

SPAARWATER

Zuinig met zoetwater: Druppel- en subirrigatie

Technische rapportage 2016-2018

Achtergrondinformatie behorende bij hoofdrapport



JAN
2019

Financiers: Waddenfonds, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, Wetterskip Fryslân, Waterschap Noorderzijlvest, Waterschap Hunze en Aa's, Provincie Noord-Holland, Provincie Fryslân, Provincie Groningen, STOWA, LTO Noord fondsen, Achmea Agro, Rabobank.

Uitvoerende partijen: Penvoerder Acacia Institute i.s.m. Acacia Water, Delphy, Wageningen Universiteit (Wageningen Economic Research), Vrije Universiteit Amsterdam, Technische Universiteit Delft, SEO Economisch Onderzoek, Broere Berekening, Combi Drain, YARA, Netafim, Han de Kreuk, CaTeC, METER Group, Vermaire Breezand.

Betrokken landbouwbedrijven: Langeveld VOF - locatie Breezand, Teeuwen en Zonen B.V. - Locatie Breezand, Maatschap Noordam ten Have - locatie Borgsweer, Maatschap J.W. Oosterhuis - locatie Hornhuizen, Maatschap A. Hofstra - locatie Herbaijum.

Overige betrokken partijen: LTO Noord, KAVB (Koninklijke Algemene Vereniging voor Bloembollencultuur), Nederlandse Voedsel en Warenautoriteit (NVWA) en Pootgoedacademie.

Colofon

Documenttitel	. Zuinig met zoetwater
Status	. Technische rapportage
Datum	. 17 januari 2019
Projectnummer	. 676
Projectteam	. M. Hulshof, B. de La Loma Gonzalez, S. van Meijeren, J. Velstra, M. Waterloo, S. de Wildt

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@acaciawater.com.

Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	1
1.1	Algemeen.....	1
1.2	Doel en subdoelen.....	1
1.3	Methode.....	2
1.4	Leeswijzer.....	3
2	Druppelirrigatie	4
2.1	Onderzoeksvragen.....	4
2.2	Aanpak.....	4
2.3	Resultaten.....	7
2.3.1	Watergift.....	7
2.3.2	Watereffectiviteit	16
2.3.3	Verspreiding irrigatiewater in de bodem	18
2.4	Oogst.....	22
2.5	Conclusies.....	27
3	Sub-irrigatie	28
3.1	Onderzoeksvragen.....	28
3.2	Aanpak.....	28
3.3	Resultaten.....	29
3.3.1	Grondwaterstanden en bodemvocht bij sub-irrigatie	29
3.3.2	Watereffectiviteit sub-irrigatie	30
3.3.3	Grondwaterstandvoorspellingsmodel.....	30
3.4	Conclusies.....	31
4	Verminderen uitspoeling nutriënten	33
4.1	Onderzoeksvragen.....	33
4.2	Aanpak.....	33
4.3	Resultaten.....	34
4.3.1	Breezand.....	34
4.3.2	Borgsweer.....	36
4.4	Conclusies.....	40
5	Criteria voor opschaling & kansenkaarten	41
5.1	Bovengronds druppelen.....	41
5.2	Ondergronds druppelen	41
5.3	Sub-irrigatie	42
5.4	Conclusies en kansenkaarten	42
6	Samenvatting en conclusies	45

Referenties	47
--------------------------	-----------

Bijlagen

- I - Bodembeschrijving
- II – Berekening watereffectiviteit traditionele irrigatie
- III – Achtergrond beslissingsondersteunend model
- IV – Overzicht gewasopbrengst 2016-2018
- V – Bepalen watereffectiviteit op basis van de waterbalans per veld
- VI – Grondwaterstandvoorspelling Breezand 1 en 3 dagen vooruit
- VII – Bemesting Breezand en Borgsweer
- VIII – Uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen

1 Inleiding

1.1 Algemeen

Dit document betreft de afsluitende technische rapportage van het onderdeel ‘*Zuinig met zoetwater*’ van het programma Spaarwater II. Voorliggende rapportage bevat de technische onderbouwing van het Spaarwater Hoofdrapport. Het rapport richt zich binnen het ‘*Zuinig met zoetwater*’ op de volgende onderwerpen:

- Druppelirrigatie
- Sub-irrigatie
- Verminderen uitspoeling nutriënten
- Criteria voor opschaling & kansenkaarten

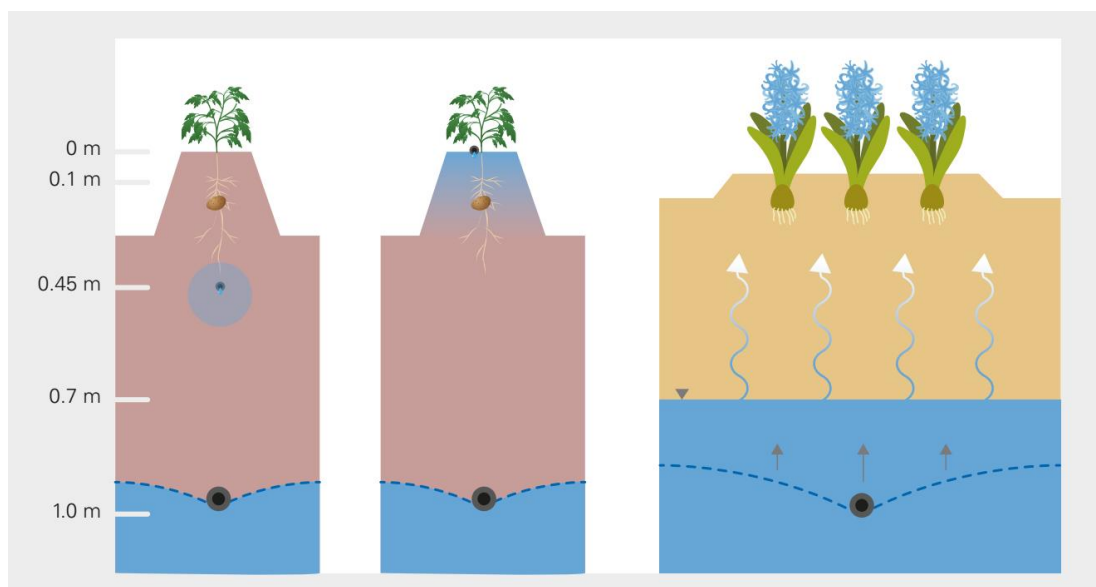
1.2 Doel en subdoelen

Het hoofddoel van Spaarwater II is het ‘Klimaatbestendig maken en versterken van de economisch belangrijke landbouwsector door zekerstelling van de zoetwaterbeschikbaarheid en bestrijden van verzilting, waarbij rekening wordt gehouden met extremen zoals wateroverlast.’

Subdoelen van Spaarwater II zijn:

1. Vermindering van emissie van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen (GBMs):
 - Reduceren afspoeling van nutriënten en GBMs (tevens KRW)
 - Vermindering van het gebruik van kunstmest (tevens KRW)
2. Verminderen van vraag naar permanente externe watertoevoer (verminderen doorspoelen)
3. Beperking van fluctuaties in zoutgehalten (doel KRW in brakke milieus)
4. Versterken bedrijfsbasis voor landbouw: minder afhankelijk, meer zelfvoorzienend.

Het doel van het deelproject *Zuinig met Zoetwater* is om optimaal gebruik te maken van de beschikbare hoeveelheid zoetwater, uitspoeling van meststoffen naar het oppervlaktewatersysteem te minimaliseren, en de gewasopbrengst te verhogen. Hiervoor is onderzoek gedaan naar de toepasbaarheid en de effecten van boven- en ondergrondse druppelirrigatie en sub-irrigatie (Figuur 1).



Figuur 1. Schematisatie van de drie toegepaste irrigatiesystemen: ondergronds druppelen, bovengronds druppelen en sub-irrigatie.

1.3 Methode

Voor het onderdeel *Zuinig met zoetwater* wordt onderzoek gedaan op twee locaties: in Borgsweer en Breezand (zie Figuur 2).

In Borgsweer wordt druppelirrigatie toegepast op een kleiperceel. De slangen liggen ondergronds, onder de ploegzool, waardoor ze kunnen blijven liggen. In de periode 2014 t/m 2018 is op velden A, B en C onderzoek gedaan naar de toevoer van water en meststoffen via druppelirrigatieslangen bij een rotatiecultuur van pootaardappelen op ruggen (Figuur 1). In 2013 en 2014 is vooral gekeken naar hoe het systeem het best kan worden aangelegd, inclusief bijbehorend materieel en koppeling aan het ondergrondse opslagsysteem. In 2015 is voor het eerst gemeten aan, en gestuurd op bodemvochtgehalten en bodemvochtspanning. In 2016 is het fertigatiesysteem aangesloten en is veel aandacht uitgegaan naar het aansturen van de giften (op welke diepte sturen en welke parameters in acht nemen). In 2017 zijn de watergiften geoptimaliseerd om de watereffectiviteit te verhogen. In het laatste jaar, 2018, is de aandacht voornamelijk uitgegaan naar het verder optimaliseren van de watereffectiviteit en het minimaliseren en monitoren van de af- en uitstroom van nutriënten. In dit rapport worden de resultaten van de groeiseizoenen 2016 t/m 2018 toegelicht.

In Breezand worden sub-irrigatie en bovengronds druppelen gecombineerd toegepast op een zandperceel. In de periode 2014 t/m 2016 is onderzoek gedaan naar peilopzet middels sub-irrigatie en aanvoer van water en meststoffen via druppelirrigatie in de bollenteelt (Figuur 1). In 2017 zijn de grondwaterstanden op het perceel niet gereguleerd zodat de grondwaterstandsmetingen gebruikt kunnen worden voor het kalibreren van het grondwaterstandvoorspellingsmodel. In dit rapport worden met betrekking tot Breezand de resultaten van het groeiseizoen 2016 en van de modelkalibratie voor 2017 beschreven.



Figuur 2. Ligging van de proeflocaties Breezand en Borgsweer en de overige pilotlocaties in Noord-Nederland.

1.4 Leeswijzer

In deze rapportage worden de resultaten van vier onderwerpen van *Zuinig met zoetwater* besproken. Hoofdstuk 2 behandelt de resultaten van de proeven in 2016, 2017 en 2018 met druppelirrigatie in Borgsweer, waaronder de watereffectiviteit, en de kansen voor toepassing van deze irrigatietechniek op verschillende bodems. Hoofdstuk 3 is gewijd aan de effecten en kansen van sub-irrigatie, zoals onderzocht in 2016, en de grondwaterstandsmodellering voor 2017 ten behoeve van sub-irrigatie. De uitspoeling van nutriënten voor de situaties in Borgsweer en Breezand wordt besproken in Hoofdstuk 4. In hoofdstuk 5 wordt de toepasbaarheid van de druppel- en sub-irrigatietechnieken in de Waddenregio toegelicht en in hoofdstuk 6 worden een samenvatting en conclusies van Spaarwater II gegeven.

2 Druppelirrigatie

2.1 Onderzoeksvragen

Binnen het deelonderzoek *Zuinig met zoetwater* wordt in relatie tot druppelirrigatie gezocht naar antwoorden op de volgende vragen:

- Welke watereffectiviteit kan worden behaald met druppelirrigatie en hoe verhoudt deze zich tot traditionele systemen?
- Wat is de optimale frequentie en omvang van de watergift zodat het benodigd vochtgehalte bij de wortels kan worden gerealiseerd?
- Wat is de meeropbrengst ten gevolge van toepassing van druppelirrigatie?

2.2 Aanpak

De optimale watergift is afhankelijk van de eigenschappen van de bodem, het gewas en de weersomstandigheden.

In 2016 is het Vak C gebruikt. Er is toen getest met irrigatie en fertigatie ten opzichte van referentie (Figuur 3).

Om verschillende watergiftoptimalisaties te testen en de bijbehorende watereffectiviteit te meten is Borgsweer Vak A in 2017 opgedeeld in vier velden:

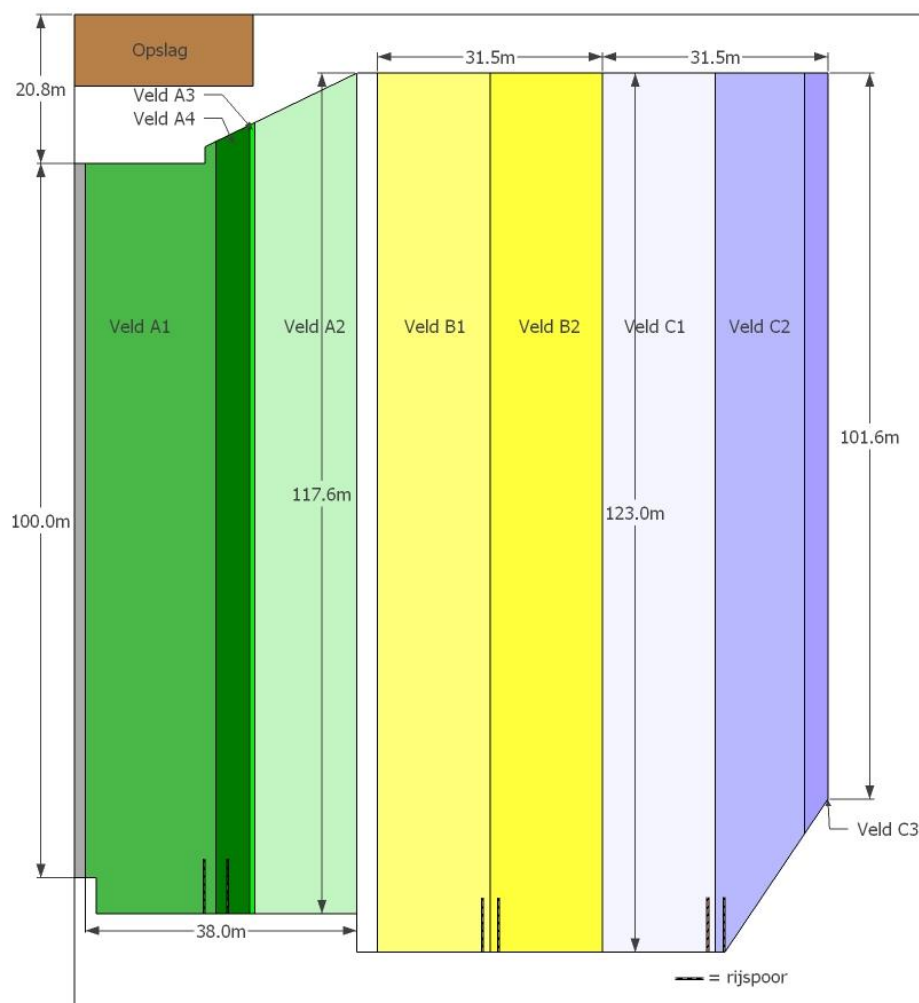
- Pootaardappel modelgestuurd (A1): Slangen op ongeveer 45 cm diepte waar experts van Acacia Water op basis van metingen en modellen de irrigatiegiftten instellen;
- Pootaardappel referentie (A2): Géén toepassing van irrigatie;
- Pootaardappel bovenlangs (A3): Druppelslang bovenlangs (aan het oppervlak) waar de teler in samenspraak met Delphy de frequentie en grootte van de watergiften bepaalt; en
- Pootaardappel telergestuurd (A4): Slangen op ongeveer 45 cm diepte waar de teler in samenspraak met Delphy de frequentie en grootte van de watergiften bepaalt.

In 2018 is Vak B opgedeeld in twee velden één referentie (B1) en één proefveld (B2).

Op Veld B1 zijn pootaardappelen geteeld op conventionele wijze; zonder irrigatie omdat er een beregeningsverbod geldt in de regio en met toepassing van meststoffen aan het oppervlak. In dit veld is het gewas voor de vochtvoorziening en inspoeling van de meststoffen afhankelijk van regenval. Op Veld B2 is het pootaardappelgewas voorzien van water en meststoffen door ondergrondse druppelslangen (fertigatie).

Op de verschillende velden is bodemvocht en bodemvochtspanning gemeten op 10, 20 en 30 cm en op slangdiepte (+/- 45 cm) continu gemeten (Tabel 1)

Daarnaast is de grondwaterstand, regenval en drainafvoer gemeten en vindt er een periodieke beschrijving van de bodem, plant en wortelstelsel plaats. Op basis van deze metingen en modellering is de watereffectiviteit en toepasbaarheid van het druppelsysteem bepaald.



Figuur 3. Inrichting proefperceel Borgsweer. In 2016 zijn velden C1, C2 en C3 gebruikt. In 2017 is onderzoek gedaan in velden A1 t/m A4 en in 2018 in velden B1 en B2.

Tabel 1. Versimpeld overzicht sensoren Borgsweer 2016, 2017 & 2018 ten behoeve van watereffectiviteitsmetingen (alles continu & telemetrisch)

Locatie	Sensor	Relevante parameters	# tijdseries
Naast veld	ECRN-100	Regenval	1
Naast veld (uitgangssituatie)	Decagon CTD10	Grondwaterstand, EC en temperatuur	3
2016 Velden A1, A2, A3 A4			
irrigatiewater (4 putten)	BE Sigmatek	debiet, pH EC irrigatiewater	12
fertigatiesysteem	Netafim NMC Pro sensoren	EC, pH en debiet fertigatiewater	9
op 10, 20, 40, 60 cm (1 set/veld)	MPS2/MPS6	EC, bodemvochtspanning, temperatuur	36
op 20, 40, 60 cm (1 set/ veld)	EC5, GS3	EC, bodemvochtgehalte, temperatuur	36
Tussen de drains	Decagon CTD-10	grondwaterstand, EC, temperatuur	3
Naast de drain	Decagon CTD-10	grondwaterstand, EC, temperatuur	3
Drainput	Sensoren Broere	debiet, EC en turbiditeit drainuitstroom	3
KNMI station Nieuw Beerta	Makkink verdamping	verdamping	1
KNMI voorspelling regenval	KNMI geaggregeerd model	voorspelling regenval	1
2017 Velden A1, A2, A3 A4			
irrigatiewater (4 putten)	BE Sigmatek	debiet, pH EC irrigatiewater	12
fertigatiesysteem	Netafim NMC Pro sensoren	EC, pH en debiet fertigatiewater	9
op 20, 30 en 45 cm (2 sets/veld)	MPS2/MPS6	EC, bodemvochtspanning, temperatuur	18
op 20, 30 en 45 cm (2 sets/veld)	EC5/GS3	EC, bodemvochtgehalte, temperatuur	18
tussen de drains (2 sets)	Decagon CTD 10	grondwaterstand, EC, temperatuur	6
Drainput	Sensoren Broere	debiet, EC en turbiditeit drainuitstroom	3
KNMI station Nieuw Beerta	Makkink verdamping	verdamping	1
KNMI voorspelling regenval	KNMI geaggregeerd model	voorspelling regenval	1
2018 Velden B1, B2			
irrigatiewater (4 putten)	BE Sigmatek	debiet, pH EC irrigatiewater	12
fertigatiesysteem	Netafim NMC Pro sensoren	EC, pH en debiet fertigatiewater	9
op 30 en 45 cm (2 sets/veld)	MPS2/MPS6	EC, bodemvochtspanning, temperatuur	12
op 30 en 45 cm (2 sets/veld)	EC5/GS3	EC, bodemvochtgehalte, temperatuur	12
Drainput	Sensoren Broere	debiet, EC en turbiditeit drainuitstroom	3
KNMI station Nieuw Beerta	Makkink verdamping	verdamping	1
KNMI voorspelling regenval	KNMI geaggregeerd model	voorspelling regenval	1

2.3 Resultaten

2.3.1 Watergift

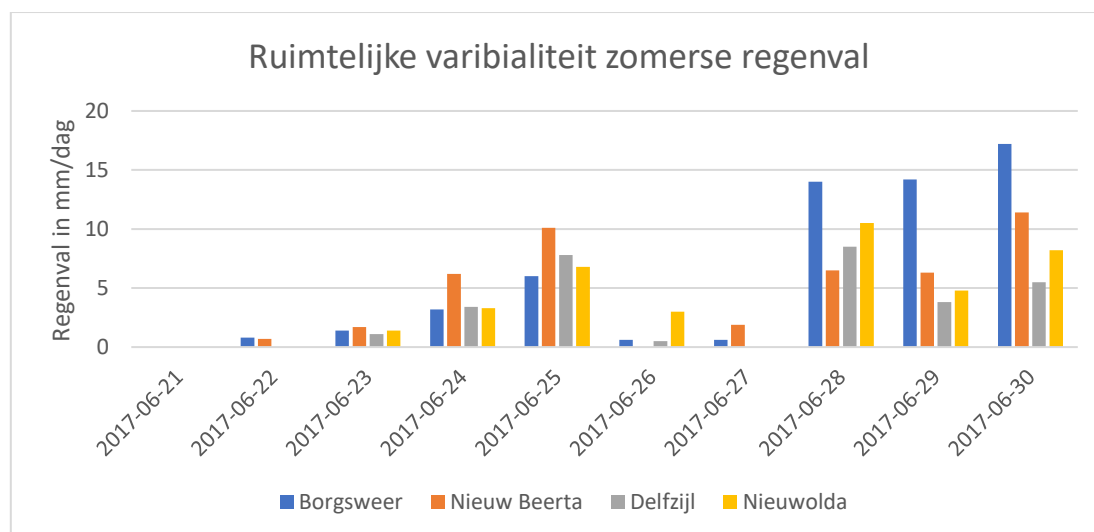
De optimale frequentie en omvang van de watergift bij ondergronds druppelen is afhankelijk van de weersomstandigheden, bodemsoort en het groeistadium van het gewas. Deze worden hieronder nader toegelicht.

Regenval

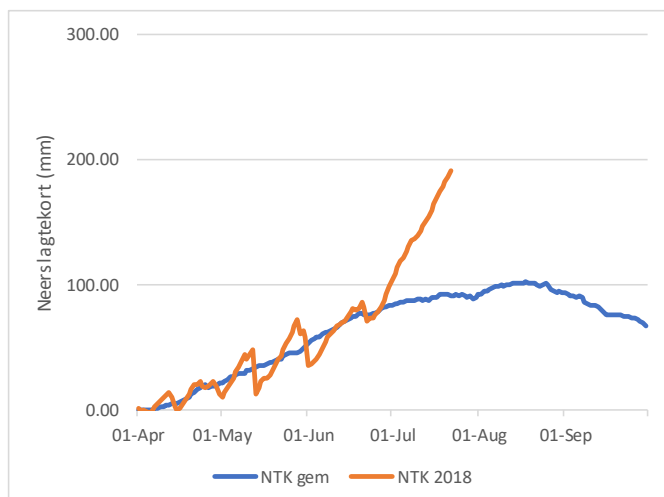
Zomerse regenval verschilt sterk per meetlocatie. Als voorbeeld zijn de regenval van het KNMI-meteostation in Nieuw Beerta, de regenstations Nieuwolda en Delfzijl en de gemeten regenval op het proefveld in Borgsweer voor eind juni 2017 weergegeven in Figuur 4. Uit de grafiek blijkt het belang van een regenmeter op perceelsniveau. Door de ruimtelijke variatie is de door het KNMI gemeten (én voorspelde) regenval onvoldoende betrouwbaar om de aanvulling van het bodemvocht te bepalen.

In 2017 begon de lente zacht, maar was de maand mei extreem warm. Het zomerse weer kreeg een vervolg in juni. Juli en augustus waren qua temperatuur normaal, maar relatief nat en wisselvallig (KNMI 2018).

In de drie lentemaanden van 2018 was het zeer zacht met een temperatuur van 1,5grC boven het langjarig gemiddelde. De maanden juni en juli waren zeer warm en zeer droog (KNMI 2018). Het neerslagtekort op het perceel in Borgsweer liep in deze maanden op tot tweemaal het langjarig gemiddelde (zie Figuur 5).



Figuur 4. Neerslag voor de periode van 20 tot en met 30 juni 2017 voor verschillende meetstations in de omgeving Borgsweer.



Figuur 5. Neerslagtekort (NTK) in op het proefperceel in Borgsweer in 2018 ten opzichte van het langjarig gemiddelde.

Bodem

Het gebied rondom Borgsweer is gevormd gedurende het Holoceen en bevindt zich in een voormalig getijde afzettingsvlakte. De bodem bestaat voornamelijk uit zware zavel met een lage doorlatendheid. De drains liggen op ongeveer 1 meter diepte in een zogenoemde laag korte klei met een hoge doorlatendheid. Deze laag is gevormd door het regelmatig overstromen van oeverwallen, waarbij organisch materiaal (zoals riet) is bedolven onder zeer fijne kleideeltjes. Het ingesloten organisch materiaal zorgt voor een hoge doorlatendheid in de orde van 2-5 m/d (zie ook Bijlage I).

De eerste 20 cm van de bovengrond bestaat uit klei-aggregaten die in grootte variëren van enkele millimeters tot maximaal 2 cm. In deze bovengrond is de aardappel gepositioneerd op circa 17 cm. In deze bovengrond bevindt zich een uitgebreid wortelstelsel dat zich heeft gevormd aan de stam van de aardappel.

Aan de onderzijde van deze bovengrond zit een scherpe overgang. Vanaf hier is de bodem compact en zonder zichtbare aggregaten.

Vanaf 26 cm diepte is een grijze laag met iets meer silt te zien. In deze laag zijn fijnere wortels geobserveerd, maar met een beduidend kleinere dichtheid dan in de laag erboven. De laag is niet kneedbaar en niet kleverig en valt uiteen in plakken, wat duidt op een hogere vochtigheid. De grijze kleur kan duiden op een laag die dominant gereduceerd is als gevolg van reductieprocessen door permanente verzadiging (anoxische omstandigheden) en duidt op een relatief lage doorlatendheid. Onder de grijze laag bevindt zich



een laag met een hoge vochtigheid. De ondergrondse druppelslang bevindt zich in deze laag op ongeveer 46 cm onder bovenkant rug.

Uit de bodemanalyses blijkt verder dat de variabiliteit in het veld hoog is en dat zich tijdens het seizoen scheuren van meerdere cm's breed ontwikkelen in de klei, ook rondom de sensoren. Wortels lijken zich in deze scheuren te concentreren.

Gewasontwikkeling

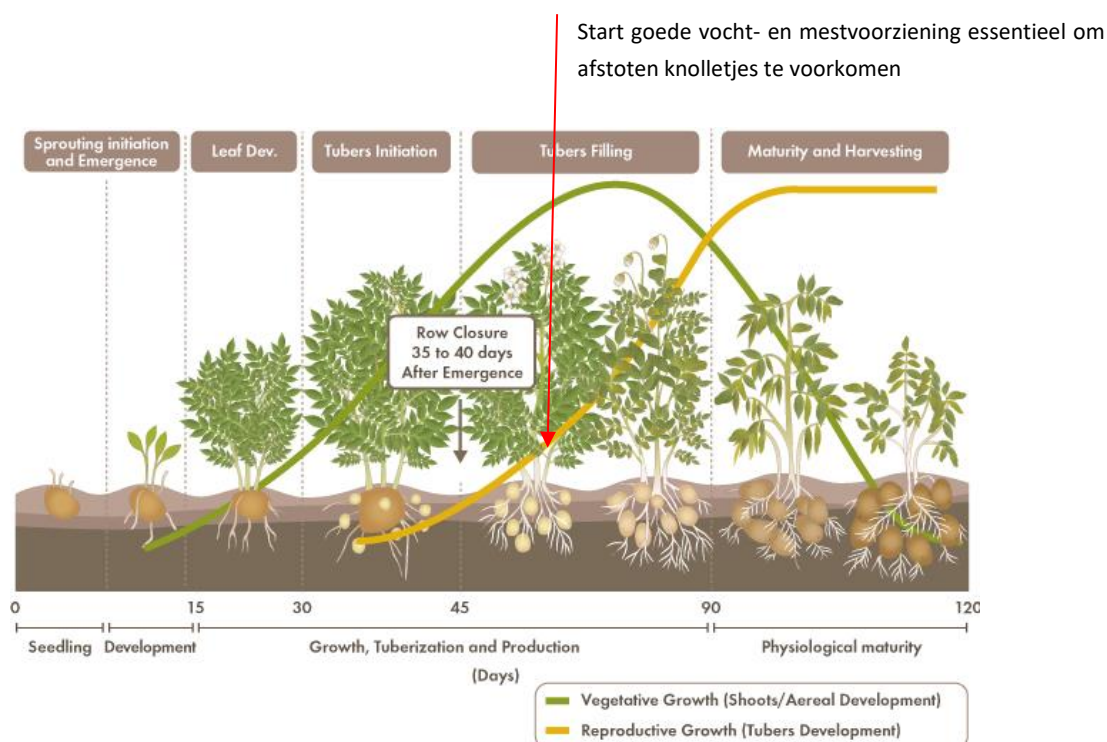
Op het moment van poten bestaat de aardappel voor 80% uit water en voedingsstoffen. Dit water wordt gebruikt voor de ontwikkeling van wortels en stam, waarna de wortels op zoek gaan naar een externe bron van water. Aan de stam groeien nieuwe wortels (ondergronds) en loof (bovengronds). Na 4-5 weken vindt de knolvorming plaats over vier fases (Figuur 6):

- Vorming van een stolonen aan de stam (1^{ste} fase);
- Vorming van haakjes aan de stolonen (2^e fase; *knolinductie*);
- Uitgroeien van de stolonen tot verdikkingen (3^e fase; *knolinitiatie*);
- Uitgroeien van de verdikkingen tot knolletjes (4^e fase; *knolzetting*).

In het ideale scenario vormen bij het *Spunta* aardappelras 12 knolletjes. Afhankelijk van de mate van het gebrek aan water en voedingsstoffen stoot de plant knolletjes af tijdens de 4^e fase - *knolzetting*. Dit afstoten vindt plaats totdat de knolletjes een grootte van ongeveer 2,5 cm hebben bereikt (persoonlijke communicatie Pieter Noordam en Wyncko Tonkens, juni 2017, Haverkort et al., 1990, Lynch et al., 1995, MacKerron and Jefferies, 1986, Yuan et al., 2003) De teler heeft geen invloed op het aantal knolletjes dat zich vormt, maar wel op het aantal dat overleeft. Het afstoten van knolletjes vindt plaats in de weken 8 en 9 na poten (Figuur 7).



Figuur 6. Uitgroeien van haakjes tot verdikkingen

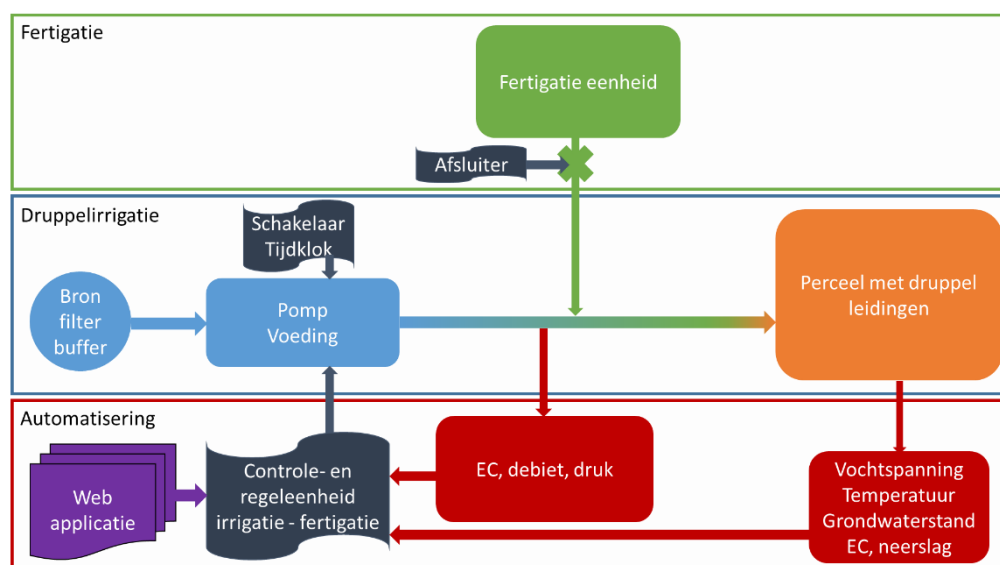


Figuur 7. Ontwikkeling van de aardappel; vanaf ongeveer dag 50 (week 8) is een optimale voorziening van water en meststoffen essentieel om het afstoten van knolletjes te voorkomen.

Operationeel beheer

Systeemontwerp

Het hart van het druppelirrigatiesysteem bestaat uit een bron (grondwater, oppervlaktewater), filters en een buffervat, een pomp en leidingen naar de druppelslangen in het perceel (Figuur 8). De pomp wordt handmatig aangezet of automatisch in- of uitgeschakeld op basis van sensormetingen in het veld. Indien gewenst kan het systeem via een webapplicatie worden aangestuurd. Doordat het systeem modulair is opgebouwd kan het gemakkelijk aan de behoeften en financieringsmogelijkheden van telers worden aangepast. In het Spaarwater programma is gebruik gemaakt van de fertigatie en druppelirrigatie-eenheden, en een partiele automatisering. De parameters bodemvocht, temperatuur, grondwaterstand, EC, neerslag, debiet en druk werden continu gemeten en weergegeven in een webapplicatie, maar de aansturing van de irrigatie en fertigatie was handmatig, waarbij de status van het bodemvocht continu getoetst werd aan de gewasontwikkeling in overleg met de teler en Delphy (voor een uitgebreide beschrijving van de systeemonderdelen zie de tussenrapportage van maart 2017).



Figuur 8. Schematisch overzicht van een uitgebreid druppelirrigatie en fertigatiesysteem met controle en regelmodules voor een automatische aansturing.

Beslissingsondersteunend model

Om een teler te ondersteunen in de beslissing voor irrigatiegift en frequentie is een sturingsmodel opgesteld (Figuur 9). De principes waarop het model is gebaseerd zijn als volgt: Voor elk gewas is er een bereik van vochtspanning $pF_{nat} - pF_{droog}$ waarin de bodem gemakkelijk opneembaar vocht bevat. Indien $pF < pF_{nat}$ is de bodem te nat en zou irrigatie schadelijk kunnen zijn. Droogteschade ontstaat indien $pF > pF_{droog}$. Door de bodemvochtspanning te monitoren en deze te analyseren in combinatie met de neerslagverwachting en de verdampingswaarden, kan er bepaald worden of irrigatiegiften nodig zijn en hoe groot die ongeveer moeten zijn (zie voor meer informatie bijlage III Achtergrond beslissingsondersteunend model).

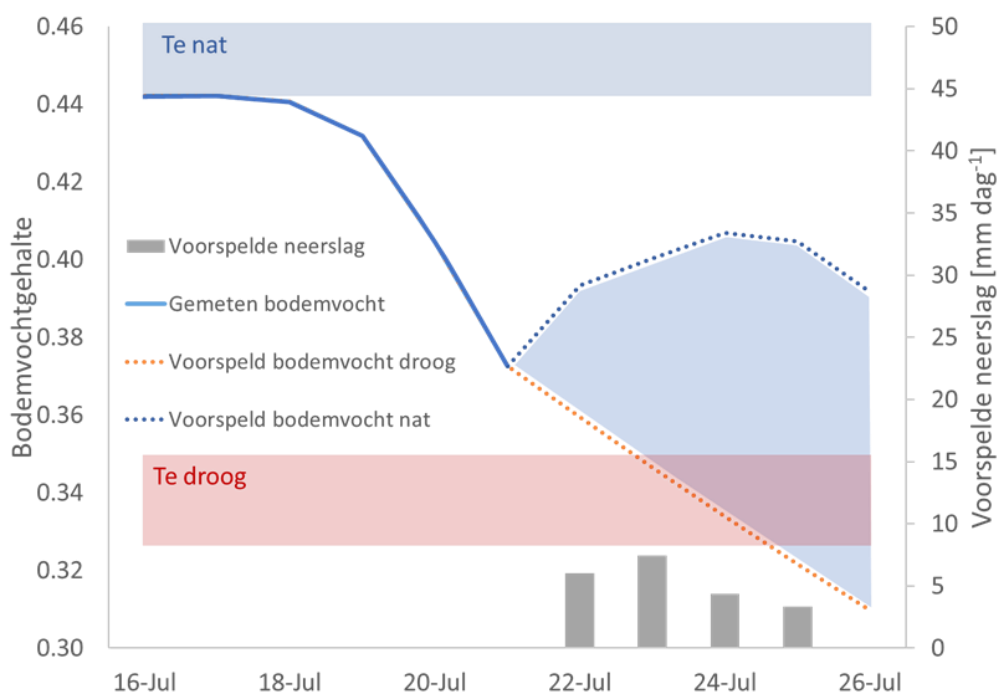
Aangezien de apparatuur om bodemvochtspanning te meten relatief kostbaar is (tensiometers, Decagon MPS-6 sensor) draait het model op waarnemingen van bodemvochtgehalten. De vertaling van bodemvochtgehalte naar pF en vice-versa wordt gedaan op basis van de van Genuchten parameters. Om het model te kunnen gebruiken zijn de volgende gegevens nodig:

- 1) Tijdserie van bodemvocht in de wortelzone (meten met sensor);
- 2) Informatie over de gewasfactor (algemeen beschikbaar);
- 3) Informatie over de verdamping (bijv. Makkink KNMI);

- 4) Voorspellingen van de minimum en maximum verwachte hoeveelheid neerslag en verdamping (bijv. KNMI); en
- 5) Van Genuchten parameters θ_s , θ_r , α en n (te verkrijgen uit een bodemvochttretentiecurve, liefst specifiek voor het veld, anders indicatief uit literatuur)

Als gevolg van ruimtelijke variabiliteit is de voorspelde zomerse neerslag van het KNMI weinig betrouwbaar. Na twee jaar proefdraaien (2016 en 2017) is in het derde jaar (2018) van Spaarwater II besloten om de giften voor de eerstvolgende dag altijd in te stellen alsof er géén regenval zal zijn.

Wanneer het risico op natschade in kleibodems groot is kan het beter zijn om te sturen op een pF-waarde van 2.7 in plaats van pF 2.0. Door de iets drogere omstandigheden blijven krimp-scheuren intact, waardoor bij hevige regenval overtollig water versneld wordt afgevoerd.



Irrigatie-advies 2 dagen vooruit: 5 mm/dag

Let op: voor een optimaal resultaat regelmatig checken!

Figuur 9. Beslissingsondersteunend model bodemvocht (betaversie) voor irrigatieadvies voor Borgsweer. De zekerheid van de voorspelling hangt voornamelijk samen met de juistheid van de door het KNMI voorspelde maximale neerslag. Afhankelijk van de neerslag zal het bodemvocht zich bewegen binnen het lichtblauw-grijze gebied in de grafiek.

Druppelirrigatie Borgsweer 2017

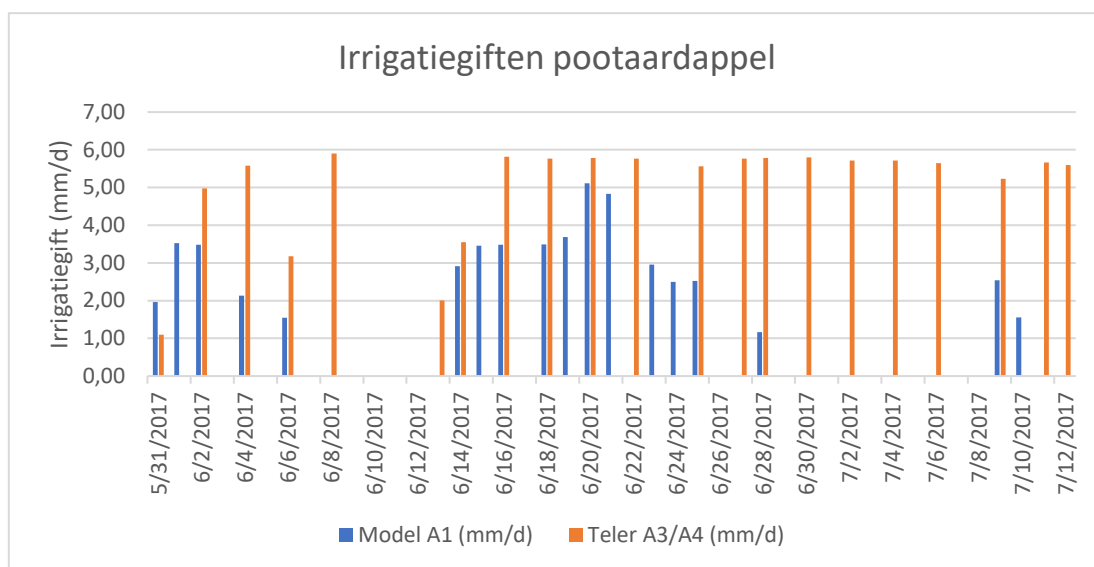
In 2017 was het, gezien de gewasontwikkeling van belang om vanaf 5 juni (week 8 dag 50, Figuur 7) een optimale vochtvoorziening te verzekeren. Doordat (haar)wortels zich op 5 juni al op meer dan 40 cm onder bovenkant rug bevonden, is het voldoende geacht de vochtvoorziening op deze diepte te optimaliseren. De wortels kunnen het irrigatiewater direct opnemen vanaf slangdiepte.

Het model- en sensorgestuurde veld door Acacia Water (A1) is gedruppeld van 31-5-2017 tot 10-7-2017. De telergestuurde velden (A3 en A4) zijn gedruppeld van 31-5-2017 tot 12-7-2017 (Figuur 10). In totaal is er op het modelgestuurde veld (A1) en de telergestuurde percelen (A3-A4) respectievelijk 53 en 107 mm irrigatiewater aangevoerd.

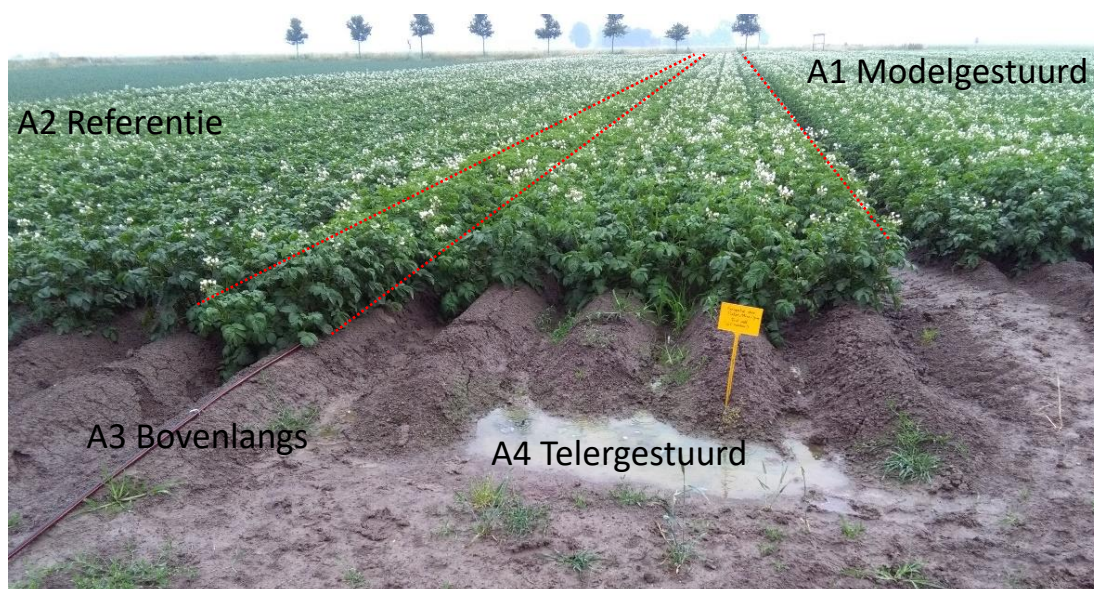
Over het algemeen waren alle poot aardappelvelden volgens de teler relatief vroeg met bloeien. Dit kan duiden op lichte stress. De vroege bloei was iets minder evident in het oppervlakkig geïrrigeerde perceel (A3) dan in de andere drie.

Deze stress kan worden veroorzaakt door te droge of te natte omstandigheden, hoge zoutconcentraties en een slechte bodemstructuur. Omdat alle velden relatief vroeg bloeiden en er geen zout is gemeten met de sensoren, verwachten de betrokkenen dat de stress gerelateerd is aan een slechte bodemstructuur – welke voor het proefperceel bekend is bij de teler. Verder lijkt het loof van velden A3 en A4 zich uitbundiger te hebben ontwikkeld, misschien dankzij de grotere watergiften, maar is deze iets lichter van kleur wat kan duiden op een tekort aan stikstof (Figuur 24).

Het bodemvocht tijdens het groeiseizoen is weergegeven in Figuur 12. Hieruit blijkt dat de oppervlakkig en telergestuurde velden (A3/A4) overwegend te nat waren gedurende het groeiseizoen met natschade als gevolg. Op het modelgestuurde veld (A1) is getracht het bodemvochtgehalte in het makkelijk opneembare bereik van de plant te houden door de irrigatiegiften af te stemmen op het gemeten bodemvochtgehalte, weer- en groeiomstandigheden.

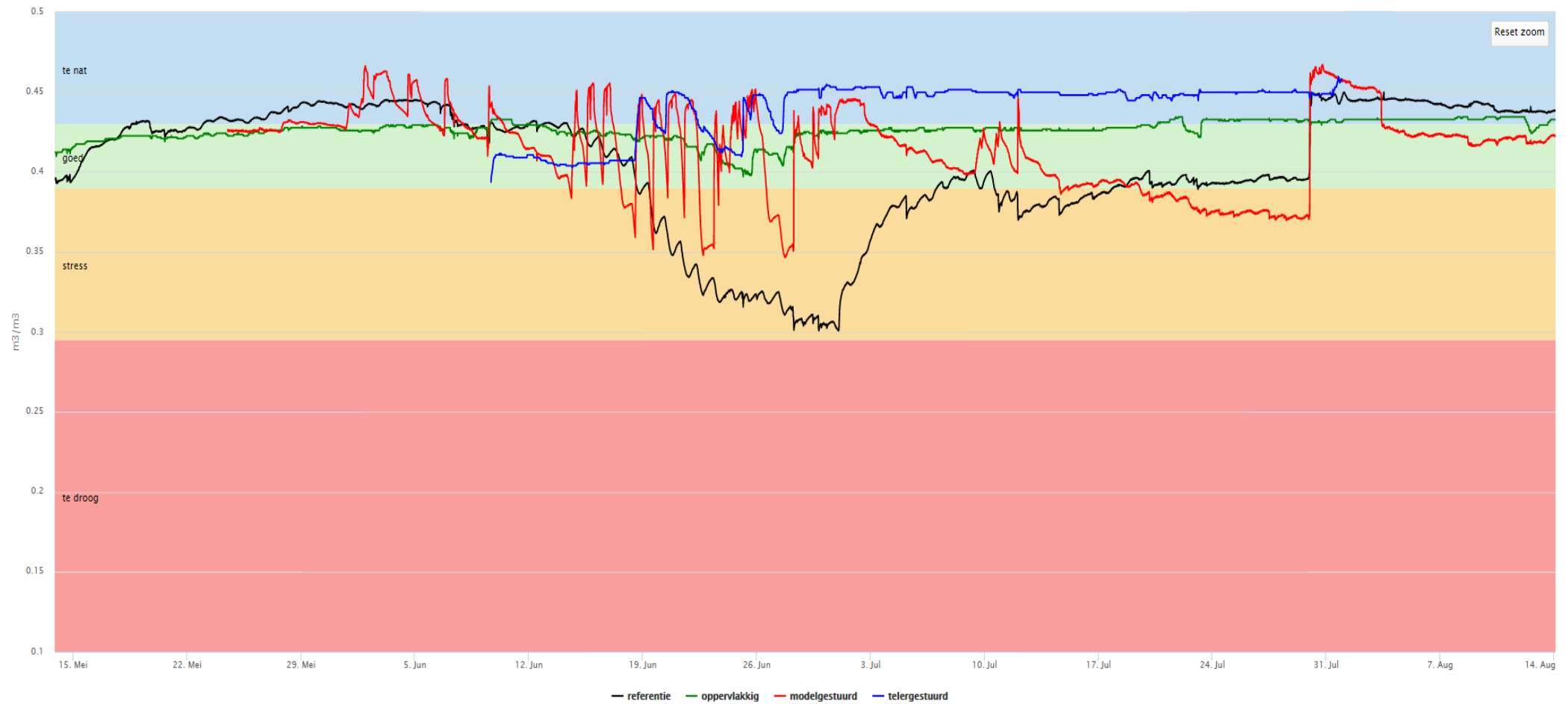


Figuur 10. Druppelgiften poot aardappel perceel tijdens het groeiseizoen 2017.



Figuur 11. Plasvorming door over-irrigatie op veld A4 en lichter groen loof op velden A3 en A4 mogelijk als gevolg van stikstoftekort (groeiseizoen 2017).

bodemvocht op slangdiepte



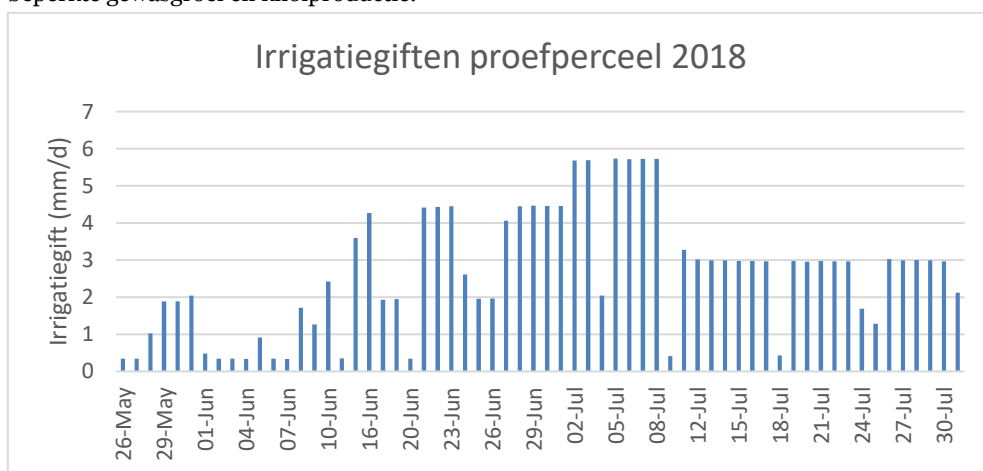
Figuur 12. Bodemvocht op slangdiepte in 2017 in de velden referentie (A2), oppervlakkig (A3), modelgestuurd door Acacia Water (A1) en telergestuurd (A4).

Druppelirrigatie Borgsweer 2018

In 2018 is er, vanwege de aanhoudende droogte, vanaf 26 mei gedurende 9 weken geïrrigeerd. Tussen 5 juni en 3 juli is hierbij ook bemesting toegediend. In totaal is 174 mm irrigatiewater opgebracht (Figuur 13).

Door de droogte bleef de groei van de aardappelplant in het referentieveld licht achter ten opzichte van het proefveld, met name zichtbaar in het onvolledig dichtgegroeide bladerdek. Later in het seizoen stierf door droogte het loof in het referentieveld af (Figuur 14). De inventarisatie van knolgroei tijdens het groeiseizoen wees op een uniforme knolvorm en grootte in het proefveld ten opzichte van een overwegend heterogene groei met veel kleine knollen in het referentieveld.

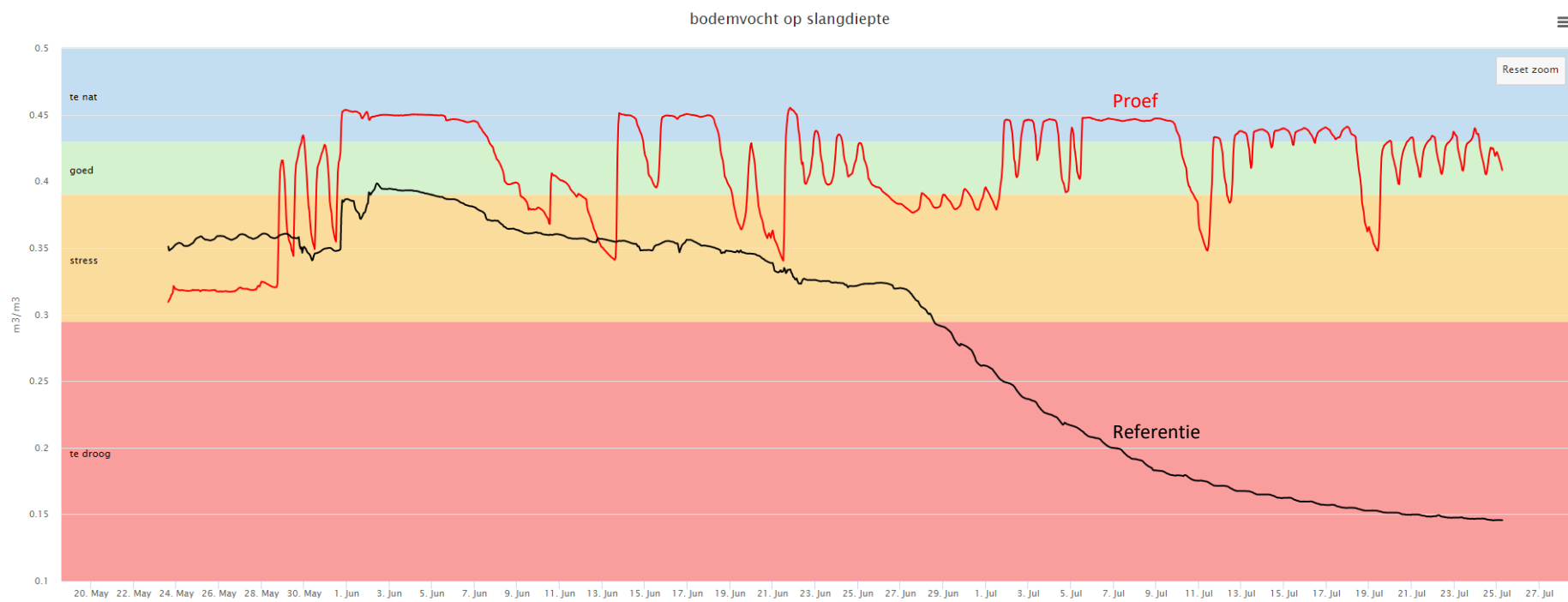
De irrigatiegift is in 2018 gestuurd op basis van het gemeten bodemvochtgehalte in het perceel. Hierbij is getracht het bodemvochtgehalte binnen het goed opneembare bereik van de plant te houden (Figuur 15). Door het geven van veel kleine giften is de verliesterm van diep percolatie beperkt. De giften varieerden van 4 tot 10 mm per dag, afhankelijk van temperatuur en verdamping. Daar waar het bodemvochtgehalte in het bereik 'te nat' kwam, is irrigatie tijdelijk stopgezet. Het verloop van het bodemvochtgehalte in het referentieveld laat zien dat de bodem volledig uitdroogt. Dit resulteert in een beperkte gewasgroei en knolproductie.



Figuur 13. Druppelgiften pootaardappelperceel tijdens het groeiseizoen 2018.



Figuur 14. Loof tijdens groeiseizoen 2018 in Borgsweer met links referentie en rechts proef.



Figuur 15. Bodenvocht op slangdiepte in de velden referentie (B1) en proef (B2).

2.3.2 Watereffectiviteit

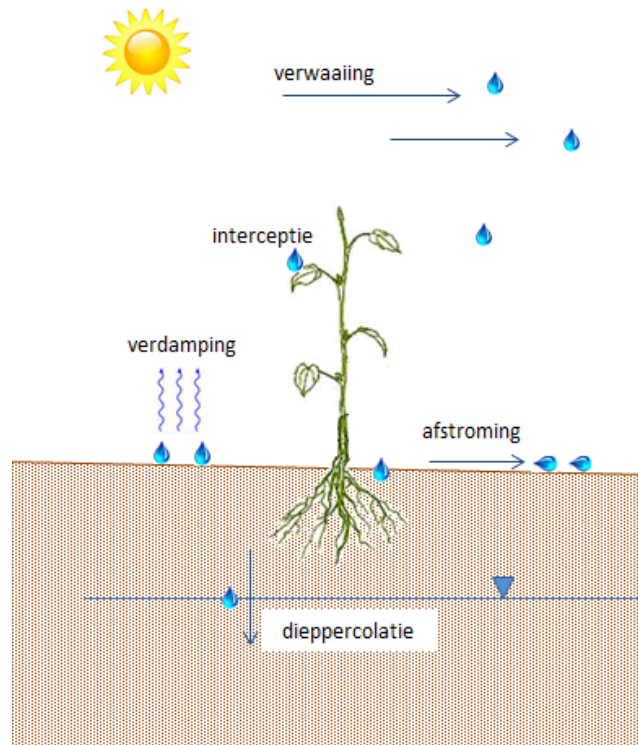
Definitie watereffectiviteit

Watereffectiviteit is een indicatie voor de hoeveelheid water (regen en irrigatie) die ten goede komt aan gewasgroei.

$$\text{Watereffectiviteit (\%)} = \frac{\text{Gewasverdamping als restterm (ET)}}{\text{Toegevoerde hoeveelheid water (I + P)}} \cdot 100$$

De watertoevoer is in dit geval de hoeveelheid regenval en de hoeveelheid irrigatie. Het water dat niet wordt verbruikt door de plant gaat verloren. De volgende verliestermen zijn van belang (Figuur 16):

- Interceptieverdamping: water dat op de bladeren blijft liggen en verdampt;
- Bodemverdamping: verdamping van waterdruppels voordat deze infiltreren in de bodem;
- Afstroming: water dat afstroomt omdat de bodem verzadigd is of omdat de infiltratiecapaciteit van de bodem wordt overschreden;
- (Diep)percolatie: water dat vanuit de onverzadigde zone naar het grondwater infiltreert (gelijk aan grondwateraanvulling);
- Verwaaiing: verwaaiing van irrigatiewater naar aangrenzende percelen.



Figuur 16. Overzicht van de verliestermen bij regen of irrigatie. Dit water komt niet ten goede aan het gewas.

Watereffectiviteit traditionele irrigatie (waterkanon en sprinkler)

Er is nauwelijks onderzoek gedaan naar de watereffectiviteit van traditionele vormen van irrigatie in Nederland, zoals waterkanon en sprinklerirrigatie. Uit de internationale literatuur blijkt dat de watereffectiviteit in (semi-)aride en woestijngebieden bij deze traditionele vormen van irrigatie varieert tussen ongeveer 55% en 85% maar dat deze sterk afhankelijk is van klimatologische omstandigheden en bodemkarakteristieken (Burt et al. ND, Griffiths 2006, Purcell 1999, Howell 2003). In deze berekeningen wordt echter nog geen rekening gehouden met bodemverdamping.

Door literatuur, veldobservaties en metingen te combineren is een eerste indicatie verkregen voor de situatie in Nederland. Uit deze analyse blijkt dat de watereffectiviteit van traditioneel irrigeren met een waterkanon of sprinkler in de orde grootte is van 10% tot 55%. Zie bijlage II voor de onderliggende berekeningen. De lage watereffectiviteit wordt grotendeels veroorzaakt door sterke dieppercolatie dan wel uitstroom via de drains afhankelijk van de situatie in zandige bodems en het meerekenen van de bodemverdamping in de berekeningen. Aangenomen mag worden dat op bodems met een groter bergend vermogen, zoals bijvoorbeeld lichte zavel, de watereffectiviteit aan de bovenkant van de range zit (50%).

Optimaliseren watereffectiviteit druppelirrigatie

Voor het berekenen van de watereffectiviteit van druppelirrigatie zijn de proefgegevens van 2017 in Borgsweer gebruikt. De gewasverdamping is genomen als restterm van de waterbalans. De gewasverdamping is daarmee verschillend van de gewasverdamping die berekend wordt door de Makkink gewasverdamping van het KNMI te compenseren met gewasfactoren voor pootaardappel (zie Bijlage V voor de bepaling van de waterbalans).

De watereffectiviteit is met 77,9% het hoogst is voor het modelgestuurde pootaardappel perceel (veld A1). De telergestuurde percelen, met ondergrondse en bovengrondse druppelslang(en), hebben een watereffectiviteit van respectievelijk 49,5 en 65,3% (Tabel 2). Verlies van water is voornamelijk te wijten aan de krimp-scheuren in de zware zavel. Wanneer deze niet optreden, zoals bijvoorbeeld in lichte zavel, is het aannemelijk dat een hogere watereffectiviteit behaald kan worden, vermoedelijk tot wel 90%.

De verschillen in watereffectiviteit worden voornamelijk veroorzaakt door een verschil in irrigatiegift. Het modelgestuurde perceel heeft 50% minder irrigatiewater ontvangen dan de andere percelen. Toevoer van (te) veel water op een perceel dat nog (te) nat is resulteert in hoge diep-percolatie stromen, en dus verlies van water naar de drains.

Tabel 2. Waterbalans en watereffectiviteit per proefveld in Borgsweer in 2017. Het verschil in regenval wordt veroorzaakt doordat de analyseperiode iets afwijkt; deze omvat voor het modelgestuurde veld (A1) 81 dagen en voor de andere twee (A3 en A4) 65 dagen omdat de sensoren pas later zijn geïnstalleerd.

Perceel	Regenval (mm)	Irrigatie (mm)	Drainage (mm)	Bergings-verandering (mm)	Gewas-verdamping (mm)	Water-Effectiviteit (%)
Modelgestuurd (A1)	271,4	52,9	50,7	20,8	252,8	77,9
Bovenlangs telergestuurd (A3)	271,4	105,8	118,5	12,4	246,3	65,3
Ondergronds telergestuurd (A4)	244,4	85,1	91,0	75,5	163,1	49,5

Effect druppelirrigatie op gewasgroei

De gewasverdamping in het modelgestuurde veld A1 bedraagt 89% van het theoretisch optimum (Tabel 3). Het verschil met het optimum geeft een indicatie¹ voor de groeibeperking door stress als gevolg van een verzilte omgeving, ontoereikende nutriëntenbeschikbaarheid, slechte bodemstructuur, een tekort of een teveel aan water.

¹ NB: het gaat om een indicatie omdat er een onzekerheid zit zowel in de waterbalans als in de gewasfactoren. De gewasfactoren voor aardappel zoals deze zijn gedefinieerd in het Cultuurtechnisch Vademecum verschillen van de factoren die worden gegeven in het internationaal veelgebruikte FAO rapport van Allen et al. (1998) en in het grondwaterzakboekje van Bot (2016).

De HELP-tabellen (Landinrichtingsdienst 1987) voor de situatie in Borgsweer geven een droogteschade van 19% voor de situatie in Borgsweer. Wanneer gewasverdamping als maat voor groei wordt genomen, zou dit betekenen dan de verdamping 81% van het optimum zou zijn.

Er is in veld A 89% gehaald (Tabel 3) op basis waarvan men voorzichtig kan concluderen dat er in 2017 8% minder groei beperking is opgetreden dankzij druppelirrigatie.

Tabel 3. Vergelijking van de gewasverdamping berekend als de restterm van de waterbalans en op basis van Makkink en de gewasfactoren.

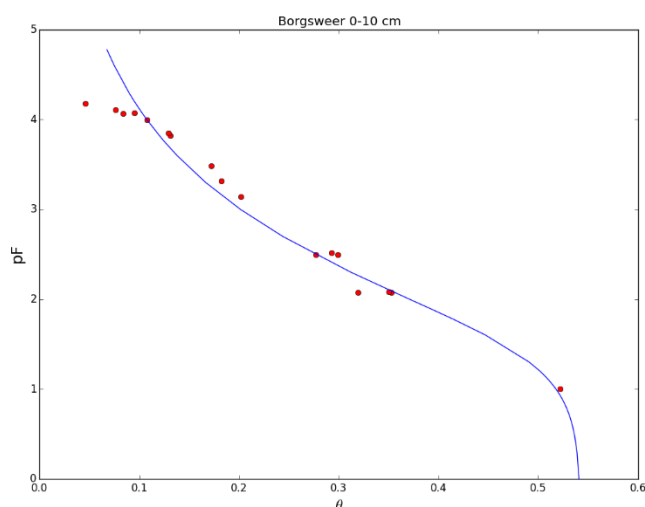
Perceel	T1 Gewasverdamping voor groeiseizoen 2017 op basis van Makkink en gewasfactor (mm), theoretisch optimum	T2 Gewasverdamping voor groeiseizoen 2017 als restterm (mm), als maat voor gewasgroei	T2/T1 (%) Gewasverdamping in Borgsweer 2017 als maat voor gewasgroei tov van theoretisch optimum Borgsweer 2017
Modelgestuurd (A1)	283,5	252,8	89
Bovenlangs telergestuurd (A3)	283,5	246,3	87
Ondergronds telergestuurd (A4)	227,7	163,1	72

2.3.3 Verspreiding irrigatiewater in de bodem

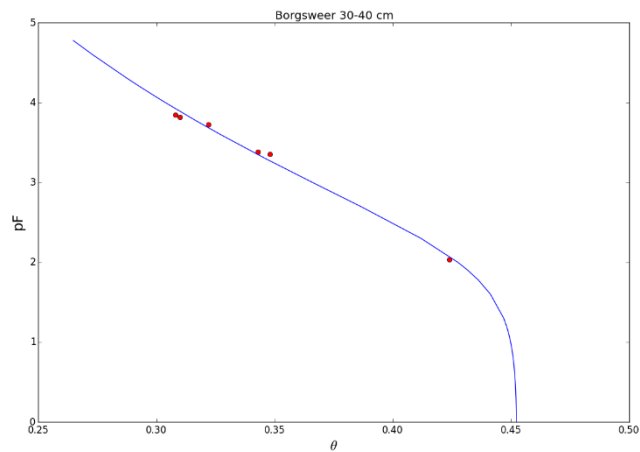
Om de bodemvochtdistributie in beeld te brengen is een HYDRUS 2D-model voor Borgsweer opgezet. Voor de kalibratie en validatie van het HYDRUS-model zijn de gemeten tijdreeksen van bodemvocht- en bodemvochtspanning gebruikt. Het HYDRUS-model is daarna ingezet om de effecten van verschillende bodemtypen op de verspreiding van het irrigatiewater door te rekenen.

Het restwatergehalte (residual water content, θ_r) en het verzadigde watergehalte (saturated water content, θ_s) zijn bepaald voor de bodemlagen 0-10 cm en 30-40 cm. Voor het bepalen van de pF-curve is een bodemkolom, met daarin sensoren die de bodemvochtspanning meten, verzadigd en vervolgens volledig uitgedroogd (Figuur 17 en Figuur 18). Op basis van deze pF-curves zijn vervolgens de inverse van de lucht ingangswaarde (bubbling pressure, α) en de poriëngrootte verdelingsindex (pore-size distribution index, n) afgeleid. De verzadigde doorlatendheid (K_{sat} of $K(\theta)$) is bepaald aan de hand van doorlatendheidsmetingen met een disk permeameter en de Beerkan methode. De opname van vocht door plant wortels is gesimuleerd door het model van Feddes (root water uptake model; Feddes et al., 1976).

Voor het simuleren van het effect van de verschillende bodems op de waterverspreiding in de bodem zijn de Van Genuchten parameters zoals in de Staringreeksen gebruikt (Tabel 4).



Figuur 17. pF-curve Borgsweer bodemlaag 0-10 cm



Figuur 18. pF-curve Borgsweer bodemlaag 30-40 cm

Tabel 4. Van Genuchten parameters gebruikt in scenario's verschillende bodems

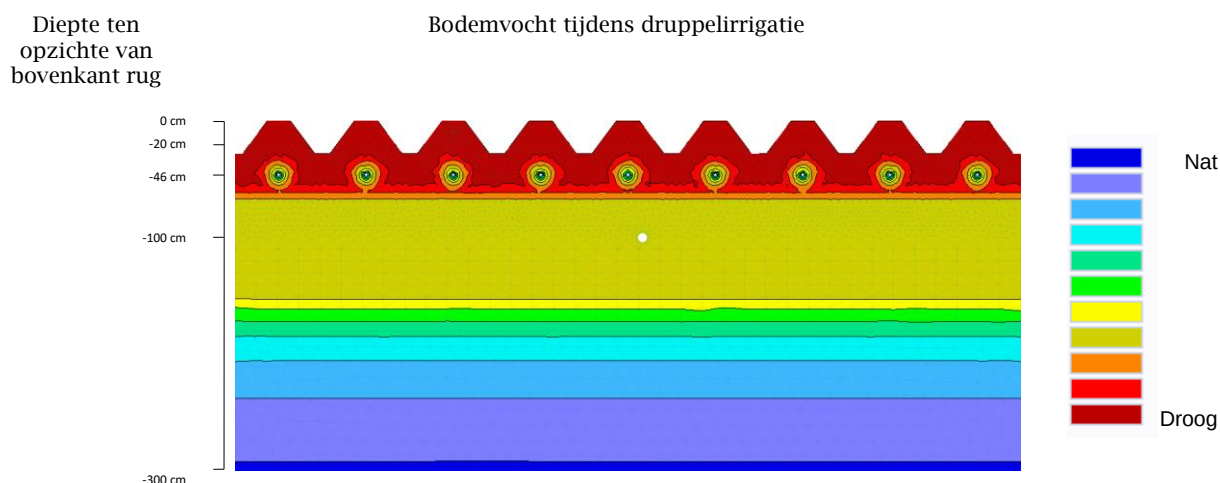
Model nr.	Bodemsoort Staring		Van Genuchten parameters			
	Bovengrond	Ondergrond	Bovengrond		Ondergrond	
1	B1 Leemarm, fijn zand	O1 Leemarm, fijn zand	Θ_r	0.02	Θ_r	0.01
			Θ_s	0.43	Θ_s	0.36
			a	0.0234	a	0.0224
			n	1.801	n	2.286
			l	0	l	0
			K_s	23.41	K_s	15.22
2	B5 Grof zand	O5 Grof zand	Θ_r	0.01	Θ_r	0.01
			Θ_s	0.36	Θ_s	0.32
			a	0.0452	a	0.0521
			n	1.933	n	2.374
			l	-0.359	l	0
			K_s	52.91	K_s	25.00
3	B8 Matig lichte zavel	O9 Matig lichte zavel	Θ_r	0.01	Θ_r	0
			Θ_s	0.43	Θ_s	0.46
			a	0.0099	a	0.0094
			n	1.288	n	1.400
			l	-2.244	l	-1.382
			K_s	2.36	K_s	2.23
4	B9 Zware zavel	O10 Zware zavel	Θ_r	0	Θ_r	0.01
			Θ_s	0.43	Θ_s	0.48
			a	0.0065	a	0.0097
			n	1.325	n	1.257
			l	-2.161	l	-1.879
			K_s	1.54	K_s	2.12
5	B12 Zeer zware klei	O13 Zeer zware klei	Θ_r	0.01	Θ_r	0.01
			Θ_s	0.54	Θ_s	0.57
			a	0.0239	a	0.0194
			n	1.094	n	1.089
			l	-5.681	l	-5.955
			K_s	5.37	K_s	4.37
6	B16 Zandig veen	O16 Oligotroof veen	Θ_r	0.01	Θ_r	0
			Θ_s	0.80	Θ_s	0.89
			a	0.0176	a	0.0103
			n	1.293	n	1.376
			l	-2.259	l	-1.411
			K_s	6.79	K_s	1.07

HYDRUS modellering

De modelresultaten laten zien dat bij irrigatie de bodem op 20 cm onder de rug uitdroogt. Op slangdiepte blijft de bodem vochtig, waarbij de bodemvochtspanning binnen het makkelijk opneembare bereik van $2.0 < pF < 2.7$ blijft totdat de irrigatie wordt stopgezet (Figuur 19). In de simulatie neemt de vochtopname door de plant af naarmate de tijd vordert. Deze reductie duidt op sub-optimale plantgroei als gevolg van vochttekort. Een hogere watergift zou in theorie opgenomen worden door de plant, maar kan alleen worden gesimuleerd door de kleischeuren te modelleren.

De abrupte verandering van bodemstructuur op 20 cm diepte lijkt een grote rol te spelen in de eventuele verdere verticale stroming van het water (zie Bodem in 2.3.1). Afhankelijk van de infiltratiecapaciteit van de ondergrond kan het regenwater vanuit de bovengrond langzaam infiltreren. Door de lage doorlatendheid treedt er echter stagnatie van water op de ploegzool op en daarmee een horizontale verplaatsing van water. In het HYDRUS-model vindt deze horizontale afstroming plaats aan het oppervlak; in het veld wordt dit water afgevoerd door scheuren en macroporiën.

Uit de simulaties, de veldobservaties en de drainafvoer blijkt dat de scheurvorming in de klei een cruciale rol speelt in de bodemvochthuishouding in Borgsweer.



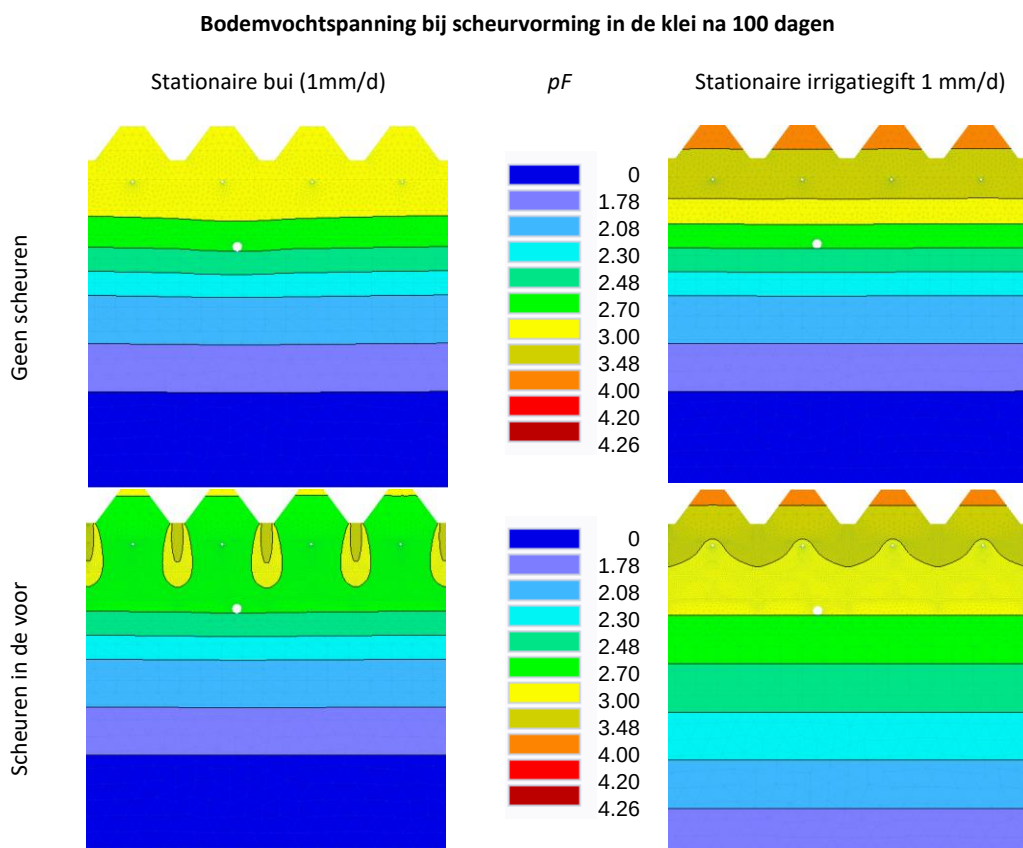
Figuur 19. Verspreiding van irrigatiewater vanuit de druppelslangen in een droge kleiige bodem

Capillaire opstijging

Uit de modelsimulaties blijkt dat de capillaire opstijging wordt bemoeilijkt door de scheiding tussen de rulle bovengrond en de compacte ondergrond. Het bodemvochtgehalte in de rulle bovengrond daalt snel tot lage vochtgehalten terwijl de compacte ondergrond voldoende vochtig blijft. Wanneer de rulle bovengrond in het model wordt vervangen door een compactere laag met hoge doorlatendheid neemt de capillaire opstijging toe en reikt het bodemvocht tot 20-30 cm diepte.

Scheurvorming in voor en rug

Om de rol van de kleischeuren verder te onderzoeken zijn nieuwe modellen gerund met actieve scheuren. Hieruit blijkt dat wanneer er scheuren in de voor zitten, regenwater via deze weg versneld wordt afgevoerd naar de drains, waarna de scheuren sneller uitdrogen dan de omliggende matrix (Figuur 20). Uit de simulaties blijkt ook dat er meer water uit de druppelslangen verloren gaat via bodemverdamping wanneer er scheuren aanwezig zijn – de bodem droogt verder uit.

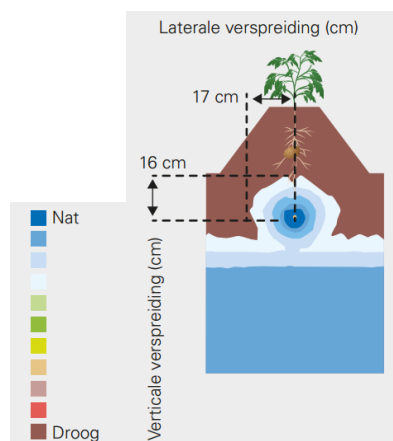


Figuur 20. Modelresultaten Hydrus bij scheurvorming in de klei

Vocht in verschillende bodems

Om de potentie van ondergrondse druppelirrigatie bij verschillende bodemsoorten te bepalen zijn scenario's met verschillende bodems opgezet. Hierbij is gekeken naar de laterale verspreiding en aanvulling van het bodemvocht. Dit is gedaan door de afstand op te meten waarop de werking van druppelirrigatie zichtbaar is in de bodemvochtspanning op dag 365 van de simulaties (

Figuur 21).



Figuur 21. Definitie verticale en laterale verspreiding van irrigatiewater; gesimuleerde verspreiding van het irrigatiewater vanuit de druppelslang in een bodem van fijn zand.

Uit de analyse blijkt dat ondergrondse druppelirrigatie in de ruggenteelt het bodemvocht aanvult in alle bodems behalve grof zand. De verticale verspreiding is het hoogst in zware zavel, namelijk 23,4 cm (Tabel 5).

In matig lichte zavel, zeer zware klei en zandig veen is de laterale verspreiding maximaal waardoor de bevochtigde zones rondom de druppelslangen elkaar raken.

Bij alle scenario's treedt ondanks de irrigatie een reductie van transpiratie op. Deze is het hoogst bij zeer zware klei. De irrigatiegiften waarmee gesimuleerd is kunnen de transpiratie niet compenseren. Het vochtgehalte in de bodem neemt sterk af waardoor de optimale vochtcondities niet gegarandeerd kunnen worden. Er is geen verder onderzoek gedaan naar deze aspecten, maar een grotere watergift kan deze tekorten alleen compenseren als de doorlatendheid van de bodem hoog genoeg; i.e. het water moet zich snel genoeg kunnen verspreiden.

Tabel 5. Vertikale en laterale verspreiding van irrigatiewater in verschillende bodems

	Laterale verspreiding water en mobiele nutriënten vanaf de druppelaar (cm)	Vertikale verspreiding bodemvocht en mobiele nutriënten vanaf de druppelaar (cm)
Baseline (Borgsweer)	18,7	17,0
Fijn zand	16,9	16,1
Grof zand	-	-
Matig lichte zavel	37,5 (max.)	19,2
Zware zavel	25,9	23,4
Zeer zware klei	37,5 (max.)	19,0
Zandig veen	37,5 (max.)	17,5

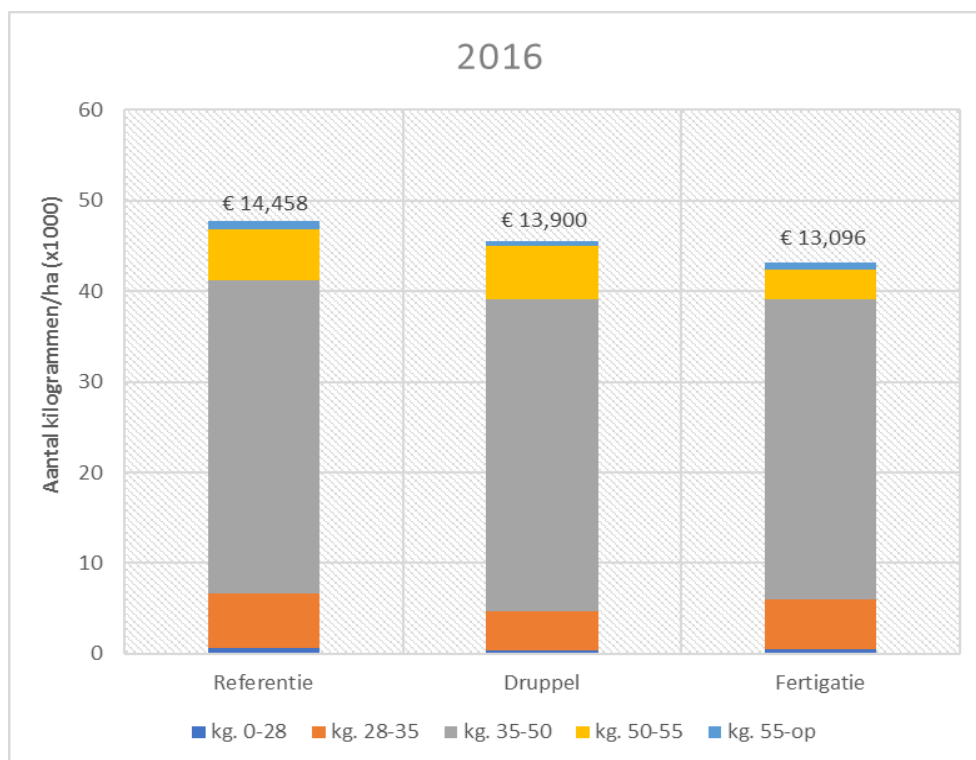
2.4 Oogst

Het is in Nederland sterk locatie-, weer- en tijdsafhankelijk of druppelirrigatie tot een meeropbrengst leidt (Tabel 6). De meerwaarde van druppelirrigatie ligt, naast een lager zoetwaterverbruik, voornamelijk bij het overbruggen van droge periodes en het verlagen van de ziektedruk door het verkorten van de bladnatperiode. Tijdens de eerste vijf jaar van Spaarwater zijn er geen significant hogere gewasopbrengsten behaald door toepassing van druppelirrigatie (zie bijvoorbeeld Figuur 22, Figuur 23, en Bijlage IV). In het teeltseizoen 2018 is wel een significante meeropbrengst van EUR4455/ha (22%) gerealiseerd (Figuur 24). Tijdens het groeiseizoen van 2018 was het loof in het proefvak voller en groener en de aardappelknollen groter en homogener dan het referentieperceel (Figuur 14 en Figuur 25).

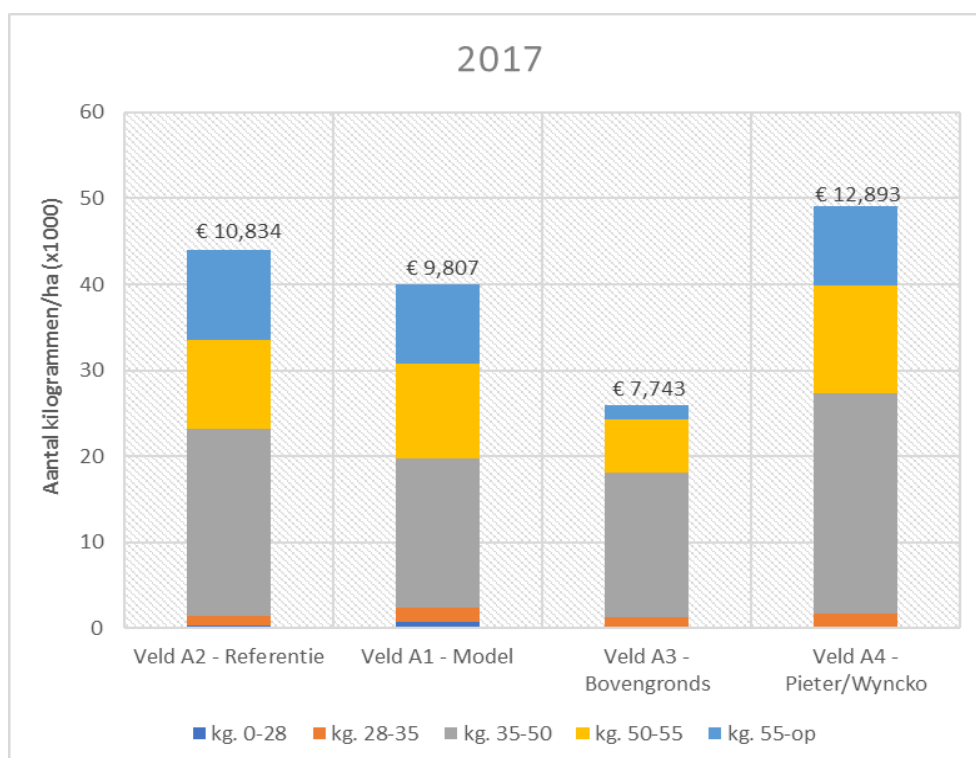
Uit bovenstaand blijkt dat druppelirrigatie bij poot aardappelen een duidelijke meerwaarde in droge jaren; in natte en gemiddelde jaren is de meerwaarde niet aangetoond. De investering moet dus in de droge jaren worden terugverdiend.

Tabel 6. Overzicht van de literatuurstudie naar de toepassing van (ondergrondse) druppelirrigatie in Nederland (van Meijeren, 2017).

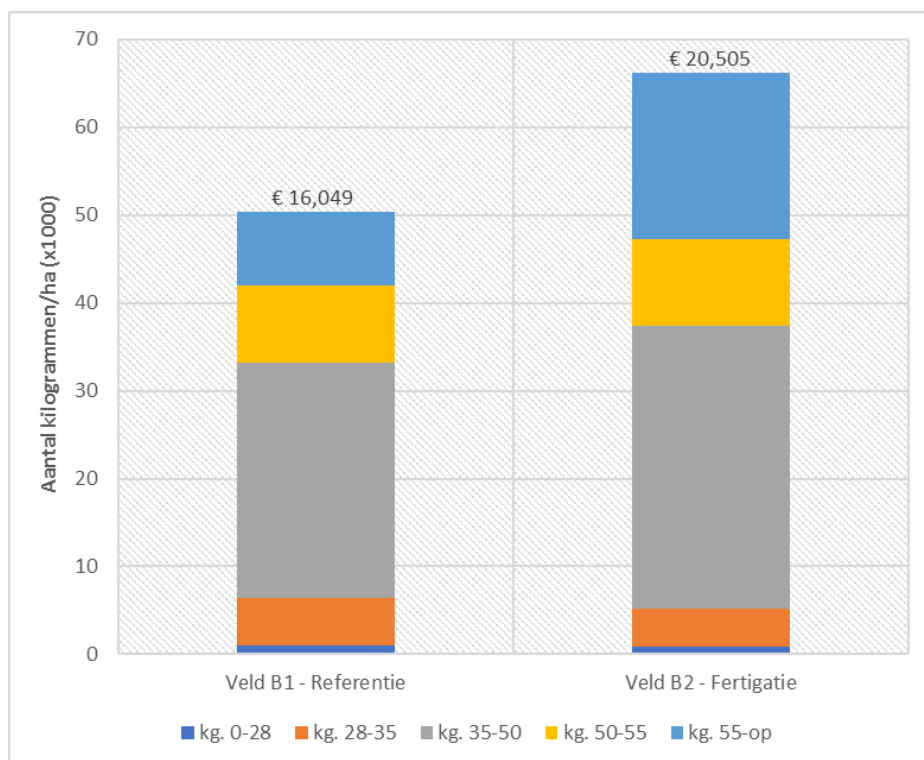
Project	Artikel(s)	Plaatsing druppelslang	Gewas	Bevindingen
Landbouw Innovatie Brabant (LIB)	Verstegen (2014)	Opp., 10 cm diepte	Prei, asperge	Geen hogere opbrengst. Reductie in hoeveelheid bemesting. Prei langer houdbaar.
Praktijkonderzoek Plant en Omgeving (PPO)	de Haan et al. (2011); de Haan et al. (2008)	Opp.	Prei, asperge	Aantoonbare meeropbrengst in prei met fertigatie t.o.v. standaard rijenbemesting.
Praktijkonderzoek Plant en Omgeving (PPO)	van Geel (2004)	In rug	Consumptieaardappel	Betere stikstofbenutting en hogere opbrengst met fertigatie. Meeropbrengst te gering om te compenseren voor investeringskosten.
Praktijkonderzoek Plant en Omgeving (PPO)	Paauw (2001)	In rug	Consumptieaardappel	Bij gelijke opbrengst kan stikstofgift sterk worden verlaagd. Geringe meeropbrengst. Proef beïnvloed door significante regenval. Kosten €1000 per ha per jaar.
Strategisch Actieplan Limburg in het Kwadraat (SALK)	Janssens (2017); Wachters and Janssens (2016); Wachters and Janssens (2017)	Opp.	Asperge & Pompoen	Meerwaarde van druppelirrigatie door meer en groenere loofstengels en hogere opbrengst. Bij eenzelfde rendement tot 15% minder water nodig dan met haspelirrigatie. Effecten fertigatie onvoldoende bekend.
DLV Adviesgroep	DLV Adviesgroep (2000)	4-10 cm diepte	Zantedeschia, knolbegonia, ijsbergsla	Geen significante besparingen in irrigatie en nutriëntengift. Potentie voor verminderen nutriënten wanneer basisbemesting achterwege wordt gelaten. Aanleg en verwijderen van druppelslangen is arbeidsintensief. Teler positief over toepassing in knolbegonia.
Kennis- en innovatienetwerk drip-irrigatie	Dogterom (2016)	Opp., tussen ruggen	Lelie, ui, consumptie- en zetmeelaardappel	Meeropbrengst in uienteelt. In overige gewassen met name kwaliteitsverbetering. Effectiviteit van water- en mineralengift hoger.
Kennis- en innovatienetwerk drip-irrigatie	Beekman (2014)	Opp.	Ui, fritesaardappel	12% meeropbrengst in fritesaardappel. 10 procent meeropbrengst en grovere structuur in uien in vergelijking met haspelirrigatie. Druppelirrigatie werkt alleen efficiënter in vergelijking met haspelirrigatie op kleine percelen. Meeropbrengst van ruwweg 3% nodig in pootaardappelen om druppelirrigatie rendabel te maken ten opzichte van haspelirrigatie.
More crop per drop	Braakman (2015); Meijering (2015); Meijering (2016)	Opp., tussen ruggen, 2-5 centimeter	Lelie, ui, soja, consumptie- en zetmeelaardappel	20% meeropbrengst in zetmeelaardappelen. Meerwaarde van druppelirrigatie moet voornamelijk komen uit kwaliteitsverbetering van gewassen en mogelijk een lagere input van bemesting en chemie.
CVAZ; agrarische coöperatie	Redactie Boerenbusiness (2014)	In rug	Consumptieaardappel	Wisselende resultaten. 25% meeropbrengst in 2013 met druppelirrigatie. Geen verschil door fertigatie. Druppelirrigatie vooral kansrijk op droogtegevoelige gronden zoals zand.



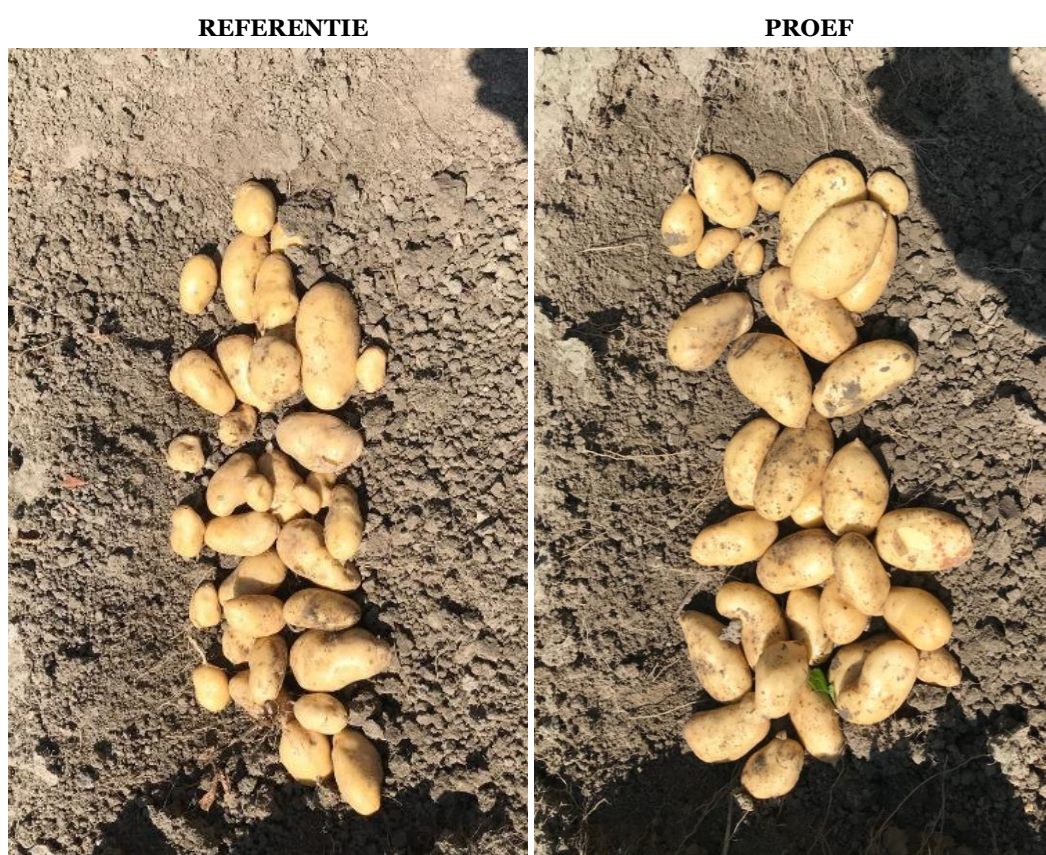
Figuur 22. Teeltopbrengst pootaardappelen in kg en EUR per ha in 2016 gerealiseerd op het proefperceel te Borgsweer.



Figuur 23. Teeltopbrengst pootaardappelen in kg en EUR per ha in 2017 gerealiseerd op het proefperceel te Borgsweer.



Figuur 24. Teeltopbrengst pootaardappelen in kg en EUR per ha in 2018 gerealiseerd op het proefperceel te Borgsweer.



Figuur 25. Knollen tijdens groeiseizoen 2018 in Borgsweer met links referentie en rechts proef

2.5 Conclusies

In de periode 2016-2018 is de optimale frequentie en omvang van de watergift, de watereffectiviteit en de inzet van sensoren en modellen bestudeerd. Hiervoor zijn de druppelirrigatiegiften en de effecten daarvan gemonitord op de verschillende velden in Borgsweer en is modelmatig onderzoek gedaan naar de kansrijkheid van deze technologie op verschillende bodemtypen.

De optimale frequentie en omvang van de watergift bij ondergronds druppelen is afhankelijk van de bodemsoort, het groeistadium van het gewas en de weersomstandigheden. Het gebruik van bodemvochtsensoren en een beslissingsondersteunend bodemvochtmodel maakt het mogelijk om optimale bodemvochtomstandigheden voor gewasgroei te garanderen bij een zo hoog mogelijke watereffectiviteit.

Voor de situatie in Borgsweer, waarbij pootaardappelen worden geteeld op ruggen van siltige klei:

- Kan er het best gestuurd worden op het bodemvochtgehalte op 40 tot 50 cm onder de bovenkant rug, waarbij de maatgevende sensor(en) tussen de druppelaars van de druppelslangen geplaatst worden;
- Heeft druppelen aan de start van het groeiseizoen geen toegevoegde waarde. De aardappelknol bevat voldoende vocht om de eerste weken door te komen;
- Dient het bodemvocht tussen veldcapaciteit en het verwelkingspunt te worden gehouden met irrigatie vanaf ongeveer week 8 tot aan het eind van de knolzetting, hiervoor dient de bodemvochtspanningscurve bekend te zijn; en
- Dienen de individuele giften in de ordegrootte van enkele mm per keer te zijn en zoveel mogelijk verspreid over de dag zodat het water tijd heeft om zich te verspreiden in de bodem.

Het gebruik van sensoren en ondersteunend model heeft in Borgsweer in het groeiseizoen van 2017 geleid tot het behalen van een watereffectiviteit van 78% bij ondergronds druppelen, ten opzichte van een watereffectiviteit van traditionele irrigatiesystemen zoals waterkanon en sprinkler van 10% tot 55%. Bij een bodem van lichte zavel is het aannemelijk dat een watereffectiviteit van 90% haalbaar is met inzet van druppelirrigatie; met een waterkanon of sprinkler zou dat rond de 50% liggen.

De mogelijkheid om met druppelirrigatie een meeropbrengst te behalen hangt sterk samen met de weersomstandigheden en varieert daardoor per jaar. In normale en natte jaren is er geen significant verschil in opbrengst; in 2018 (een extreem warm en droog jaar) is een extra opbrengst gerealiseerd die gelijk staat aan 4455 €/ha (22%).

Uit modelsimulaties blijkt dat soortgelijke resultaten behaald kunnen worden bij de meeste andere bodemtypen. Alleen bij grof zand en zware klei is ondergronds druppelen niet mogelijk. Bij grof zand loopt het irrigatiewater meteen via diep percolatie weg. Bij zware klei is de doorlatendheid laag en kan capillaire opstijging het waterverbruik van het gewas niet compenseren. Bij fijn zand is de verticale en laterale verspreiding klein (ongeveer 16 cm) waardoor de slangen dicht bij elkaar gelegd moeten worden.

3 Sub-irrigatie

3.1 Onderzoeksvragen

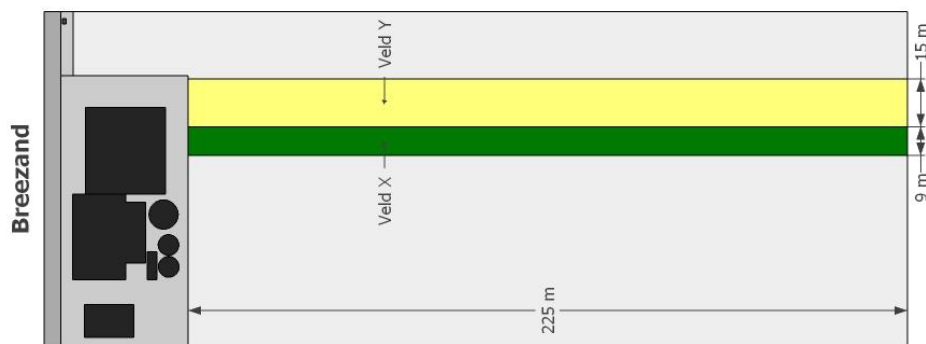
Binnen het deelonderzoek *Zuinig met zoetwater* wordt in relatie tot sub-irrigatie gezocht naar antwoorden op de volgende vragen:

- In welke mate leidt het toepassen van sub-irrigatie (waarbij water aangevoerd wordt door de bestaande drainagebuizen) tot effectiever gebruik van zoetwater?
- Hoe kan de watergift middels sub-irrigatie worden geoptimaliseerd?

3.2 Aanpak

Op basis van de metingen in 2016 is het mogelijk te bepalen welke hoeveelheid water is toegediend om de bodemvochtomstandigheden in het perceel in Breezand op peil te houden (Figuur 26). Er is in 2015 gemeten aan regenval (ECRN-50), bodemvochtgehalte en -spanning (EC5/GS3 en MPS2/MPS6), grondwaterstand (Decagon CTD-10), toegediend subirrigatiewater en drainuittroom (weergave via NETAFIM Pro). In 2015 is een Hydrus-model opgezet om de sub-irrigatie situatie in Breezand te simuleren. In 2017 is deze modellering op basis van de metingen uit 2016 verder uitgebouwd om de watereffectiviteit te bepalen.

Om het instellen van sub-irrigatie verder te optimaliseren, en voornamelijk om in te kunnen spelen op de weersvoorspellingen is een grondwatervoorspellingsmodel opgezet. Dit model maakt gebruik van de Fysisch Tijdreeks Modelleren (FTM)-benadering.



Figuur 26. Veldinrichting in Breezand tijdens groeiseizoen 2016, waarbij sub-irrigatie is toegepast op velden X en Y, en fertigatie door bovengrondse druppelslangen alleen op veld X.

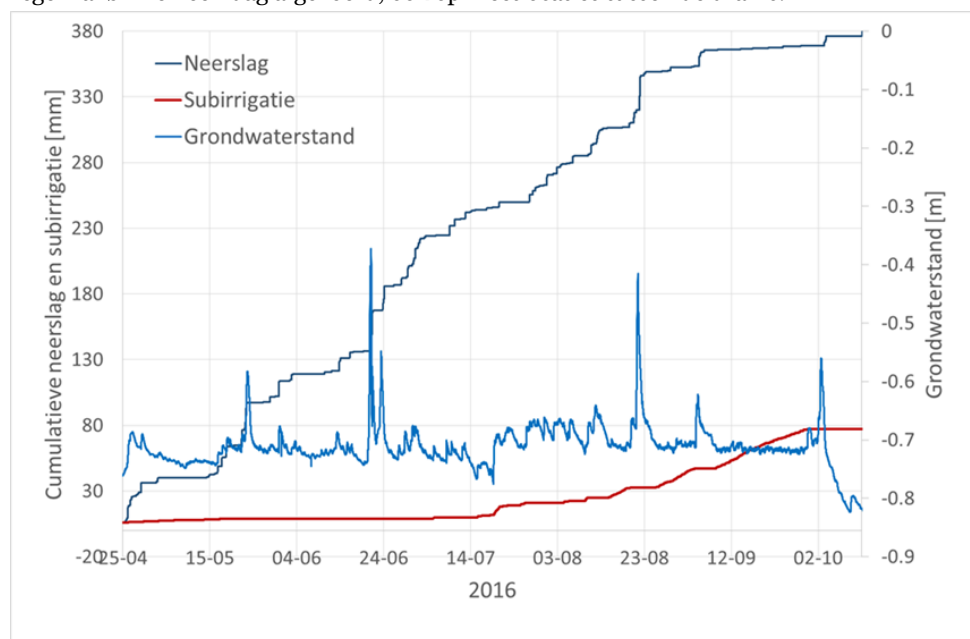
3.3 Resultaten

3.3.1 Grondwaterstanden en bodemvocht bij sub-irrigatie

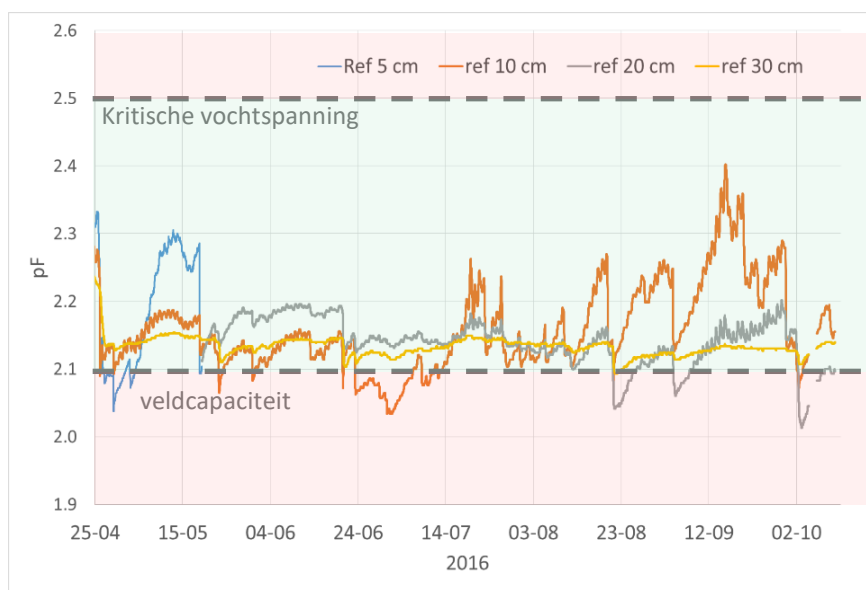
In het groeiseizoen 2016 hebben de teler en Acacia Water de grondwaterstanden gezamenlijk ingesteld. In de periode tot half juli is het peil ingesteld op 75 cm beneden maaiveld.

Daarna is op verzoek van de teler het peil enkele cm omhoog gezet om de hogere gewasverdamping later in het seizoen te compenseren.

Uit de gegevens blijkt dat sub-irrigatie effectief is als methode om een specifieke grondwaterstand in te stellen (Figuur 27) en het bodemvocht op peil te houden ten behoeve van een goede gewasgroei (Figuur 28). Over het algemeen is de grondwaterstand constant zoals ingesteld in het systeem en wordt regenval binnen een dag afgevoerd, ook op meetlocaties tussen de drains.



Figuur 27. Verloop van de grondwaterstand tijdens het groeiseizoen in Breezand en de cumulatieve neerslag en sub-irrigatie.



Figuur 28. Bodemvochtspanning op verschillende dieptes in Breezand. Dankzij sub-irrigatie blijft op alle dieptes de vochtspanning tussen veldcapaciteit en kritische vochtspanning, de ideale omstandigheden voor plantgroei

3.3.2 Watereffectiviteit sub-irrigatie

De watereffectiviteit in Breezand is berekend op basis van de gegevens van 2016. Voor de berekening van de watereffectiviteit zijn de volgende aannames gehanteerd:

- De definities van watereffectiviteit zoals deze ook gebruikt zijn voor de berekening binnen het onderdeel druppelirrigatie (zie ook blz 16);
- De berekening is uitgevoerd voor de periode waarin sub-irrigatie heeft plaatsgevonden (deze is korter dan het groeiseizoen omdat de *Zantedeschia* knollen aan het eind moeten drooggroeien), dat is van 1 maart 2016 t/m 15 september 2016;
- Drainwater wordt beschouwd als een verliespost om de getallen te veralgemeniseren voor sub-irrigatie; echter wordt in het geval van Breezand dit water opgevangen en opgeslagen in de ondergrondse opslag; en
- Er is gerekend met de neerslag zoals deze is gemeten door het KNMI-neerslagstation Anna Paulowna, omdat de regenmeter op het veld onvoldoende betrouwbaar is bevonden (er zat een slak onder de tipping bucket waardoor deze geblokkeerd was).

Er is in totaal 10.372 m³ water toegevoerd naar het proefperceel, waarvan 8.563 m³ neerslag (381 mm, 83%), 1.740 m³ sub-irrigatie en 69 m³ druppelirrigatie. Er is via de drains 5.580 m³ afgevoerd, wat betekent dat er 4.791 m³ verbruikt is voor gewasverdamping (evaporatie + transpiratie). Dit komt overeen met een watereffectiviteit van 46% voor Breezand. Aangenomen mag worden dat bij een bodem met een groot bergend vermogen dit percentage een heel stuk hoger ligt, waarschijnlijk op minstens 85% (het enige verlies is diepercolatie of uitstroom via de drains wanneer grondwaterstand hoog is en die is in dit type bodems laag).

3.3.3 Grondwaterstandvoorspellingsmodel

Om te bepalen of het streefpeil voor sub-irrigatie moet worden bijgesteld is het belangrijk om het effect van verdamping en regenval op de grondwaterstand enkele dagen vooruit te bepalen. Op die manier kunnen telers besluiten om het peil iets omhoog of omlaag te zetten om de watertoevoer naar de wortelzone te optimaliseren. Om deze besluitvorming te ondersteunen is een grondwaterstandvoorspellingsmodel opgezet die het effect van verdamping en regenval op de grondwaterstanden in Breezand berekend.

Er is een zelflerend model opgezet die start als fysisch tijdreeks model (FTM, van der Gaast e.a. 2009) en zichzelf verbeterd met behulp van de gemeten grondwaterstanden. Het tijdreeksmodel verklaart de grondwaterstand voor een dag (t) op basis van de grondwaterstand op de voorgaande dag (t-1). Vier parameters bepalen het gedrag van de grondwaterstand ten gevolge van regenval en verdamping: de bergingscoëfficiënt, drainageweerstand, kwel en ontwateringsbases. Voor de situatie in Breezand zijn in eerste instantie de fysische parameters gebruikt zoals deze worden gegeven in van der Gaast et. Al. (2009) (Tabel 7). Daarna is het model:

- gekalibreerd op basis van de gemeten grondwaterstandreeksen, waarbij gekeken is naar de minimale lengte van de benodigde tijdreeks om een redelijke fit te krijgen;
- gerund voor een kleiige bodem (zoals in Hornhuizen, Groningen) om te kijken in welke mate de tool geschikt is voor andere bodems;
- gebruikt om de grondwaterstanden drie dagen vooruit te voorspellen.

Tabel 7. Startwaarden parameters FTM ten behoeve van simulering grondwaterstanden in Breezand

Locatie	Bergings-coëfficiënt (-)	Drainage-weerstand (dagen)	Kwel (mm/dag)	Ontwaterings-basis (cm tov maaiveld)
Breezand	0,13833	145,4	0,100	110

Uit de modellering blijkt dat het goed mogelijk is om de grondwaterstand één dag vooruit te voorspellen. Dit is mogelijk wanneer er een langere serie grondwaterstandsmetingen beschikbaar is voor het kalibreren van het model en wanneer de regenval en verdamping gegeven zijn. De gemiddelde absolute afwijking van de gesimuleerde waarden ten opzichte van de gemeten grondwaterstanden is dan minder dan 0,5 cm (Figuur 29). Uit de modellering blijkt ook dat:

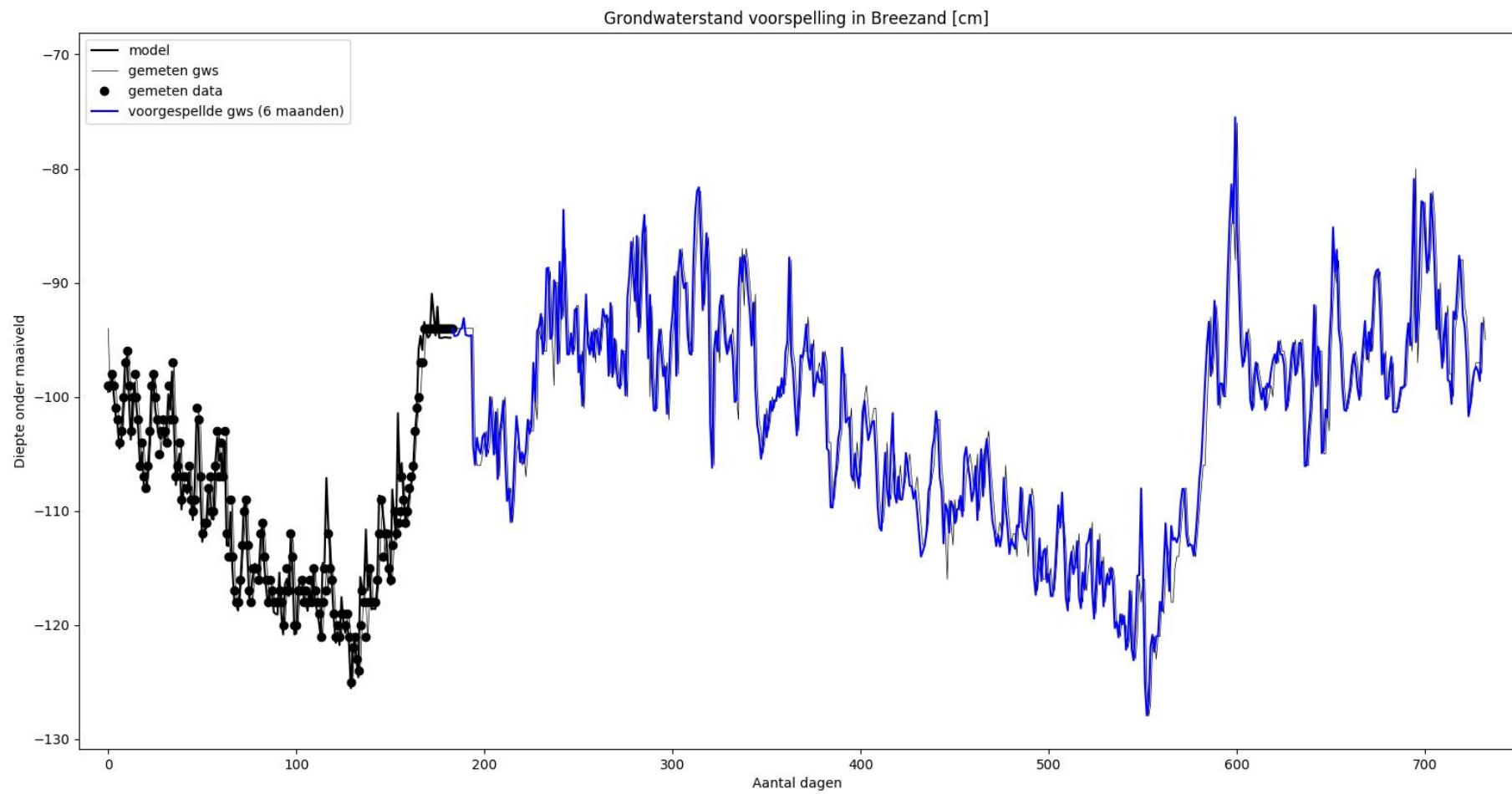
- Wanneer de grondwaterstand sterk reageert op regenval en verdamping zoals in Breezand levert 30 dagen aan grondwaterstanddata een verbetering van de voorspellende waarde van het model ten opzichte van het originele FTM-model (de gemiddelde afwijking tussen de geobserveerde en gesimuleerde waarden gaat van 6 cm naar 3 cm);
- Bij kalibratie met gegevens van een meetperiode korter dan 30 dagen verslechterd de simulatie; klaarblijkelijk zijn de eerder bepaalde standaardparameters een betere maat voor het hydrologisch functioneren van het systeem dan de korte tijdreeks van extra meetgegevens;
- In gebieden waar de grondwaterstand vertraagd reageert, zoals bijvoorbeeld in de kleiige gebieden in Hornhuizen, leidt kalibratie op de delen van de tijdreeks waarin de grondwaterstanden dalen tot de beste resultaten;
- Wanneer voor Breezand drie dagen vooruit wordt voorspeld reageren de grondwaterstanden te sterk op regenval (zie ook bijlage VI); om natschade aan het gewas te vermijden creëert dit juist een extra veiligheidsmarge; de watereffectiviteit wordt hierdoor wel lager omdat de teler het peil misschien onnodig verlaagt;
- De modellering is nu gedraaid op bekende regenval en gewasverdamping; echter is de KNMI-voorspelling van regenval onbetrouwbaar tijdens het groeiseizoen. Het verdient daarom aanbeveling om altijd een marge in te bouwen wanneer gewassen gevoelig zijn voor natschade.

3.4 Conclusies

Sub-irrigatie is een effectieve methode om de grondwaterstanden op een constant niveau in te stellen om het bodemvocht te optimaliseren ten behoeve van gewasgroei.

De watereffectiviteit van sub-irrigatie is in Breezand met 46% relatief laag, welke direct te relateren is aan de bodem in Breezand. In de situatie van Breezand komt 83% van het toegevoerde water in het groeiseizoen door regenval. De bodem bestaat uit fijn tot matig grof zand waardoor de capaciteit van de bodem om water vast te houden minimaal is; regenwater wordt direct afgevoerd via de drains en brengt de watereffectiviteit sterk omlaag. Bij een bodem met een groter bergend vermogen, zoals bijvoorbeeld lichte zavel, zou dit percentage waarschijnlijk op minstens 85% liggen.

Om het risico op natschade te verlagen is het mogelijk om een beslissingsondersteunend model te gebruiken voor sub-irrigatie. Hiermee kunnen de grondwaterstanden voorspeld worden en kan op basis van de voorspelling het peil preventief verlaagd worden. Het model voor Breezand kan de grondwaterstand op 3 cm nauwkeurig voorspellen en is daarmee zeer geschikt voor het sturen van het sub-irrigatiesysteem.



Figuur 29. Resultaten grondwaterstandsvoorspelling één dag vooruit, waarbij het model gekalibreerd is op zes maanden aan grondwaterstandsdata (metingen 2017)

4

Verminderen uitspoeling nutriënten

4.1 Onderzoeksvragen

De ambitie om de waterkwaliteit te verbeteren is vastgelegd door de Europese Unie (EU) in de Kader Richtlijn Water (KRW). Nederland heeft hierop, onder andere, drempelwaarden voor nitraat- en fosfaatconcentraties in oppervlaktewateren ingesteld. Om aan deze normen te voldoen willen waterschappen dat de uit- en afspoeling van meststoffen in landbouwgebieden wordt verlaagd. De hypothese is dat de uitspoeling beperkt kan worden door gebruik van druppelirrigatie/fertigatie, waarbij gericht mest gegeven wordt (precisielandbouw).

Binnen het deelonderzoek *Zuinig met zoetwater* zijn de volgende vragen ten aanzien van waterkwaliteitsaspecten geformuleerd:

- In welke mate kan de uitspoeling van nutriënten worden verminderd door toepassing van druppelirrigatie ten opzichte van conventioneel bemesten?
- Hoe verspreiden meststoffen zich in de ondergrond tijdens en na een regenbui en hoe kan een teler het bemestingsschema aanpassen om uitspoeling te voorkomen en een goede plantgroei te bevorderen?

4.2 Aanpak

Om een beeld te krijgen van de uitspoeling van meststoffen uit het perceel zijn in Breezand en Borgsweer wekelijks watermonsters genomen van de drainafvoer. Daarnaast is in 2017 in Borgsweer na een tweetal grote buien (>15 mm) het draineffluent hoogfrequent, elke 4 uur, bemonsterd. De monsters zijn geanalyseerd op anorganische macrochemie (o.a. chloride, ijzer, nitraat en fosfaat) en (een deel) op totaal N en P. Het debiet van het draineffluent werd continu gemeten met behulp van flowmeters. Met deze gegevens zijn de gemiddelde en piekconcentraties nitraat en fosfaat in het draineffluent gemeten en de totale vracht van het perceel naar de sloot berekend.

Voor het bepalen van de achtergrondconcentraties nutriënten zijn in Breezand en Borgsweer tussen 10 en 60 cm diepte om de 10 cm bodemonsters genomen; deze zijn geanalyseerd door Eurofins Wageningen.

Om het verschil in uitspoeling tussen referentie en proef te bemeten is het bodemvocht op verschillende diepten op meerdere locaties bemonsterd om de ruimtelijke variabiliteit in acht te nemen:

- in Breezand en Borgsweer 2016 wekelijks,
- Borgsweer 2017 wekelijks, en
- Borgsweer 2018 dagelijks en later twee keer per week bemonsterd.

In totaal zijn er 239 monsters in Breezand en 242 monsters in Borgsweer geanalyseerd op macrochemie (o.a. chloride, ijzer, nitraat en fosfaat), waarvan 113 ook op totaal N en totaal P.

Specifiek voor Breezand is in 2017 ook gekeken naar het effect van inundatie van een veld (maart tot juni) op de uitspoeling van meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen. Inundatie van het veld wordt door agrariërs om de zoveel jaar gedaan om de bodemstructuur te verbeteren en aaltjes te doden.

De gemeten concentraties zijn besproken met de telers en Delphy. Op basis van de resultaten heeft een brainstorm met de verschillende partijen plaatsgevonden over de mogelijkheden tot het verder optimaliseren van de nutriëntengift.

4.3 Resultaten

4.3.1 Breezand

Gemiddelde uitspoeling conventioneel

Omdat de drains in Breezand water uit het proefperceel en uit de omringende velden gemengd afvoeren is het effect van sub-irrigatie en druppelirrigatie niet apart meetbaar in de drains. Gezien de beperkte oppervlak van de proef ten opzicht van het gehele veld, mag aangenomen worden dat de concentraties in het draineffluent de conventionele teeltmethoden weerspiegelen.

Het gedrag van nitraat, ammonia en fosfaat in het draineffluent van januari 2016 tot september 2017 zijn weergegeven in Figuur 30. Het groeiseizoen is van april tot eind augustus; inundatie heeft in 2017 plaatsgevonden van maart tot juni, daarna loopt het veld leeg. Tabel 8 geeft de totale vrachten gemiddelde en piekconcentraties weer vóór inundatie. De vrachten zijn indicatief voor de gemiddelde uitspoeling.

De hoogste concentraties nitraat, welke de grootste bijdrage levert aan totaal N, worden gemeten in en vlak na het groeiseizoen met maxima van 65,85 mgNO₃/l. De gemiddelde uitspoeling van totaal N en totaal P ligt, respectievelijk, op 6,62 mgN/l en 15,60 mgP/l. Het verloop van de concentraties laat een systeem zien dat snel reageert op regenval.

De KRW-doelstelling concentratie totaal N en P voor oppervlaktewateren met een goed ecologisch potentieel is 2,4 mgN/l en 0,22 mgP/l. De gemiddelde concentraties in het draineffluent zijn in Breezand hoger dan deze drempelwaarden en hebben daarmee een negatieve invloed op de oppervlaktewaterkwaliteit.

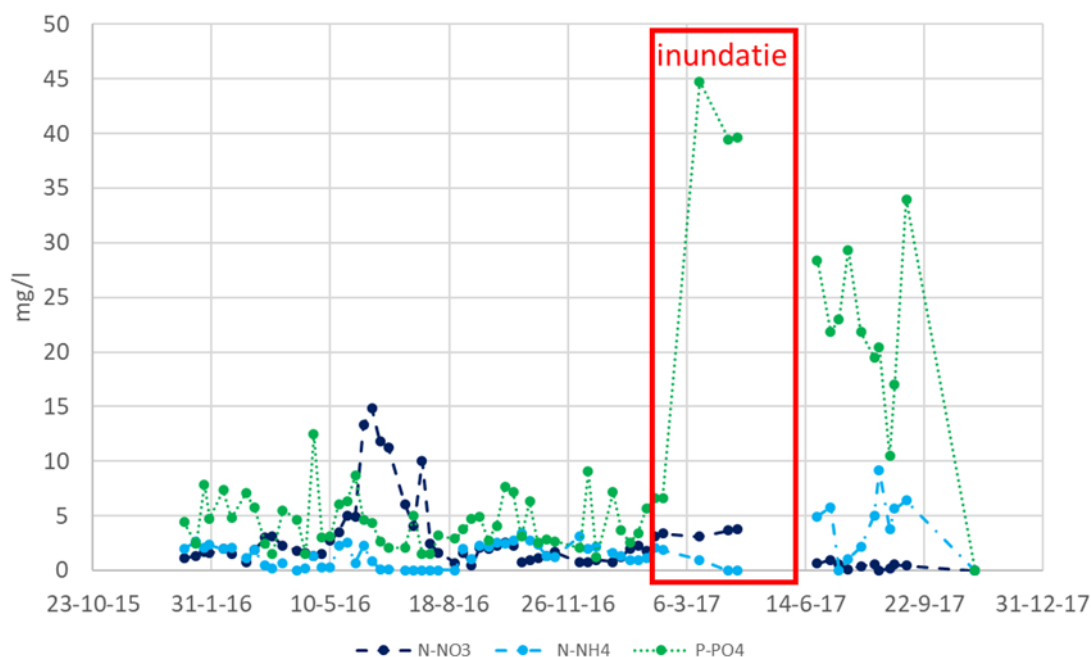
Verder blijkt dat de concentraties fosfaat en ammonia, en daarmee de invloed op totaal N en totaal P hoog zijn na inundatie, respectievelijk 11 mgNH₄/l in augustus 2017 (9,13 mgN/l) en rond 105 mg PO₄/l (40 mgP/l) in maart en september 2017. Het vrijkomen van fosfaat en ammonia is een direct gevolg van de reducerende omstandigheden van de inundatie.

Uit een vergelijking met de opgebrachte meststoffen (Bijlage VII) blijkt dat 14% nitraat en 188% fosfaat uitspoelt naar het oppervlaktewatersysteem. Er spoelt meer fosfaat uit dan wordt opgebracht als gevolg van de inundatie; extra fosfaat dat gebonden was aan bodemdeeltjes komt vrij door de reducerende omstandigheden.

In aanvulling op bovenstaand is een grote verscheidenheid aan gewasbeschermingsmiddelen teruggevonden in het inundatiewater en in het draineffluent (zie bijlage VIII). Uit de analyses blijkt dat het overgrote deel van deze middelen (in ieder geval deels) uitspoelt naar het oppervlaktewatersysteem. Een enkele soort, zoals bijvoorbeeld diethyltoluamide (DEET), MCPA, boscalid en azoxystrobin adsorberen aan de bodemdeeltjes en spoelt niet uit.

Effect van oppervlakkig druppelen op de nitraat concentraties in de bodem

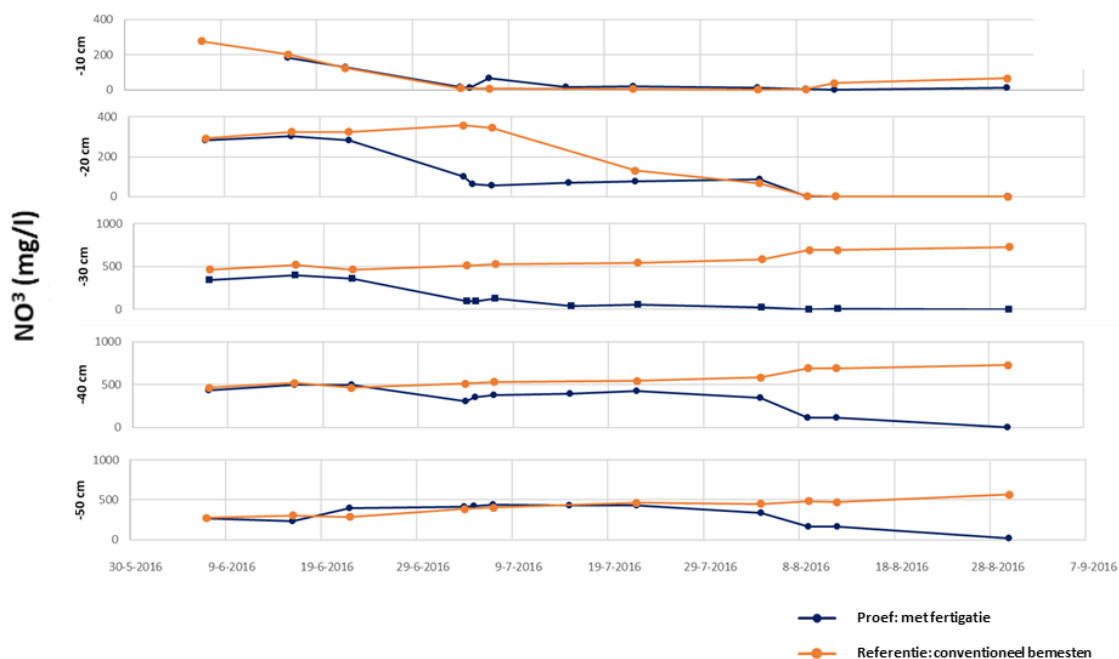
Om het verschil te analyseren tussen conventionele bemesting en fertigatie zijn in het groeiseizoen 2016 rhyzons voor onttrekken van bodemvocht op verschillende dieptes geplaatst om de nitraat en fosfaatconcentraties op verschillende dieptes te bemonsteren. Uit de monsternamen blijkt dat de concentraties op 50 cm diepte, welke als indicatief wordt gezien voor uitspoeling van totaal N, in de orde grootte van meerdere honderden mgN/l zijn. In het referentieperceel zijn ze aan het eind van het seizoen, wanneer opname door de plant is gestopt, twee tot vijfmaal hoger dan in proefperceel.



Figuur 30. Concentraties nitraat, ammonia en fosfaat in het draineffluent van het zandperceel in Breezand tussen januari 2016 en september 2017, waarbij in de periode maart tot en met juni 2017 inundatie van het veld plaatsvond (strategie van telers om aaltjes te doden en structuur te verbeteren).

Tabel 8. Overzicht van de concentraties en vrachten van nitraat, nitriet, ammonia, fosfaat, totaal N (organische en anorganische) en totaal P in het draineffluent in Breezand gemeten tussen januari 2016 en maart 2017 (vóór inundatie).

	Gemiddelde Concentratie [mg l ⁻¹]	Piek Concentratie [mg l ⁻¹]	Moment van piek concentratie	Totale vracht [kg N/ha/jaar] [kg P/ha/jaar]
Totaal N (anorganische +organische)	6,62	7,00	17-3-2017	56,77
Totaal anorganische N	4,71	15,80	14-6-2016	24,40
Nitriet (NO ₂)	0,19	1,72	10-1-2017	0,30
Nitraat (NO ₃)	16,52	65,85	14-6-2016	16,30
Ammonia (NH ₄)	1,19	4,39	15-8-2017	7,80
Berekend organische N	1,90			32,37
Totaal P (anorganische en organische)	15,60	20,60	Januari-feb	137,69
Totaal anorganische fosfor (P)	8,93	44,78	17-maart-1017	23,70
Fosfaat (PO ₄)	32,11	137,23	17-3-2017	23,70
Berekend organisch P	6,67			114,00

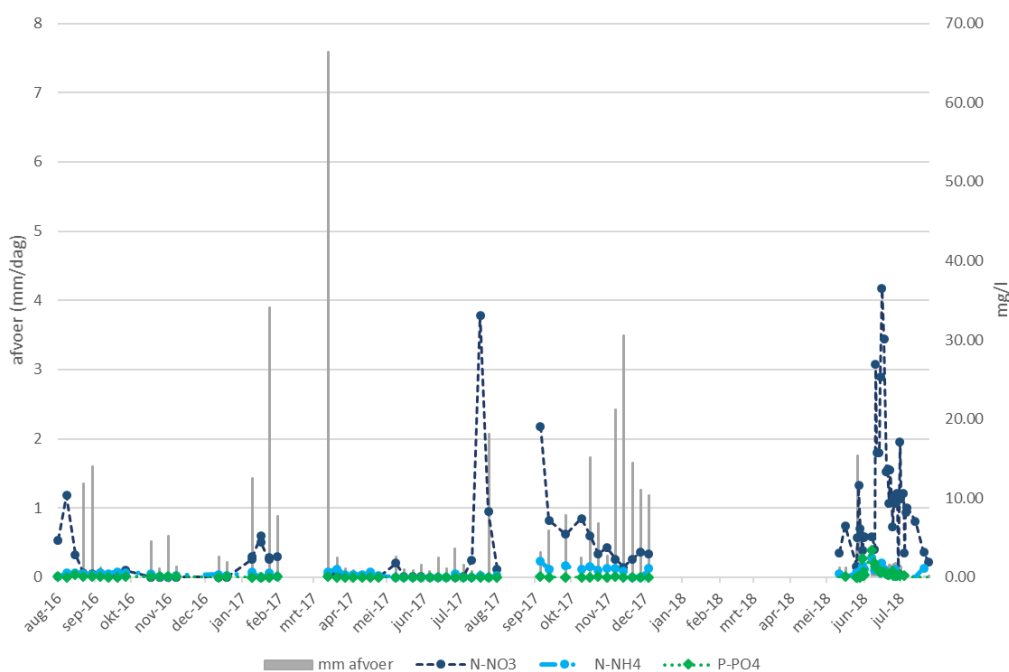


Figuur 31. Nitraat in de referentie en proefvelden in Breezand op verschillende dieptes in de maanden van juni tot september 2016.

4.3.2 Borgsweer

Concentraties en vrachten totaal nitraat en fosfaat in het draineffluent

De verzameldrain in Borgsweer draineert de proefvelden, referentievelden en aanliggende velden (tarwe en/of ui) gelijktijdig. De nutriënten die aangetroffen worden in het draineffluent zijn daardoor afkomstig van verschillende gewassen. Op de referentievakken worden meststoffen toegepast zoals conventioneel: NPTS, Kalium en KAS; het proefperceel werd gefertiliseerd met PK en CNK (zie Bijlage VII voor samenstelling en hoeveelheden meststoffen op de verschillende percelen).



Figuur 32. Nitraat en fosfaatconcentraties in drain effluent van het klei perceel in Borgsweer in het najaar en de winterperiode van 2016 - 2017.

Tabel 9. Overzicht van de concentraties en vrachten totaal nitraat en fosfaat in het draineffluent in Borgsweer in 2016 en 2017.

	Gemiddelde Concentratie [mg l ⁻¹]	Piek Concentratie [mg l ⁻¹]	Moment van piek concentratie	Totale vracht [kg/ha/jaar]
Totaal N	6,47			20,55
Anorganische N	3,30	33,27	juni, juli, augustus	6,12
Nitriet (NO ₂)	0,05	0,75	augustus	0,01
Nitraat (NO ₃)	13,30	146,60	Juli, bij eerste grote bui na bemesting	7,65
Ammonia (NH ₄)	0,57	2,58	Mid september	1,25
Berekend organische N	4,10			
Totaal P	0,52			1,61
Anorganische P	0,02	0,30		0,06
Fosfaat (PO ₄)	0,08	0,90	Augustus	
Organisch fosfaat	0,44			

Het gedrag, de gemiddelde en piekconcentraties van nitraat, nitriet, ammonia, totaal N, fosfaat en totaal P van het draineffluent en de totale vrachten voor Borgsweer over de periode 2016, 2017 en 2018 zijn weergegeven in, respectievelijk, Figuur 32 en Tabel 9. De concentraties totaal nitraat in het draineffluent zijn het hoogst in de maanden juni, juli en augustus. In de periode januari tot juni is de uitspoeling van totaal N laag. De concentraties totaal P zijn vooral verhoogd in juni en juli 2018. De gemiddelde concentratie totaal N is 6,47 mgN/l en totaal P is 0,52 mgP/l.

De KRW-doelstelling concentratie totaal N en P voor oppervlaktewateren met een goed ecologisch potentieel is 2,4 mgN/l en 0,22 mgP/l. Bovengenoemde gemiddelde concentraties in het draineffluent zijn op het perceel in Borgsweer net als in Breezand hoger dan de KRW-drempelwaarden en hebben daarmee een negatieve invloed op de oppervlaktewaterkwaliteit.

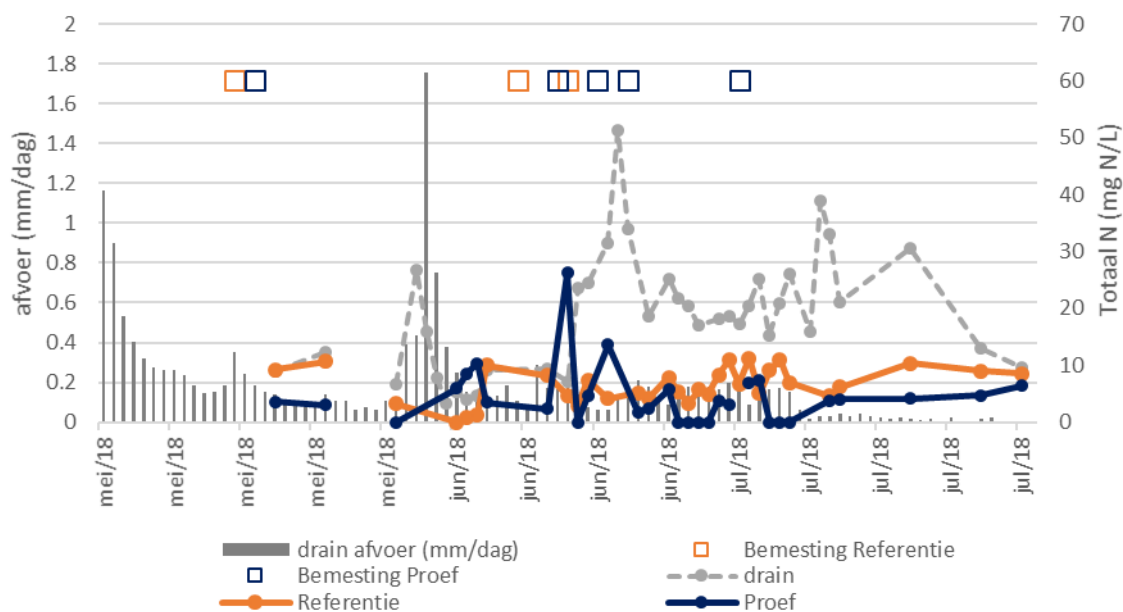
Uitspoeling (concentratie + vracht) gedurende zomermaanden

Om het verschil in uitspoeling tussen referentie en proef te bepalen is het bodemvocht in het referentie en proefvak gedurende het groeiseizoen 2018 bemonsterd op in totaal 12 locaties net boven de drains. Aangenomen is dat het bodemvocht op deze diepte een goede indicatie geeft van de concentraties nutriënten die uitstromen via de drains.

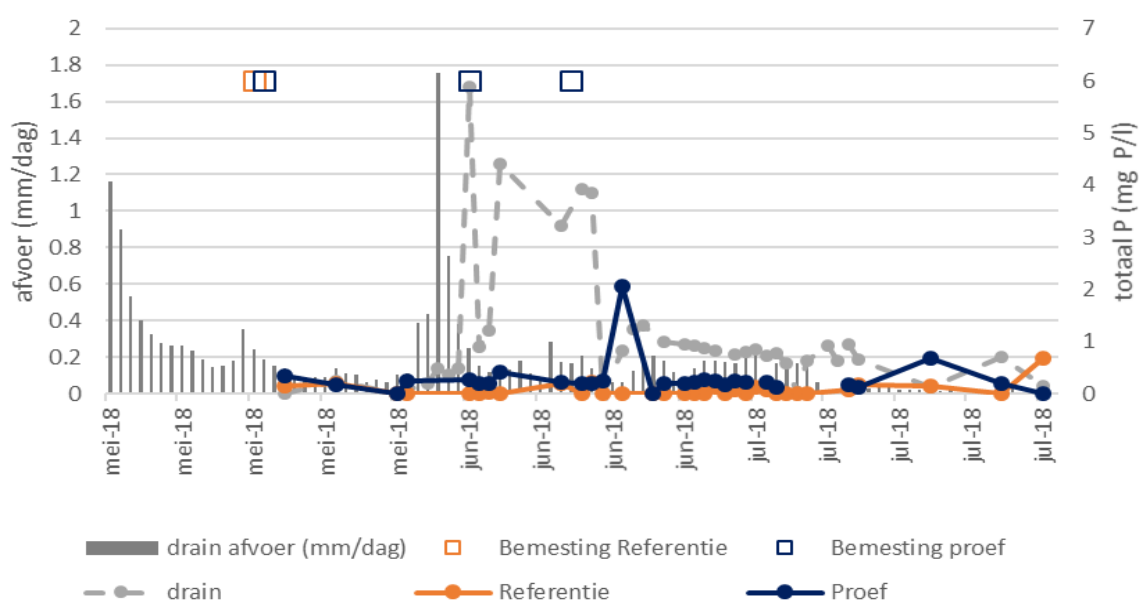
Uit de resultaten (Figuur 33, Figuur 34, Tabel 10 en Tabel 11) blijkt dat:

- De uitstroom van meststoffen voornamelijk plaatsvindt in de dagen meteen na bemesting of fertigatie (Figuur 33, Figuur 34, Tabel 10);
- Dat de concentratie totaal N én totaal P in de drains vele malen hoger is dan in het bodemvocht meteen boven de drains (Figuur 33, Figuur 34). Uitspoeling van nutriënten via het bodemvocht is, respectievelijk, voor referentie en proef maar 30% en 18% N en maar 4% en 13% P (Tabel 11); dit betekent dat meststoffen vooral preferent uitstromen via kleischeuren naar de drains; en
- Uitspoeling van nitraat via het bodemvocht is in het referentieveld gemiddeld tweemaal zo hoog als in het proefperceel.

Totaal N is in het algemeen lager in het proefveld dan in het referentieperceel terwijl fosfaat zich andersom gedraagt. Het percentage nitraten als deel van de opgebrachte mest dat uitspoelt is vergelijkbaar voor referentie en proef, maar doordat er op het proefperceel minder wordt opgebracht is de vracht vanuit het proefperceel lager.



Figuur 33. Totaal N concentraties in het drain effluent en in het bodemvocht in Borgsweer. De vierkanten geven het moment van bemesten/fertigatie aan.



Figuur 34. Totaal P concentraties in het drain effluent en in het bodemvocht in Borgsweer. De vierkanten geven het moment van bemesten/fertigatie aan.

Tabel 10. Overzicht van de concentraties uit het referentie- en proefveld in de groeiseizoen in Borgsweer in 2018.

		Gemiddelde Concentratie [mg l ⁻¹]	Piek Concentratie [mg l ⁻¹]	Moment van piek concentratie
Totaal Nitraat	Referentie	6,50	11,30	2 weken na eerste bui na bemesting 9kg N
	Proef	4,85	26,20	Dag na CNK
Totaal Fosfaat	Referentie	0,23	0,67	Na eerste bui na 9 kg NPTS
	Proef	0,27	2,05	5 dagen na PK n

Tabel 11. Overzicht van de vrachten uit het referentie- en proefveld in de groeiseizoen in Borgsweer in 2018 in vergelijking met de bemesting gegeven.

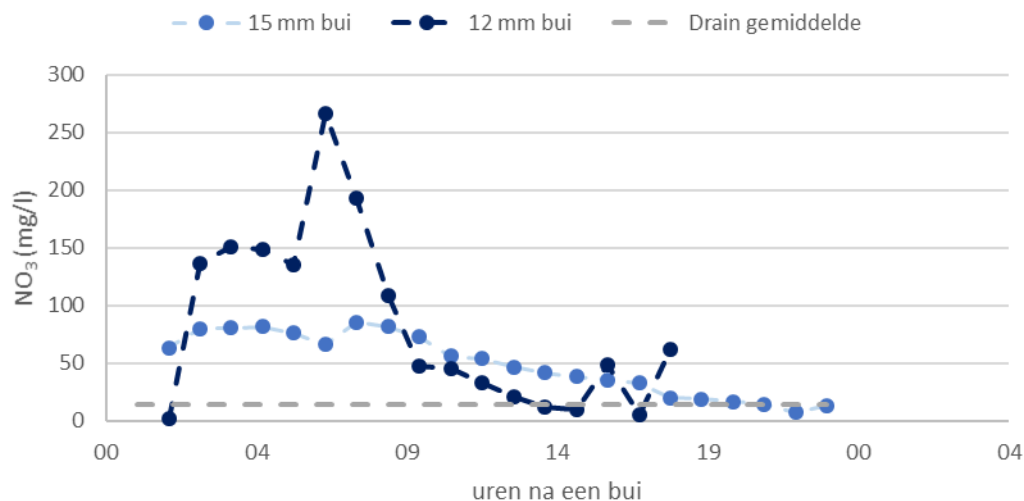
	Referentie		Proef		Drains	
	N	P	N	P	N	P
Bemesting (kg/ha)	115	13	59	8		
Uitspoeling (kg/ha)	3,65	0,04	2,24	0,12	12,24	0,91
% uitspoeling (in relatie tot bemesting)	3,1%	0.3%	3,9%	1,5%		
% tov totale uitspoeling gemeten in de drains	30%	4%	18%	13%		

Uitspoeling (concentratie) na een bui na het groeiseizoen

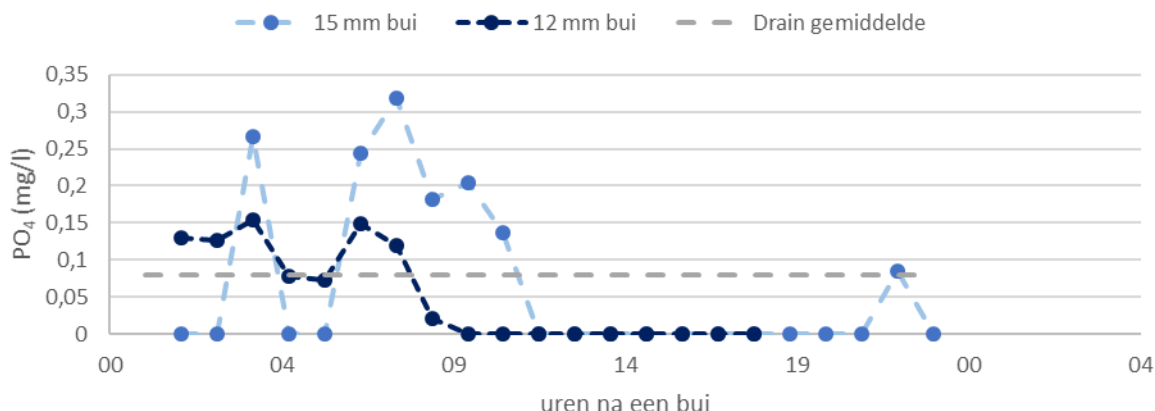
De ISCO automatic sampler is gebruikt om de NO₃ en PO₄ te meten in de uren na een bui (Figuur 35 en Figuur 36). Na de bui van september spoelt in de 24 uur na de bui water met een concentratie van 50 mgNO₃/l uit, daarna zakt de concentratie terug naar bijna 0 mgNO₃/l.

Deze relatief regelmatige uitstroom is waarschijnlijk gerelateerd aan de relatief natte periode waar deze bui deel van uitmaakte; de kleischeuren waren daardoor gesloten. Na de bui van oktober is het gedrag omgekeerd exponentieel, de uitstroom van NO₃ is zeer hoog meteen na de bui (150 tot 275 mgNO₃/l) maar loopt binnen 12 uur terug naar 0 mgNO₃/l. Waarschijnlijk speelde hierbij veldbewerking een belangrijke rol – na het ploegen kan water snel en makkelijk uitstromen via preferente stroombanen.

Voor PO₄ geldt dat alleen in de 10 uur na de bui verhoogde concentraties zijn gemeten.



Figuur 35. Nitraat concentraties in het draineffluent in de uren na een bui van 15mm op 12 september en 12 mm op 7 oktober. De grijze lijn geeft de gemiddelde nitraat concentratie gemeten in de drains.



Figuur 36. Fosfaat concentraties in het draineffluent in de uren na een bui van 15mm op 12 september en 12 mm op 7 oktober. De grijze lijn geeft de gemiddelde fosfaat concentratie gemeten in de drains.

4.4 Conclusies

Traditioneel worden meststoffen op het land gebracht waarna ze infiltreren bij neerslag of beregening. Wanneer gebruik wordt gemaakt van druppelirrigatie worden de meststoffen direct in de bodem gebracht via het irrigatiewater, dat komt in principe gelijkmatig in de wortelzone terecht en kan direct door de wortels worden opgenomen.

De gemiddelde concentraties totaal nitraat en fosfaat van het draineffluent in Breezand (6,62 mgN/l en 15,60 mgP/l) en Borgsweer (6,47 mgN/l en 0,52 mgP/l) zijn hoger dan de KRW-drempelwaarden voor een Goed Ecologisch Potentieel (GEP, 2,4 mgN/l en 0,22 mgP/l) en hebben daardoor een negatieve invloed op het behalen van de KRW-doelen. De uitspoeling van nitraat en fosfaat uit landbouwpercelen heeft daarmee een negatief effect op de waterkwaliteit. Voor de bemeten perioden spoelt in totaal 56,77 kgN/ha/jaar en 137,69 kgP/ha/jaar uit in Breezand, en 20,55 kgN/ha/jaar en 1,61 kgP/ha/jaar uit. Uitspoeling van nitraat vindt zowel op zand- als kleibodems plaats. Uitspoeling van fosfaat voornamelijk op zandbodems; in kleibodems wordt fosfaat vastgehouden omdat het bindt aan oxiden. Aanvullend blijkt dat de inundatie in Breezand leidt tot een sterk verhoogde uitstroom van fosfaat en ammonia. Ten tijde van de inundatie en daarna is er ook een verscheidenheid aan gewasbeschermingsmiddelen aangetoond in het inundatiewater en in het draineffluent.

Uit de proef in Borgsweer blijkt dat de uitspoeling van totaal N gedurende het groeiseizoen met 39% verminderd kan worden door meststoffen toe te voeren via ondergrondse druppelslangen in plaats van conventioneel aan het oppervlak. Verder is er 50% minder totaal N en 40% minder totaal P opgebracht in het proefvak, maar is toch een meeropbrengst van 22% behaald. Uit de metingen blijkt dat in Borgsweer de meeste nutriënten uitstromen via preferente stroombanen zoals kleischeuren, dat dat voornamelijk gebeurt in de eerste 24 uur na een bui én dat de uitstroom hoger is in de dagen na het ploegen.

Om de uitspoeling van nutriënten te minimaliseren dient fertigatie door de druppelslangen op relatief droge bodems te gebeuren; de stroming van het water in de wortelzone is dan omhoog gericht ter compensatie van verdampingsverliezen. De gegeven nutriënten blijven dan in de wortelzone en kunnen daar worden opgenomen. Wanneer fertigatie aan het oppervlak gegeven wordt zal het systeem nog minder gevoelig zijn voor uitspoeling aangezien de afstand tussen de druppelslang en de verzadigde zone dan groter is.

5

Criteria voor opschaling & kansenkaarten

Voor het toepassen van druppel- en sub-irrigatiesystemen zijn een aantal factoren van belang. Deze factoren zijn onder te verdelen in eigenschappen die de stroming van het water beïnvloeden en met name de toevoer naar de wortelzone (bodemeigenschappen), en eigenschappen van het beschikbare water (diepte grondwater, kwaliteit) in combinatie met de eisen die het gewas daaraan stelt. Waar bij oppervlakkig druppelen de stroming van water onder zwaartekracht en potentiaalverschillen gaat, en de stroming door de bodem neerwaarts is, moet bij sub-irrigatie en diepe ligging van de druppelslangen het water door capillaire werking en potentiaalverschillen omhoog getransporteerd worden, tegen de zwaartekracht in. Tevens dient dit met een zodanige snelheid te gebeuren dat de opwaartse stroming de verliezen ten gevolge van verdamping moet compenseren. De diepere ligging van de bron stelt dus hogere eisen aan de transportcapaciteit van de bodem. De factoren van invloed op de toepasbaarheid van de in Spaarwater onderzochte irrigatiemethoden worden in de volgende alinea's uiteengezet.

Binnen dit project zijn stedelijke gebieden buiten beschouwing gelaten.

5.1 Bovengronds druppelen

Bovengronds druppelen is mogelijk op alle bodemtypes. Echter bij bepaalde soorten zware klei, zoals knip- en knippige klei, moet men extra alert zijn op natschade welke kan optreden doordat kleischeuren dichtzwellen. In natuur- en graslandgebieden kunnen bovengrondse druppelslangen beschadigd raken tijdens het groeiseizoen door veldbewerking; deze gebieden zijn daarom niet kansrijk voor bovengronds druppelen.

Aandachtspunten

Om een goede vochtvoorziening te verzekeren is het belangrijk om de afstand tussen de slangen en de frequentie en duur van de irrigatiegiften af te stemmen op de bodemtextuur, de watervraag van het gewas en de grondwaterstand. Er is een bron van zoet water nodig van voldoende kwaliteit. Het irrigatiewater moet voor de meeste gewassen – dit is afhankelijk van de zouttolerantie - een EGV van minder dan 2000 $\mu\text{S cm}^{-1}$ hebben, vrij zijn van pathogenen voor het gewas, en een ijzerconcentratie hebben lager dan 0,2 mg/l om verstopping van de slangen en ventielen te voorkomen (Mosler, 1998). Er is altijd een filtratiesysteem nodig om te voorkomen dat zwevende deeltjes tot verstopping leiden. Bovengronds druppelen is geschikt voor gewassen waarbij gedurende het groeiseizoen geen mechanische bewerking nodig is.

5.2 Ondergronds druppelen

Ondergronds druppelen is mogelijk op alle bodems, behalve zware klei en grof zand omdat het water zich daarin te langzaam verspreidt in de bodem. In graslandgebieden kan ondergronds druppelen, bijvoorbeeld, worden ingezet om bodemdaling tegen te gaan.

Aandachtspunten

Ondergronds druppelen is zeer geschikt voor gebieden waar de grondwaterstand laag ($<0,8$ m) is en voor gewassen die minstens 0,3 meter diep wortelen. Het is aan te bevelen om het bodemvochtgehalte of -spanning te monitoren om te voorkomen dat te grote giften leiden tot verzadiging en de daaruit voortkomende anoxia. Er is een bron van zoet water nodig van voldoende kwaliteit. Het irrigatiewater moet voor de meeste gewassen – dit is afhankelijk van de zouttolerantie – een EGV van minder dan $2000 \mu\text{S cm}^{-1}$ hebben, vrij zijn van pathogenen voor het gewas, en een ijzerconcentratie hebben lager dan $0,2 \text{ mg l}^{-1}$ om verstopping van de slangen en ventielen te voorkomen (Mosler, 1998). Er is altijd een filtratiesysteem nodig om te voorkomen dat zwevende deeltjes tot verstopping leiden.

5.3 Sub-irrigatie

Sub-irrigatie is op alle bodems mogelijk behalve zware klei vanwege de te langzame verspreiding van het bodemvocht. In graslandgebieden kan sub-irrigatie worden ingezet om bodemdaling tegen te gaan.

Om de hoeveelheid water te beperken die gebruikt wordt voor het opzetten van het peil is het belangrijk dat de grondwaterstand niet te ver onder het streefpeil voor sub-irrigatie staat. In de berekeningen is hiervoor $0,30$ m aangenomen. Daarnaast is het belangrijk dat er voldoende vocht kan worden aangeleverd vanuit het grondwater. Hiervoor is de kritische Z-afstand gebruikt, een maat voor de afstand waarop de bodem nog 2 mm/d kan aanleveren vanuit het grondwater (Monitoring van verdroging: Gaast et al. 2005, p. 93). Door de kritische z-afstand op te tellen bij $0,30$ m is een minimale Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) bepaald waarboven het grondwater zich moet bevinden voor de toepasbaarheid van sub-irrigatie.

Bodemtype	Kritische Z-afstand (cm)	Minimale GLG (cm)
Veen	74,3	104,3
Fijn zand	152,0	182,0
Grof zand	142,7	172,7
Zavel	128,0	158,0
Lichte klei	137,5	167,5
Zware klei	59,6	89,6
Leem	240,0	270,0

Aandachtspunten

Er is een bron van zoet water nodig. Dus indien ondergrondse opslag van zoet water als bron buiten beschouwing blijft moet er voldoende water van de gewenste kwaliteit beschikbaar zijn voor de opzet en aanvulling van het door verdamping onttrokken bodemwater. Voor veel gewassen moet het elektrisch geleidend vermogen, als maat voor de zoutconcentratie, lager dan $2000 \mu\text{S cm}^{-1}$ zijn. Verder verdient het aanbeveling om in gebieden met brak grondwater het peil al in het voorseizoen op te zetten om de zoetwaterlens in de wortelzone te versterken.

5.4 Conclusies en kansenkaarten

Voor de goede werking van druppel- en sub-irrigatiesystemen zijn bodemtype, landgebruik en gemiddeld laagste grondwaterstand relevant (Tabel 12), waarbij ondergronds druppelen specifiek geschikt is voor gewassen die minstens 30 cm diep wortelen. Behalve voor irrigatie kunnen ondergronds druppelen en sub-irrigatie ook worden ingezet om bodemdaling tegen te gaan, zoals binnen Spaarwater Flevoland wordt onderzocht. Druppelen kan alleen bij een ijzergehalte lager dan $0,2 \text{ mg/l}$. Daarnaast geldt dat afhankelijk van de zouttolerantie van de gewassen het elektrisch geleidend vermogen (EGV) van het irrigatiewater meestal lager dan $2000 \mu\text{S/cm}$ moet zijn. Als laatste, moet men bij specifieke soorten zware klei, zoals bij knip- en knippige klei, bij druppelen alert zijn op het voorkomen van natschade die kan ontstaan door een verlaging van de secundaire doorlatendheid.

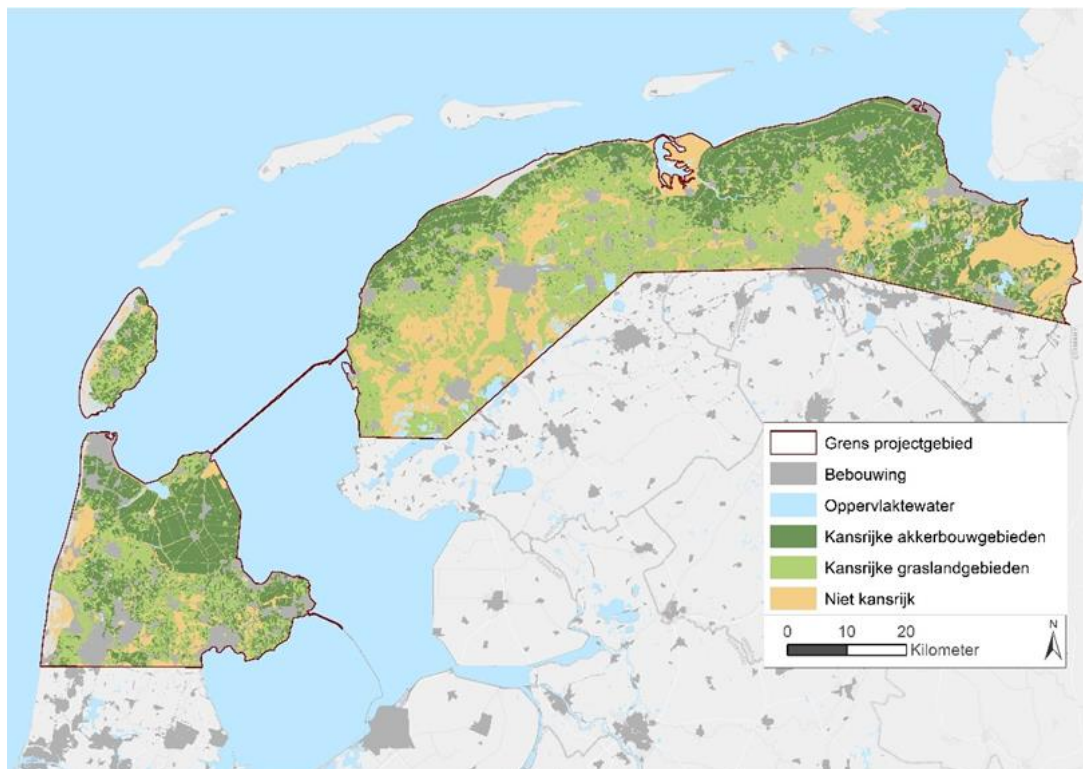
Op basis van de beschreven criteria zijn kansenkaarten voor de verschillende systemen ontwikkeld voor de Waddenregio (Figuur 37, Figuur 38 en Figuur 39).

Tabel 12. Toepasbaarheid van druppel- en sub-irrigatiesystemen op verschillende bodems. De grenswaarde voor de GLG (Gemiddeld Laagste Grondwaterstand) hangt samen met de afstand waarover de bodem nog 2 mm/d kan aanleveren. Zie ook Monitoring van verdroging; van der Gaast et al. 2005.

Bodemtype	Bovengronds druppelen	Ondergronds druppelen	Sub-irrigatie
Veen			
Fijn zand			Bij GLG>-182 cm mv
Grof zand			Bij GLG>-173 cm mv
Zavel			Bij GLG>-158 cm mv
Lichte klei			Bij GLG>-168 cm mv
Zware klei			



Figuur 37. Kansrijkheid Spaarwater Zuinig met zoetwater maatregel **Bovengronds Druppelen** in de Waddenregio



Figuur 38. Kansrijkheid Spaarwater Zuinig met zoetwater maatregel **Ondergronds Druppelen** in de Waddenregio



Figuur 39. Kansrijkheid Spaarwater Zuinig met zoetwater maatregel **Sub-irrigatie** in de Waddenregio

6

Samenvatting en conclusies

In het onderdeel *Zuinig met Zoetwater* van Spaarwater II is het effect en de toepasbaarheid van druppel- en sub-irrigatie onderzocht. Het blijkt dat deze maatregelen toepasbaar zijn in grote delen van de Waddenregio en dat het mogelijk is om deze maatregelen in te zetten om water effectiever te gebruiken voor irrigatie.

Om druppelirrigatie te optimaliseren is het cruciaal om de ligging van de slangen af te stemmen op de bodem en het type gewas om voldoende vocht in de wortelzone te garanderen en om het systeem in een relatief droge periode aan te leggen, zodat de slangen op een uniforme diepte liggen. Bij het bepalen van de irrigatiegift is het gebruik van sensoren en modellen belangrijk om de vochttoestand van de bodem op diepte inzichtelijk te maken en droogtestress én natschade te voorkomen.

Om sub-irrigatie te optimaliseren is het belangrijk om grondwaterstanden continu te monitoren. Deze gegevens kunnen worden gebruikt ter kalibratie van een grondwatervoorspellingsmodel, welke gebruikt kan worden om het peil aan te passen om, bijvoorbeeld, natschade te voorkomen wanneer hevige regenval wordt verwacht.

De watereffectiviteit van traditionele irrigatiesystemen zoals waterkanon en sprinkler is onder Nederlandse omstandigheden laag, in de orde grootte 10 tot 55%, doordat veel diep percolatie, verwaaiing, bodemverdamping en gewasinterceptie plaatsvindt. In Breezand is met sub-irrigatie in 2016 een algehele watereffectiviteit van 46% behaald. Deze waarde wordt voornamelijk bepaald door het feit dat regenwater direct wordt afgevoerd uit de zandbodem en daarmee een verliespost vormt. In Borgsweer is er in het perceel waar irrigatie gestuurd is met sensoren en modellen een watereffectiviteit behaald van 78%. Deze is hoger dan in Breezand omdat regenwater vastgehouden wordt in de bodem welke op een later moment een positieve bijdrage levert aan de gewasgroei. Wanneer deze uitkomsten worden vertaald naar een bodem waarop alle irrigatiesystemen mogelijk zijn, bijvoorbeeld lichte zavel, kan men aannemen dat met sub-irrigatie een watereffectiviteit van 85% en met ondergronds druppelen van 90% haalbaar is. Voor waterkanon of sprinkler zou dit, ter vergelijking, ongeveer 50% zijn.

In droge jaren leidt toepassing van druppel- en sub-irrigatie tot een meeropbrengst (in 2018 van 22%). De meerwaarde van deze irrigatietechnieken ligt met name in het overbruggen van droge perioden.

Traditioneel worden meststoffen op het land gebracht waarna ze infiltreren bij neerslag of beregening. Uit de analyses blijkt dat hierbij uitspoeling van nutriënten optreedt. De gemiddelde concentraties totaal nitraat en totaal fosfaat van het draineffluent in Breezand (6,62 mgN/l en 15,60 mgP/l) en Borgsweer (6,47 mgN/l en 0,52 mgP/l) zijn hoger dan de drempelwaarden voor een Goed Ecologisch Potentieel (GEP, 2,4 mgN/l en 0,22 mgP/l) en hebben daardoor een negatieve invloed op de waterkwaliteit. Wanneer druppelirrigatie wordt gebruikt komen de meststoffen in principe gelijkmatig in de wortelzone terecht en worden daar direct door de wortels opgenomen. In Borgsweer kan de nitraatuitspoeling via het bodemvocht met 39% worden gereduceerd wanneer meststoffen worden aangevoerd via druppelslangen in plaats van conventioneel aan het oppervlak. Uit de resultaten blijkt dat veel nutriënten uitspoelen via de kleischeuren.

Het afstemmen van nutriëntengift op weersomstandigheden, bodemsoort en groeistadium, en waar mogelijk het toepassen van druppelslangen bovenlangs, diep percolatie en daarmee uitspoeling verder reduceren.

Aanbevelingen

Het verdient aanbeveling om samen met de agrariërs te onderzoeken:

- Wat de toegevoegde waarde is van druppelirrigatie op lichte zavelgronden is, gezien de modelsimulaties aantonen dat de bodemvochtverspreiding vanuit de druppelslangen daar optimaal zal zijn;
- Of Sub-irrigatie (met water uit een ondergrondse opslag) in de praktijk haalbaar is op zavelgronden gezien die optie kostentechnisch veel interessanter is dan druppelirrigatie voor de productie van akkerbouwgewassen;
- Wat het effect van zout is op verschillende gewassen. Er is een overzicht van schadedrempels, maar het detailniveau is onvoldoende om op perceelsniveau te bepalen wat de waterkwaliteit van het irrigatiewater moet zijn;
- Of bemesting en veldbewerking zodanig kunnen worden aangepast dat uitspoeling van N en P, bijvoorbeeld door versnelde afstroming via kleischeuren en als gevolg van inundatie, kan worden geminimaliseerd;
- Wanneer en hoeveel totaal N en totaal P uitstroomt via de drains op (sub-)dagelijkse basis uitstroomt gezien de systemen dusdanig snel reageren dat pieken en dalen niet gevangen worden in wekelijkse monsternamen; en
- Of het mogelijk is om een circulair systeem op te zetten, waarbij de nutriënten uit het draineffluent opnieuw worden opgebracht voor gewasgroei.

Referenties

- Beekman, J. 2014. Meeropbrengst vergoedt investering: toepassing druppelslang opnieuw onderzocht [Online]. Boerderij. Available: <https://smitsveldhoven.nl/upload/file/Boerderij-Druppelirrigatie.pdf> [Accessed 17-07-2017 2017].
- Braakman, L. 2015. Druppelirrigatie: minder stress voor bol en teler [Online]. Bloembollenvisie. Available: <http://edepot.wur.nl/368249> [Accessed 17-07-2017 2017].
- Brouwer, G. (2015). Druppelirrigatie in de aardappelteelt op zandgronden. Afstudeerwerkstuk CAH Vilentum.
- Burt C. M., A. J. Clemens, T.S. Strelkoff, K. H. Solomon, R. D. Bliesner, L. A. Hardy, T. A. Howell, ASCE Members and D.E. Eisenhower (ND). Irrigation performance measures: Efficiency and Uniformity.
- Droogers, P. (2009). Verbetering bepaling actuele verdamping voor het strategisch waterbeheer: definitiestudie. Rapport FutureWater no82, in opdracht van STOWA.
- Gaast J.W.J. van der, H. Th. L. Massop en H. R. J. Vroon. (2009). Effecten van klimaatverandering op de watervraag in de Nederlandse groene ruimte; analyse van de waterbeschikbaarheid rekening houdend met de freatische grondwaterstand en bodem. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1791.
- van Geel, W. C. A. 2004. Perspectief druppelirrigatie en -fertilisatie in consumptieaardappelen op droge zandgrond valt tegen [Online]. Kennisakker.nl. Available: <http://www.kennisakker.nl/kenniscentrum/document/perspectief-druppelirrigatie-en-fertilisatie-consumptieaardappelen-op-droge-zan> [Accessed 17-07-2017 2017].
- M.T.A. van Genuchten, 1980. A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils¹. Soil Sci. Soc. Am. J. 44: 892–898.
- Griffiths B. and N. L. Lecler (2001). Irrigation system evaluation. Procedures South African Technology Association: Nr 75.
- Groen, M. en H. Savenije (2003). Interceptie als functie van de maandelijkse regenval. Stromingen (2003), nummer 2: 45-48.
- Haverkort, A. J., Van de Waart, M. & Bodlaender, K. B. A. 1990. The effect of early drought stress on numbers of tubers and stolons of potato in controlled and field conditions. Potato Research, 33(1), 89-96.
- de Haan, J. J., van Wijk, K. & Wilms, J. A. M. 2011. Fertilisatie en plantdichtheden in prei: Verslag onderzoek 2008, 2009 en 2010. Wageningen: PPO-AGV.
- de Haan, J. J., Wilms, J. A. M. & van Geel, W. C. A. 2008. Demo ruggenteelt met fertilisatie in prei. Wageningen: PPO-AGV.

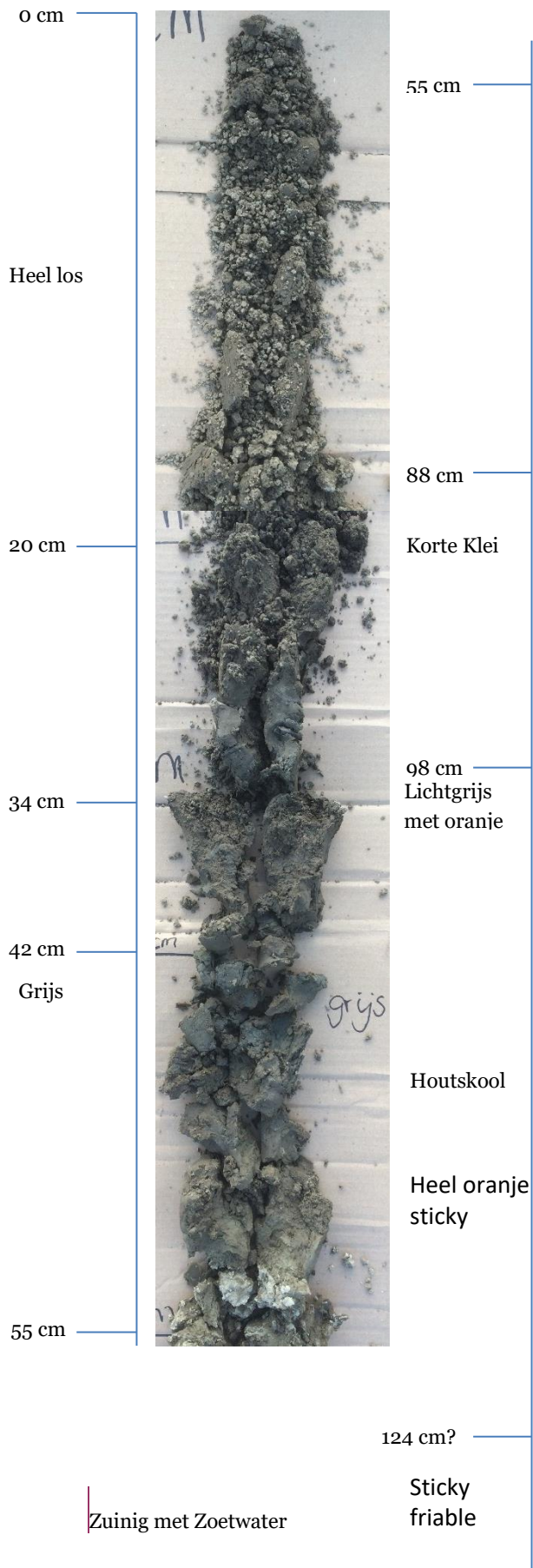
- DLV Adviesgroep 2000. Water Optimaal: Rapportage 2000. De demonstratievelden. Haarlem: DLV Adviesgroep nv.
- Dogterom, J. 2016. Geen drup te veel [Online]. Landbouw Mechanisatie. Available: <http://edepot.wur.nl/390926> [Accessed 17-07-2017 2017].
- Feddes, R. A., Kowalik, P., Kolinska-Malinka, K. & Zaradny, H.(1976). Simulation of field water uptake by plants using a soil water dependent root extraction function. Journal of Hydrology, 31(1-2), 13-26.
- Howell T. A. (2003). Irrigation efficiency. Encyclopedia of water science: DOI 10.1081/E-EWS 120010252.
- Janssens, P. 2017. 2016 vroeg om correct beregenen na een nat voorjaar [Online]. Boerenbond: Management & Techniek. Available: <http://edepot.wur.nl/413333> [Accessed 17-07-2017 2017].
- Landinrichtingsdienst (1987). Mededelingen Landinrichtingsdienst 176: De invloed van de waterhuishouding op de landbouwkundige productie. Utrecht.
- Lynch, D. R., Foroud, N., Kozub, G. C. & Fames, B. C. 1995. The effect of moisture stress at three growth stages on the yield, components of yield and processing quality of eight potato varieties. American Journal of Potato Research, 72(6), 375-385.
- MacKerron, D. K. L. & Jefferies, R. A. 1986. The influence of early soil moisture stress on tuber numbers in potato. Potato Research, 29(3), 299-312.
- Massop, H.Th.L., P.J.T. van Bakel, T. Kroon, J.G. Kroes, A. Tiktak & W. Werkman. 2005. Op zoek naar de ware neerslag en verdamping. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1158. Reeks Milieu en Landelijk gebied 28.
- Meijering, L. 2015. Druppelirrigatie moet zich bewijzen [Online]. Boerderij. Available: <https://www.rmacompany.nl/wp-content/uploads/2015/07/artikel-Boerderij-Juli-2015-v4.pdf> [Accessed 17-07-2017 2017].
- Meijering, L. 2016. Druppelirrigatie levert niet veel extra opbrengst, wel betere gewaskwaliteit [Online]. Available: <http://www.boerderij.nl/Akkerbouw/Achtergrond/2016/8/Druppelirrigatie-levert-niet-veel-extra-opbrengst-wel-betere-gewaskwaliteit-2848724W/> [Accessed 08-09-2017 2017].
- Paauw, J. 2001. Druppelirrigatie en -fertilisatie in consumptieteelt Bintje op kleigrond [Online]. Kennisakker.nl. Available: <http://www.kennisakker.nl/kenniscentrum/document/druppelirrigatie-en-fertilisatie-consumptieteelt-bintje-op-kleigrond> [Accessed 17-07-2017 2017].
- Purcell (1999). Determining a framework, terms and definitions for water use efficiency in irrigation. Narrabri: Land and water resources research and development corporation.
- Redactie Boerenbusiness. 2014. Druppelirrigatie weer optie in aardappelen [Online]. Boerenbusiness. Available: <http://www.boerenbusiness.nl/aardappelen/artikel/10852478/druppelirrigatie-weer-optie-in-aardappelen> [Accessed 17-07-2017 2017].

- Schoot, J.R., K. H. Wijnholds en J.J. de Haan (2012). Berekening en bemesting zetmeelaardappelen. Meerjarenanalyse veldproeven op PPO-locatie 't Kompas 2007-2011 binnen het Project WaterSense. Wageningen: Wageningen UR Praktijkonderzoek Plant en Omgeving PPO 479.
- Vereniging voor Landinrichting 2000. Cultuurtechnisch Vademecum: handboek voor inrichting en beheer van het landelijk gebied, Krips, Meppel, Elsevier.
- Walker, W.R. (1989). FAO IRRIGATION AND DRAINAGE PAPER 45: Guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems. Rome: FAO.
- Yuan, B. Z., Nishiyama, S. & Kang, Y. 2003. Effects of different irrigation regimes on the growth and yield of drip-irrigated potato. Agricultural water management, 63(3), 153-167.

Bijlagen

Bijlage I

Bodembeschrijving



grondwater

147 cm



Bijlage II

Berekening watereffectiviteit traditionele irrigatie

Berekening watereffectiviteit traditionele irrigatie

Standaard gift: haspel of sprinkler

- 14 tot 40 mm per keer (Schoot et al. 2014 in Brouwer 2015)
- Telers Spaarwater Flevoland 15 tot 20 mm per keer
- Meestal 3 (tot maximaal 5) keer per seizoen telers Breezand en omgeving
- **Aanname 3 maal 20 mm**

1.1 Interceptieverdamping:

- Algemeen tussen 15 en 50% afhankelijk van klimaat en vegetatie (Gerrits 2010)
- 10% tot 70% (Groen en Savenije), 10% in vochtig koud, 70% in droog en warme gebieden
- SWAP voorbeeldberekeningen 10% tot 15% voor Oost Nederland (FutureWater Rapport)
- 100 mm/jaar als gemiddeld in gewassen (Massop et al. 2005)
- **Aanname 0 tot 15% (laag bij geen bodembedekking, hoog wanneer wel)**

1.2 Bodemverdamping

- Algemeen: 0,3 (gewasfactor kale bodem) * referentieverdamping
- SWAP voorbeeldberekeningen 15% tot 30% voor Oost Nederland (FutureWater Rapport)
- **Aanname 15% tot 30% (laag wanneer bodembedekking, hoog wanneer geen bodembedding)**

1. Totale verdamping varieert tussen $0+30=30\%$ en $15+15=30\% \rightarrow = 30\%$

2. Oppervlakkige afstroming

- **Nihil, minder dan 5% op perceelsniveau** (ervaring telers en experts tijdens Spaarwater Programma, niet gemeten)

3. Diepercolatie + directe uitstroom via de drains

- In klei gemiddeld 10% bij een regenbui van 15 tot 25 mm (op basis van metingen Borgsweer in voorjaar 2018: drainuitstroom/oppervlak/regenbui)
- In zand gemiddeld 44% bij regenbuien tot 20 mm (Breezand in 2016: drainuitstroom/wateraanvoer).
- **Aanname 10% tot 45% voornamelijk afhankelijk van het bodemtype**

4. Verwaaiing

- Sterk afhankelijk van windrichting en -snelheid, aanname op basis van veldobservaties: **verlies varieert tussen 5% en 10%**

CONCLUSIE

Totaal verlies tussen 45% ($30+0+10+5$) en 90% ($30+5+45+10$). Watereffectiviteit tussen 10 en 55%

[voor vergelijking: schatting op bodem van lichte zavel, verlies 50% ($30+2.5+10+7.5$)]

Referenties:

- Brouwer, G. (2015). Druppelirrigatie in de aardappelteelt op zandgronden. Afstudeerwerkstuk CAH Vilentum.
- Schoot, J.R., K. H. Wijnholds en J.J. de Haan (2012). Berekening en bemesting zetmeelaardappelen. Meerjarenanalyse veldproeven op PPO-locatie 't Kompas 2007-2011 binnen het Project WaterSense. Wageningen: Wageningen UR Praktijkonderzoek Plant en Omgeving PPO 479.
- Groen, M. en H. Savenije (2003). Interceptie als functie van de maandelijkse regenval. Stromingen (2003), nummer 2: 45-48.
- Massop, H.Th.L., P.J.T. van Bakel, T. Kroon, J.G. Kroes, A. Tiktak & W. Werkman. 2005. Op zoek naar de ware neerslag en verdamping. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1158.
- Reeks Milieu en Landelijk gebied 28.
- Droogers, P. (2009). Verbetering bepaling actuele verdamping voor het strategisch waterbeheer: definitiestudie. Rapport FutureWater no82, in opdracht van STOWA.
- Walker, W.R. (1989). FAO IRRIGATION AND DRAINAGE PAPER 45: Guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems. Rome: FAO.

Bijlage III

Achtergrond beslissingsondersteunend model

Notitie

Projectnummer/Kenmerk
160676

Datum
1 mei 2018

Aan: Spaarwater betrokkenen

Van: M.J. Waterloo

Kopie aan

Onderwerp: Beslissing ondersteunend model druppelirrigatie

1	Inleiding	1
1.1	Wateropname door planten	1
1.2	Theorie van bodemvocht	1
1.3	Druppelirrigatie	3
2	Model voor het bepalen van watergift	3
2.1	Inleiding	3
2.2	Watergiftmodel op basis van vochtspanning	4
2.3	Modelopbouw	4
2.4	Benodigde gegevens	6
	Bodemvochtretentie Borgsweer	7
3	Referenties	8

1 Inleiding

1.1 Wateropname door planten

De plant heeft water nodig voor koeling van het blad onder zonnige condities, transport van voedingsstoffen vanuit de bodem via de wortels naar het blad, behoud van turgor (celspanning), voor fotosynthese en opname in structurele plantendelen. Het proces van CO_2 -opname via de stomata in het blad is direct gekoppeld aan verlies van water uit het blad (transpiratie). Verdamping van water kost energie, en de stomata in het blad staan open onder daglicht en sluiten 's nachts. Dit betekent dat het verlies aan water via transpiratie sterk gestuurd wordt door de hoeveelheid zonlicht. De behoefte aan water is derhalve het grootst in de vroege middag. Indien er niet voldoende water in de bodem is om aan de transpiratievraag te voldoen zullen de stomata sluiten en verminderd ook de productie van de plant. Een van de voorwaarden voor optimale groei en productie van een gewas is dat het water makkelijk door de wortels onttrokken kan worden uit de bodem. Hiervoor dient het bodemvocht dus in een ideaal bereik te worden gehouden, wat door tijdige irrigatie bereikt kan worden.

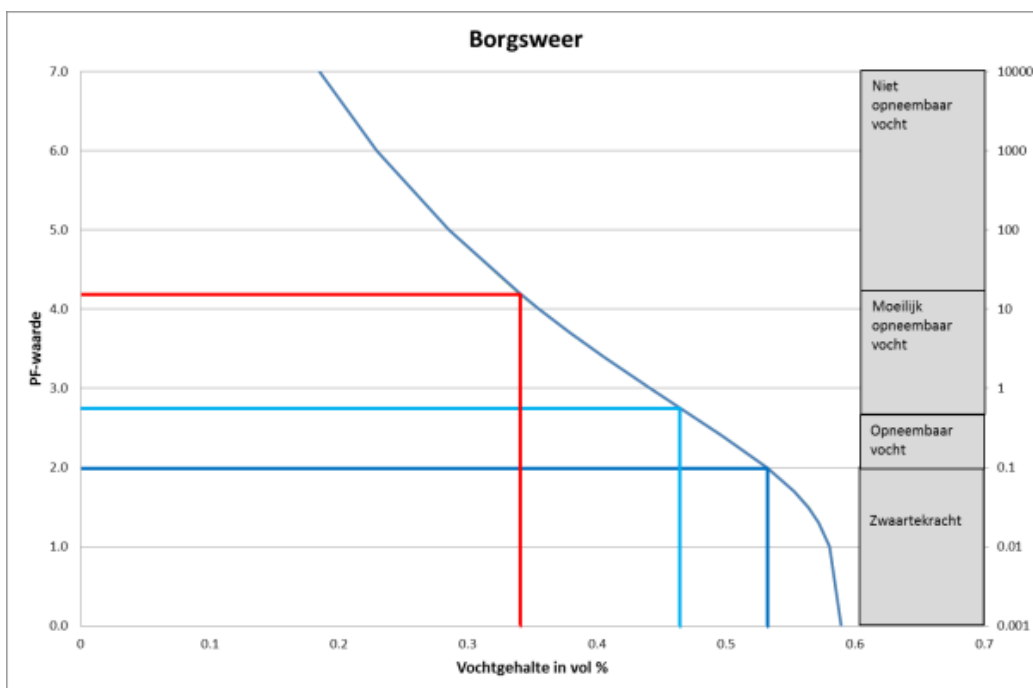
1.2 Theorie van bodemvocht

In de onverzadigde zone is water gebonden in de poriën tussen de korrels in de bodem, wat betekent dat een zekere onderdruk overwonnen moet worden voor de plantenwortel water uit de poriën op kan nemen om dit naar het blad te transporteren. Deze onderdruk wordt ook wel de vochtspanning genoemd en is laag bij een natte bodem en daalt bij toenemende uitdroging van de bodem. Gangbare eenheden om de druk in uit te drukken zijn Pascal, bar en cm waterkolom. Omdat de bodemvochtspanning (ofwel matrix potentiaal Ψ_m) in de bodem een groot bereik kan hebben (tussen de -0,1 en -32.000 kPa luchtdroog) wordt deze uitgedrukt in een pF-waarde die gelijk is aan de $^{10}\text{Log}(|\Psi_m|)$ is, waarbij Ψ_m in cm waterkolom is uitgedrukt. De omzetting van verschillende gangbare drukeenheden naar pF-waarden is gegeven in Tabel 1.

Tabel 1. De onderdruk in de bodem uitgedrukt in verschillende drukeenheden en als pF-waarde.

Drukeenheden			pF-waarde
[kPa]	[bar]	[cm waterkolom]	[$^{10}\text{log}(\text{cm})$]
-0.1	-0,001	-1	0
-1	-0,01	-10	1
-10	-0,1	-100	2
-100	-1	-1000	3
-1.000	-10	-10000	4
-10.000	-100	-100000	5
-100.000	-1000	-1.000.000	6

In het *makkelijk opneembare bereik* voor de plant varieert de vochtspanning waarmee het water in de poriën vastgehouden wordt in het algemeen van -10 kPa tot -50 kPa ($2.0 < \text{pF} < 2.7$), met kleine verschillen tussen gewassen. Indien de bodem te vochtig is (vochtspanning > -10 kPa, $\text{pF} < 2$) ontstaan er problemen met de zuurstofopname van de wortels, wat nadelige gevolgen voor de groei heeft en tot natschade kan leiden. In het drogere *moeilijk opneembare bereik* (vochtspanning $< h < -50$ kPa, $\text{pF} > 2,7$) wordt de gewasgroei vertraagd en ontstaat er droogteschade. Indien de droogte doorzet verwelkt de plant uiteindelijk bij een vochtspanning van < -1600 kPa, $\text{pF} > 4,2$). De curve die de relatie tussen het bodemvochtgehalte en de vochtspanning bepaald wordt een vochtretentiecurve, of pF curve genoemd (Figuur 1).



Figuur 1. Voorbeeld van een vochtretentiecurve waarin de verschillende bereiken aangeven zijn voor vochtopname van de plant en waarin drainage onder zwaartekracht plaatsvindt.

De fractie van de bodem die op een zeker tijdstip gevuld is met water, uitgedrukt als m^3 water per m^3 bodem, wordt het volumetrisch vochtgehalte θ genoemd. Bij verzadiging van de bodem is θ gelijk aan de porositeit van de bodem, en het volumetrisch vochtgehalte neemt af naarmate de bodem uitdroogt en de pF-waarde stijgt. Het volumetrisch bodemvochtgehalte en de vochtspanning in de bodem zijn dus aan elkaar gerelateerd, en deze relatie wordt weergegeven in de bodemvochtretentiecurve. Deze curves zijn verschillend voor verschillende bodemtypes en hangen af van de textuur van de bodem en de hoeveelheid organisch materiaal in de bodem. Omdat het volumetrisch bodemvochtgehalte eenvoudiger te meten is dan de vochtspanning worden pF-curves gebruikt om de vochtspanning bij een bepaald volumetrisch vochtgehalte in de bodem te bepalen.

1.3 Druppelirrigatie

Druppelirrigatie is een techniek waarbij water dicht bij de wortels in de bodem gebracht wordt via druppelslangen met ventielen. Irrigatie heeft als doel het bodemvocht, uitgedrukt in vochtspanning (h , pF) of volumetrisch vochtgehalte (θ) op een niveau te houden, waarbij de plant maximaal water op kan nemen. Hiervoor dient in drogere perioden, wanneer de bodem teveel uitdroogt, water gegeven te worden zodat het bodemvochtgehalte in het optimale bereik voor het gewas blijft. Dit kan op twee manieren, nl. zeer regelmatig een geringe hoeveelheid water toedienen zodat de vocht status nauwelijks varieert, of de bodem tot een punt laten uitdrogen, waarna voldoende water wordt gegeven om de bodem weer op veldcapaciteit te brengen.

2 Model voor het bepalen van watergift

2.1 Inleiding

In veel gevallen wordt de expertise van de teler gebruikt om visueel te bepalen wanneer watergift nodig is. In het geval de gift gebeurt met een waterkanon wordt er ongeveer 15 mm

water opgebracht, zodat er voor 3-4 dagen voldoende water gegeven wordt. Als druppelirrigatie gebruikt wordt, in combinatie met monitoring van het bodemvocht in de wortelzone kan een meer precieze vorm van irrigatie gebruikt worden, waarbij rekening gehouden wordt met de vochttoestand en waarbij voorspellingen van verdamping en neerslag gebruikt kunnen worden om beslissingen te nemen over giften in de nabije toekomst. Om dit te bereiken is een model ontwikkeld om de behoefte aan irrigatie te voorspellen.

2.2 Watergiftmodel op basis van vochtspanning

Voor elk gewas is er een bereik van vochtspanning $h_{nat} - h_{droog}$ waarin de bodem gemakkelijk opneembaar vocht bevat. Indien $h > h_{nat}$ is de bodem te nat en zou irrigatie schadelijk kunnen zijn. Droogteschade ontstaat indien $h < h_{droog}$. Zolang de vochtspanning h in de bodem na neerslag of irrigatie onder een bepaalde kritieke waarde h_c in het bereik $h_{nat} < h_c < h_{droog}$ ligt is watergift via irrigatie niet nodig. Uit een tijdserie van dagelijkse metingen van de vochtspanning h kan over een bepaald tijdsinterval bepaald worden wat de maximale dagelijkse verandering in vochtspanning Δh_{max} is op een droge dag. Hieruit kan h_c bepaald worden volgens $h_c = h_{droog} + \Delta h_{max}$. Indien h_c bereikt wordt is er dus zeker nog een reserve aan vocht in de bodem aanwezig voor een droge dag met maximale onttrekking door evapotranspiratie. Op deze wijze is er altijd sprake van een veiligheidsmarge van minimaal 1 dag waarin er voldoende water voor het gewas in de bodem aanwezig is. Dit geeft tevens ruimte om bijvoorbeeld eventuele problemen met het irrigatiesysteem op te lossen.

Of er water gegeven dient te worden als h_c bereikt is, is afhankelijk van de neerslagverwachting voor de volgende dag. Indien neerslag P boven een drempelwaarde P_{min} die voldoende is om de verdamping te compenseren verwacht wordt voor de volgende dag, hoeft er niet geïrrigeerd te worden. Indien neerslag de volgende dag echter onder P_{min} blijft zal h onder h_c dalen en wordt er irrigatie ingezet met een watergift gelijk aan de actuele gewasverdamping van de dag ervoor. Dit zorgt voor een stijging van h tot een waarde boven h_c .

Indien tijdens de irrigatie neerslag boven een bepaalde drempelwaarde P_s gemeten wordt kan irrigatie afgebroken worden. Deze drempelwaarde P_s is een factor f_i hoger dan de voorspelde verdamping op de dag van watergift (ET) om interceptieverliezen te compenseren, en daalt naarmate de watergift Q gevorderd is: $P_s = f_i * (Q - P)$.

Een verwachting in de verandering in h voor de volgende dag kan verkregen worden door een relatie te leggen tussen de waargenomen dagelijkse Δh waarden voor droge dagen en de berekende gewasverdamping op deze droge dagen. Eventueel kan dit voor droge dagen ook verder in de tijd doorgevoerd worden op basis van de relatie tussen ET en Δh zoals opgesteld voor droge dagen in het verleden.

Bij de hier voorgestelde aanpak wordt gebruik gemaakt van het vasthoudend vermogen van de bodem. In de wortelzone is uitgaande van veldcapaciteit altijd water voor meerdere dagen beschikbaar. Hierdoor is het mogelijk om een verdampte hoeveelheid water achteraf aan te vullen, waardoor het een water efficiënte methode is waarbij tevens rekening wordt gehouden met eventuele grondwateraanvulling via capillaire levering vanuit het grondwater.

2.3 Modelopbouw

Het ontwikkelde irrigatie model is geschreven in Python en bestaat uit verschillende functies:

- Een functie die op basis van het van Genuchten (1980) model een tabel maakt die de relatie tussen h , pF en θ beschrijft;
- Een zoekfunctie die bij een gemeten θ waarde de daarbij behorende pF waarde uit de tabel geeft, en *vice versa*;
- Een functie die op basis van bodemvochtmetingen in de wortelzone over een vastgesteld aantal dagen uit het verleden statistische informatie haalt over de verandering van de bodemvochttoestand en verdamping tijdens droogte en tijdens neerslag
- Een functie die op basis van de uitkomst van de vorige functie, metingen van de vochttoestand op de voorgaande dag en neerslagvoorspellingen een voorspelling levert over de waterbehoefte van het gewas voor een bepaald aantal dagen in de toekomst.

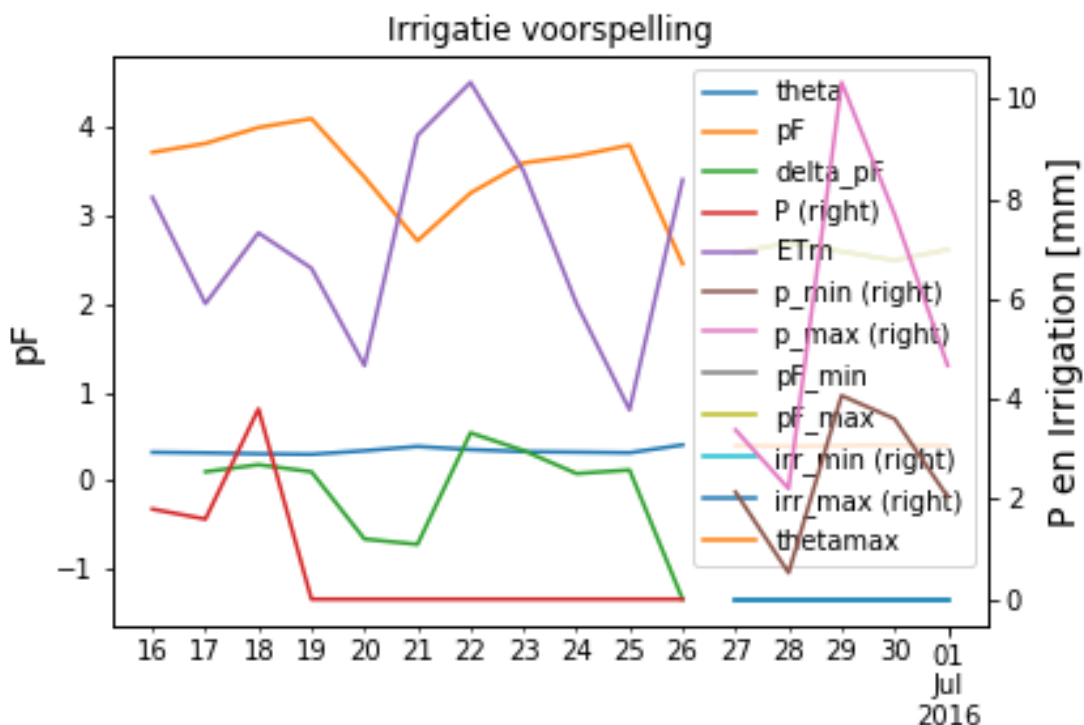
De voorspellingen van neerslag vertonen een grote onzekerheid. Om deze reden worden voorspellingen gemaakt voor wat er gegeven moet worden als er in de komende dagen de maximale voorspelde neerslag valt, de minimaal voorspelde neerslag, of als er geen neerslag valt. De volgende criteria worden gebruikt voor het voorspellen van de watergift onder verschillende neerslagcondities:

- Indien de vochtspanning (als pF) onder de kritische grens ligt, en ook blijft op de volgende dag, is er geen watergift nodig, ongeacht of er wel of geen neerslag voorspeld is, de vochtspanning stijgt met het gemiddelde over een aantal voorgaande droge dagen;
- Indien er op de huidige dag voldoende neerslag is gevallen om de verdamping van het gewas te compenseren, en de vochtspanning blijft lager dan de kritische waarde, dan is er geen watergift op de volgende dag nodig en daalt de vochtspanning in de bodem met het gemiddelde over een aantal voorgaande natte dagen;
- Indien de vochtspanning boven de kritische waarde stijgt, en er niet voldoende genoeg neerslag voorspeld is (na aftrek van verdamping), dan wordt er een watergift gegeven gelijk aan de verwachte dagelijkse verdamping voor het gewas, en daalt de vochtspanning in de bodem met het gemiddelde over een aantal voorgaande natte dagen;

De gemiddelde pF stijging tijdens droge perioden, en daling tijdens neerslag, wordt bepaald uit de meest recente periode voorafgaand aan de voorspelling. Hiervoor kan een terugkijkperiode van 10 dagen gebruikt worden. De gewasverdamping wordt bepaald door correctie van de Makkink verdamping (bron KNMI) met de gewasfactor voor het gewas.

Aangezien de vochtspanning moeilijk te meten is (tensiometers, Decagon MPS-6 sensor) wordt meestal bodemvocht gemeten. Om de vertaling van vochtgehalte θ naar pF te maken is een retentiecurve nodig, waarbij de van Genuchten parameters ingevoerd moeten worden. Verder bevat het model een aantal correctiefactoren.

Het model geeft nu als historische en toekomstige tijdseries bodemvocht, verdamping, watergift, pF enzovoort, zoals getoond in Figuur 2.



Figuur 2. Vijfdaagse voorspelling van de behoefte aan watergift door het model voor verschillende neerslagscenarios.

2.4 Benodigde gegevens

Voor het functioneren van bovenstaand beslissingsalgoritme zijn de volgende gegevens nodig: Één of meer representatieve metingen van de vochtspanning of bodemvocht op een diepte die de vochtstatus in de wortelzone goed weergeeft. De optimale diepte voor plaatsing van de sensor is afhankelijk van de plantensoort en de hiermee samenhangende diepte van de wortelzone en de diepte waar de meeste onttrekking uit plaatsvindt. De optimale diepte van plaatsing van de sensor in de bodem werd verkregen uit metingen van vochtspanningen op verschillende diepte in Borgsweer. Hieruit bleek dat een meting onder de rug, op een diepte van 30-40 cm een goede indicatie geeft voor de vochtbehoefte van pootaardappelen. De volgende tijdseries zijn nodig:

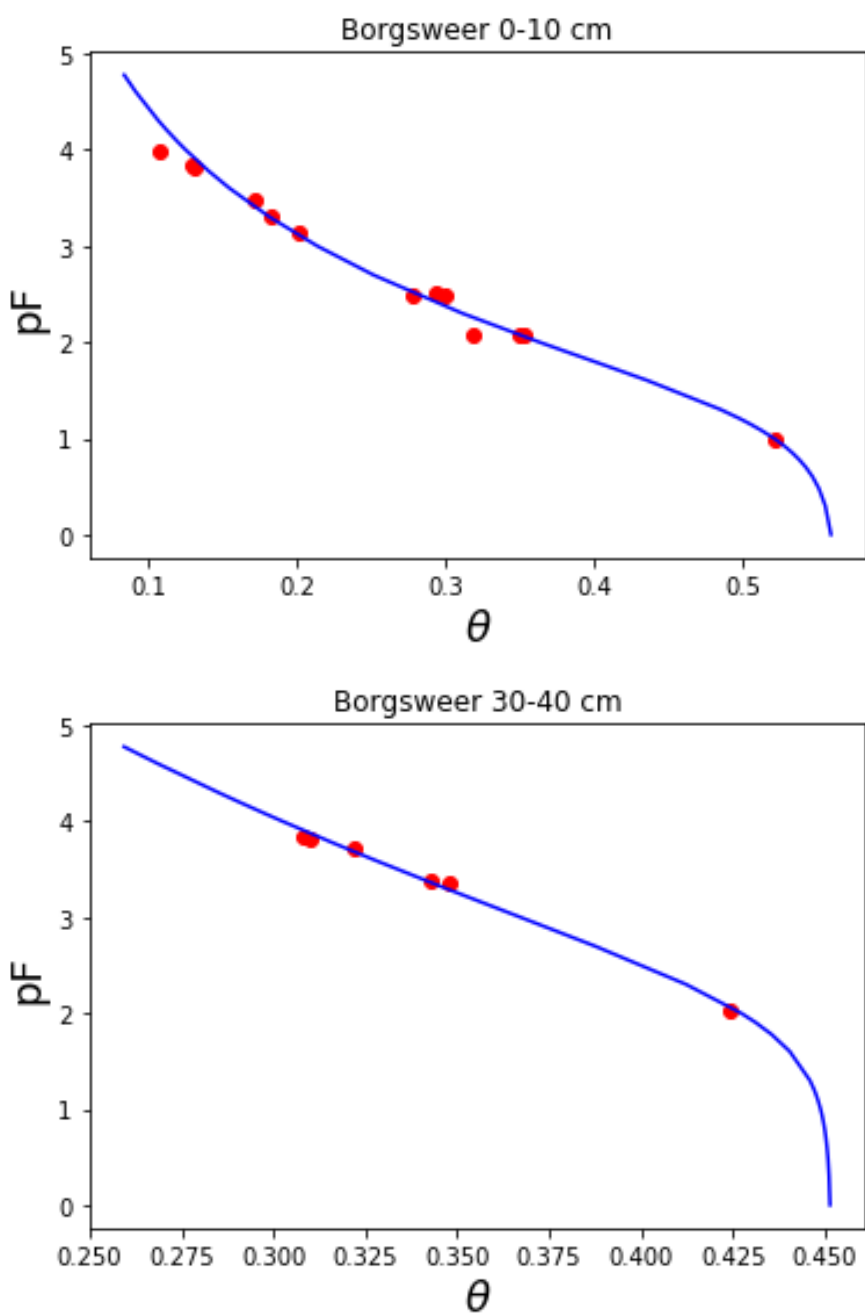
- 1) Tijdserie van bodemvocht in de wortelzone voor dag i tot dag $i-x$, waarbij x het aantal dagen vormt voor de statistiek op de historische gegevens;
- 2) Informatie over de gewasfactor voor dag i .
- 3) Informatie over de verdamping op dag i .
- 4) Voorspellingen van de minimum en maximum verwachte hoeveelheid neerslag en verdamping voor dag $i+y$, waarbij y het aantal dagen is dat er vooruit gekeken wordt;
- 5) Van Genuchten parameters θ_s , θ_r , α en n .
- 6) Waarden voor de irrigatiegift efficiëntie factor (1.0), factor voor de hoeveelheid watergift die nodig is om de pF te laten dalen (1.1), de kritische ondergrens waarboven neerslag bijdraagt aan het bodemvocht (1.5 mm), de kritische pF waarde waarboven stress optreedt (2.7 voor aardappelen) en een standaardwaarde voor de stijging van de pF op een droge dag (0.1).

Bodemvochtretentie Borgsweer

Voor het perceel in Borgsweer zijn bodemvochtretentie curves bepaald in het laboratorium van Acacia Water en zijn de van Genuchten parameters bepaald. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 2 en Figuur 3.

Tabel 2. Van Genuchten parameters voor de bodem in Borgsweer.

Laag	θ_s	θ_r	α	n
Borgsweer 0-10 cm	0.561	0.010	0.0553	1.2480
Borgsweer 30-40 cm	0.4517	0.0100	0.0100	1.0894



Figuur 3. Bodemvochtretentiecurves voor de lagen 0-10 cm (in rug) en 30-40 cm diepte (onder rug).

3 Referenties

M.T.A. van Genuchten, 1980. A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils¹. Soil Sci. Soc. Am. J. 44: 892-898.

Bijlage IV

Overzicht gewasopbrengst 2016-2018

Overzicht gewasopbrengst 2016-2018

Onderstaande tabellen geven een overzicht van de gewasopbrengst van pootaardappelen zoals deze op het proefperceel in Borgsweer is gerealiseerd.

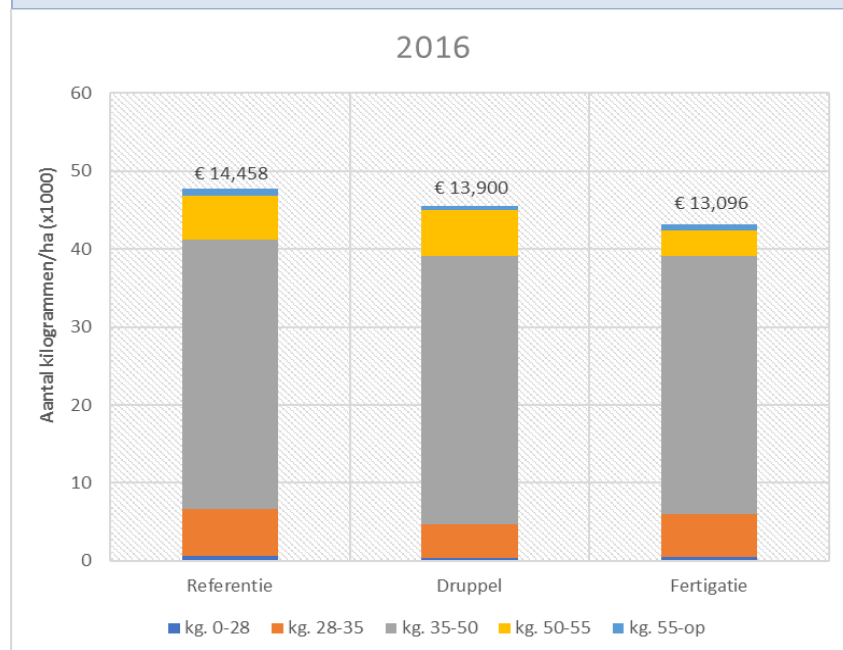
Opmerkingen:

- Moment van oogsten wordt bepaald op basis van grootte en groeisnelheid van de knol. Er moeten er zoveel mogelijk in de categorie 28-55 vallen
- Opbrengst is combinatie van knolgrootte, aantal kg en prijs (waarbij de laatste niet nog niet bekend is tijdens groeiseizoen)
- Moment van rooien hangt af van inschatting van bovenstaande factoren, planning van de teler en weeromstandigheden (als de bodem te nat is kan de agrariër het veld niet op). In 2017 is relatief laat gerooid omdat het veld nat was; in 2018 is laat gerooid omdat het planning technisch (Delphy) niet eerder kon. Hierdoor zijn veel knollen doorgroeid en te groot geworden
- Hoe homogener de grootte van de knollen des te preciezer het rooimoment bepaald kan worden
- Prijzen per kg zijn sterk verschillend per jaar, vooral voor knolmaat groter dan 55 (bijvoorbeeld in 2016 EUR0,02 en in 2018 0,25)

2016

Object	kg. 0-28	kg. 28-35	kg. 35-50	kg. 50-55
Referentie	679	5922	34599	5614
Druppel	426	4210	34537	5798
Fertigatie	507	5530	33040	3260

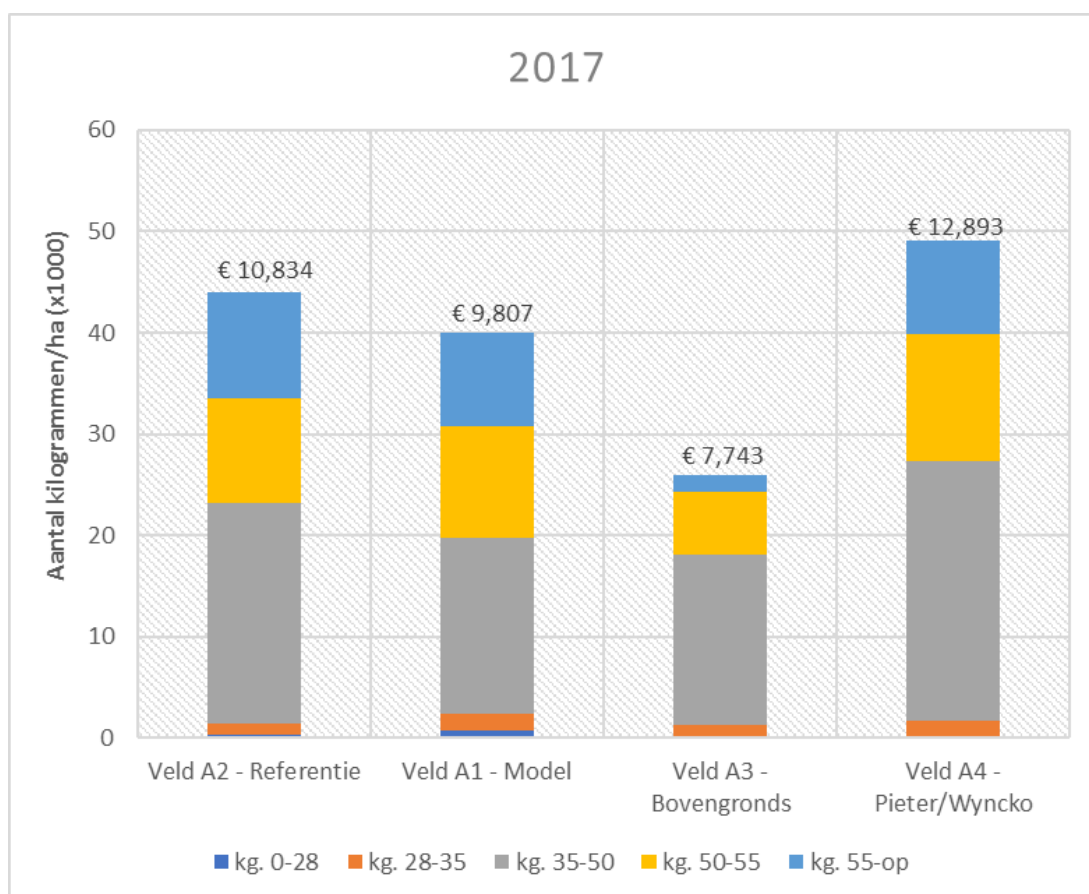
Object	0-28 (€0,00)	28-55 (€0,31)	55-op (€0,16)	Totaal (€)
Referentie	€ -	€14,302	€156	€14,458
Druppel	€ -	€13,809	€91	€13,900
Fertigatie	€ -	€12,967	€129	€13,096



2017

Object 2017	kg. 0-28	kg. 28-35	kg. 35-50	kg. 50-55
Veld A2 - Referentie	309	1063	21883	10253
Veld A1 - Model	703	1636	17408	11022
Veld A3 - Bovengronds	153	1153	16736	6198
Veld A4 - Pieter/Wyncko	145	1533	25658	12523

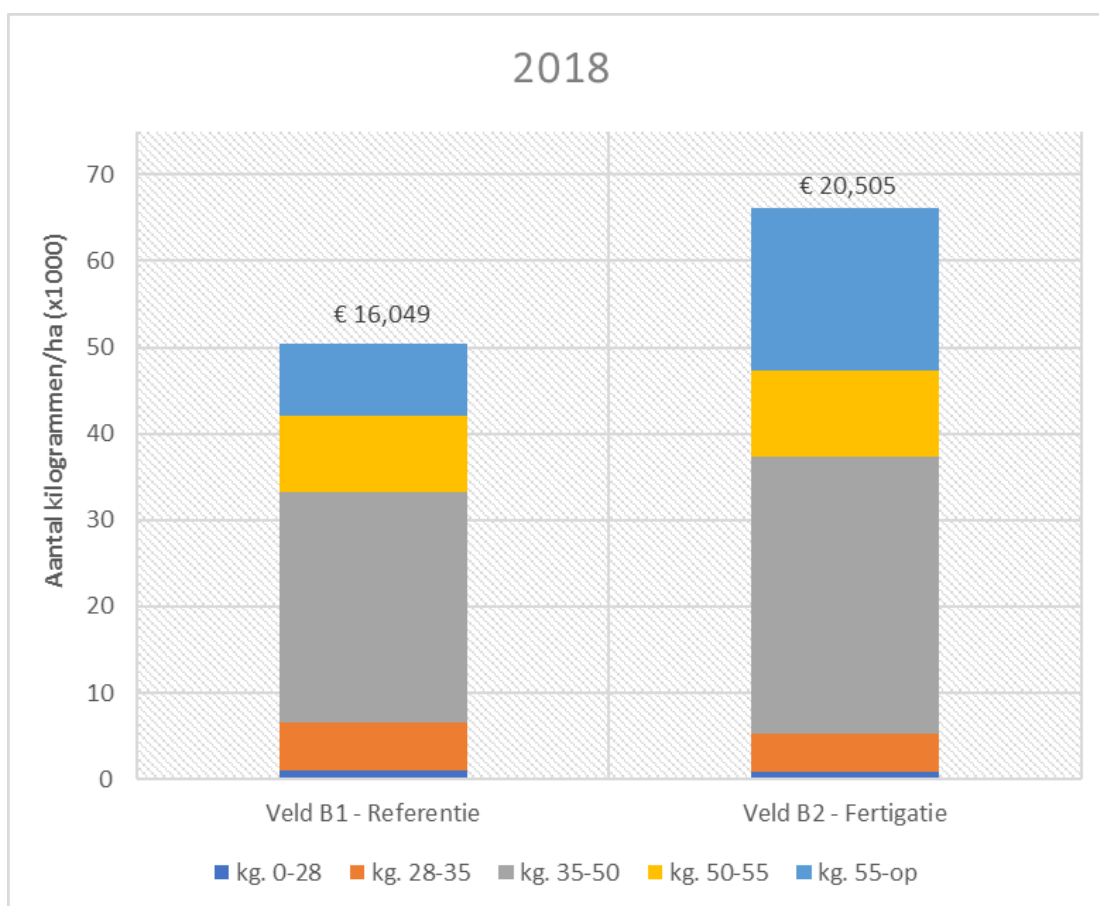
Object 2017	0-28 (€0,00)	28-55 (€0,32)	55-op (€0,02)	Totaal (€)
Veld A2 - Referentie	€ -	€10,624	€210	€10,834
Veld A1 - Model	€ -	€9,621	€186	€9,807
Veld A3 - Bovengronds	€ -	€7,708	€35	€7,743
Veld A4 - Pieter/Wyncko	€ -	€12,709	€184	€12,893



2018

Object 2018	kg. 0-28	kg. 28-35	kg. 35-50	kg. 50-55
Veld A2 - Referentie	956	5525	26756	8794
Veld A1 - Model	869	4319	32208	9883

Object 2018	0-28 (€0,00)	28-55 (€0,34)	55-op (€0,25)	Totaal (€)
Veld A2 - Referentie	€ -	€13,966	€2,084	€16,049
Veld A1 - Model	€ -	€15,780	€4,725	€20,505



Bijlage V

Bepalen watereffectiviteit op basis van de waterbalans per veld

Bepalen watereffectiviteit op basis van de waterbalans per veld

Om de watereffectiviteit van het ondergronds druppelirrigatiesysteem in Borgsweer te bepalen wordt de volgende formule gebruikt

$$\text{Watereffectiviteit} = \frac{\text{Gewasverdamping als restterm (ET)}}{\text{Toegevoerde hoeveelheid water (I + P)}} \cdot 100\%$$

De berekening van de verschillende termen in de waterbalans en in de formule van watereffectiviteit worden hieronder verder uitgelegd.

Hoeveelheid toegevoerd water

De regenval die is gebruikt voor de analyse is gemeten door de regenmeter die op het perceel in Borgsweer is gestationeerd. De nauwkeurigheid van gemeten regenval is gecontroleerd met de data van de KNMI-regenstations van Delfzijl en Nieuwolda en het KNMI-weerstation te Nieuw Beerta. De irrigatiegiften zijn afkomstig uit het irrigatielogboek van het irrigatiesysteem en kunnen op deze manier gesplitst worden voor de verschillende geïrrigeerde velden.

Hoeveelheid afgevoerd water of drainage

Gedurende het Spaarwater project wordt de hoeveelheid water dat van het veld wordt afgevoerd met behulp van de drains geregistreerd. Deze hoeveelheid bevat naast de afvoer van regenwater ook een eventueel teveel aan irrigatiewater. Om de afvoer van regenwater te scheiden van de afvoer van een teveel aan irrigatiewater zijn een aantal dag gegevens met elkaar vergeleken voor het seizoen 2017, namelijk:

- Totale drainafvoer en de hoeveelheid regenval op het perceel;
- Totale drainafvoer en de zoutwaarde van het afgevoerde water;
- Totale drainafvoer en de hoeveelheid toegevoerd irrigatiewater.

In het geval dat de drainafvoer wordt gedomineerd door regenwater zal de zoutwaarde van het afgevoerde water dalen. Op die manier kan bepaald worden of een afvoerpiek gerelateerd is aan regenval of aan een teveel aan irrigatiewater.

De volgende criteria zijn gebruikt om de drainafvoer op te splitsen in afvoer van overtollig regenwater en afvoer van overtollig irrigatiewater:

- Er is altijd een constante afvoer van 0.5 m³/d welke kan worden gezien als *baseflow*.
- In een periode waarin irrigatie plaatsvindt maar er geen regenval is, wordt alle afvoer boven 0.5 m³/d toegeschreven aan irrigatie.
- De afvoer die wordt toegeschreven aan irrigatie wordt gesplitst voor de verschillende percelen naar rato van totale irrigatiegift.
- Als er irrigatie plaats heeft gevonden op dag x en er vindt op dag $x+1$ ook irrigatie plaats, dan wordt de drainafvoer op dag $x+1$ altijd gecorrigeerd met 30% van de irrigatiehoeveelheid van dag x . Dit wordt gezien als zogenoemd 'doorlekken'.
- Als er irrigatie plaats heeft gevonden op dag x en er vindt geen irrigatie plaats op dag $x+1,2,3,...n$ dan wordt de drainafvoer op dag $x+1,2,3,...n$ altijd gecorrigeerd naar de rato op dag x van irrigatieafvoer tussen de verschillende percelen.
- Er kan nooit meer drainafvoer zijn dan dat er irrigatiewater wordt aangevoerd.
- Als er regenval gelijktijdig plaatsvindt met irrigatie wordt als volgt met de afvoer omgegaan:

- Wanneer de bodem op 20 cm diepte niet verzadigd is, wordt de bui opgeslagen in de bodem en vindt er geen extra regenafvoer plaats buiten de 0.5 m³/d baseflow. De afvoer boven 0.5 m³/d wordt toegeschreven aan irrigatie.
- Wanneer de bodem op 20 cm diepte verzadigd is, leidt alle irrigatie tot afvoer. Enige overige afvoer wordt toegeschreven aan regenval. Dit kan geverifieerd worden door te kijken naar de EC-waarden van de drainafvoer. Wanneer deze sterk daalt is er een groot aandeel van regenwater (lage-EC). In veel gevallen wordt een eerste grote bui in het zomerseizoen gebufferd, en leidt de tweede bui tot afvoer.
- De regenafvoer wordt uiteindelijk onderverdeeld naar rato van het perceeloppervlakte.

Hoeveelheid opgeslagen water

De hoeveelheid water dat gedurende het groeiseizoen in de bodem is opgeslagen dan wel opgenomen, wordt vaak aangeduid als de bergingsverandering. Het berekenen van de bergingsverandering is nodig om de waterbalans op te stellen voor de verschillende percelen. Met het opstellen van de waterbalans kan vervolgens de gewasverdamping berekend worden (zie volgende sectie). Om de bergingsverandering te bepalen is gedurende het seizoen het bodemvocht en de bodemvochtspanning gemeten op 10, 20 en 30 cm diepte en op slangdiepte (ca. 45 cm). De bergingsverandering wordt bepaald als het verschil tussen het bodemvocht in de wortelzone aan het einde van de meetperiode en het bodemvocht in de wortelzone aan het begin van de meetperiode. Een positieve bergingsverandering betekent dat gedurende de meetperiode water is opgeslagen in de bodem, terwijl een negatieve bergingsverandering betekent dat er water uit de bodem is onttrokken (door het gewas) of is afgevoerd.

Gewasverdamping

Het KNMI publiceert dagelijkse Makkink gewasverdampingswaarden voor alle weerstations in Nederland. Met behulp van een gewasfactor kunnen deze waarden gecorrigeerd worden voor een specifiek gewas (in dit geval pootaardappelen). De gewasfactoren voor aardappelen zijn verkregen vanuit het Cultuurtechnisch Vademecum (Vereniging voor Landinrichting, 2000, p. 158). De gecorrigeerde waarde voor de gewasverdamping komt overeen met de actuele gewasverdamping in een situatie waarin de omstandigheden zoals water- en nutriëntenbeschikbaarheid optimaal is. Wanneer er echter sprake is van bijvoorbeeld waterstress moet de gewasverdamping gecorrigeerd worden met een zogeheten gewasstressfactor.

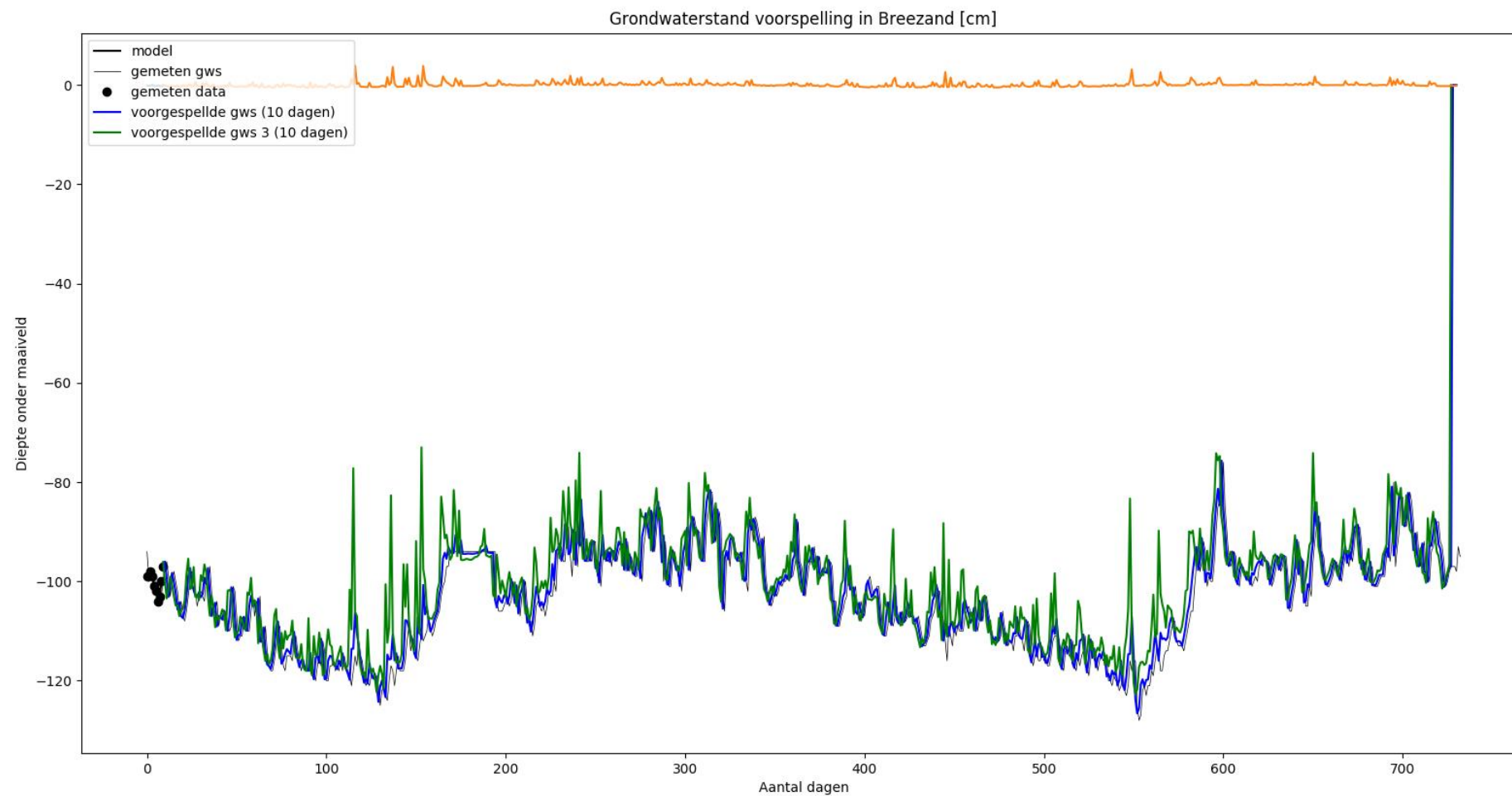
In het geval van Borgsweer kunnen we echter moeilijk bepalen of er sprake is geweest van waterstress. Om toch inzicht te krijgen in de hoeveelheid water dat ten deel is gevallen aan gewasverdamping, kan de gewasverdamping bepaald worden als restterm van de waterbalans. In deze waterbalans is aangenomen dat de term van oppervlakkige afstroming (R) verwaarloosbaar klein is. Dit is ook geconstateerd tijdens veldwerkdagen waarbij significante regenval plaatsvond. De uitkomst van onderstaande vergelijking vormt de gewasverdamping die gebruikt wordt in de watereffectiviteit analyse.

$$\begin{aligned} & \text{Gewasverdamping (ET)} \\ &= \text{Irrigatie (I)} + \text{Regenval (P)} - \text{Drainage (D)} - \text{Oppervlakkige Afstroming (R)} \\ & - \text{Bergingsverandering (\Delta S)} \end{aligned}$$

Bijlage VI

Grondwaterstandvoorspelling Breezand 1 en 3 dagen vooruit

Grondwaterstandvoorspelling Breezand 1 en 3 dagen vooruit



Bijlage VII

Bemesting Breezand en Borgsweer

Bemesting Breezand en Borgsweer

Table 1. Overview of added fertilizers in Breezand in the reference field in 2016

		Total (kg/ha)	N	P	K	Mg	S	Ca
29-2-2016	Kieseriet	200				32.56	44	
22-4-2016	Patentkali	300			37.4	18.09	51	
4-5-2016	Sporumix B	200				30.15		
4-5-2016	Top mix lelie	350	17.5	8.64	19.6			
4-5-2016	Ferto-Gips	600					162.7	128.64
19-5-2016	Patentkali	300			37.4	18.09	51	
19-5-2016	Kalkammon-salpeter	150	40.5			3.62		
15-6-2016	Multi-K Mg	150	18		26.1	1.81		
29-6-2016	EPSO Top (bitterzout)	125				12.06	16.25	
26-7-2016	EPSO Top (bitterzout)	125				12.06	16.25	
27-7-2016	Kaliumfosfiet	60		3.93	5.0			
5-8-2016	Unika Calcium	200	28		19.9			17.15
	Total (kg/ha)		104	12.57	145.4	128.45	341.2	145.80

Table 2. Dates of fertigation and the respective cumulative fertigation gift Breezand 2016

Cumulative fertilizer gift (kg/ha)				
Fertigation (#)	Date	N (total)	Ca	Mg
1	5 July	12.9	7.5	1.6
2	15 July	25.8	15.0	3.3
3	22 July	38.7	22.5	4.9
4	29 July	51.6	30.0	6.5
5	4 August	64.5	37.5	8.1
6	15 August	77.4	45.0	9.8
7	30 August	90.3	52.5	11.4

Tabel 13. Samenstelling van de meststoffen en de toegepaste hoeveelheden t.b.v. de pootaardappelen op het referentieperceel in Borgsweer in 2017

Mest	Samenstelling	Groeiseizoen 2017
NPTS	24% N, 10% P	250 L
KALI	60% K	150 Kg
KAS	6% CaCO ₃ , 27% N in NH ₄ NO ₃	150Kg

Table 14. Bemesting schema in het groeiseizoen in 2018

		16-mei	5-jun	11-jun	15-jun	16-jun	19-jun	22-jun	3-jul
Referentie	NPTS (L/HA)	250							
	KAS								
	N (kg als NPTS)			8		8		9	
	KALI								
Proef	NPTS (0.5 gift) L/ha	125							
	CNK (L)				35		35	20	10
	PK (L)		100		100				

Tabel 15. Samenstelling bemesting Borgsweer 2018

referentie				proef		
		N	P		N	P
	gegeven	kg/ha	kg/ha	gegeven	kg/ha	kg/ha
NPTS	250 L +25 kg N	115	13.3	125.0	45.0	5.2
PK (L)				200	9.4	2.6
CNK (L)				100	3.9	
Totaal		115	13.3		58.3	7.9

Bijlage VIII
Uitspoeling van
gewasbeschermingsmiddelen

Uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen

Onderstaande tabel geeft voor 2017 het percentage monsters veld- en drainmonsters waarin een specifiek gewasbeschermingsmiddel is gevonden, de maximum gemeten waarden in het veld en in de drains, en het jaar waarin de beschermingsmiddelen voor het laatst zijn opgebracht. NB: het niet meten van een bepaalde stof betekent niet per se dat deze niet aanwezig is, het kan zijn dat deze alleen concentratie lager is dan de detectielimiet.

Stof	Veld (12 monsters)	Veld max waarde (µg/l)	Drains (9 monsters)	Drains max waarde (µg/l)	Opgebracht- volgens spuitplan
bentazon	100%	0.59	100%	0.27	
cycloxdim	83%	1.70	89%	1.30	
methoxyfenozone	83%	0.04	89%	0.08	2015
carbendazim	75%	0.14	78%	0.15	
HTI	50%	0.50	67%	0.51	
flutolanil	42%	0.06	44%	0.23	2015
chloridazon	75%	0.08	89%	0.05	2016
fluopyram	25%	0.03	67%	0.30	2016
pirimicarb	42%	0.06	56%	0.04	
boscalid	83%	1.10	0%	0.00	2016
azoxystrobin	83%	0.07	11%	0.01	
anthranile zuur iso-propylamide	33%	0.02	56%	0.02	
pirimicarb-desmethyl	33%	0.04	44%	0.02	
procimidon	0%	0.00	33%	0.05	
diethyltoluamide (DEET)	58%	0.58	0%	0.00	
MCPA	58%	0.17	0%	0.00	2015
desphenyl-chloridazon	0%	0.00	11%	10.00	
pendimethalin	0%	0.00	0%	0.00	2016
dimethenamide	0%	0.00	0%	0.00	
ethyleenthiourea (ETU)	0%	0.00	22%	0.20	
metamitron	17%	0.05	0%	0.00	2016
pyraclostrobin	0%	0.00	11%	0.02	2016
4-CPA	0%	0.00	0%	0.00	
chloorprofam	0%	0.00	0%	0.00	2015
metolachloor	0%	0.00	0%	0.00	
benzofenon	8%	0.18	0%	0.00	
foramsulfuron	0%	0.00	0%	0.00	
fosthiazaat	0%	0.00	0%	0.00	
lenacil	0%	0.00	0%	0.00	2015
linuron	0%	0.00	0%	0.00	
methiocarb	0%	0.00	0%	0.00	
prothioconazole-desthio	0%	0.00	0%	0.00	
thiacloprid	0%	0.00	0%	0.00	2016
glyfosaat	0%	0.00	11%	0.50	2015
chloormequat	0%	0.00	0%	0.00	

Stof	Veld (12 monsters)	Veld max waarde (µg/l)	Drains (9 monsters)	Drains max waarde (µg/l)	Opgebracht- volgens spuitplan
diquat	0%	0.00	0%	0.00	
cyhalothrin (lambda)	0%	0.00	0%	0.00	
fenvaleraat	0%	0.00	0%	0.00	
prosulfocarb	0%	0.00	0%	0.00	2015
pirimifos-methyl	0%	0.00	0%	0.00	2015
tolclofos-methyl	0%	0.00	0%	0.00	
prochloraz	0%	0.00	0%	0.00	2015
tebuconazool	0%	0.00	0%	0.00	
metalaxyl	0%	0.00	0%	0.00	2015
acetamiprid	0%	0.00	0%	0.00	2016
carbofuran	0%	0.00	0%	0.00	
fenamidone	0%	0.00	0%	0.00	2016
flonicamid	0%	0.00	0%	0.00	2016
fluazinam	0%	0.00	0%	0.00	2015
imidacloprid	0%	0.00	0%	0.00	2015
iprodion	0%	0.00	0%	0.00	2016
kresoxim-methyl	0%	0.00	0%	0.00	2015
oxamyl	0%	0.00	0%	0.00	2015
pencycuron	0%	0.00	0%	0.00	2015
thiofanaat-methyl	0%	0.00	0%	0.00	2015
trifloxystrobin	0%	0.00	0%	0.00	2016
glufosinaat	0%	0.00	0%	0.00	



Acacia Institute
Van Hogendorpplein 4
2805 BM Gouda

Telefoon: 0182 – 686424
Internet: www.spaarwater.com
Email: info@acaciainstitute.nl

Zuinig met Zoetwater