Dit houdt in dat als de bodem boven de ondergrens van het model verzadigd raakt, het water via drains het domein uit kan stromen, maar dat er geen water via deze grens het domein in kan stromen.



Figuur 4-16. Grafische weergave van de pF-curven en de hiermee samenhangende vochtbeschikbaarheid voor de plant voor Breezand voor de gebruikte bovengrond (boven) en ondergrond (onder).

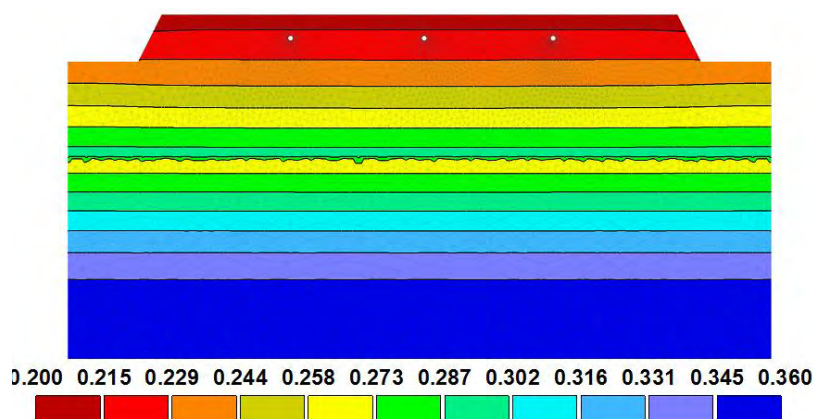


Figuur 4-17. Grafische weergave van de pF-curven en de hiermee samenhangende vochtbeschikbaarheid voor de plant voor Borgsweer voor de gebruikte bovengrond (boven) en ondergrond (onder).

### 4.3.1 Simulaties voor het zandperceel Breezand

Voor het zandperceel Breezand werden simulaties gedaan voor het referentieperceel, en voor de proefvakken, waarbij gewerkt werd met twee, drie en vier slangen die op gelijke onderlinge afstand in het bed werden gelegd. Het opgezette peil, in combinatie met capillaire opstijging in de bodem, zorgde ervoor dat er altijd voldoende vocht aanwezig was in de bodem, zoals te zien is in figuur 4-18 voor de referentie situatie.

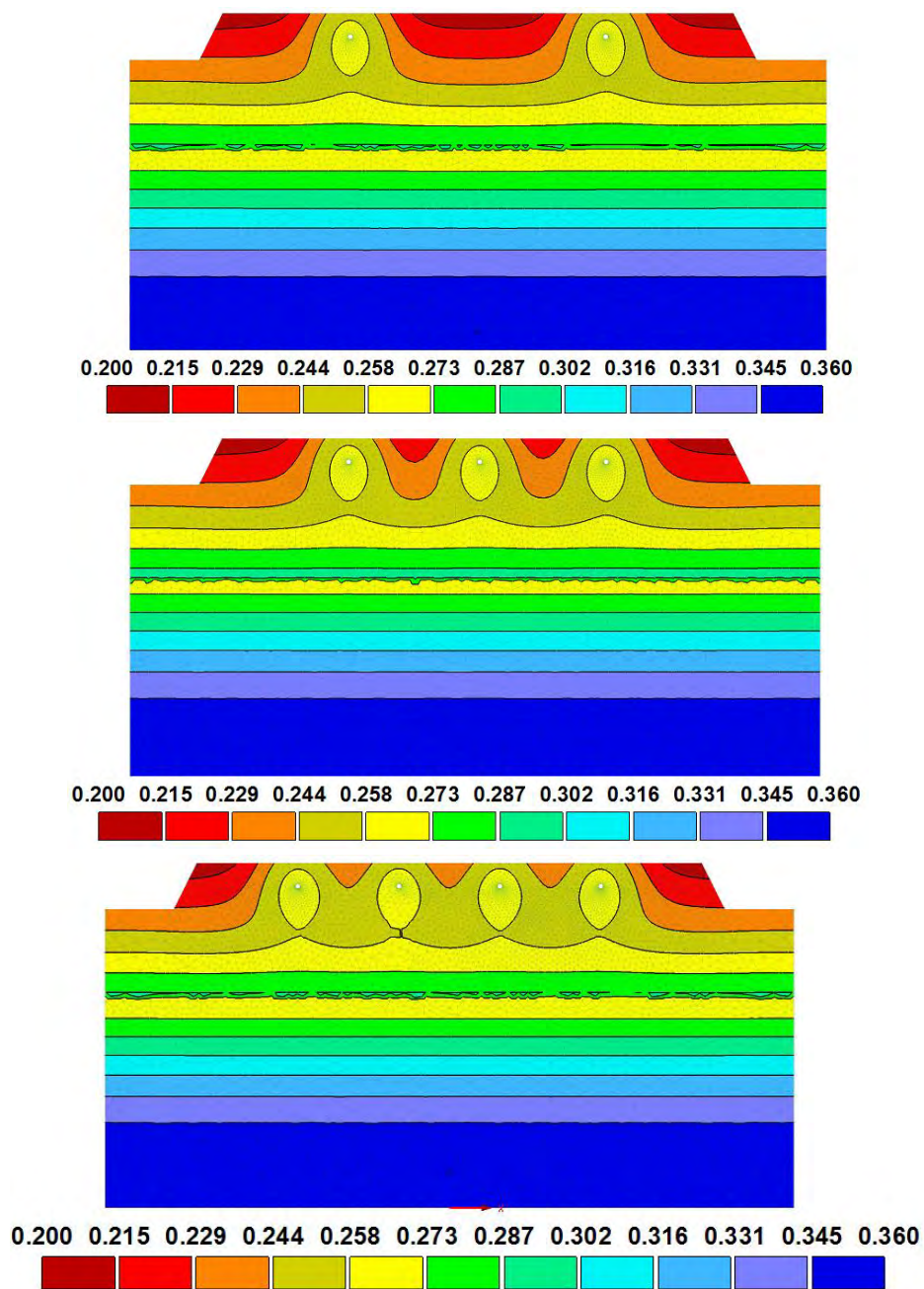
Hier ontstaat een vrij uniform met de diepte toenemende bodemvochtverdeling, waarbij de rug het minste bodemvocht bevat. De bodem in de rug bleef echter op veldcapaciteit ( $pF= 2$ ) en er was dus ook zonder druppelirrigatie voldoende vocht aanwezig voor de groei van het gewas.



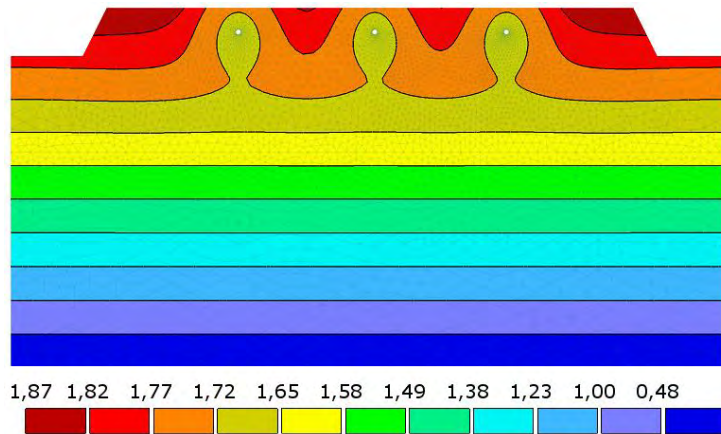
*Figuur 4-18. Ruimtelijke variatie van bodemvocht in een rug in het perceel Breezand waarbij geen irrigatie plaats heeft gevonden.*

De druppelirrigatie aan de bovenkant in de rug (figuur 4-19) zorgde lokaal om de druppelslang heen voor nattere zones, waarbij het water in de zandige bodem zowel zijwaarts als in de verticaal verspreid werd tot een diepte van ongeveer 25-30 cm. De druppelirrigatie leek weinig invloed te hebben op het bodemvochtgehalte op grotere diepte daar deze identiek was aan die in de referentiesimulatie figuur 4-18). Met een toenemend aantal slangen in een bed werden de droge delen tussen de slangen in steeds kleiner (figuur 4-19). Aangezien nutriënten toegevoegd worden met het irrigatiewater zorgt een toename in het aantal slangen dat gebruikt wordt voor een steeds betere verdeling van water en indien fertigatie wordt toegepast nutriënten in, en net onder de rug, toont de vochtspanningen voor een situatie waarbij er met drie druppelslangen water toegevoegd wordt. De  $pF$  waarde ligt in het hele domein onder veldcapaciteit (figuur 4-20), en er was derhalve geen sprake van een tekort aan vocht voor het gewas.





*Figuur 4-19. Ruimtelijke variatie van bodemvocht onder een rug in het zandperceel Breezand waar druppelirrigatie plaats vond twee (boven), drie (midden) en met vier druppelslangen (onder).*

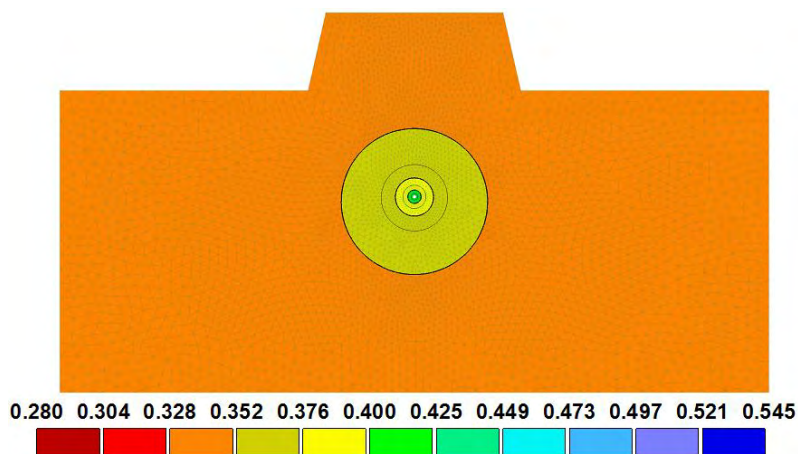


Figuur 4-20. Simulatie van de ruimtelijke variatie van pF waarden in de ondergrond van Breezand bij irrigatie met drie druppelslangen in een droge periode.

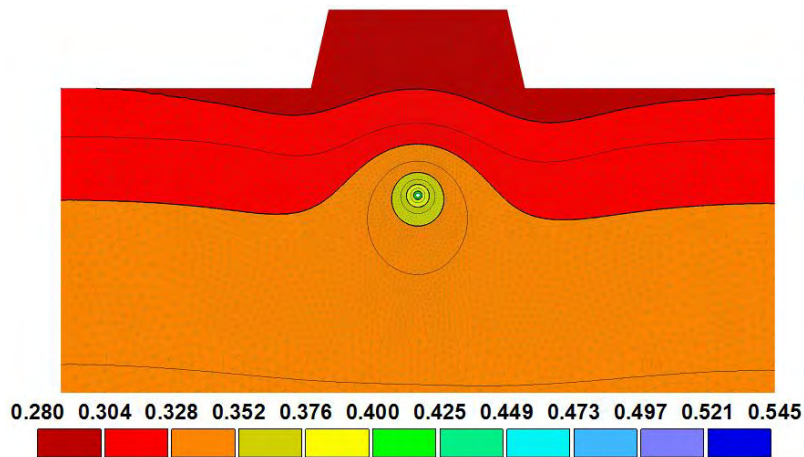
### 4.3.2 Simulaties voor het kleiperceel Borgsweer

In Borgsweer bestond de bovenste 40 cm van de bodem uit zware zavel, met daaronder matig zware klei. Het gekozen modeldomein was 1,22 m diep, waarbij de rug 0,22 m hoog was. Voor de invoer van neerslag in het model is de neerslag die gemeten is op KNMI Station Nieuw Beerta gebruikt, en actuele verdamping werd berekend volgens Makkink (KNMI Station Eelde), in combinatie met gewasfactoren voor aardappel (Bruin & Lablans, 1998).

Om een indruk te krijgen van de verspreiding van het bodemvocht ten gevolge van de druppelirrigatie is een simulatie gedaan voor een uniforme, relatief droge bodem van zware zavel en zonder invloed van capillaire opstijging, neerslag of verdamping. Deze situatie is getoond in figuur 4-21, en geeft aan dat het bodemvocht in een zware zavel vrij gelijkmatig verspreid wordt in een radiaal patroon rond de slang. Indien er wel verdamping optreedt (figuur 4-22) droogt de top van de bodem uit, maar blijft er nog steeds een zone van hoger bodemvocht aanwezig onder de rug, waaruit de diepere wortels van de aardappelplant water kunnen onttrekken.

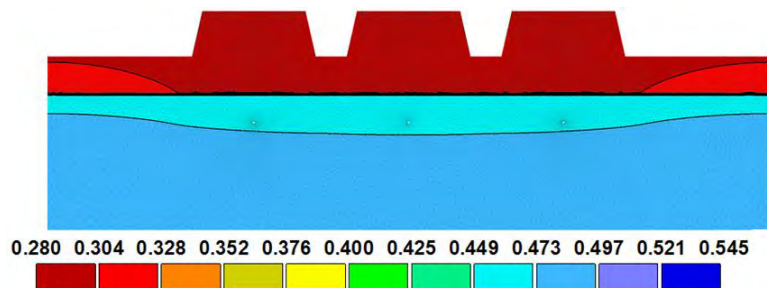


Figuur 4-21. Simulatie van de verspreiding van vocht in een enkele rug gebaseerd op een uniforme, relatief droge bodem van zware zavel, waaraan vanuit een druppelslang op 54 cm onder de rug water toegediend wordt, zonder dat er neerslag is of verdamping optreedt. De diepte van het domein is 1.22 m.

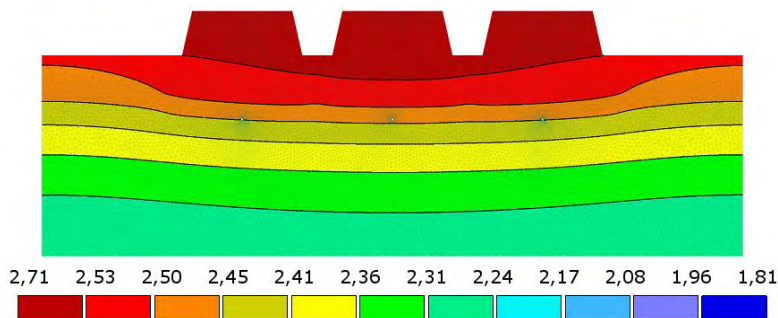


*Figuur 4-22. Simulatie van de verandering van bodemvocht voor een enkele rug gebaseerd op een uniform relatief droge bodem van zware zavel, waaraan vanuit een druppelslang op 54 cm onder de rug irrigatie toegediend wordt en verdamping optreedt.*

Voor een relatief droge dag in 2015 zijn ook bodemvocht en de vochtspanning gesimuleerd voor het referentieproefvak, waarvan de resultaten getoond zijn in figuur 4-23 en figuur 4-24, respectievelijk. Bij de berekening is er van uitgegaan dat er geen capillaire opstijging plaatsvindt. Hierdoor droogde de wortelzone sterker uit dan in Breezand en werden hogere pF waarden bereikt van boven de veldcapaciteit. Bij deze berekening is uitgegaan van vrije drainage aan de onderzijde van het gemodelleerde domein. Indien gebruik zou worden gemaakt van een grondwaterstand als onderrand geven de rekenresultaten zeer natte omstandigheden waarbij geen rekening is gehouden met scheurvorming. In het vervolg zal waarschijnlijk moeten worden gerekend met scheurvorming als gevolg van uitdroging van de grond.



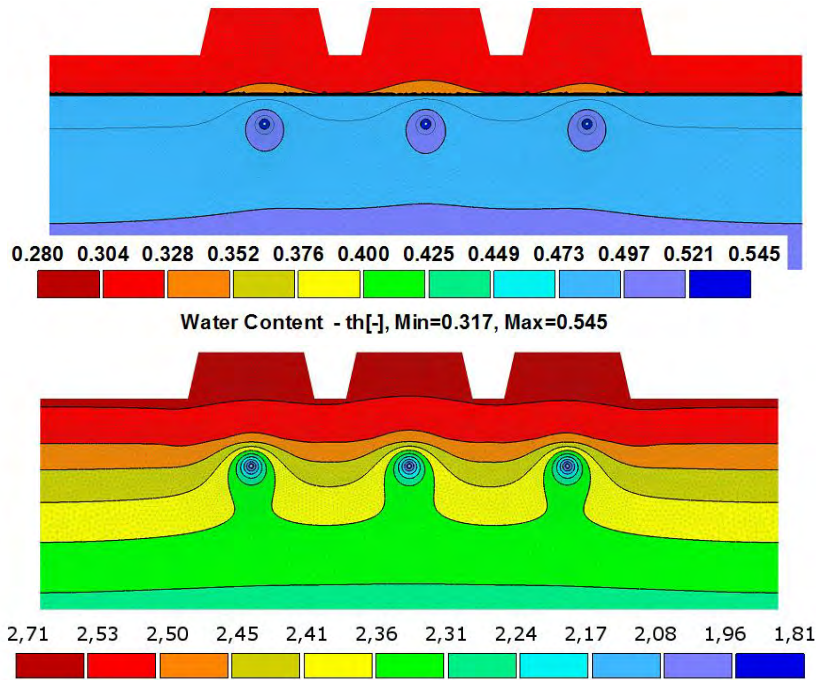
*Figuur 4-23. Simulatie van de ruimtelijke variatie in bodemvocht voor drie ruggen in het referentieproefvak, gebaseerd op een relatief droge gelaagde bodem van zware zavel met daaronder matig zware klei.*



*Figuur 4-24. Simulatie van de ruimtelijke variatie in vochtspanning (pF-waarde) voor drie ruggen in het referentieproefvak, gebaseerd op een relatief droge gelaagde bodem van zware zavel met daaronder matig zware klei.*

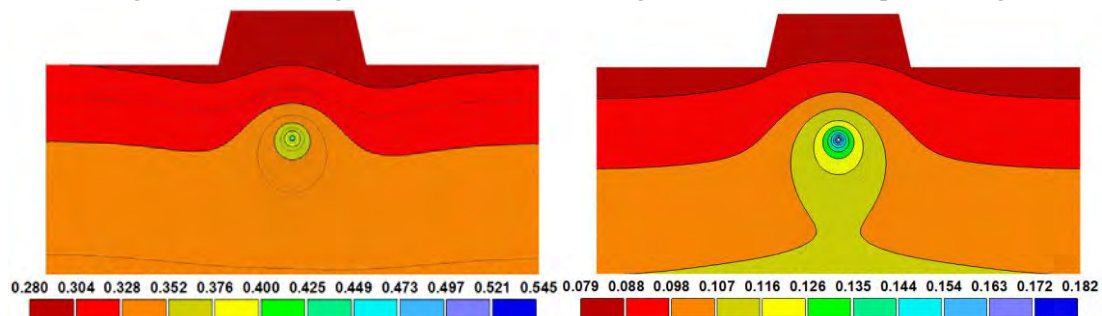


Simulaties van bodemvocht en vochtspanning met druppelirrigatie op deze droge dag laten zien dat het bodemvocht in de rug en ondergrond in zijn geheel omhoog gaat, en dat er nattere zones ontstaan rond de leidingen (figuur 4-25), waarbij de pF-waarde daalt tot net onder de rug. Een vergelijkbaar patroon, maar dan met hogere bodemvochtgehalten en lagere vochtspanningen, werd berekend onder nattere omstandigheden.



Figuur 4-25. Simulatie van de ruimtelijke variatie in bodemvocht (boven) en vochtspanning (pF-waarde, onder) voor drie ruggen gebaseerd op een gelaagde bodem van zware zavel met daaronder matig zware klei, waarin vanuit een druppelslang op 54 cm onder de rug irrigatie toegediend werd in een droge periode.

Het type bodem, de diepte van het freatisch vlak, en de diepte waarop druppelleidingen worden aangelegd beïnvloeden de ruimtelijke verspreiding van bodemvocht in de ondergrond. Het verschil tussen irrigatie op diepte in een bodem van zware zavel en van zand met dieper vrij drainerend grondwater is getoond in figuur 4-26. In beide gevallen ontstaat er een zone van hoger bodemvocht onder de rug, maar in de zandige bodem is er meer stroming van water naar de diepere ondergrond toe.



Figuur 4-26. Simulatie van de verandering van bodemvocht voor een enkele rug gebaseerd op een uniform droge bodem van zware zavel (links) en een zandige bodem (rechts), waaraan vanuit een druppelslang op 54 cm onder de rug irrigatie toegediend wordt, zonder dat er neerslag of verdamping optreedt.

# 5 Fertigatie

## 5.1 Bemesting

Voor de groei is een plant afhankelijk van de opname via de wortels van macronutriënten (N, P, K, Ca en Mg), die in grotere hoeveelheden in de bodem aanwezig moeten zijn, en micronutriënten, zoals B, Zn, Mn, Fe, Cu en Mo, die als sporenelement aanwezig moeten zijn in de bodem. Stikstof en fosfor zijn beide belangrijke nutriënten voor de groei van gewassen, die vaak limiterend aanwezig zijn in de bodem, en worden dan ook eigenlijk in alle moderne landbouw via bemesting toegevoegd. Deze nutriënten worden door de plant als opgeloste stof uit het bodemvocht opgenomen. Fosfor is het element dat in oppervlaktewater vaak limiterend is voor de groei van algen en ander ongewenste vegetatie. Indien fosfaat in oppervlaktewater terecht komt veroorzaakt dat eutrofiëring en uitspoeling van deze stof is derhalve ongewenst. Stikstof wordt aan de bodem als meststof toegevoegd in de vorm van nitraat ( $\text{NO}_3$ ) of ammonium ( $\text{NH}_4$ ). Beide ionen zijn goed oplosbaar en kunnen indien deze stoffen in een overmaat wordt toegevoegd vrij makkelijk uitspoelen naar het oppervlaktewater. Fosfor wordt toegevoegd in de vorm van fosfaat ( $\text{PO}_4$ ), wat veel slechter oplosbaar is en veel gevoeliger voor neerslag en adsorptie in de bodem. Hierbij spelen de textuur van de bodem, de pH, het organisch stofgehalte, en de aanwezigheid van calcium, aluminium en ijzer een belangrijke rol. Als opgelost  $\text{PO}_4$  aan de bodem toegevoegd wordt blijft een deel in oplossing, en wordt een ander deel aan de bodem geadsorbeerd. Een gedeelte van het in de bodem geadsorbeerde fosfaat kan weer door de plant onttrokken worden, maar een ander gedeelte wordt meer permanent vastgelegd, en is dan niet meer voor de plant beschikbaar. De adsorptie van  $\text{PO}_4$  is mede afhankelijk van de zuurgraad van de bodem. In basische bodems met een pH van hoger dan 7 wordt  $\text{PO}_4$  vooral in combinatie met Ca vastgelegd, terwijl Fe en Al adsorptie veroorzaken in zuurdere bodems ( $\text{pH} < 5,5$ ; Busman et al., 2009). Een bodem pH van tussen de 6 en 7 is derhalve gunstig voor de beschikbaarheid van fosfaat.

### 5.1.1 Bemesting zandperceel Breezand

Na de oogst van de tulpen in juli 2014 werd eerst op het hele perceel een organische bemesting toegepast, waarvan de details gegeven zijn in tabel 5-1 **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** ervolgens is er Japanse Haver (*Avena strigosa*) als groenbemester geplant, wat aan het einde van het seizoen in het najaar de bodem ingebracht is. Hiervan wordt ongeveer 30% voor de winter afgebroken in de bodem, en is er na een jaar ongeveer 70% afgebroken, waarbij de in de groenbemester opgeslagen voedingsstoffen, waaronder fosfaat en stikstof, in de bodem terecht komen (pers. Comm. A.F.V. Braam, Delphi). Na het inbrengen van de groenbemester in de bodem zijn de krokus bollen geplant. In januari/februari 2015 werd er aan het perceel 350 kg ha<sup>-1</sup> Patentkali toegevoegd, bestaande uit 30% K<sub>2</sub>O, 10% MgO en 42% SO<sub>3</sub>. Bij opkomst van de krokussen in het voorjaar is er nog 210 kg ha<sup>-1</sup> KAS (kalkammonsalpeter) opgebracht, wat bestond uit een mengsel van calciumcarbonaat (6% CaCO<sub>3</sub>) en ammoniumnitraat (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, bevat 27% N). Er werd via KAS 57 kg ha<sup>-1</sup> N en 5 kg ha<sup>-1</sup> Ca op het perceel gebracht.

Tabel 5-1. Hoeveelheden nutriënten toegevoegd net de organische bemesting op het zandperceel Breezand (waarden in kg ha<sup>-1</sup>, Bron: A.F.V. Braam, Delphi).

	N	SO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Kalk (nw)	Cu
<b>Advies</b>	90	-	-	150	160	-	360	2,0
<b>Orgacompost (24 m<sup>3</sup>)</b>	148 (10%)	55	59	108	336	60	200	0,32
<b>Tardy-compost (35 m<sup>3</sup>)</b>	126 (10%)	42	73	111	197	60	300	0,25

In het proefvak waar fertigatie toegepast werd, is een mengsel van CALSAL en AMNITRA vloeibare meststoffen aan het irrigatiewater toegevoegd. Deze meststoffen werden geproduceerd en aangeleverd door Yara. CALSAL bestaat uit een pH neutrale oplossing van 3,12 mol kg<sup>-1</sup> Ca<sup>2+</sup> en 6,24 mol kg<sup>-1</sup> N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (8,7% N en 8,7% CaO) met een dichtheid van 1,5 kg l<sup>-1</sup>. AMNITRA is ook pH neutraal en bevat 6,43 mol kg<sup>-1</sup> N-NH<sub>4</sub> en N-NO<sub>3</sub> (18% N) en heeft een dichtheid van 1,24 kg l<sup>-1</sup>. Van elk van deze oplossingen werd tussen begin april en begin mei per fertigatie 16 l toegevoegd aan een gemiddelde van 4,17 m<sup>3</sup> irrigatiewater. Dit zou tot gemiddelde concentratieverhogingen in het grondwater onttrokken voor fertigatie leiden van 319 mg l<sup>-1</sup> voor Ca, 2222 mg l<sup>-1</sup> voor NO<sub>3</sub> en 358 mg l<sup>-1</sup> voor NH<sub>4</sub>. Deze verhoogde concentraties zouden de EGV verhogen van ongeveer 1 mS cm<sup>-1</sup> voor het onttrokken grondwater naar 4,4 mS cm<sup>-1</sup> voor het gebruikte fertigatiewater. In totaal werd er via fertigatie 32,7 m<sup>3</sup> water toegevoegd, wat leidde tot een extra gift van macronutriënten in april van 46 kg ha<sup>-1</sup> Ca en 113 kg ha<sup>-1</sup> N ten opzichte van die in het referentieperceel.

Ten aanzien van bemesting met micronutriënten werd enkele keren een Tenso-cocktail (Yara) toegevoegd waarin naast Ca (2,6%) sporenelementen als Fe, B, Cu, Mn, Mo en Zn aangeleverd werden. Het is onbekend in welke mate deze elementen door krokus werd opgenomen.

### 5.1.2 Bemesting kleiperceel Borgsweer

Voor de aardappelteelt in Borgsweer werd een basisbemesting aangebracht van 80 kg ha<sup>-1</sup> nitraat en 30 kg ha<sup>-1</sup> fosfaat, waarna er tijdens het groeiseizoen nog 25 kg ha<sup>-1</sup> nitraat op het perceel werd aangebracht. Op dit perceel is geen fertigatie toegepast en zijn geen chemische analyses verricht om de waterkwaliteit te bepalen.

## 5.2 Chemie van het onttrokken grondwater Breezand

Het water gebruikt voor irrigatie werd onttrokken uit de infiltratie- en onttrekkingsputten (zie rapport A). Dit was water dat in de voorafgaande winter uit het perceel draineerde, opgevangen werd en geïnfiltreerd is, alvorens het in de ondergrond op te slaan. Het elektrisch geleidingsvermogen (EGV) van het onttrokken water in het seizoen van 2014 was laag met beginwaarden van 730 – 880 µS cm<sup>-1</sup> in februari aan het begin van het seizoen en steeg daarna geleidelijk tot waarden van 1030 – 1120 µS cm<sup>-1</sup> in augustus en september 2014. In het seizoen van 2015 bleef de EGV van het onttrokken water redelijk constant op 1000 µS cm<sup>-1</sup> (940 – 1040 µS cm<sup>-1</sup>) en varieerde de pH tussen 7,42 (29 april 2015) en 7,91 (15 april 2015; tabel 5-2).

Chloride varieerde tussen 60 en 113 mg l<sup>-1</sup> met een gemiddelde van 93 mg l<sup>-1</sup>, en deze concentratie was niet significant verschillend van die van het geïnfiltreerde water (gemonsterd na passage door het zandfilter; 106±14 mg l<sup>-1</sup>, n= 15). Sulfaatconcentraties in het onttrokken water waren hoger dan die van chloride en varieerden tussen 98 en 132 mg l<sup>-1</sup>, met een gemiddelde van 121 mg l<sup>-1</sup>. De sulfaatconcentratie in het onttrokken water was ook significant hoger (p<0,01) dan die in het geïnfiltreerde water, wat verklaard kan worden door de oxidatie van het mineraal pyriet (FeS<sub>2</sub>) in het watervoerend pakket tijdens infiltratie van zuurstof- en nitratrijk water, waarbij sulfaat gevormd wordt.



Het nitraatgehalte in het onttrokken water daalde tijdens het seizoen van 2015 van 20,2 mg l<sup>-1</sup> in maart naar 1,4 mg l<sup>-1</sup> begin juni, en bleef daarna onder de detectielimiet (0,05 mg l<sup>-1</sup>). Nitraatconcentraties in het onttrokken water (5,8±6,5 mg l<sup>-1</sup>, n= 9) waren wel significant lager (p<0,01) dan die in het geïnfilterde water (25,5±8,5 mg l<sup>-1</sup>, n=15) waaruit blijkt dat nitraat gedeeltelijk gereduceerd werd tijdens het verblijf van het geïnfilterde water in de ondergrond.

De fosfaatgehalten van het onttrokken water vertoonden geen duidelijk patroon in de tijd. Deze varieerden tussen 2,6 en 7,0 mg l<sup>-1</sup>, met een gemiddelde van 4,4±1,6 mg l<sup>-1</sup> (n= 9). Dit was wel significant lager (p<0,05) dan de concentratie in het geïnfilterde water (5,1±1,3 mg l<sup>-1</sup>, n= 15) wat suggereert dat er enige adsorptie van PO<sub>4</sub> in de ondergrond heeft plaatsgevonden.

Een analyse van de chemische karakteristieken van monsters genomen uit het reservoir voor onttrokken grondwater is gegeven in tabel 5-2 en tabel 5-3. Het onttrokken grondwater (Irrigatie genoemd in tabel 5-2 en tabel 5-3) had een vrij **constante** kwaliteit, terwijl het monster genomen uit de druppelslangen (Fertigatie genoemd in tabel 5-2 en tabel 5-3) duidelijk de invloed van het toevoegen van de vloeibare meststoffen vertoonde, met hoge waarden voor Ca en NO<sub>3</sub>. Door deze toevoeging vertoonde het EGV van het fertigatiewater een sterke stijging ten opzichte van die van het onttrokken grondwater. Het ammonium gehalte was echter verassend laag, daar de toevoeging van AMNITRA zou hebben moeten leiden tot hoge NH<sub>4</sub> concentraties. Het is waarschijnlijk dat AMNITRA voor de fertigatie op 23 april niet, of in veel mindere mate, werd toegevoegd, daar geen sterk verhoogde concentratie van NH<sub>4</sub> in het fertigatiewater werd aangetroffen.

*Tabel 5-2. Chemische eigenschappen en cation concentraties in het irrigatiewater voor en na toediening van de vloeibare meststoffen CALSAL en AMNITRA (Fertigatie).*

Bron	Datum	EGV mS cm <sup>-1</sup>	pH	Na mg l <sup>-1</sup>	K mg l <sup>-1</sup>	Ca mg l <sup>-1</sup>	Mg mg l <sup>-1</sup>	NH <sub>4</sub> mg l <sup>-1</sup>
Irrigatie	15-4-2015	1,16	7,91	68	65	122	23	0,03
Irrigatie	29-4-2015	-	7,42	67	64	131	23	-
Irrigatie	12-5-2015	-	7,66	70	63	142	23	-
Fertigatie	23-4-2015	3,81	6,59	72	68	408	25	2,9

*Tabel 5-3. Anion concentraties in het irrigatiewater voor (Irrigatie) en na toediening van de vloeibare meststoffen CALSAL en AMNITRA (Fertigatie).*

Bron	Datum	HCO <sub>3</sub> mg l <sup>-1</sup>	Cl mg l <sup>-1</sup>	SO <sub>4</sub> mg l <sup>-1</sup>	PO <sub>4</sub> mg l <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> mg l <sup>-1</sup>
Irrigatie	15-4-2015	360	109	127	19	18
Irrigatie	29-4-2015	350	109	144	17	-
Irrigatie	12-5-2015	345	107	150	16	-
Fertigatie	23-4-2015	297	106	128	17	1542

### 5.3 Uitspoeling van nutriënten

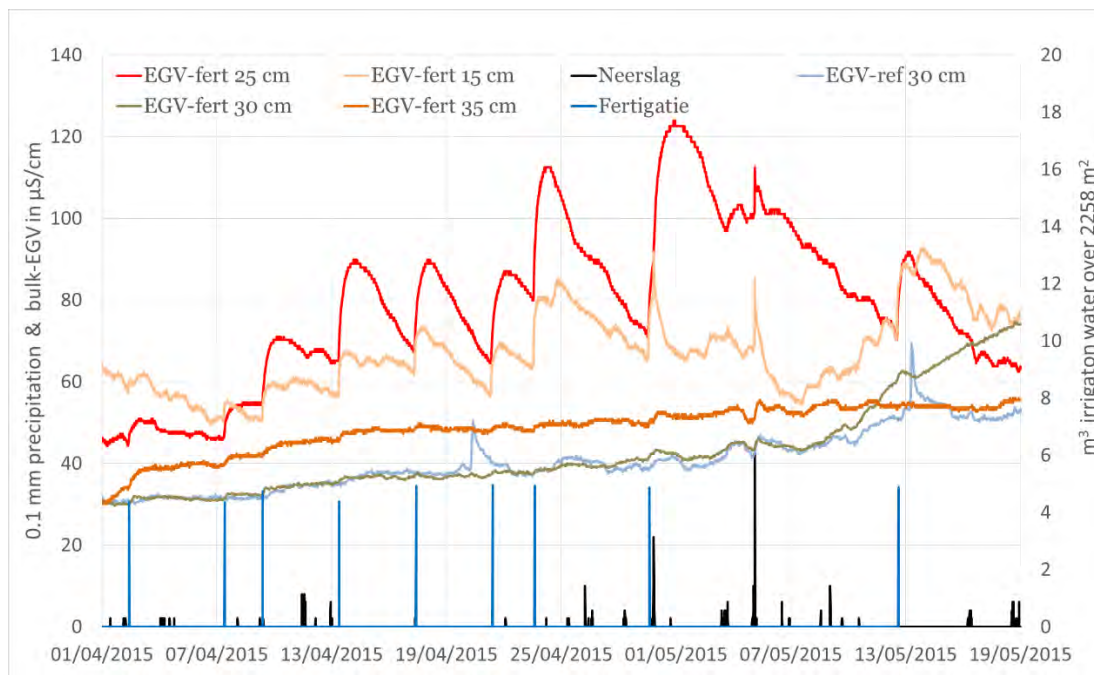
Een van de onderzoeksvragen in de nutriënten studie was hoe druppelirrigatie de uitspoeling van nitraat, ammonium en fosfaat zou beïnvloeden in vergelijking met de gangbare praktijk. Analyse van de nitraat en fosfaat concentraties in het drainwater toonde aan dat de nitraatconcentraties hoger waren in de wintermaanden, met een gemiddelde van 24 mg l<sup>-1</sup> (15-40 mg l<sup>-1</sup>). De concentraties in drainwater daalden na 1 april 2015 naar een gemiddelde van 9 mg l<sup>-1</sup> (4-17 mg l<sup>-1</sup>) in het groeiseizoen. Fosfaat concentraties in oppervlakte- en grondwater in het gebied waren relatief hoog, en voor fosfaat werd er geen significant verschil waargenomen tussen winter en zomer concentraties, met gemiddelden van respectievelijk 5 (4-8 mg l<sup>-1</sup>) en 4 mg l<sup>-1</sup> (2-9 mg l<sup>-1</sup>).

Dit suggereert dat uitspoeling van nitraat vooral in de winter gebeurt, maar dat fosfaat eigenlijk geen seizonaal patroon vertoont. De fluxen van  $\text{NO}_3\text{-N}$  en  $\text{PO}_4\text{-P}$  bedroegen respectievelijk 15,3 en 4,4 kg ha<sup>-1</sup> over de periode tussen eind november 2014 en 20 augustus 2015 (262 dagen).

### **5.3.1 Fertigatie en verspreiding van nutriënten in de bodem van het zandperceel Breezand**

Een van de onderzoeksvragen was of fertigatie zou leiden tot extra uitspoeling van nutriënten naar het grondwater. Aangezien de drains in het veld in Breezand dwars op de proefvelden lagen, was het drainwater zowel uit het referentieproefvak als de druppelirrigatie proefvakken afkomstig, waardoor de vraag van extra uitspoeling van druppelirrigatiewater niet goed te beantwoorden is door chemische analyses van het drainwater, zoals beschreven in de vorige sectie. Er is daarom een detailstudie verricht naar de invloed van de fertigatie in het druppelirrigatieproefveld, waarbij gekeken is naar de distributie van nutriënten in de onverzadigde zone tijdens en na irrigatie, en naar het transport van deze nutriënten naar het grondwater. Hierbij zijn analyses gedaan van het bulk EGV van de bodem en de chemie van het bodemvocht in de onverzadigde zone en net onder het freatisch vlak. Verder is de verspreiding van het bodemvocht en de chemie gemodelleerd met het Hydrus model.

Het bulk EGV stelt de geleidbaarheid voor van de bodem als geheel, dus de combinatie van minerale deeltjes (lage geleidbaarheid), de lucht in de poriën (lage geleidbaarheid) en het bodemwater (geleidbaarheid afhankelijk van het ionengehalte). Het bulk EGV varieert dus zowel met de hoeveelheid bodemvocht in relatie tot de hoeveelheid lucht in de poriën, als met de geleidbaarheid van het bodemvocht. Figuur 5-1 toont tijdseries van neerslag, fertigatie en het gemeten bulk EGV van de bodem in de fertigatie- en referentieproefvakken. Het bulk EGVs op een diepte van 30 cm in de bodems van het referentieproefvak en het fertigatieproefvak waren vrijwel gelijk en vertoonden beiden een geleidelijke stijging in de tijd van ongeveer 30  $\mu\text{S cm}^{-1}$  op 1 april naar 45  $\mu\text{S cm}^{-1}$  op 7 mei 2015. Daarna ontstond er een verschil tussen de proefvakken, waarbij het bulk EGV van het fertigatieproefvak sterker steeg dan die in het referentievak. Deze sterkere stijging werd echter later ook gezien in het referentieproefvak en op 29 mei waren de EGVs in beide vakken weer gelijk op 68  $\mu\text{S cm}^{-1}$ . Op deze diepte vertoonde het bulk EGV nauwelijks enige respons op neerslag. Dit wijst erop dat de veranderingen in bodemvocht door neerslag gedurende deze periode deze diepte nooit bereikten, en dat alle processen op geringe diepte in de bodem plaatsvonden.



Figuur 5-1. Tijdsree van neerslag, fertigatie en van de bulk EGV op verschillende diepte in de bodem in het fertigatieproefvak en het referentieproefvak.

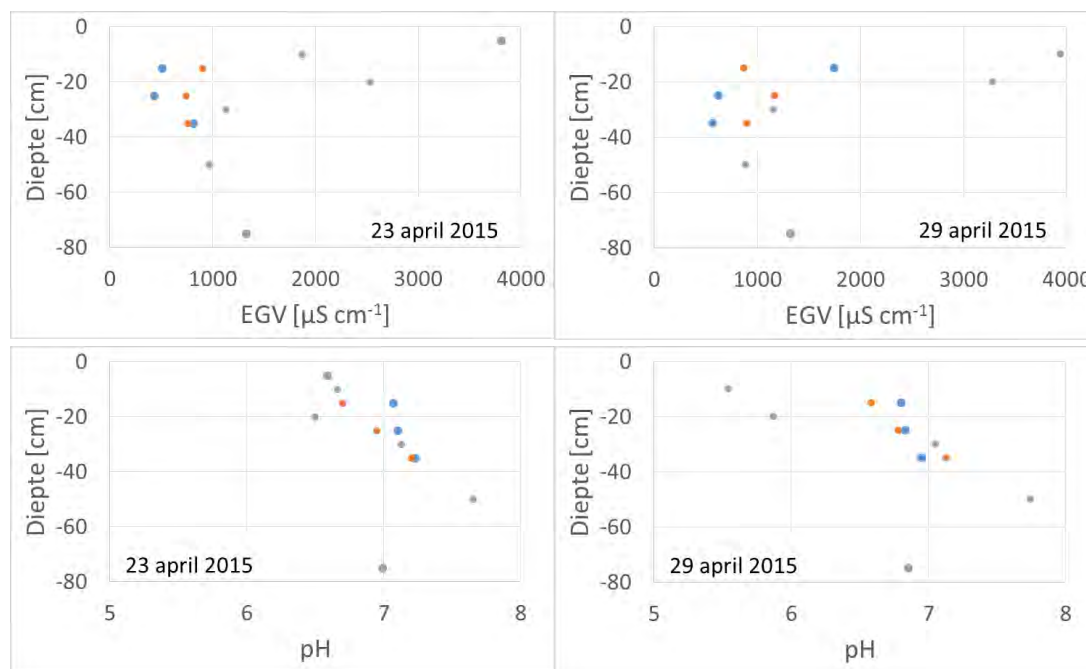
Een hogere bodemvochttoestand in de rug na fertigatie, in combinatie met het hogere EGV van het fertigatiewater veroorzaakt door de toevoeging van de vloeibare meststoffen aan het gebruikte grondwater (tabel 5-2), zorgde voor een sterke verhoging in de bulk EGV van de bodem op dieptes van 15 en 25 cm onder de druppelleiding (figuur 5-1) korte tijd na de fertigatie. Dit effect was het grootst op 25 cm diepte. In de dagen na de fertigatie daalde de bulk EGV zowel door dispersie van het bodemvocht en door opname van nutriënten door de plantenwortels. Het verloop van de EGV op 35 cm diepte vertoonde ook geen respons op fertigatie of op neerslag. Dit suggereert dat de effecten van fertigatie op het bodemvochtgehalte en de verspreiding van nutriënten gedurende deze periode beperkt bleven tot de bovenste 30 cm van de rug, wat overeenkomt met de observaties van de tracer test (Sectie 4.1.1).

De effecten van de fertigatie op de chemie van het bodemvocht op verschillende diepte en afstanden van de druppelleiding werd onderzocht door op verschillende tijdstippen na de fertigatie het bodemvocht te bemonsteren. De gemeten EGV en pH waarden op 23 en 29 april zijn weergegeven in figuur 5-2, en die van  $\text{NO}_3$  en Ca in figuur 5-3. De hoogste EGV waarden werden geobserveerd direct onder de druppelslang op 10 en 20 cm diepte. Minder hoge waarden werden op dezelfde diepten aangetroffen op 15 cm afstand van de druppelslang. Het EGV nam af met de diepte en bereikte een minimum op 50 cm diepte onder de druppelslang. Het freatisch grondwater had weer een iets hogere EGV. Een vergelijking tussen de EGV waarden van 23 en 29 april toonde dat het EGV van het bodemvocht in de bovenste 25 cm iets toe was genomen. Dit was consistent met de toename in de concentraties van zowel Ca en  $\text{NO}_3$  in de tijd na de fertigatie en is waarschijnlijk te wijten aan de afname in het bodemvocht ten gevolge van verdamping in deze zone. Door de waargenomen toename in de concentratie van  $\text{NO}_3$  en Ca in de tijd na fertigatie blijft het onduidelijk in welke mate stikstof of calcium opgenomen zijn door de plant.

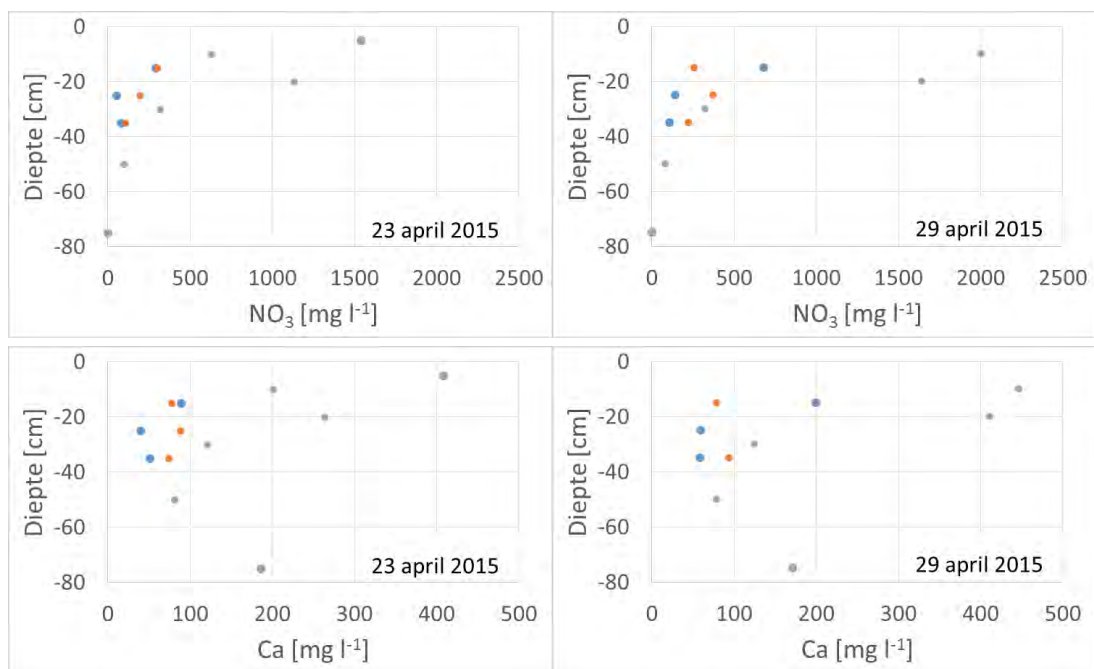
De fertigatie had wel een duidelijk effect op de pH van de bodem. Na de fertigatie daalde de pH van de bodem onder de druppelslang van boven de 6,5 naar een minimum van 5,5, en daalde ook de pH op 15 cm langs de slang ongeveer met 0,3 eenheden van 7,1 naar 6,8. Aangezien de pH waarden waargenomen onder de slang lager waren dan de gemeten bodem pH (Sectie 2.1.1) is het waarschijnlijk dat de verhoogde  $\text{Ca}^{2+}$  concentratie in het bodemvocht ten gevolge van fertigatie  $\text{H}^+$  ionen verdrongen heeft van het uitwisselcomplex in de bodem, waardoor de pH van het bodemvocht daalde.

Het feit dat ook  $K^+$  concentraties in de ondiepe bodem onder de druppelslang toenamen, suggereert dat wellicht ook kalium door  $Ca^{2+}$  van het uitwisselcomplex verdrongen werd. De gift van  $Ca^{2+}$  door fertigatie heeft dus wellicht zowel de beschikbaarheid van kalium als fosfaat verhoogd, de laatste via de verlaging van de pH in de wortelzone naar een waarde in het bereik van 6-7 waar de beschikbaarheid van  $PO_4$  het grootst is.

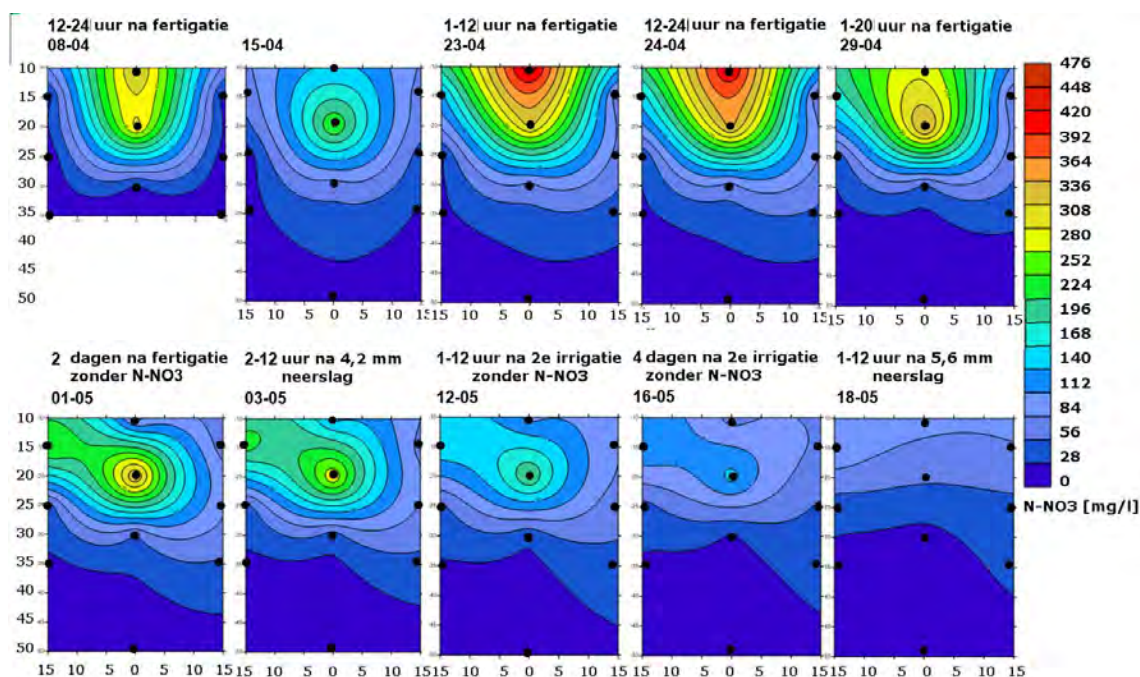
De verdeling van  $N-NO_3$  concentraties in de bodem in de tijd is getoond in figuur 5-4. Na de eerste fertigatie op 8 april steeg de concentratie van  $N-NO_3$  in de bovenste 25-30 cm van de bodem, en nam daarna op 15 april af door dispersie en  $NO_3$  opname door het gewas. Na de volgende fertigatie op 23 april nam de concentratie van  $N-NO_3$  weer toe en nam daarna geleidelijk af in de tijd door opname van het gewas en verdunning door neerslag en irrigatiewatergift zonder toevoeging van  $N-NO_3$ . Op 18 mei werd uiteindelijk een lage achtergrondwaarde van  $N-NO_3$  gemeten. Uit figuur 5-5 blijkt duidelijk dat de effecten van  $N-NO_3$  fertigatie voornamelijk beperkt bleven tot de bovenste 30 cm van de bodem, en dat de concentratie van  $N-NO_3$  aan het einde van het seizoen weer teruggekeerd is naar een lage achtergrondwaarde. Voor de andere in de fertigatie toegediende voedingsstoffen ( $Ca$ ,  $NH_4$ ) werden soortgelijke patronen als voor  $N-NO_3$  in de tijd en ruimte waargenomen, waarbij de voedingsstoffen vooral in de bovenste 30 cm van de bodem waargenomen werden. Dit toont aan dat deze vorm van fertigatie niet leidt tot extra uitspoeling van de toegediende nutriënten.



Figuur 5-2. Verloop van het EGV (boven) en de pH (onder) met de diepte na fertigatie op 23 april en 6 dagen na fertigatie op 29 april. Oranje en blauwe stippen vertegenwoordigen monsters genomen op 15 cm afstand langs de druppelslang, en grijze stippen zijn waarnemingen van onder de slang.

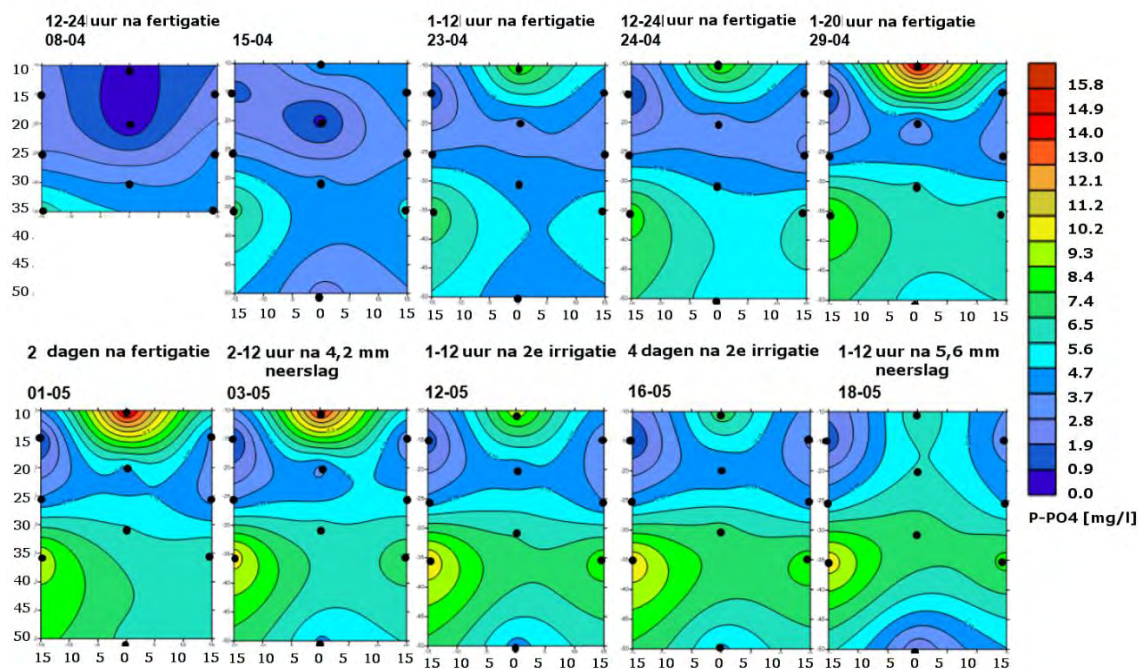


Figuur 5-3. Verloop van  $\text{NO}_3$  (boven) en  $\text{Ca}$  (onder) met de diepte in de bodem van Breezand voor 23 april, net na fertigatie, en 6 dagen na fertigatie op 29 april 2015. Oranje en blauwe stippen vertegenwoordigen monsters genomen op 15 cm afstand langs de druppelslang, en grijze stippen zijn waarnemingen van onder de slang.



Figuur 5-4. Verandering in de ruimtelijke en temporele variatie van  $\text{N-NO}_3$  na fertigatie met  $\text{N-NO}_3$ , irrigatie zonder  $\text{N-NO}_3$  en na infiltratie van neerslag in Breezand.





*Figuur 5-5. Verandering in de ruimtelijke en temporele variatie van P-PO<sub>4</sub> na fertigatie, irrigatie en na infiltratie van neerslag in Breezand. Bij de fertigatie werd geen P-PO<sub>4</sub> toegediend, maar was de achtergrondconcentratie in het irrigatiewater 5,2-6,2 mg l<sup>-1</sup>.*

In figuur 5-5 wordt de ruimtelijke en temporele variatie in de bodem van P-PO<sub>4</sub> getoond. Hoewel de fertigatie geen extra PO<sub>4</sub> bevatte, leidde het inbrengen van Ca, NH<sub>4</sub> en NO<sub>3</sub> in hogere concentraties met het fertigatie water wel tot een tijdelijke stijging in de concentratie van P-PO<sub>4</sub> in een zone op 10-15 cm diepte onder de druppelslang. Dit is waarschijnlijk gerelateerd aan de eerder genoemde daling van de pH in deze zone waardoor PO<sub>4</sub> uit de bodem beschikbaar kwam. Ook Al en in mindere mate Fe toonden verhoogde concentraties na fertigatie.

### 5.3.2 Druppelirrigatie en stikstof in het kleiperceel Borgsweer

Voor de aardappelteelt in Borgsweer in het Spaarwater I project werden nog geen fertigatie experimenten gedaan om de nutriënten voorziening van de teelt te verbeteren. Tijdens de druppelbevloeiing werd echter wel ervaring opgedaan met de kwaliteit van het water en de invloed op het stikstofgehalte van het gewas. Het water gebruikt voor irrigatie was afkomstig uit de ondergrond en had een bodempassage van 5 m gehad van de infiltratieput naar de onttrekkingsput. Tijdens deze passage was het water zuurstofloos geworden. In de beginperiode van het project werd het opgepompte zuurstofloze water onderin de buffertank gebracht, en ook weer vanuit de onderkant naar de druppelslangen geleid. Het viel op dat de aardappelplanten zeer weinig stikstof in het blad hadden, wat veroorzaakt zou kunnen zijn door anoxische omstandigheden in de bodem waardoor NO<sub>3</sub> gereduceerd zou kunnen zijn tot N<sub>2</sub>, en er derhalve een tekort aan stikstof voor opname door de plant ontstond. Om dit in de toekomst te voorkomen werd het bovengrondse opslagsysteem veranderd om de beluchting van het grondwater te verbeteren. Het opgepompte water werd voortaan boven in de buffertank gepompt waar het in aanraking kwam met de lucht, en ook van boven via een flens op een drijver in de tank naar de druppelslangen getransporteerd. Na deze verbetering kwamen anoxische omstandigheden in de bodem, zoals waargenomen door een blauwe kleur van de klei, slechts voor indien er een teveel aan vocht was toegevoegd.

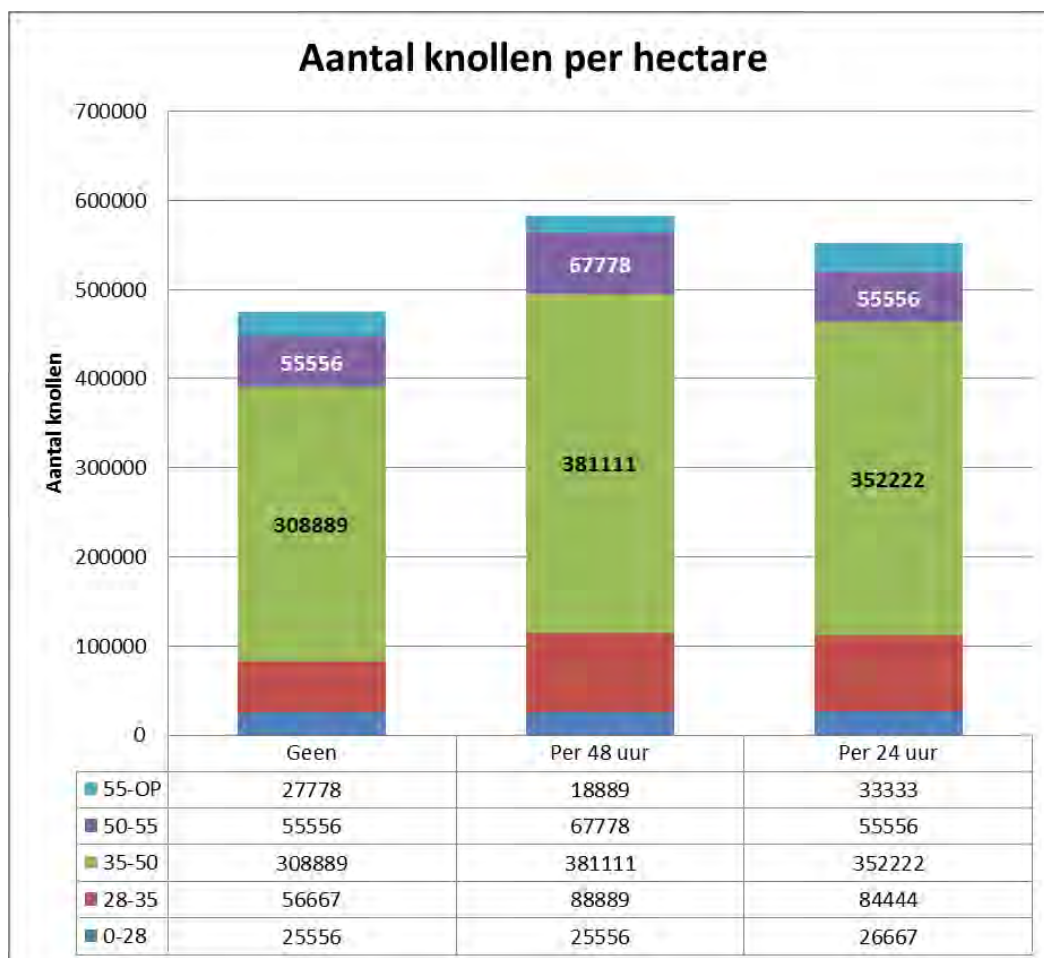
## 5.4 Effect van druppelbevloeiing en fertigatie op de gewasopbrengst

Een meeropbrengst werd op de proefpercelen met druppel irrigatie voor zowel de pootaardappels in Borgsweer als voor de bloembollen (hyacint) in Breezand gerealiseerd in het tweede jaar van het project. Voor de meeropbrengst van bloembollen zijn de kwaliteit, en de maat van de bol (de ziftmaat) bepalend voor de opbrengst. In het eerste jaar (2014) is het gebruik van fertigatie verkend en heeft dit niet geleid tot een grotere ziftmaat. In het tweede jaar (2015) zijn een aantal verdere optimalisaties doorgevoerd die hebben geleid tot de verbetering van de opbrengst met één grotere ziftmaat (figuur 5-6). Een dergelijk verschil kan voorzichtig worden vertaald naar een te verwachte meeropbrengst van enkele duizenden euro per ha.



*Figuur 5-6. Vergelijking van twee Hyacintenbollen afkomstig van het referentieperceel (links) en het geïrrigeerde perceel (rechts) op het zandperceel in Breezand.*

Voor de meeropbrengst van pootaardappelen is het aantal aardappels (knollen) en de sortering ervan bepalend voor de opbrengst. In het verkennende eerste jaar (2014) werd geen verschil in opbrengst gevonden. In het tweede jaar (2015) werden wel duidelijke verschillen zichtbaar tussen de opbrengst van het referentie proefvak en de delen met druppelirrigatie. Er zijn twee watergiftstrategieën toegepast die allebei hebben geleid tot een hoger aantal knollen (figuur 5-7). Dit geeft aan dat de aanwezigheid van voldoende vocht in de bodem tijdens de belangrijke periode van knolaanleg (start van de groei van nieuwe aardappels) het aantal knollen per plant verhoogt. De strategie waarbij een watergift om de dag is gegeven presteert duidelijk het beste in zowel het aantal, als de hoeveelheid opbrengst in kilo's per hectare. Indien gekeken wordt naar de gemiddelde opbrengst per provincie voor pootaardappelen op klei blijkt dat er in de Provincie Flevoland een hogere opbrengst gehaald wordt dan in de Provincie Groningen. Dit verschil kan een gevolg zijn van de mogelijkheid om aardappelen te beregenen in de Provincie Flevoland, terwijl dit in Groningen niet kan vanwege de aanwezigheid van pathogenen (*Ralstonia* bacterie) in het oppervlaktewater. Het gemiddelde verschil in opbrengst tussen beide provincies in de afgelopen jaren bedraagt 3.500 kg ha<sup>-1</sup>. Het verschil in opbrengst voor het proefperceel kan voorzichtig worden vertaald naar een meeropbrengst van naar schatting € 1.000 tot €1.500 per ha.



Figuur 5-7. Resultaten van de gewasopbrengst metingen van pootaardappelen voor de proeflocatie Borgsweer.

## 5.5 Samenvatting van de resultaten

Met het druppelirrigatiesysteem bleek het eenvoudig om de juiste macro- en micronutriënten in de wortelzone in te brengen. Ook hebben de analyses van het bodemvocht aangetoond dat deze nutriënten na toediening beschikbaar bleven in de wortelzone voor opname door het gewas. Door de toevoeging van de kationen Ca en  $\text{NH}_4$  in hogere concentraties in het fertigatiewater daalde de pH in de bovenste 10-20 cm van de bodem, waardoor de beschikbaarheid van  $\text{PO}_4$  verhoogd werd. Door de opwaartse stroming in de bodem ten gevolge van de verdampingsvraag van het gewas in het groeiseizoen vond er geen noemenswaardige uitspoeling plaats naar het grondwater. Aan het eind van de periode bleek dat de nutriënten concentratie in de wortelzone naar achtergrondwaarden afgenomen was, waardoor de fertigatie ook niet zou leiden tot een hogere uitspoeling in het najaar wanneer er een neerslagoverschot ontstaat. De waargenomen hogere concentraties van  $\text{NO}_3$  in het drainwater in het najaar en de winter kunnen te wijten zijn aan decompositie in de bodem van de groenbemester die in het najaar werd ingebracht en daar geleid heeft tot afgifte en uitspoeling van  $\text{NO}_3$  aan het bodem- en grondwater.

De druppelbevoeiing heeft geleid tot een hogere gewasopbrengst voor zowel de bloembollen als de aardappelteelt ten opzichte van de opbrengsten van de referentie proefvakken. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat voor de bloembollen in Breezand de bemesting via fertigatie extra boven de basisbemesting is geweest.

# 6

## Steeminnovaties

### 6.1 Aanleg oppervlakkig druppelirrigatiesysteem Breezand

Voor de bollenteelt werd het druppelirrigatiesysteem, bestaande uit meerdere slangen per rug, op enkele centimeters onder maaiveld geplaatst. In het zandperceel Breezand (Noord-Holland) worden de slangen net na het planten van de bollen in de zandige bodem aangebracht (figuur 6-1), en aan het einde van het seizoen, voor het oogsten van de bollen, weer verwijderd. Aangezien geen gebruik is gemaakt van recyclebare wegwerpslangen zijn de slangen bij verwijdering opgerold voor hergebruik in het volgende teeltseizoen.

In samenwerking met de bollenteler en leverancier van de irrigatieapparatuur (Broere Beregening) zijn diverse technieken verbeterd. Hierbij kan met name gedacht worden aan verbetering van de aanleg en verwijdering van de slangen. Met name bij het oprollen van de meermalig te gebruiken druppelslangen is het belangrijk dat er geen knikken in de slang ontstaan die in het volgende seizoen voor een slechtere werking kunnen zorgen. Hiervoor zijn vernieuwingen geïmplementeerd ter verbetering van de machines voor het uit- en oprollen van de slangen. Door deze verbeteringen kunnen de druppelslangen nu tot op de centimeter nauwkeurig in het bed worden ingebracht, en is tevens de benodigde arbeid voor aanleg en verwijdering sterk teruggebracht. De levensduur van de gebruikte slangen is 3-5 seizoenen. Een innovatie die binnen dit project is geïnitieerd is de ontwikkeling van nieuwe slangen die 10 seizoenen meegaan. Hierdoor kunnen de kosten per meter slang verder gereduceerd worden. In het Spaarwater II project zal echter ook een proef worden gedaan met recyclebare slangen voor eenmalig gebruik. De kosten per recyclebare slang zijn vergelijkbaar met die van de tot nu toe gebruikte slangen, maar deze hebben als voordeel dat het oprollen sneller kan plaatsvinden, wat een besparing in de arbeidskosten oplevert. Een tweede argument voor het toepassen van recyclebare slangen voor eenmalig gebruik is dat door telers aangegeven wordt dat met deze eenmalig te gebruiken slangen de eventuele groei van ziektekiemen gedurende de opslagperiode voorkomen wordt.



*Figuur 6-1: Aanleg van drie druppelslangen in een bed na het planten van krokus in de zandgrond van het perceel in Breezand.*



## 6.2 Aanleg diep druppelirrigatiesysteem Borgsweer

De aanleg van druppelirrigatie onder het ploegniveau van 40 cm diepte in de bodem van een kleiperceel is niet vaak toegepast in Nederland. Er is ervaring met een methode en apparatuur die ontwikkeld is voor aanleg van de slangen in de ruggen op geringe diepte in de bodem, waarbij vier slangen tegelijk worden ingebracht (Paauw, 2001). Het met deze methode in de grond inbrengen van de druppelslangen op het pootaardappelperceel in Borgsweer (Groningen) op grotere diepte is echter gepaard gegaan met tegenvallers in de eerste twee jaren van het project. Deze ervaring heeft geleid tot de ontwikkeling van een innovatieve nieuwe methode voor de aanleg van diepe druppelirrigatie in kleipercelen, die nu elders toegepast kan worden en leidt tot een goede aanleg en werking van het systeem.

In het eerste jaar is geprobeerd de druppelirrigatie aan te leggen met vier slangen tegelijk, zoals eerder in Nederland toegepast voor de aanleg van druppelirrigatie net onder het oppervlak voor de teelt van aardappelen (Paauw, 2001). Tijdens de aanleg bleek echter al dat de krachten op de machinerie zo groot werden bij diepe aanleg dat er maximaal twee slangen tegelijk op diepte gelegd konden worden met deze methode (zie figuur 6-1 **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** links). De omstandigheden op het perceel in het eerste jaar van aanleg bleken echter ook veel te nat. Door een combinatie van deze factoren werden de slangen met de gebruikte machinerie niet altijd op de minimaal nodige diepte van 40 cm aangelegd. Ook werd de bodemstructuur van het perceel sterk verslechterd als gevolg van het uitvoeren van zware grondbewerking onder natte omstandigheden, en het uitblijven van vorst. Doordat de aanlegdiepte niet overal toereikend was zijn een onbekend aantal druppelslangen in het voorjaar tijdens het ploegen geraakt en kapotgesneden. Hierdoor functioneerde het druppelirrigatiesysteem niet meer naar behoren.

Op basis van de slechte ervaringen in het eerste jaar, werd besloten om in het najaar van 2013 de druppelslangen onder droge omstandigheden aan te leggen. Hierbij is gebruik gemaakt van dezelfde apparatuur als die in het eerste jaar gebruikt werd. De droge grond bood echter teveel weerstand bij de aanleg, wat resulteerde in het afbreken van de voet van de machine. Vervolgens bleek ook het versterken van de machine geen succes, waardoor de noodzaak ontstond om een andere methode te ontwikkelen.

In het 3<sup>e</sup> jaar (najaar 2015) werd besloten om het aanlegsysteem te versimpelen en andere apparatuur te ontwikkelen voor de inbreng van de slang in de bodem. Dit leidde tot een innovatieve methode waarbij een speciaal voor aanleg van druppelslangen gemodificeerde moldrain (zie figuur 6-2 **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**) gebruikt werd om een enkele slang in te brengen. Deze moldrain werd gebruikt in combinatie met een rol om de grond na de inbreng van de slang dicht te drukken (zie figuur 6-3 **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** rechts). Deze aanlegmethode bleek uitstekende resultaten op te leveren. In combinatie met GPS-tracking werden de druppelslangen nu precies onder de rug op de juiste diepte aangelegd, zonder dat er noemenswaardige structuurschade aan de bodem van het perceel werd waargenomen.





*Figuur 6-4: Aanleg van drip irrigatie met de conventionele apparatuur in oktober 2013 (links) en met de nieuw ontwikkelde methode in oktober 2015 (rechts).*



*Figuur 6-5: Gebruikmakend van een voor aanleg van druppelirrigatieslangen gemodificeerde moldrain (links) zijn de drupslangen op diepte aangelegd (rechts) zonder schade aan de bodem in het perceel.*

### **6.3 Irrigatie en bodemvocht**

In het Spaarwater I project is ervaring opgedaan met een combinatie van toepassing van druppelirrigatie en monitoring van het bodemvocht. Het bleek dat in Breezand de aanvulling van vochtverliezen door verdamping in de onverzadigde zone voldoende was via capillaire opstijging uit het ondiepe grondwater in de zandige bodem. In Borgsweer, waar het bodemvocht wel aangevuld diende te worden via druppelirrigatie is nu ervaring opgedaan met regelmatige bevoeiing (dagelijks en om de dag). Door ook de vochtspanning in de bodem te meten naast het volumetrisch vochtgehalte, is er inzicht verkregen in de relatie tussen de watergift, de verdeling van vocht in de bodem, en de gewenste vochttoestand voor optimale groei van het gewas. Hierbij werd een gedeelte van het overtollige irrigatiewater via drainage uit het perceel afgevoerd en weer in de ondergrond opgeslagen.

De kennis die hierbij is gegenereerd zal in het Spaarwater II project gebruikt worden om een beslissingsondersteunend systeem te ontwikkelen, waarbij op basis van vochtspanningsmetingen en weersvoorspellingen de behoefte aan irrigatie voorspeld zal kunnen worden. Dit maakt het mogelijk een optimale bodemvocht status te verkrijgen waarbij alleen op tijdstippen dat aanvulling nodig is water gegeven hoeft te worden. Dit zou een besparing aan water op moeten leveren.

## 6.4 Systeemverandering ter voorkoming van anoxische condities in de bodem

In het kleiperceel Borgsweer werden lage stikstofgehalten waargenomen in de planten op het met druppelirrigatie bevoeide proefperceel, in combinatie met een blauwe kleur van de bodem. Dit duidde op het voorkomen van anoxische omstandigheden in de bodem. Indien de bodem zuurstofloos wordt kan nitraat gaan dienen als zuurstofdonor voor de decompositie van organisch materiaal, en zo gereduceerd worden tot  $N_2$  gas. Dit betekent uiteraard ook dat er een tekort aan nitraat in de bodem ontstaat voor opname door de plant, wat de groei beïnvloedt.

Bij het ontwerp van het onttrekkingssysteem dat de druppelleidingen van water voorzag was geen rekening gehouden met het feit dat het uit het watervoerend pakket onttrokken water tijdens het verblijf in de ondergrond zuurstofloos was geworden. Dit zuurstofloze water werd in Borgsweer op 53 cm diepte de bodem ingebracht en had derhalve nauwelijks uitwisseling met de atmosfeer. Om zuurstofloze condities in de bodem te vermijden diende het onttrokken grondwater weer van zuurstof te worden voorzien voor het naar de druppelslangen geleid werd. Om dit te bereiken werd het ontwerp van de installatie veranderd. Het water werd voortaan aan de bovenkant via een sproeier ter beluchting het bufferreservoir ingebracht, in plaats van aan de onderkant, en de voeding van de druppelslangen vond hierna ook plaats door water onttrokken aan de bovenkant van het bufferreservoir.

In Breezand was het ontwerp van het onttrekkingssysteem anders en werd het irrigatiewater op enkele centimeters diepte in de bodem ingebracht. Hoewel het onttrokken grondwater ook zuurstofloos zou zijn, werd zuurstofloosheid niet geobserveerd in de beter beluchte zandige bodem, en bleek er in het groeiseizoen voldoende  $NO_3$  in het bodemvocht aanwezig te zijn (Sectie 5.3.1).

# 7 Conclusies

## 7.1 Inleiding

Bij traditionele beregening (bijv. met haspel of sprinklers) gaat er water verloren door verwaaiing, verdamping en wellicht door oppervlakkige afvoer bij grote giften per keer. Met druppelirrigatie kan de watergift beter worden gestuurd, en kan het water worden toegediend daar waar het nodig is, namelijk in de wortelzone. Daardoor kan er efficiënter met het zoet water worden omgegaan dan bij traditionele beregening. In droge gebieden is door toepassing van druppelbevloeiing een besparing in het watergebruik van 10% tot 50% haalbaar. Hoe dit uitpakt onder Nederlandse omstandigheden was nog onbekend. Beregenen wordt, naast vochtvoorziening voor het gewas, ook toegepast voor een betere opname van de opgebrachte meststoffen. Bij druppelirrigatie kan de gift van meststoffen ook op een efficiëntere wijze plaatsvinden door deze mee te geven met het toegediende water (fertigatie is een samenvoeging van irrigatie en fertilisatie). Fertigatie heeft daarnaast als voordeel dat het blad van gewassen droog blijft zodat het risico op bacterie verspreiding door rondspattende druppels van haspelberegening beperkt wordt. Dit is gunstig uit oogpunt van de preventie van schimmel- en bacterieziekten. Druppelirrigatie bespaart dus potentieel water en meststoffen, beperkt het risico van ziekten, kan de gewasopbrengst vergroten en vermindert de noodzaak van het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen.

## 7.2 Locatie specifieke elementen die bepalend zijn voor succes

Er zijn twee elementen van het druppelirrigatiesysteem die bepalend zijn voor succes in het gebruik. De eerste factor is dat druppelirrigatie kan zorgen voor optimale bodemvochtomstandigheden tijdens het groeiseizoen. Het tweede aspect is dat hetzelfde systeem mede kan zorgen voor een goed gedoseerde toediening van nutriënten in de wortelzone via fertigatie.

### 7.2.1 Druppelirrigatie en bodemvocht

Enkele onderzoeksvragen die beantwoord dienden te worden betroffen de invloed van druppelirrigatie op het bodemvocht, de invloed de bodemtextuur op de verdeling van het vocht, en welke invloed de diepte van de druppelslang in de bodem had. De conclusies ten aanzien van deze vragen worden hieronder gegeven.

Zandgronden hebben een matige capillaire opstijging door de relatief grote poriën in de bodem, maar hebben ook een relatief hoge onverzadigde doorlatendheid indien het vochtgehalte rond veldcapaciteit ligt. De kritieke stijghoogte (z-afstand bij 2 mm/dag) waarover voldoende water kan worden geleverd is circa 85 cm. De combinatie van deze factoren, en een relatief hoge grondwaterstand, leiden tot voldoende aanvulling van verdampend bodemwater om de bodem optimaal vochtig te houden voor wateropname door de plant. Dit blijkt ook uit de studie in het zandperceel Breezand in het Spaarwater I project waar het grondwater op minder dan 75 cm onder maaiveld gehouden werd. Onder zulke omstandigheden zou de aanleg van een druppelirrigatiesysteem voor het in stand houden van het bodemvocht niet kosten efficiënt zijn. Indien de grondwaterstand echter dieper ligt en peilopzet niet mogelijk is, kan druppelirrigatie wel bijdragen aan een optimale vochtvoorziening.

Kleigronden daarentegen vertonen door de kleine poriën een uitstekende capillaire opstijging, maar hebben een lage onverzadigde doorlatendheid. Daarnaast speelt in zware kleigronden ook zwel en krimp een belangrijke rol waardoor de capillaire opstijging in hoge mate kan worden beperkt. De kritieke stijghoogte (z-afstand bij 2 mm/dag) waarover voldoende water kan worden geleverd is circa 45 cm. Gezien het voorgaande kan ook bij relatief hoge grondwaterstanden de oppervlaktelaag toch gevoelig zijn voor uitdroging, daar de snelheid van capillaire opstijging het verdampend bodemwater in onvoldoende mate kan aanvullen. In dit geval zorgt een druppelirrigatiesysteem ervoor dat irrigatiewater op geringere diepte in de bodem ingebracht kan worden waardoor de bodemvochtigheid optimaal geregeld kan worden tijdens de gewasgroei. In het kleiperceel Borgsweer is geconstateerd dat bij een grondwaterstand van ongeveer een meter onder maaiveld uitdroging van de bovengrond plaatsvond, en dat druppelirrigatie op een diepte van 53 cm diepte ook hoger in de bodem water aan kon leveren en uitdroging kon voorkomen.

In gronden met een textuur tussen de zware zavel van Borgsweer en het fijne zand van Breezand in zal de efficiëntie van de druppelbevloeiing afhangen van de capillaire eigenschappen van de bodem, de onverzadigde doorlatendheid, de structuur van de bodem en de diepte van het grondwater onder maaiveld.

In zandgronden met een hele grove textuur (grof zand, grind) is capillaire opstijging beperkt en is de doorlatendheid wellicht te hoog om de bodem rond de druppelslang vochtig te houden, daar het irrigatiewater snel in de verticaal weg zal lekken naar het grondwater. In stenige bodems kan er ook een probleem met de aanleg van een druppelirrigatiesysteem ontstaan. Een optie voor dit soort gronden is om een teelt laag op te brengen van fijner bodemmateriaal, waarin een druppelirrigatiesysteem aangelegd wordt en gebruikt wordt om op deze manier de vochtigheid in de teelt laag optimaal te houden. Hierbij wordt de teelt laag dan ontkoppeld van de onderliggende bodem of het grondwater.

Dezelfde bodemeigenschappen zijn ook factoren die een rol spelen in de beslissing op welke diepte het systeem in de bodem moet worden gebracht. In zandige bodems is het het beste om de slangen oppervlakkig aan te brengen, terwijl aanleg op grotere diepte in fijnkorrelige bodems ook goede resultaten geeft door de gemakkelijke capillaire opstijging van het water in deze bodems.

### **7.2.2 Nutriënten toediening**

De onderzoeksvraag betreffende de effecten van fertigatie op verspreiding en uitspoeling van nutriënten in de bodem werd in het Spaarwater I project alleen bestudeerd in het zandperceel Breezand. In deze zandige bodem met hoge grondwaterspiegel bleven de toegediende nutriënten in de wortelzone en spoelden niet uit. Dit was mede het gevolg van de afwezigheid van grote regenbuien gedurende het groeiseizoen, waardoor de stroming van het water in de bodem omhoog gericht was ter aanvulling van verdampingsverliezen. Bij grote regenbuien, of in het geval van zandbodems met een diepere grondwaterstand zou uitspoeling onder de wortelzone wel voor kunnen komen, waardoor er verlies aan nutriënten optreedt die wellicht later een probleem leveren als ze in het oppervlaktewater terecht komen.

Het is nog onduidelijk wat de juiste hoeveelheid nutriënten is die toegediend dient te worden voor de optimale groei van de verschillende gewassen. Afhankelijk van de bodemsoort worden hier adviezen voor gegeven. Als de efficiëntie van fertigatie hoger is dan die van traditionele bemesting zou dit in de adviezen dienen te worden meegenomen. De toediening tijdens fertigatie is derhalve locatie specifiek en kan niet zondermeer naar een andere locatie vertaald worden.

## 7.3 Generieke elementen die bepalend zijn voor succes

Factoren die het succes bepalen voor de aanleg van een systeem voor ondergrondse opslag in combinatie met een druppelirrigatie en fertigatiesysteem zijn gerelateerd aan:

1. De kosten van de aanleg, het onderhoud en de verwijdering van de slangen in het perceel, in relatie tot het gebruik van klassieke irrigatiemethoden zoals het waterkanon gevoed vanuit oppervlaktewater;
2. De aanwezigheid van oppervlaktewater van goede kwaliteit;
3. De urgentie om droogteschade te voorkomen;
4. Het gemak van de bediening van het systeem, en de mate van automatisering die bereikt kan worden om het bodemvocht op het juiste niveau te houden en nutriënten toe te dienen;
5. De opbrengstvermeerdering die bereikt kan worden ten opzichte van traditionele methoden
6. De mogelijkheid om het systeem gefinancierd te krijgen;
7. De instelling van de teler die bereid moet zijn om deze nieuwe methode te implementeren, en
8. De houding van de vergunningverlener en de overheid ten aanzien van het systeem.

In het Spaarwater I project is aangetoond dat het systeem de mogelijkheid biedt te irrigeren om het bodemvocht te optimaliseren en nutriënten in de wortelzone toe te dienen zonder dat er gedurende het groeiseizoen uitspoeling naar het grondwater is. Ook werd een vermeerdering in de opbrengst gerealiseerd en waren telers bereid het systeem te testen onder operationele condities. In Spaarwater II zullen experimenten leiden tot een verdere verbetering van het hele systeem, en zullen er meer gegevens beschikbaar komen over de werking van het systeem, zodat het succes beter beoordeeld kan worden. Hiermee wordt een optimalisatieslag doorgevoerd die zal leiden tot een systeem waarvan zowel kosten als baten bekend zijn, en wat eenvoudig in het gebruik zal zijn.

## 7.4 Conclusies

### 7.4.1 Opbrengst

Ten aanzien van de onderzoeksvraag betreffende de meeropbrengst bij druppelirrigatie kan het volgende opgemerkt worden. Een meeropbrengst is op de proefpercelen met druppel irrigatie voor zowel de pootaardappelen als voor de bloembollen (hyacint) in het tweede jaar van de pilots gerealiseerd. Voor de meeropbrengst van bloembollen is de kwaliteit en de maat van de bol (de ziftmaat) bepalend voor de opbrengst. In het eerste jaar (2014) is het gebruik van fertigatie verkend en heeft dit niet geleid tot een grotere ziftmaat. In het tweede jaar (2015) zijn een aantal verdere optimalisaties doorgevoerd die hebben geleid tot de verbetering van de opbrengst met één grotere ziftmaat. Een dergelijk verschil kan voorzichtig worden vertaald naar een te verwachten meeropbrengst van enkele duizenden euro per ha.

Voor pootaardappelen is het aantal aardappels (knollen) en de sortering ervan bepalend voor de opbrengst. In het verkennende eerste jaar (2014) is geen verschil in opbrengst gevonden. In het tweede jaar (2015) zijn wel duidelijke verschillen zichtbaar tussen de referentie en de delen met druppelirrigatie. Er zijn twee watergiftstrategieën toegepast die allebei hebben geleid tot een hoger aantal knollen. Dit geeft aan dat voldoende vocht tijdens de belangrijke periode van de knolaanleg (start van de groei van nieuwe aardappels) het aantal per plant verhoogt. De strategie met een watergift om de dag resulteert duidelijk in een betere opbrengst met betrekking tot zowel aantal knollen als het totaalgewicht. Het verschil in opbrengst kan voorzichtig worden vertaald naar een meeropbrengst van naar schatting € 1000 tot €1500 per ha.



### 7.4.2 Watergebruik

De hoeveelheid water die is toegediend met de druppelirrigatie is in eerste instantie gebaseerd op de ervaringskennis van de agrariërs, waardoor zoveel mogelijk kon worden aangesloten bij de bestaande bedrijfsvoering. Vervolgens is hierin in het tweede meetjaar een verfijning aangebracht door twee varianten te hanteren waarbij dagelijks danwel één maal per twee dagen water is gegeven. Hierbij is op beide percelen zoveel mogelijk gekeken naar een optimale vochttoestand in de bodem voor de gewassen en is nog niet specifiek naar waterbesparing gekeken.

### 7.4.3 Kleiperceel en pootaardappelteelt

Op het kleiperceel met pootaardappel zakt de grondwaterstand in het groeiseizoen uit tot 1,10 m beneden maaiveld. Uit de metingen van het vochtgehalte blijkt dat het vochtgehalte op een diepte van 40 cm in het referentieperceel in de loop van het groeiseizoen gaat dalen, waardoor aanvulling van het bodemvocht door middel van druppelirrigatie wenselijk is. In jaren waarin het voorjaar droog is kan druppelirrigatie mogelijk ook van belang zijn bij de start van het seizoen, waarbij optimale vochtcondities leiden tot een hogere knolaanleg (groei van nieuwe aardappels per plant). Een optimale vochtvoorziening later in het seizoen heeft een positieve uitwerking op een gelijke sortering.

In het eerste verkennende jaar was de sturing op watergiften grotendeels gebaseerd op visuele inspectie van het bodemvocht aan het oppervlak, terwijl het water dieper werd toegediend. Hierdoor is (te) veel water gebruikt, namelijk 404 mm. Mede door het nattere groeiseizoen 2014 was er geen verschil in opbrengst met het referentiedeel. In het tweede jaar is de watergift aangepast. Het proefperceel is gesplitst om twee watergiftstrategieën te testen. Bij de eerste strategie is elke dag water gegeven (in totaal 309 mm) en bij de tweede strategie is om de dag water gegeven (in totaal 120 mm). Er is water gegeven in de periode mei tot eind juli, waarbij de gift per dag varieerde van 3 tot 6,5 mm. Bij beide strategieën kon het vochtgehalte rond veldcapaciteit worden gehouden en resulteerde de watergift in een constante verhoging van de drainafvoer. De strategie waarbij om de dag water werd gegeven bleek duidelijk de meest succesvolle: met een veel lagere watervraag werd hier een hogere opbrengst gerealiseerd. Aanbevolen wordt om deze strategie verder te optimaliseren.

### 7.4.4 Zandperceel met bollenteelt

In Breezand kon de effectiviteit door druppelirrigatie voor de waterhoeveelheden minder goed getest worden omdat het gebruikelijk is op zandpercelen met bollenteelt het grondwaterpeil te verhogen door het oppervlaktewaterpeil op te zetten. Uit de metingen van het bodemvocht blijkt dat in de wortelzone het perceel gedurende het hele teeltseizoen rond veldcapaciteit is gebleven door de peilopzet in de drains. Er was dus op dit perceel al voldoende water aanwezig voor de planten en druppelirrigatie was niet nodig voor de vochttoevoer. Desalniettemin heeft druppelirrigatie op dit perceel zijn meerwaarde bewezen (vergroting van de ziftmaat), dit komt door de gerichte toediening van meststoffen.

### 7.4.5 Nutriënten

Op het perceel wordt voorafgaand aan het seizoen een basisbemesting (organisch compost, groenbemester) op het veld gebracht en er vindt gedurende het seizoen aanvullende bemesting plaats. Het perceel bevat een normaal stikstofgehalte en een hoog fosfaatgehalte. Dit laatste is waarschijnlijk te verklaren door toediening van fosfaat in het verleden, waarbij overtollig fosfaat gebonden werd in de bodem. Bij fertigatie werd nitraat, ammonium en calcium toegediend, maar geen fosfaat. De hoge concentraties van toegevoegd calcium in het fertigatiewater veroorzaakten een daling in de pH van de bodem tot 5,5-7,0, waardoor fosfaat in hogere mate beschikbaar komt in het bodemvocht 1 à 2 dagen na fertigatie. Met dit gegeven kan de fosfaatgift met het organisch compost wellicht nog verder worden verfijnd en hoeft minder te worden toegediend als het historisch fosfaat door verlaging van de pH beter beschikbaar gemaakt kan worden.

Uit de metingen komt naar voren dat bemesting via fertigatie efficiënt verdeeld wordt in de wortelzone en tijdens het groeiseizoen vrijwel geheel wordt opgenomen door de planten. Dit is afgeleid uit zowel het verloop van de bulk-EGV-waarde van de bodem, als uit chemische analyses van bodemwater. De EGV-waarde kan worden gebruikt als indicator voor opgeloste meststoffen in het water, indien bekend is hoe het bodemvocht varieert. Op de diepte van de wortels, tot maximaal 25 cm onder maaiveld, is bij elke fertigatie een toename van de EGV-waarde gemeten. De EGV-sensor beneden de worteldiepte liet echter geen pieken in de EGV-waarde zien. Dit geeft aan dat de nutriënten die zijn toegediend door te fertigeren in de wortelzone opgenomen worden, en niet of slechts beperkt uitzakken naar het grondwater. In de meetperiode kwam geen intensieve neerslag voor. Indien grote regenbuien gedurende het groeiseizoen plaatsvinden bestaat er een kans dat dit wel zou kunnen leiden tot enige uitspoeling van fertigatiewater vanuit de wortelzone.

In het kleiperceel Borgsweer is geen fertigatie toegepast. Wel is in het eerste jaar gekeken naar het stikstofgehalte in de aardappelplant. De aanleiding hiervoor was de verminderde groei ten opzichte van de naastliggende percelen. Het bleek dat de plant een sterk tekort aan stikstof had. De natte omstandigheden kunnen hier debet aan zijn geweest. Een andere mogelijkheid is dat voor de druppelirrigatie water wordt onttrokken uit de ondergrondse zoetwaterberging. Dit water is zuurstofloos en wordt direct in de wortelzone ingebracht. Mogelijk dat hierdoor nitraat werd gereduceerd dat daardoor niet langer beschikbaar was voor opnamen door de plant.

#### 7.4.6 Aanleg en functioneren van de systemen

Elk seizoen vindt er een verbetering plaats van de druppelsystemen op basis van de praktijkervaringen het teeltjaar ervoor. Op het zandperceel met bollenteelt Breezand worden de slangen mee gelegd (uitgerold) bij het planten van de bollen. Na het seizoen, maar voor de oogst, worden de slangen van het land gehaald. De slangen worden opgerold en kunnen in principe het volgende teeltseizoen weer worden gebruikt. Samen met de bollenteler en leverancier zijn diverse verbeteringen doorgevoerd op de machines voor het uit- en oprollen, zo kunnen de slangen nu tot op de centimeter nauwkeurig worden gelegd en is de benodigde arbeid teruggebracht.

Een andere mogelijkheid die momenteel wordt getest zijn recyclebare slangen voor eenmalig gebruik. Deze slangen zijn goedkoper dan de eerder gebruikte slangen die meerdere jaren meegaan, waardoor de kosten vergelijkbaar blijven. Het eenmalige gebruik heeft als voordeel dat het oprollen sneller kan plaatsvinden (minder arbeidsuren) en een ander belangrijk door de telers aangegeven argument is dat de eventuele groei van ziektekiemen bij opslag in de slangen wordt voorkomen.

De toepassing van permanente ondergrondse druppelirrigatie, zoals toegepast in het kleiperceel van Borgsweer, is nieuw. De slangen worden aangelegd beneden het ploegniveau op 53 cm diepte onder de rug, zodat ze niet kapot kunnen worden gereden bij ploegen, gewasinspectie, sproeien of oogsten. Deze slangen kunnen daarom permanent blijven liggen en hebben een levensduur die vergelijkbaar is met buisdrainage (ca. 20 jaar). Bij niet-kerende of beperkte grondbewerking kan het systeem eventueel nog ondieper worden gelegd.

In het eerste jaar 2014 zijn de slangen onder natte omstandigheden met een woelpoot gelegd. Het was moeilijk de slangen op de juiste diepte te installeren. Tevens kan dit hebben geleid tot een verslechterde bodemstructuur die door de aanhoudende natte omstandigheden niet of onvoldoende kon herstellen. Dit kan van invloed zijn geweest aan de gewasopbrengst van dat jaar. Om de slangen in de grond te leggen zonder de bodemstructuur te verslechteren is op voorstel van de teler, en in samenwerking met de leverancier een moldrain ontworpen waarmee slangen in de grond kunnen worden gebracht. Deze succesvolle aanlegmethode is gecombineerd met GPS zodat de slangen precies onder de rug en allemaal op de juiste diepte liggen. De bodemstructuur bleef daardoor goeddeels intact en heeft bijgedragen aan de goede teeltomstandigheden van het tweede jaar 2015.

## 7.5 Aanbevelingen

### 7.5.1 Veldstudies

Door verschillen in textuur zijn bodemvochtmetingen niet erg betrouwbaar om de vochttoestand in een veld aan te geven in relatie tot de behoefte van het gewas. Hiervoor kan beter met vochtspanningen gewerkt worden, welke ook gebruikt kunnen worden voor de sturing van de watergift. In Breezand met het verhoogde waterpeil was aanvulling via capillaire werking voldoende om de bodem op veldcapaciteit te houden. In Borgsweer werd uitdroging van de bodem waargenomen en we bevelen aan om hier op meerdere dieptes (e.g. op 20, 40 en 60 cm) vochtspanningssensoren te installeren om de werking van het diep aangelegde druppelirrigatiesysteem beter te kunnen monitoren en hier een beslissingsondersteunend model voor te ontwikkelen wat tot de automatisering van de watergift zou kunnen leiden.

Metingen zijn gedaan tijdens het groeiseizoen. Om een betere kwantificering te krijgen van de uitspoeling van nutriënten naar het ondiepe grondwater zal de waterkwaliteit, bodemvocht en vochtspanning over een periode van langer dan een jaar gemeten moeten worden. Dit maakt het mogelijk om een onverzadigde zone model ook in de wintermaanden te kalibreren en valideren, de periode waarin de meeste uitspoeling plaats zal vinden.

Er is geen vergelijking gemaakt tussen het waterverbruik van een sprinklerinstallatie en het druppelirrigatiesysteem. In Breezand waar deze systemen naast elkaar gebruikt worden bestaat de mogelijkheid om beregeningsgiften en interceptieverliezen te meten om het verschil te kwantificeren. Hier zou een goed opgezette interceptiestudie van grote waarde kunnen zijn om de waterbesparing te kwantificeren.

In Spaarwater I heeft het nutriëntenonderzoek in Breezand zich vooral gericht op de verdeling van nutriënten in de bodem en op de uitspoeling van nutriënten. Hierbij zijn verschillen in de nutriëntengehaltes in de bodems van de referentie en proefpercelen niet gekwantificeerd. Om een beter vergelijking te maken wordt aanbevolen om in het Spaarwater II project de verschillen in de beschikbaarheid van nutriënten tussen de proefpercelen te kwantificeren. Tevens wordt geadviseerd voor beide proefvakken een nutriënten balans op te maken en de behoefte aan nutriënten door de plant te kwantificeren. Wij bevelen ook aan om eenzelfde studie te doen voor de aardappelteelt in Borgsweer. Het zou hierbij ook nuttig zijn om te bepalen hoeveel koolstof en stikstof in de gasfase ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}_2$ ) het perceel verlaten onder de verschillende beheersmaatregelen, zodat stoffenbalansen kunnen worden gemaakt.

Bij toepassing van de basisbemesting gedurende de maanden voor het gewas actief gaat groeien is het niet bekend hoeveel van de ingebrachte nutriënten daadwerkelijk beschikbaar blijven voor de gewasgroei. Het is wel mogelijk dat mobiele goed in water oplosbare nutriënten, zoals kalium, calcium en nitraat, die in het najaar vrijkomen uit de groenbemester, in de winter naar het grondwater uitspoelen en via de drains in het oppervlaktewater terecht komen. Dit zou de oorzaak kunnen zijn van de waargenomen verhoogde concentraties van  $\text{NO}_3$  in de wintermaanden die van het zandperceel Breezand uitspoelden. Het is van groot belang om inzicht te krijgen in de efficiëntie van groenbemers in zandpercelen met een hoge grondwaterstand. Hiertoe dienen op regelmatige tijdstippen gedurende het jaar bodemvochtmonsters, monsters van het ondiepe grondwater, en van de drainafvoer genomen te worden ter analyse van het EGV, de pH, en concentraties van  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{PO}_4$ , Ca, en eventueel Cl om de verdunning te bepalen. Ook zou het zuurstofgehalte in de bodem gemeten moeten worden.

Ter bestrijding van schadelijk bodemleven worden de bollenvelden tijdelijk geheel onder water gezet. Dit zal in Breezand in 2016 gebeuren en levert een goede mogelijkheid om de effecten van deze maatregel op de fysische en chemische eigenschappen van de bodem in kaart te brengen. Ook levert dit de mogelijkheid op de hoeveelheid uitstoot van broeikasgassen te bepalen.

### 7.5.2 Modelstudies

In de modelstudies bleek dat de gebruikte bodemparameters van grote invloed waren op de uitkomsten van de simulaties. Deze parameters zijn nu ontleent aan de Staring reeks en in enige mate aangepast bij de kalibratie van het model. Om de modellen realistischer te maken zouden de vochtretentiekarakteristieken van de bodems in alle proeflocaties bepaald moeten worden. Tevens dienen er langere gemeten tijdseries beschikbaar te komen om het model onder verschillende klimaat- en bodemvocht condities te kunnen kalibreren.

Om het watergiftsysteem te automatiseren is het aanbevelingswaardig om een onverzadigde zone model te ontwikkelen, wat met data assimilatie van gemeten vochtparameters in combinatie met weersvoorspellingen, de behoefte aan irrigatie enkele dagen van tevoren kan voorspellen. Dit zou het mogelijk maken om niet alleen de watergift beter te regelen (alleen indien nodig rekening houdend met te verwachten neerslag) maar ook de fertigatie te optimaliseren om uitspoeling tijdens grote regenbuien te voorkomen.

Een combinatie van een gekalibreerd onverzadigd zone model HYDRUS en het hydrochemisch model PHREEQC zou gebruikt kunnen worden om de geobserveerde veranderingen in bodem pH en chemie te simuleren om zo te bepalen bij welke concentraties veranderingen optreden, zoals het beschikbaar komen van fosfaat in het bodemwater.





# 8

## Referenties

- J. Alblas en H. Froot, 2002. Druppelirrigatie met brak water voor schurftbestrijding in poot aardappelen. Kennisrapport PPO-agv en SPNA.
- J. Bal ab en A.B. Verhage, 2012. Water optimalisatie plan fruitteelt, ZLTO Advies, Goes.
- J. Balendonck, 2011. Slim omgaan met water en meststoffen door toepassing van sensoren: "More crop per drop?". Wageningen UR Glastuinbouw. Presentatie NVTL studiedag schoon en zuinig 1 maart 2011.
- G. Blom en M. den Braber, Klimaat Atlas 1.0: Landbouw, Water en Extremen, Interprovinciaal Overleg (IPO), 2010.
- H.A.R. de Bruin en W.N. Lablans, 1998. Reference crop evapotranspiration determined with a modified Makkink equation. *Hydrological Processes* 12(7): 1053-1062.
- C.B. Bus, C.D. van Loon en A. Veerman, Teelt van poot aardappelen, Proefstation voor de Akkerbouw en de Groententeelt in de Vollegrond, 1996, Teelthandleiding, 72, Lelystad, 152 p.
- M. Th. van Genuchten, A closed-form equation for predicting the Hydraulic Conductivity for unsaturated soils, *Soil Science Society of America Journal*, 1980.
- M.Th. van Genuchten, F.J. Leij en L. Wu. 1997. Proceedings of the International Workshop on Characterization and Measurement of the Hydraulic Properties of Unsaturated Porous Media. Riverside, California, 22-24 October 1997.
- S. de Hilster, 2015. Soil CO<sub>2</sub> profiles. Dependence of soil CO<sub>2</sub> levels on soil parameters and the impact on groundwater chemistry in sandy soils in The Netherlands. BSc thesis, VU University Amsterdam, The Netherlands.
- M.M. Kandelous, J. Simunek, M.Th. van Genuchten en K. Malek, Soil Water Content Distributions between Two Emitters of a Subsurface Drip Irrigation System, *Soil Science Society of America Journal*, 75:488-497, 2011.
- J. Katoele en R.M. Overgaw, 2015. Rapport berekeningstechnieken. Rapport project Duurzaam Elektrisch Beregenen (DEB). Europees Landbouwfonds voor Plattelandsontwikkeling: Europa investeert in zijn platteland.
- A. Klein Tank and G. Lenderink (Eds.), 2009. Klimaatverandering in Nederland; Aanvullingen op de KNMI06 scenarios,. KNMI, Nederland.
- M.J. van Maanen, 2015. Quantification of Soil Moisture and Nutrient Fate during Drip Irrigation with Shallow Groundwater Table. MSc Thesis Hydrology. VU University, Amsterdam, The Netherlands.

C. Miles, J. Roozen, E. Maynard and T. Coolong, 2015. Fertigation in Organic Vegetable Production Systems. *Organic Agriculture*, June 11.

J. van Minnen en W. Ligtvoet, 2012. Effecten van klimaatverandering in Nederland: 2012. *Beleidstudies, Planbureau voor de Leefomgeving*, Den Haag, Nederland.

J. Paauw, Druppelirrigatie en fertigatie in Bintje consumptie-aardappelen, 2001. Wageningen UR, PPO-bulletin. *Akkerbouw* 1: 5-6.

P. Koorevaar, G. Menelik en C. Dirksen, *Elements of Soil Physics*, Elsevier Science Ltd., 1983, *Developments in Soil Science*, 13-XIV. Amsterdam, Nederland.

J.W. Pier and T.A. Doerge, Concurrent evaluation of agronomic, economic, and environmental aspects of trickle irrigated watermelon production, *Journal of Environmental Quality*, 1995, 24: 79–86.

D. van der Schans, 2015. Factsheet Praktijknetwerk beregening: Beregening en gewasproductie. *Praktijkonderzoek Plant en Omgeving (WUR) en Aequator*. 2 p.

F. Shaxon en R. Barber, 2003. Optimizing soil moisture for plant production. The significance of soil porosity, *Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO Soils Bulletin*, 79, Rome, Italie.

C.C. Shock and F-X. Wang, 2011. Soil Water Tension, a Powerful Measurement for Productivity and Stewardship, *HortScience* 46(2): 178-185.

Simunek, J., M. Sejna, en M. Th. van Genuchten, The Hydrus-2D software package for simulating two-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably saturated media. Version 2.0, IGWMC - TPS - 53, International Ground Water Modeling Center, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, 251pp., 1999.

G. Singh, 1969. A review of the soil-moisture relationship in potatoes. *American Potato Journal* 46(10): 398-403.

T.H. Skaggs and T.J. Trout and J. Simunek and P.J. Shouse, Comparison of HYDRUS -2D simulations of drip irrigation with experimental observations., *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 2004, 130, pp. 304-310.

B. Snellen and T. van Hattum, 2015. Bodemvochtgestuurd beregenen, *STOWA Factsheet*.

P.J.T. van Bakel and E.M.P.M. van Boekel and G.-J. Noij, 2008. Modelonderzoek naar effecten van conventionele en samengestelde, peilgestuurde drainage op de hydrologie en nutriëntenbelasting. *Alterra*, 2008, rapport 1647, Wageningen, Nederland.

W.C.A. van Geel, 2004. Perspectief druppelirrigatie en -fertigatie in consumptieaardappelen op droge zandgrond valt tegen. *Kennisdocument - PPO-agv*.

M. Thabet, Drip Irrigation Systems and Water Saving in Arid Climate: A Case Study from South Tunisia, *International Journal of Water Resources and Arid Environments*, 2013, 2, 4, pp. 226-230.

T.L. Thompson and T.A. Doerge, Nitrogen and water interactions in subsurface trickle irrigated leaf lettuce II. Agronomic, economic, and environmental outcomes, *Soil Science Society of America Journal*, 1996, 60: 168-173.

T.L. Thompson, S.A. White, J. Walworth and G. Sower, Fertigation frequency effects on yield and quality of subsurface drip-irrigated broccoli, College of Agriculture, University of Arizona, 1999, Vegetable: A College of Agriculture Report, AZ1543, Tucson, Arizona.

B. Trotter, 2015. Soil Moisture Measurement Notes, Skye Instruments Ltd., Powys, UK.

S.H. Vuurens en R. Speets, 2011. Droogtebestendig West-Nederland. Gevolgen van klimaatverandering voor de watervraag en bouwstenen voor vervolgotrajecten. Royal Haskoning, Rotterdam, Nederland.

J. H. M. Wösten, G. J. Veerman, W.J.M. de Groot en J. Stolte, Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, 2001, Alterra-rapport, 153, Wageningen, The Netherlands.

J. Zoetendal, Effecten van extremen. Samenvatting onderzoeksfase 2. De invloed van extreme weersomstandigheden op gewassen en landbouwhuisdieren en verkenning van mogelijke adaptatiemaatregelen., Grontmij Nederland B.V., 2010.



Acacia Institute  
Van Hogendorpplein 4  
2805 BM Gouda

Telefoon: 0182 – 686424  
Internet: [www.spaarwater.com](http://www.spaarwater.com)  
Email: [info@acaciainstitute.nl](mailto:info@acaciainstitute.nl)

