

31 dec 2020



Europees landbouwfonds voor plattelandontwikkeling

Europa investeert in zijn platteland



# DeltaDrip

Efficiënter omgaan met water voor duurzame klimaatbestendige landbouw in Zeeland

Eindrapport





## Samenvatting

---

In DeltaDrip is onderzocht of met druppelirrigatie, als alternatief voor de traditionele haspelberegening, efficiënter omgegaan kan worden met het spaarse water en of nutriënten kunnen worden bespaard om de oppervlakteewaterkwaliteit te verbeteren. Om dit te testen is een proefveld bij Maatschap Waverijn te Philippine ingericht.

Aan de hand van de uitgevoerde metingen op de proefvakken kan worden geconcludeerd dat druppelirrigatie een aantal voordelen heeft ten opzichte van haspelberegening op het gebied van watereffectiviteit. Er gaat minder water verloren door verdamping, waardoor de watereffectiviteit van druppelirrigatie substantieel hoger is dan die van haspelberegening.

Het gebruik van druppelirrigatie leidt tot hogere gewasbaten ten opzichte van haspelberegening. De gemiddelde monetaire opbrengsten zijn €232 tot €1.198 per hectare hoger. Daarnaast kan er met druppelirrigatie ook bij droge jaren leveringszekerheid worden gegeven, uitgaande van een leveringsgrens van 45 ton ha<sup>-1</sup> consumptieaardappelen.

De totale jaarlijkse kosten per hectare komen voor druppelirrigatie lager uit dan voor haspelberegening. De kosten zijn berekend op basis van vaste en variabele kosten, waarbij €156 tot €919 per hectare bespaard kan worden.

---

## Colofon

---

Documenttitel	. DeltaDrip
Opdrachtgever	. Provincie Zeeland en RVO
Verantwoordelijke bij opdrachtgever	. Vincent Klap (prov. Zeeland)
Status	. Eindrapport
Datum	. 31 december 2020
Projectnummer	. 180899
Projectteam	. Anouk Geveart, Tine te Winkel, Simon van Meijeren, Maarten J. Waterloo, Irthe Noordegraaf, Beatriz de La Loma González, Kyra Hu-a-ng, Perry Mooij, Sabine Verhagen (Acacia Water), Marleen Zanen, Mieke van Opheusden, Dennis Heupink (LBI), Arie Jan Broere (Broere Beregening), Pierre Cammaert (Delphy), Johan Elshof (ZLTO), Marco & José Waverijn (Maatschap Waverijn)
Collegiale toetsing door	. Arjen Roelandse
Vrijgegeven door	. Jouke Velstra

---

# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding .....</b>	<b>1</b>
1.1	Inleiding .....	1
1.2	Urgentie voor water en akkerbouw in Zeeland .....	1
<b>2</b>	<b>Hydrologische context.....</b>	<b>3</b>
2.1	Hydrologische situatie.....	3
2.2	Verziltting .....	4
2.3	Autonome ontwikkelingen .....	5
2.4	Conclusie.....	6
<b>3</b>	<b>Doel en opzet .....</b>	<b>8</b>
3.1	Doel .....	8
3.2	Inrichting proefpercelen .....	8
3.3	Bodemeigenschappen en grondbewerking.....	9
3.4	Spuihaspelberekening en druppelirrigatie.....	12
3.5	Monitoren van water en nutriënten.....	13
<b>4</b>	<b>Beslissingondersteunend model voor irrigatie .....</b>	<b>16</b>
<b>5</b>	<b>Effectief met zoetwater .....</b>	<b>19</b>
5.1	Inleiding .....	19
5.2	Watereffectiviteit .....	19
5.3	Haspel- versus druppelirrigatie.....	25
5.4	Dieppercolatie en aanvulling van grondwater.....	26
5.5	Waterbesparing.....	29
5.6	Verspreiding van berekening over het perceel (uniformiteit) .....	32
5.7	Effect op zoetwatervoorraad kreekruig (verziltting) .....	34
5.8	Conclusies.....	35
<b>6</b>	<b>Efficiënt met nutriënten .....</b>	<b>37</b>
6.1	Inleiding .....	37
6.2	Flexibiliteit en vermindering van uitspoeling.....	37
6.3	Mestgebruik.....	38
6.4	Uitspoeling van nutriënten.....	38
6.5	Conclusies.....	42
<b>7</b>	<b>Bodembaten .....</b>	<b>43</b>
7.1	Inleiding .....	43

7.2	Verdichting .....	43
7.3	Erosiegevoeligheid.....	44
7.4	Conclusies.....	45
<b>8</b>	<b>Baten .....</b>	<b>46</b>
8.1	Inleiding .....	46
8.2	Gewasopbrengst .....	46
8.3	Wettelijk toegestane onttrekkingshoeveelheid en akkerbouw.....	46
8.4	Invloed op gewasopbrengst.....	47
8.5	Arbeidsintensiteit en kosten.....	50
8.6	Leveringszekerheid .....	51
8.7	Druppelirrigatie als toekomstbestendig irrigatiesysteem.....	51
8.8	Conclusie.....	51
<b>9</b>	<b>Kosten.....</b>	<b>53</b>
9.1	Inleiding .....	53
9.2	Kosten haspelberekening.....	53
9.3	Kosten druppelirrigatie.....	53
9.4	Conclusie.....	54
<b>10</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen .....</b>	<b>55</b>
10.1	Inleiding .....	55
10.2	Conclusies.....	55
10.3	Aanbevelingen.....	57
<b>11</b>	<b>Referenties .....</b>	<b>59</b>

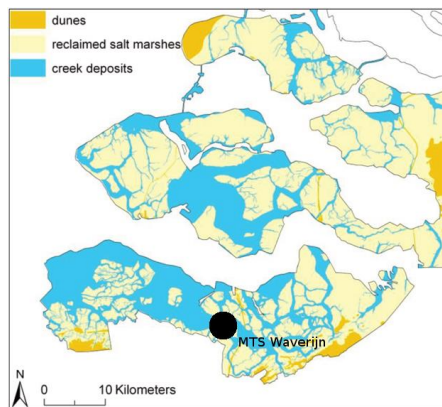
# 1

## Inleiding

### 1.1 Inleiding

Het diepere grondwater in Zeeland en andere kustprovincies van Nederland is brak of zout. De akkerbouw in Zeeland is derhalve grotendeels afhankelijk van infiltratie van regenwater of, indien aanwezig, van zoetwatervoorraden in de kreekruigen (zie Figuur 1). Als de boeren te veel grondwater onttrekken voor beregening is de kans op verzilting van het schaarse zoete grondwater groot.

In het kader van de bedrijfsvoering, de regionale economie en de voedselvoorziening is water een waardevolle productiefactor. De lokale hydrologische omstandigheden in combinatie met steeds droger wordende zomers maken dat het belangrijk is zorgvuldig met de zoetwatervoorraden om te gaan.



Figuur 1. Verspreiding kreekruigen (blauw) in Zeeland, zwarte punt is de proeflocatie.

DeltaDrip onderzoekt de toepassing van druppelirrigatie als alternatief voor de traditionele haspelberegening. In het project wordt onderzocht of het mogelijk is om zowel water als nutriënten te besparen en de uitstroom van nutriënten naar het oppervlaktewater te beperken middels het gebruik van druppelirrigatie en fertigatie. Om dit te testen is een proefveld bij Maatschap Waverij te Philippine ingericht. Aan de hand van de resultaten van de proeven uitgevoerd op dit agrarisch bedrijf worden de volgende deelvragen beantwoordt:

1. Is met gebruik van druppelirrigatie efficiënter watergebruik mogelijk ten opzichte van haspelberegening?
2. Wat zijn de voordelen van een efficiëntere bemesting via druppelirrigatie?
3. Wat zijn de effecten van druppelirrigatie met betrekking tot de bodemstructuur?
4. Wat zijn de te realiseren gewasbaten met behulp van druppelirrigatie?
5. Wat is het kostenverschil tussen druppelirrigatie en haspelberegening?
6. Hoe verhouden de kosten en de opbrengsten van druppelirrigatie zich tot elkaar?

Op de webpagina <https://deltadrip.nl/> zijn (tussen)resultaten van het project te vinden.

### 1.2 Urgentie voor water en akkerbouw in Zeeland

De akkerbouw in Zeeland is van groot belang voor de economische vitaliteit van de regio. In Zeeland is bijna 80% van de landbouwgrond bestemd voor de akkerbouw. Daarbij is de provincie koploper in het totaal areaal uien en aardappelen (CBS, 2020).

Naast het verbouwen van primaire landbouwgewassen heeft Zeeland een sterke infrastructuur voor voedselverwerking. Op deze bedrijven worden de primaire producten verwerkt voor de doorvoer plaatsvindt.

De agrarische sector is een beeldbepalende sector in Zeeland, waarbij de Agro & Food sector in zijn geheel goed is voor 15% van de Zeeuwse werkgelegenheid. Dat het verbouwen van primaire producten en de beperkte waterbeschikbaarheid op gespannen voet staan is in de zomers van 2018, 2019 en 2020 goed duidelijk geworden.

In 2018 kende Nederland een zeer droge zomer. Voor Zeeland was het uitblijven van neerslag funest voor de uienteelt. In vergelijking met het landelijk gemiddelde, is er in Zeeland 20 duizend kilo per hectare minder opbrengst behaald in 2018 (CBS, <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2019/05/relatief-lage-oogst-in-zeeland>, 2019). In 2019 werd de oogst minder hard getroffen door de droogte, maar het neerslagtekort was nog steeds hoog. Dit heeft eraan bijgedragen dat aanvulling van de zoetwatervoorraden in de ondergrond minimaal waren. In 2020 liep de waterschaarste in Zeeland voor het derde jaar op rij hoog op. Dit jaar zijn de agrarisch ondernemers eind mei overgegaan tot drastische maatregelen. Toen werden schepen met zoetwater naar de provincie gevaren om in de agrarische waterbehoefte te voorzien. Voor deze oplossing werden hoge prijzen betaald. In regionale en landelijke media zijn bedragen van € 1000 ha<sup>-1</sup> genoemd. Omgerekend was dit €5 m<sup>-3</sup>, waarmee een gift van 20 mm per hectare kon worden bereikt (PZC, 2020). Dit zijn hoge kosten, wat ertoe leidt dat de omzet en uiteindelijke winst binnen de bedrijven krimpt en de bestaanszekerheid doet afnemen.

De waterbeschikbaarheid in Zeeland staat in de huidige situatie al sterk onder druk. Klimaatverandering, verzilting en bodemdaling zullen deze trend de komende decennia versterken (Verstand, et al., 2020). De urgentie om waterbesparende maatregelen te ontwikkelen en hier als ondernemer vertrouwd mee te raken is groot.

## Schip vol water naar Noord-Beveland: boeren betalen 16 mille voor één 'buitje regen'

**VIDEO | WISSENKERKE** - De zeekei is kurkdroog en zoet water is schaars in Zeeland. Uit nood laten Noord-Bevelandse boeren zoet water per schip aanvoeren. Het kost akkerbouwer Jan Willem de Kater een lieve duist. „Ik heb geen keus. Als ik het niet doe, komen mijn plantuitjes niet boven.”

Frank Balkenende 28 mei 2020 Laatste update: 12:15



▲ Jan Scaen oemr ryp met zyp boot vol water aan de Vloedtunnen. © Marcolfo Cavallotti

# 2

## Hydrologische context

De huidige hydrologische situatie wordt bepaald door de geologische ontstaansgeschiedenis. Deze is in Zeeland in hoge mate bepaald door de relatieve zeespiegelveranderingen in de ijstijden in combinatie met getijden. Verder is de morfologische ontwikkeling in sterke mate beïnvloed door de grote rivieren; de Rijn, Maas, Waal en de Schelde.

Ook de mens heeft een belangrijke rol gespeeld bij de totstandkoming van Zeeland. Door het in- en aandijken van natuurlijk aangeslibde of opgevulde geulen, gestart in de 11<sup>e</sup> eeuw, is het huidige landschap ontstaan. Zeeland telt bijvoorbeeld veel kreekruggen die tot twee meter hoger liggen dan het omliggende land. De meer recent bedijkte gebieden zijn vlakker en hebben een vrij uniforme profielopbouw.

### 2.1 Hydrologische situatie

Bijna de gehele provincie Zeeland bestaat uit vrij ondiepe polders, doorsneden met hoger gelegen kreekruggen. Vrijwel elke polder kan door middel van gemalen of uitwateringssluizen direct op het buitenwater lozen. Zeeland kent daarom bijna geen boezemwateren. De hoogteverschillen zijn gering en momenteel bevindt het grootste deel van het maaiveld zich rondom N.A.P., met uitzondering van de hogergelegen duingebieden en de Pleistocene gronden.

Het watersysteem in Zeeland (Figuur 2) bestaat voor een belangrijk deel uit grond- en oppervlaktewater met hoge chlorideconcentraties (Figuur 3). De Noordzee en de Brabantse wal vormen de belangrijkste beïnvloedingsfactoren van het regionale grondwatersysteem.

1. De Brabantse Wal (Pleistoceen dekzand) vormt een infiltratiegebied door de hoge ligging en hoge doorlatendheid. Hierdoor is een vrij diep (40 tot 60 m-NAP) zoetwater systeem ontstaan. Grondwater stroomt richting de poldergebieden van Zeeland waar kwel optreedt. De kwel is het sterkst direct aan de voet van de zandgebieden, hier heeft het water ook de laagste chlorideconcentraties.
2. Vanuit de Noordzeekust richting de polders. De polders hebben een polderpeil dat lager ligt dan zeeniveau. Grondwater stroomt onder de duinen richting de polders waar het kwelt. De kwel is het sterks in de polders die het dichtst bij de kust liggen en die een laag polderpeil hebben.
3. Onder de duinen is een zoetwaterbel gevormd door neerslag en dichtheidsverschil met het zoute (zwaardere) grondwater (tot 60 m-NAP). Grondwaterstroming treedt op vanuit het duingebied richting de polders, waarbij water met een laag chlorideconcentratie kwelt in een zone die dicht tegen de duinen aanligt.
4. Onder kreekruggen zijn, vanwege hun relatief hoge ligging en doorlatendheid, zoete grondwaterbellen gevormd, die een dikte van 30 meter kunnen bereiken.





De polders die het dichtst bij de kust en/of het diepst liggen ervaren de hoogste kweldruk. Afgezien van de kreekruggen bevat het profiel van deze polders meestal tot het maaiveld grondwater met een hoog chloridegehalte. Neerslaglenzen zijn in deze percelen van vrij geringe dikte of afwezig. In deze poldergebieden heeft ook het oppervlaktewatersysteem hoge chlorideconcentraties.

Verder van de Noordzeekust neemt de kweldruk af. Omdat het slootpeil gemiddeld lager is dan het peil in de percelen, richt de zoute kwel zich voornamelijk op de sloten die hierdoor brak/zout worden. Daardoor kan zich een neerslaglens in de percelen ontwikkelen. Dit maakt het gebied geschikt voor landbouw.

In de polders die het meest naar de hoger gelegen Pleistocene zanden gelegen zijn, vindt ook kwel van zoet grondwater plaats.

## 2.3 Autonome ontwikkelingen

Zeespiegelstijging, bodemdaling en klimaatverandering hebben invloed op het oppervlakte- en grondwatersysteem, waardoor verzilting in de toekomst in de grootste delen van Zeeland verder toe zal nemen en zoete grondwatersystemen onder druk komen te staan.

### Zeespiegelstijging

Zeespiegelstijging zal erin resulteren dat de eerder beschreven kwel toeneemt. Dit betreft dan hoofdzakelijk zoute kwel gezien er voornamelijk grondwater met hoge concentraties in de ondergrond voorkomen. De kwel zal vermoedelijk het meest toenemen langs de kust, en sterk afnemen met de afstand tot de kust (Stuyt, 2006). Echter, omdat een zeespiegelstijging eveneens zal resulteren in het stijgen van het peil van de zeearmen die in open verbinding staan met de Noordzee, zal het effect langs al die kustgebieden merkbaar zijn.

Uit bovenstaande valt te concluderen dat het effect van zeespiegelstijging na ongeveer 1000 meter vanuit de kust uitgedempt is. In gebieden die binnen deze zone liggen maar die nu al brak tot zout zijn, zal naar verwachting nauwelijks extra verzilting optreden. Gebieden die nu net rond NAP liggen in de zone van 1000 m, en waarbij de doorlatendheid van de deklaag relatief groot is, hebben het grootste risico tot extra verzilting.

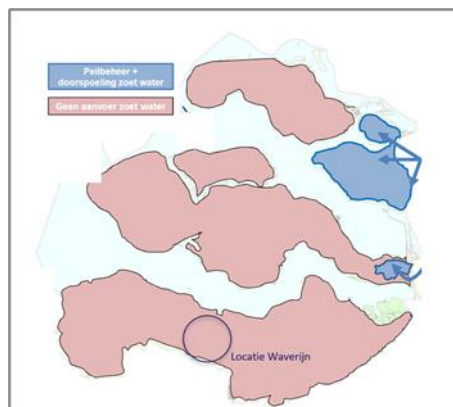
### Klimaatverandering

De effecten van klimaatverandering in Zeeland hebben betrekking op:

1. Neerslaglenzen in percelen in de poldergebieden. Naar verwachting zullen de neerslaglenzen in de percelen dunner worden. In grote delen van Zeeland is de dikte van de neerslaglenzen al vrij beperkt. De vergroting van het neerslagtekort gedurende de zomerperiode kan er toe leiden dat de neerslaglenzen dunner worden of zelfs verdwijnen, waardoor er hogere chlorideconcentratie tot ondieper in het perceel of tot aan maaiveld kan komen. Dit leidt tot zoutschade aan gewassen.

Lagere rivierafvoeren in droge perioden, wat er mogelijk toe zal leiden dat er minder water beschikbaar is voor doorspoelen. Naar verwachting zal tevens de kwaliteit van het doorspoelwater verslechteren. Gelet op Figuur 4, blijkt dat de beschikbaarheid van gebiedsvreemd water voor doorspoeling en verzoeting van het oppervlaktewatersysteem in Zeeland vrij gering is, zelfs tijdens een extreem nat jaar. Dit geldt ook voor de locatie van Maatschap Waverijn. Hieruit kan geconcludeerd worden dat het effect van een

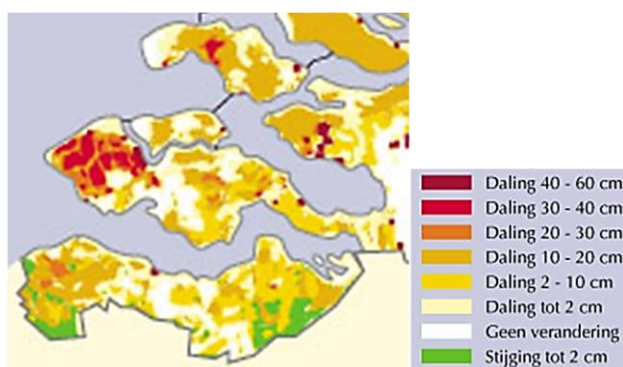
verminderde beschikbaarheid van doorspoelwater geen additionele problemen zal opleveren in de provincie Zeeland.



Figuur 4. Omvang van de zoetwaterproblematiek voor heel Zeeland en locatie van het proefgebied. In het rood aangegeven zijn de gebieden zonder externe wateraanvoer. Alleen de blauwe gebieden beschikken over externe wateraanvoer.

### Bodemdaling

Figuur 5 toont de voorspelde bodemdaling voor de provincie Zeeland. De oorzaak van bodemdaling is voornamelijk oxidatie van veenlagen en compactie als gevolg van ontwatering van percelen (deze is de afgelopen decennia zelfs flink toegenomen door de verbeterde ontwatering). Gebieden waar veen aan het oppervlak voorkomt zijn extra gevoelig voor bodemdaling. De bodemdaling concentreert zich naar verwachting hoofdzakelijk in poldergebieden die nu ook al laag liggen. Een maatregel om te zorgen dat de gebieden niet verder vernatten, is het verlagen van het polderpeil. Het effect van deze maatregel is naar verwachting dat er meer kwel zal plaatsvinden. Omdat er voornamelijk grondwater met hoge chlorideconcentraties in de bodem aanwezig is zal hierdoor de zoutbelasting in het oppervlaktewater en in de percelen toenemen.



Figuur 5. Verwachte bodemdaling en -stijging in Zeeland in 2050 t.o.v. de huidige situatie (Rougoor, Keuper, & Leendertse, 2017).

## 2.4 Conclusie

In vrijwel heel Zeeland heeft het grondwater op geringe diepte al hoge chlorideconcentraties, met uitzondering van de dat in duinen, kreekruigen en in Pleistocene zandgronden. Dit is gerelateerd and de ontstaansgeschiedenis waarbij de zee een grote rol heeft gespeeld en de sterke kwel die optreedt in de polders. De akkerbouw in Zeeland is hierdoor grotendeels afhankelijk van regenwaterberging in de bodem of, indien aanwezig, zoetwatervoorraden in kreekruigen. Als de boeren te veel grondwater onttrekken voor beregening is de kans op verzilting van het schaarse zoete water groot.

Om deze reden zijn er door het Waterschap restricties gelegd op de onttrekking van grondwater voor irrigatie. In het kader van de bedrijfsvoering, de regionale economie en de voedselvoorziening is water een waardevolle productiefactor. DeltaDrip onderzoekt een efficiënter alternatief voor de traditionele haspelberegening in de vorm van druppelirrigatie. In het project wordt onderzocht of het mogelijk is om water en nutriënten te besparen. In het project worden haspelberegening, bovengrondse en ondergrondse druppelirrigatie naast elkaar getest op een proefveld bij Maatschap Waverijn te Philippine in Zeeuws-Vlaanderen.

# 3

## Doel en opzet

### 3.1 Doel

Met het oog op klimaatverandering en toenemende verzilting richt het project DeltaDrip zich op het versterken van de duurzaamheid en robuustheid van de zoetwatersituatie voor de landbouw in Zeeland. Het project genereert kennis en ontwikkelt methodieken voor een zuiniger gebruik van het schaarser wordende zoete (grond)water, en de potentie om de nutriëntengift te verminderen om uitspoeling te beperken. In de afgelopen jaren zijn langere droge perioden voorgekomen die tot schade aan de landbouw hebben geleid en waardoor de tekorten aan water evident werden. Een kosten-baten analyse geeft inzicht in hoeverre de meerkosten van druppelirrigatie gecompenseerd kunnen worden door hogere gewasopbrengsten en positieve bijdragen kunnen leveren aan de zoetwaterbeschikbaarheid.

Aan de hand van de kennisontwikkeling en resultaten van het DeltaDrip project kunnen telers betere beslissingen maken over toepassing van nieuwe irrigatietechnieken die bijdragen aan zekerstelling van zoetwaterbronnen en verkleining van risico's op verzilting en daaraan gelieerde schade. Daarvoor is een proeflocatie in Zeeuws-Vlaanderen opgezet op een perceel van Maatschap Waverijn te Philippine.

In het project zijn de volgende vragen onderzocht:

- Wat is het verschil in efficiëntie tussen watergift met een spuithaspel, oppervlakkig aangelegde druppelslangen en ondergrondse druppelirrigatie waarbij de slangen onder de ploegdiepte zijn aangelegd;
- Treedt er bij druppelirrigatie lek van water op naar het grondwater;
- Is er sprake van verschil in nutriëntenuitspoeling tussen de technieken;
- Kan een beslissingsmodel gebruikt worden om de waterbehoefte van het gewas te voorspellen op basis van bodemvochtmetingen om de irrigatiegift te optimaliseren;
- Ontstaan er verschillen in de bodemstructuur bij toepassing van verschillende irrigatietechnieken;
- Leveren de diverse irrigatietechnieken bij een vaste jaarlijks beschikbare grondwaterhoeveelheid voor irrigatie verschillen in opbrengst op;
- Wat zijn de kosten en baten van de verschillende irrigatietechnieken.

### 3.2 Inrichting proefpercelen

Het doel van de proef is het onderzoeken van verschillende irrigatietechnieken voor wat betreft de efficiëntie van watergift en het voorkomen van uitspoeling van nutriënten naar het grond- en oppervlaktewater. Het onderzoek bouwt voort op eerder uitgevoerde onderzoeken zoals Spaarwater, waar voor het eerst in Nederland effecten van ondergrondse druppelirrigatie op vochtverdeling en opbrengst is onderzocht (Hulshof et al., 2019; Waterloo et al., 2016).



Om vergelijkingen te kunnen maken tussen verschillende irrigatietechnieken is het proefperceel verdeeld in vier objecten (Figuur 6). In het referentie proefvak is traditionele beregening (middels spuihaspel) en bemesting toegepast. In het druppelirrigatie proefvak zijn druppelslangen onder de bouwvoor aangelegd en is traditionele bemesting toegepast. Een derde proefvak is uitgerust met ondergrondse druppelslangen waarbij ook fertigatie, of toediening van meststoffen via de druppelslangen, mogelijk is. Het laatste proefvak is uitgerust met bovengrondse druppelslangen en maakt deel uit van het druppelirrigatieproefvak.

In de voorbereiding op het groeiseizoen van 2019 bleek de zoetwaterbron, die beoogd was water te leveren voor het druppelirrigatiesysteem, na de droge zomer van 2018 en beperkte aanvulling tijdens de daaropvolgende winter, brak water te geven. Deze bron kon derhalve niet gebruikt worden en hierdoor is tijdens het groeiseizoen gezocht naar andere zoetwaterbronnen om de

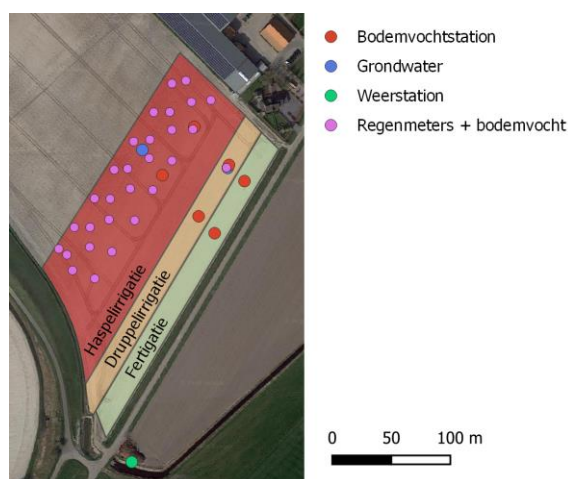
irrigatiesystemen van voldoende water te kunnen voorzien. In de tussentijd is gekozen om alle proefvakken te voorzien van water middels de spuihaspel. In

het groei-seizoen van 2020 zijn de druppelirrigatie-systemen in gebruik genomen met voeding vanuit een nieuw aangelegde bron in het perceel. Deze bron bestaat uit een combinatie van drie diepdrains aangelegd op een diepte van 6 m onder maaiveld en voedde zowel de spuihaspel als de druppelirrigatie installaties.

Op het proefperceel wordt een rotatieteelt toegepast van 1 op 5. De gewassen uit deze rotatie zijn niet van tevoren vastgelegd of identiek aan die in omliggende percelen. In 2016 werd op het perceel suikerbieten gecultiveerd. In de daaropvolgende jaren, 2017 en 2018, is er snijmais geteeld en in de winter van 2018 heeft er een groenbemester op het perceel gestaan. In 2019 werd op de proefvakken vanaf april aardappelen geteeld en op de rest van het perceel tarwe. Japanse haver werd in het najaar van 2019 als groenbemester gebruikt en in april 2020 werd het perceel ingezaaid voor de teelt van uien. Oogst van de gewassen vond plaats in augustus.

### 3.3 Bodemeigenschappen en grondbewerking

In het proefperceel werden twee bodemtypen onderscheiden, een lichtere bodem waarin de druppelirrigatie werd aangelegd in het oosten van het terrein, en een wat zwaardere bodem waar haspelirrigatie werd toegepast in het westen. De bodemopbouw is getoond in Figuur 7 en deze bestond uit een bovenlaag van lichte zavel op en onderlaag van fijn zand (druppel) of lemig zand (haspelveld). De bodems vertoonden aanmerkelijke verschillen in waterbergingscapaciteit wat tot uiting kwam in de veranderingen in bodemvocht tijdens droge perioden en in de opbrengst. De druppelproefvakken bleken veel gevoeliger voor droogte en hadden ook een lagere opbrengst bij vergelijkbare



Figuur 6. Locaties van de proefvakken en verschillende meetstations in 2019. In 2020 zijn in een enkel bed in het druppelirrigatie-proefvak bovengrondse slangen geplaatst.

haspelirrigatie in 2019. Het phreatisch grondwater lag in het groeiseizoen op ongeveer 1,5 m onder maaiveld.



Figuur 7. Bodemopbouw in het druppelproefvak met een 40 cm dikke deklaag van zeer lichte zavel op kleiarm zand. De diepdruppelsslagen werden aangelegd in de lichte zavel enkele centimeters boven de zandlaag.

Om een indicatie van de opneembaarheid van de benodigde elementen te krijgen zijn van alle proefvakken algemeen bouwland monsters en N-min analyses genomen. Beide analyses zijn uitgevoerd door Eurofins in Wageningen. De analyseresultaten zijn gepresenteerd in Tabel 1.

Tabel 1. Analyseresultaten van de bodems in de verschillende proefvakken.

	Eenheid	Rand (1)	Fertigatie (2)	Druppel (3)	Haspel (4)
Datum		1-4-19	1-4-2019	1-4-19	1-4-19
N-totale bodemvoorraad	kg N ha <sup>-1</sup>	2560	3620	2390	3620
C/N ratio	kg N ha <sup>-1</sup>	12	8	12	9
N-leverend vermogen	kg N ha <sup>-1</sup>	40	70	40	70
S-plantbeschikbaar	kg S ha <sup>-1</sup>	13	16	15	19
S-totale bodemvoorraad	kg S ha <sup>-1</sup>	1470	1605	840	1190
C/S-ratio		21	18	36	28
S-leverend vermogen	kg S ha <sup>-1</sup>	35	38	17	26
P-plantbeschikbaar	kg P ha <sup>-1</sup>	10.1	12.2	8.7	9.9
P-bodemvoorraad	kg P ha <sup>-1</sup>	1075	965	925	945
K-plantbeschikbaar	kg K ha <sup>-1</sup>	390	265	285	320

K-bodemvoorraad	kg K ha <sup>-1</sup>	530	415	415	570
Ca-plantbeschikbaar	kg Ca ha <sup>-1</sup>	125	250	250	150
Ca-bodemvoorraad	kg Ca ha <sup>-1</sup>	6200	7190	5545	8240
Mg-plantbeschikbaar	kg Mg ha <sup>-1</sup>	240	245	225	260
Mg-bodemvoorraad	kg Mg ha <sup>-1</sup>	305	265	230	285
Na-plantbeschikbaar	kg Na ha <sup>-1</sup>	50	35	55	45
Na-bodemvoorraad	kg Na ha <sup>-1</sup>	45	30	30	45
Zuurgraad (pH)	pH	7.3	7.4	7.4	7.6
C-organisch	%	1	0.9	1	1.1
Organische stof	%	1.8	2.2	2.3	2.5
C/OS-ratio		0.56	0.41	0.43	0.44
Koolzure kalk	%	13.3	14.6	13.5	15.4
Klei (<2 µm)	%	13	12	10	15
Silt (<2-50 µ)	%	16	26	15	28
Zand (> 50 µ)	%	56	45	59	39
Slib (< 16 µ)	%	18	20	15	23
Klei-humus (CEC)	Mmol+ kg <sup>-1</sup>	111	125	99	146
CEC bezetting	%	100	100	100	100
Ca-bezetting	%	88	92	90	91
Mg-bezetting	%	7.1	5.6	6.2	5.2
K-bezetting	%	3.9	2.7	3.4	3.2
Na-bezetting	%	0.5	< 0.1	0.4	0.4
H-bezetting	%	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Al-bezetting	%	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Verkruimelbaarheid	Rapportcijfer	8.3	8.5	8.8	8.0
Verslemping	Rapportcijfer	3.4	3.6	3.9	4.0
Vochthoudend vermogen	Mm	53	57	54	55
Microbiële activiteit	Mg N kg <sup>-1</sup>	4	16	10	23
P-AL	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 100g <sup>-1</sup>	78	71	68	70
Pw	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> l <sup>-1</sup>	50	52	45	48
Ammonium-N	mg NH <sub>4</sub> -N l <sup>-1</sup>	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5
Nitraat-N	mg NO <sub>3</sub> -N l <sup>-1</sup>	2.6	2	2.3	2.7
Stikstof (N-min)	kg ha <sup>-1</sup>	16	12	14	16

Opvallend is de grote variatie in eigenschappen tussen de verschillende proefvakken, waarbij het druppelproefvak wat lagere bodemnutriëntwaarden heeft. De N voorraad is het hoogst in de fertigatie en haspelproefvakken, terwijl de bodemvoorraad P het hoogst is in het fertigatievak en het organisch stofgehalte hier het laagst is. De verschillen lijken geen verband te houden met wisselingen in grondkwaliteit. Een mogelijke oorzaak voor de gemeten N- en P- variatie is niet-uniforme aanwending van de geitenstalmest in januari 2019. Aangezien vaste mest nooit perfect ruimtelijk verdeeld kan worden, kan dit de bemonsteringsuitslag beïnvloeden doordat deze mede bepaald wordt door de hoeveelheid mest die in het monster meegenomen is. Dit compliceert echter wel de efficiëntiebepaling van de nutriëntengift.

De meeste elementen zijn ruim voldoende aanwezig. Het zwavel leverend vermogen van de bodem is hoog, de fosfaat voorziening is hoog en die van kalium is goed. Het organische stofgehalte loopt van de rand van het veld (1,8%) tot in het haspelproefvak (2,5%) flink op. Zoals in een jonge zeepolder te verwachten is, is het CaCO<sub>3</sub> gehalte hoog. De zwaarte van de grond varieert, het haspelvak heeft de zwaarste grond, hier is ook de meeste nalevering van vocht te verwachten, uitgaande van een vergelijkbare ondergrond. Het haspelproefvak heeft dan ook de meest vruchtbare grond en is het minst

droogtegevoelig, wat bij vergelijkbare teeltcondities leidt to hogere opbrengsten ten opzichte van de druppelproefvakken.

Punten van aandacht zijn de slempgevoeligheid en de relatief hoge pH van de bodems. De slempgevoeligheid wordt voor een groot deel bepaald door de textuur van de grond. Hier heeft de teler geen invloed op. Verhoging van het organische stofgehalte kan de slempgevoeligheid verminderen. De pH is in alle proefvakken hoog, wat verklaard kan worden door de mariene herkomst van de deklaag waarin schelpfragmenten aanwezig zijn. De oplossing van deze fragmenten zorgt voor een licht basische bodem. Aanwending van zure meststoffen is dan ook aan te raden. Ondanks de droge winter van 2018-2019 en de aanwending van vaste mest, is de minerale N voorraad (N-min= 12-14 kg ha<sup>-1</sup>) in de grond zeer laag.

Grondbewerking bestond uit ondiep ploegen van de bovenste 25 cm van de bodem (ecoploeg) en het eggen en frezen van de ruggen voor de aardappelteelt. Groenbemester werd toegepast in de herfts en ondergeploegd in de winterperiode. Ter bemesting van de aardappelen werd geitenstalmest gebruikt, met een stikstofgehalte van 0,90% en een fosforgehalte van 0,34%, gevolgd door Urean en Kali-60.

### 3.4 Spuithaspelberekening en druppelirrigatie

Haspelberekening vond plaats met een IRTEC Serie G spuithaspel met waterkanon (Figuur 8) met een instelbare reikwijdte van ongeveer 60 m en een verbruik van ongeveer 50 m<sup>3</sup>/u. De berekening werd onder



Figuur 8. Berekening met de IRTEC spuithaspel op het perceel van Maatschap Waverijjn.

Ondergronds druppelen berust op het principe dat water en nutriënten tegen de zwaartekracht in omhoog de ondiepe wortelzone in getransporteerd worden door de capillaire werking van de bodem. De ploegdiepte vormt een limiet waarboven de slangen beschadigd kunnen worden bij de rondbewerking. De minimale diepte is derhalve 30 cm onder maaiveld. Om te bepalen bij welke slangdiepte capillaire werking in staat is om voldoende vocht in de bovengrond te krijgen, en welke onderlinge slangafstand nodig is voor een optimale vochtsituatie in de wortelzone, is voorafgaand aan de plaatsing een modelanalyse uitgevoerd met behulp van het Hydrus 2D onverzadigd zone model



(Šimůnek et al., 2016). Hieruit bleek dat de optimale diepte voor capillaire opstijging ongeveer 0,4 m was met een onderlinge slangafstand 0,75 m die overeenkomt met de gehanteerde rugafstand bij aardappelteelt. Om deze reden werden de slangen op 0,35 - 0,40 m diepte onder maaiveld aangelegd (Figuur 7).

In het voorjaar van 2019 zijn op het proefperceel ondergrondse druppelirrigatieslangen ingebracht. Het betreft de aanleg van permanente slangen (Hydro PCND; Rivulis) met elke 0,4 m een druppelaar met een vaste uitstroomsnelheid van  $1,75 \text{ l u}^{-1}$  bij een leidingdruk tussen 750 - 3000 hPa (Rivulis, 2020). De geschatte levensduur van deze slangen in de bodem is minstens 10 jaar. De druppelirrigatie werd geregeld via een computergestuurd systeem volgens in te stellen irrigatieprogramma's. Giften werden gedoseerd door op uurbasis kleine hoeveelheden water te geven zodat het water makkelijk door de bodem opgenomen kon worden en via capillair transport omhoog kon bewegen zonder dat verzadiging rond de slang optrad. In totaal werden op een dag ongeveer 16 giften gedaan, ieder met een duur van enkele minuten.

### 3.5 Monitoren van water en nutriënten

Een groot aantal metingen zijn uitgevoerd op en rond de proefvakken. De verliezen van water door verdamping en verwaaiing en de uniformiteit van beregening met spuithaspel zijn bepaald aan de hand van metingen met meer dan 30 regenmeters en 60 bodemvochtsensoren. De laatsten werden geïnstalleerd in de bovenste 10 cm van de bodem (Figuur 9). Met automatische regenmeters is de netto watergift aan de grond bepaald, en met de bodemvochtsensoren de totale water effectiviteit. Een weerstation is geïnstalleerd om de verliezen te relateren aan het weerbeeld, zoals verdampingsvraag en windsnelheid, tijdens de beregening (Figuur 10). De meteorologische metingen werden gebruikt voor neerslagbepaling en voor de berekening van (bodem)verdamping. Bodemverdamping na beregening is berekend als fractie van de referentieverdamping, waarbij voor natte bodem met gedeeltelijke loofbedekking een bodemverdampingsfactor  $K_e$  van 0,5 werd gebruikt (Allen et al., 1998; Paredes et al., 2018; Wang and Liu, 2007a) in combinatie met de potentiële verdamping berekend uit de meteorologische gegevens.



Figuur 9. Regenmeter en bodemvochtsensoren verbonden aan een telemetrische datalogger geïnstalleerd na het zaaien van uien in 2020 (links). Rechts dezelfde opstelling maar bij volle loofbedekking door het aardappelgewas op 17 juli 2019.

In elk proefvak werden op twee locaties (Figuur 6) en op drie diepten bodemvocht, bulkgeleidbaarheid en temperatuur (Theros 12, Meter Group USA) en bodemvochtspanning (Theros 21) gemeten met meetintervallen van 15 minuten (ZL6 datalogger) om veranderingen in de vochtverdeling in de bodem te kunnen waarnemen. Op dezelfde locaties werden rhizons en minifilters geplaatst en regelmatig bemonsterd om de chemische compositie van bodem- en grondwater te kunnen duiden ter bepaling van

nutriëntenuitspoeling. Grondwaterstanden, temperatuur en geleidbaarheid werden op verschillende locaties gemeten met een CTD-10 sensor (Decagon, USA).

De diepte van het zoet/zoutwatergrensvlak en mogelijke verzilting van de zoetwaterbronnen ten gevolge van de beregening zijn gemeten door de geleidbaarheid van het opgepompte water te monitoren en door middel van geofysische bodemscans aan het einde van de winter- en zomerperioden.

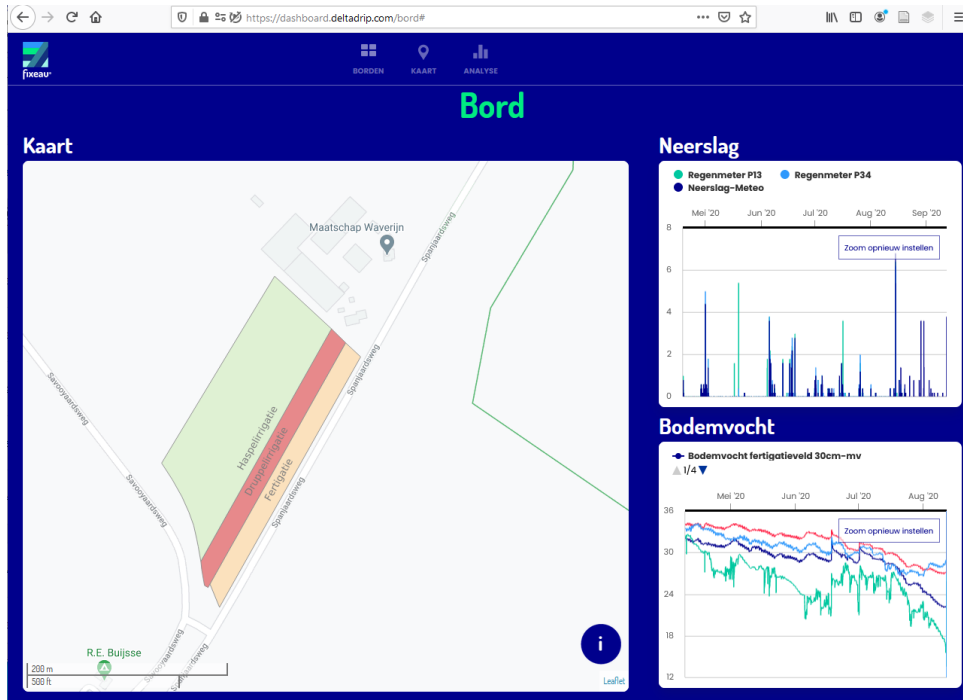


Figuur 10. Weerstation ter plaatse van de proeflocatie (rechts) en meetopstelling voor de meting van erosie van de bodem door druppelinslag bij neerslag en ten gevolge van haspelirrigatie (links).

Veldonderzoeken van de bodem, gewasgroei en bladnutriëntenconcentraties zijn regelmatig uitgevoerd tijdens het groeiseizoen. De effecten van de verschillende irrigatietechnieken op veranderingen in bodemstructuur en aggregaat stabiliteit zijn bepaald door het Louis Bolk Instituut. Hiervoor zijn bodemscans en bemonstering van de bodem uitgevoerd aan het begin en aan het einde van het groeiseizoen. In dit kader zijn er visuele waarnemingen gedaan, is de indringingsweerstand bepaald met een penetrometer en zijn er op verschillende diepten monsters genomen voor bepaling van de korrelgrootteverdeling, aggregaat stabiliteit en de bulkdichtheid. Tevens is een korte proef uitgevoerd in 2020 om te bestuderen of er verschillen waren in door druppelinslag opspattend sediment tussen het druppelirrigatieproefvak met louter neerslag en het haspelberegeningproefvak waar naast neerslag ook druppelinslag door beregening plaatsvond (Figuur 10).

Bodem- en bladanalyses van nutriënten zijn uitgevoerd door Delphy op verschillende momenten tijdens de proef. De bodemanalyses (Tabel 1) zijn gebruikt om de mestgift op de behoefte van het gewas af te stemmen. Bladanalyses van mineralen in het blad hebben inzicht gegeven in het verloop van nutriëntenopname door het gewas. Analyse resultaten zijn gebruikt om het efficiënt toepassen van nutriënten te ondersteunen. De teeltopbrengst is bepaald aan de hand van twee proefrooiingen van 2 m<sup>2</sup> elk in alle proefvakken. Deze worden gebruikt in de kosten-baten analyse.

Metingen van meteorologie, watergift, bodemvocht, diepte van het freatische grondwater en het zoutgehalte van grondwater werden telemetrisch uitgevoerd en weergegeven op een online platform (Figuur 11).



Figuur 11. Dashboard voor het tonen van meetgegevens in het Deltadrip project.

# 4

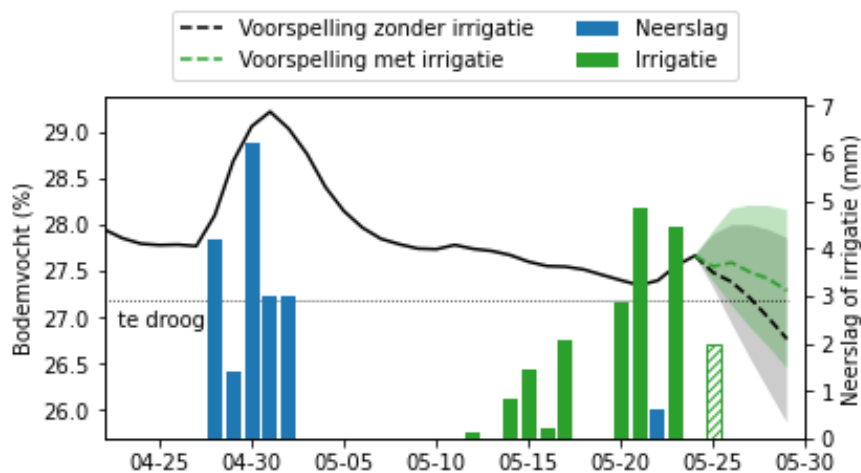
## Beslissingondersteunend model voor irrigatie

Om het waterverbruik in de landbouw te optimaliseren is het nodig om zowel overgebruik van water te voorkomen, als droogteschade te vermijden. Gewassen hebben een optimale productie binnen een bandbreedte van bodemvochtgehalte, waarbij de bodem niet te nat wordt en ook niet in die mate uitdroogt dat de productie vermindert. De optimale vochtigheid ligt tussen veldcapaciteit van de bodem ( $pF \approx 2$  in Nederland) en een vochtspanning van  $pF \approx 3$ , waarboven de plant in toenemende mate stress ondervindt (Dekkers, 2000). Het doel van irrigatie voor optimalisatie van de productie is derhalve om het bodemvocht in dit optimale bereik te houden. Zonder metingen is voor een teler echter moeilijk in te schatten wanneer het stresspunt bereikt wordt waardoor te vroeg of te laat geïrrigeerd wordt.

Binnen DeltaDrip is een beslissingondersteunend model, KELP-SM, ontwikkeld ten behoeve van irrigatie. Het doel van het model was om beter inzicht te geven in wanneer het nodig was om druppelirrigatie toe te passen, en hoeveel water er nodig zou zijn om bodemvocht binnen het optimale bereik voor gewasgroei te houden. Het model berekent hiervoor dagelijks een waterbalans voor de wortelzone, waarbij de beschikbare watervoorraad in de bodem continue gecorrigeerd wordt met metingen van de actuele vochttoestand in het perceel. KELP-SM gebruikt hiervoor bodemvochtmetingen op verschillende diepten in de wortelzone, vijfdaagse voorspellingen van neerslag en verdamping, en bodem- en gewaseigenschappen om een vijfdaagse voorspelling van de bodemvochtstatus te berekenen en op basis hiervan te bepalen wanneer irrigatie gewenst is. In het model wordt ook een marge van onzekerheid van de bodemvochtvoorspelling bepaald.

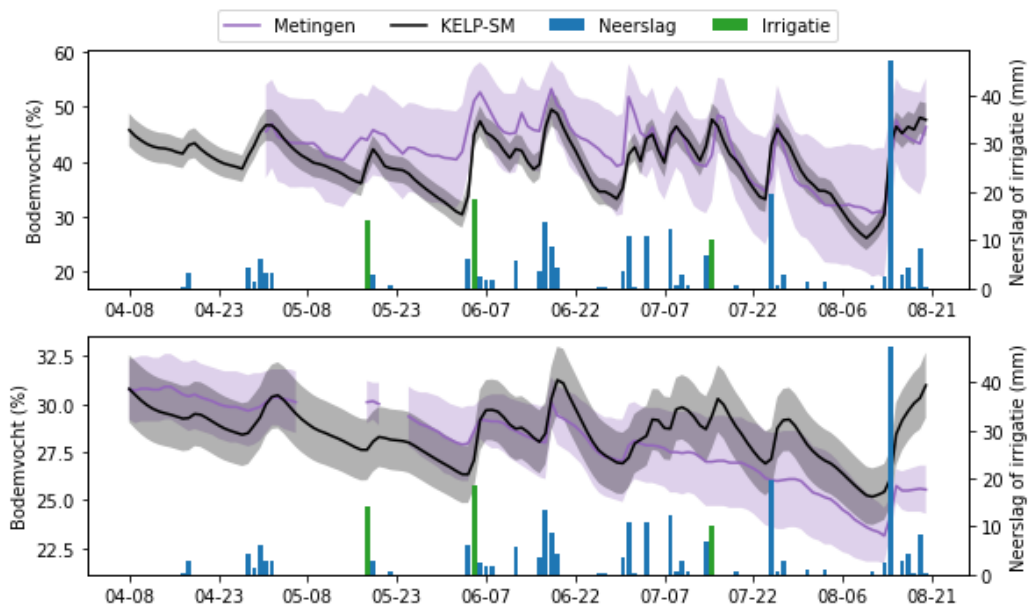
In Figuur 12 staat een voorbeeld van de uitvoer van het beslissingondersteunend model. Daaruit blijkt dat het voorspelde bodemvochtgehalte zonder irrigatie binnen enkele dagen buiten het optimale bereik zou komen, waarna het gewas niet meer optimaal zou verdampen en mogelijk stress en droogteschade op zou treden. Het model laat ook zien dat als er op de dag dat de voorspelling gegeven wordt 2 mm geïrrigeerd zou worden, het bodemvocht binnen het optimale bereik blijft voor de verdere duur van de 5-daagse voorspelling (Figuur 12).





Figuur 12. Voorspellingen van het KELP-SM model waarbij historische bodemvochtgegevens gebruikt worden om de ontwikkelingen in de waterleveringscapaciteit van de bodem ten gevolge van neerslag en irrigatie te voorspellen.

Als toets van de nauwkeurigheid van het model zijn de gesimuleerde waarden vergeleken met bodemvochtmetingen uit het haspelveld in 2020. Het gesimuleerde bodemvocht in de bovenste laag van de bodem met KELP-SM was in het grootste gedeelte van het groeiseizoen vergelijkbaar met de metingen (Figuur 13). Dit geeft vertrouwen dat de voorspellingen van het model kunnen bijdragen aan effectieve planning van beregening.



Figuur 13. Bodemvocht van KELP-SM (zwart) van ~0 - 10 cm (boven) en van ~10 - 40 cm (onder) vergeleken met metingen op verschillende dieptes (groen). De licht paarse en grijze kleuren geven de spreiding van modelsimulaties en metingen weer en geven daarmee inzicht in de onzekerheden van beide.

Het model zou ook voor andere irrigatiemethoden zoals haspeberegening gebruikt kunnen worden. Echter, het model gebaseerd is op ondergrondse druppelirrigatie waarbij het water direct de bodem in gebracht wordt en verliezen door verdamping tijdens irrigatie beperkt blijven. Voor andere methoden waar interceptie en

bodemverdamping wel belangrijk zijn zou een verliesfactor gebruikt moeten worden, wat leidt tot een hogere watergift om hetzelfde resultaat te bereiken.

Aangezien het model gebruik maakt van gemeten bodemvochtgegevens om een voorspelling te geven wordt de actuele bodemvochtstatus gebruikt om de voorspelling te doen en worden veranderingen in het bodemvochtgehalte door irrigatie altijd meegenomen voor het dagelijks aanpassen van de voorspelling.

# 5

## Effectief met zoetwater

### 5.1 Inleiding

Zeeland heeft te maken met een groter wordende waterschaarste. De combinatie van klimaatverandering, toenemende verzilting en waterbehoefte van de akkerbouw leidt hiertoe. Voor een robuuste bedrijfsvoering is het belangrijk dat agrariërs efficiënt met het beschikbare water omgaan. Gebruik van druppelirrigatie ten opzichte van haspelberegening maakt deze efficiëntieslag mogelijk. In dit hoofdstuk wordt de watereffectiviteit uitgewerkt, een methodiek ontwikkeld binnen Spaarwater (Hulshof et al, 2019). Dit is de basis van de efficiëntieslag die druppelirrigatie interessant maakt voor telers. Vervolgens worden de verschillen in watereffectiviteit vertaald naar potentiële waterbesparing bij een overstap van haspelberegening naar druppelirrigatie. Als laatste wordt het effect van de beregeningstechnieken op verzilting onderzocht.

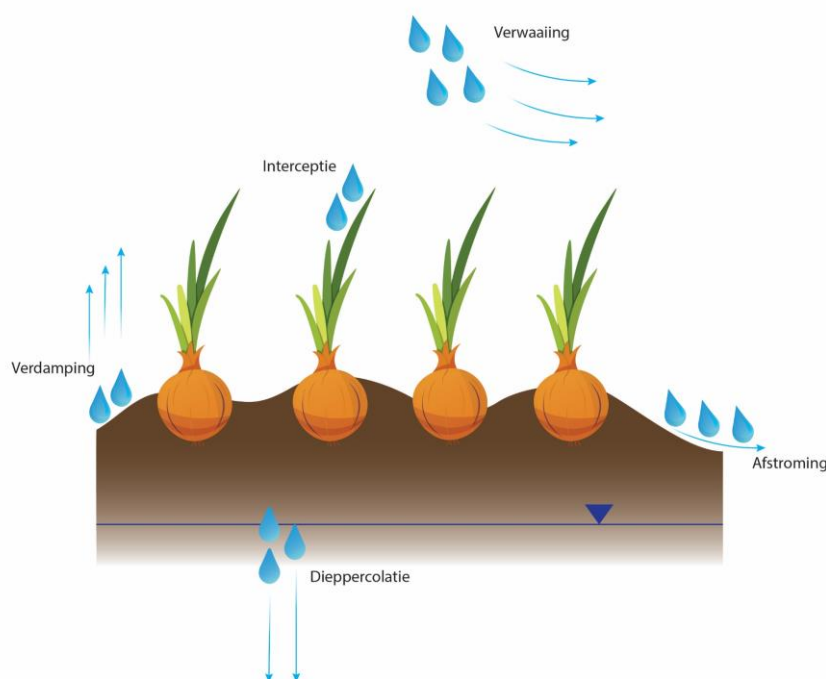
### 5.2 Watereffectiviteit

Bij haspelberegening komt enkel een gedeelte van het toegevoerde water beschikbaar in de wortelzone van het gewas (Baars, 1971; Steiner et al., 1983; Yazar, 1984). Er bestaan verschillende indicatoren om de werking en prestatie van een irrigatiesysteem te bepalen in relatie tot watergebruik. Eén van de indicatoren is de efficiëntie waarmee irrigatiewater wordt toegevoerd (Engels: irrigation application efficiency). Howell (2003) definieert de efficiëntie als 'de daadwerkelijke berging van water in de wortelzone om te voorzien in de waterbehoefte van de plant in relatie tot de hoeveelheid water toegevoerd naar het veld'. Efficiënties voor haspelberegening variëren van 55 tot 75%. Ter vergelijking worden in hetzelfde rapport hogere efficiënties gerapporteerd voor lateraal bewegende irrigatie (75-95%), ondergrondse druppel irrigatie (75-95%) en druppelirrigatie (70-95%) (Howell, 2003).

Verschillen in watereffectiviteit kunnen worden verklaard door zogenoemde verliesfactoren, zoals geïllustreerd in (Figuur 14). Zowel haspelberegening en druppelirrigatie kennen verliesfactoren. Bij haspelberegening kan water verloren via:

- **Interceptie** - Water dat op het loof blijft liggen en verdampt tijdens en na de watergift. Bij beregening wordt ook het verdampen van water in de lucht tijdens de gift hierin meegenomen. Het interceptieverlies is derhalve het verschil tussen de watergift en de hoeveelheid water die het bodemoppervlak bereikt;
- **Verwaaiing** - Verlies door verwaaiing van irrigatiewater naar aangrenzende percelen treedt met name op als er beregend wordt onder winderige omstandigheden. In de huidige studie vermeed de teler beregening in perioden met wind om dit verlies te beperken;
- **Bodemverdamping** - Verdamping van water uit de natte toplaag van de bodem tijdens en enkele dagen na een watergift;
- **Afstroming** - Water dat afstroomt uit het perceel omdat de bodem verzadigd is of omdat de infiltratiecapaciteit van de bodem wordt overschreden;

- **Dieppercolatie** - Water dat vanuit de onverzadigde zone naar het grondwater infiltreert en derhalve niet direct ten goede komt aan het gewas. Dieppercolatie treedt op als de bodem scheurvorming vertoont of indien beregend wordt op een te natte bodem.



Figuur 14. Overzicht verliesfactoren bij regen of irrigatie, dit water komt niet ten goede van het gewas (Schematische weergave met afbeeldingen van Freepik.com, 2020).

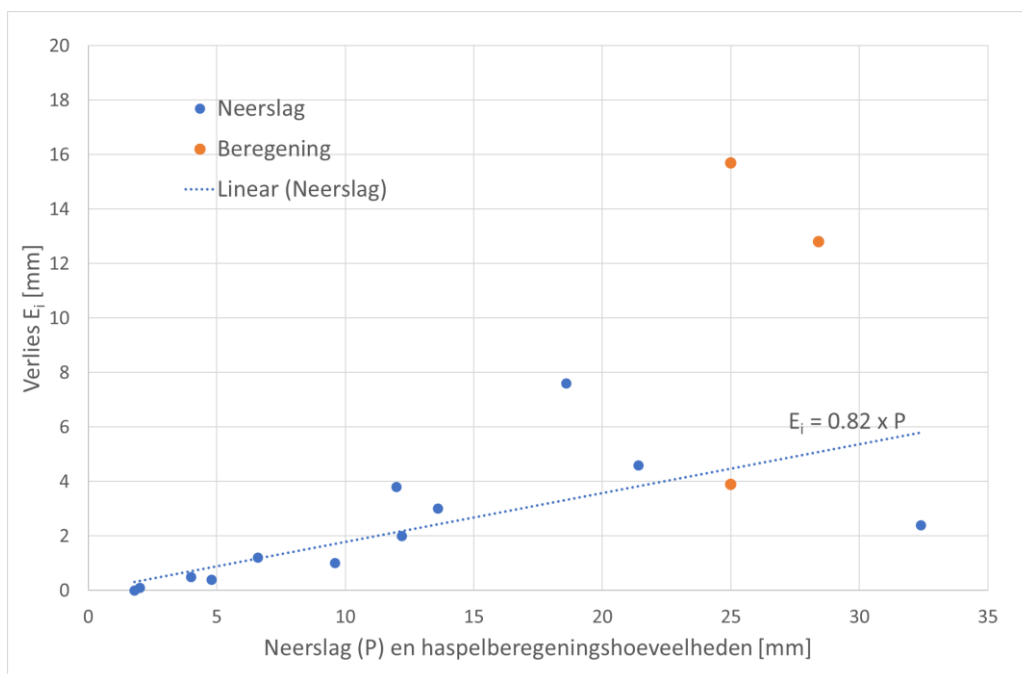
Bij druppelirrigatie treden verliezen door interceptie en verwaaiing niet op daar het irrigatiewater direct op of in de bodem gebracht wordt.

### 5.2.1 Watereffectiviteit spuithaspelberekening

Tijdens de groei van het gewas vindt een verschuiving plaats van een initiële dominante verliesfactor bodemverdamping naar dominantie van de interceptieverliesfactor. Door de toenemende bedekking van de bodem door het loof ontvangt de bodem bij aardappelenteelt steeds minder zonnestraling en nadert bodemverdamping naar nul bij een netto straling van minder dan  $200 \text{ W m}^{-2}$  (Wang and Liu, 2007b) terwijl interceptie toeneemt. Dit is minder het geval bij uien, waarvan het loof minder dicht is en de bodemstraling blijft ontvangen (Figuur 10).

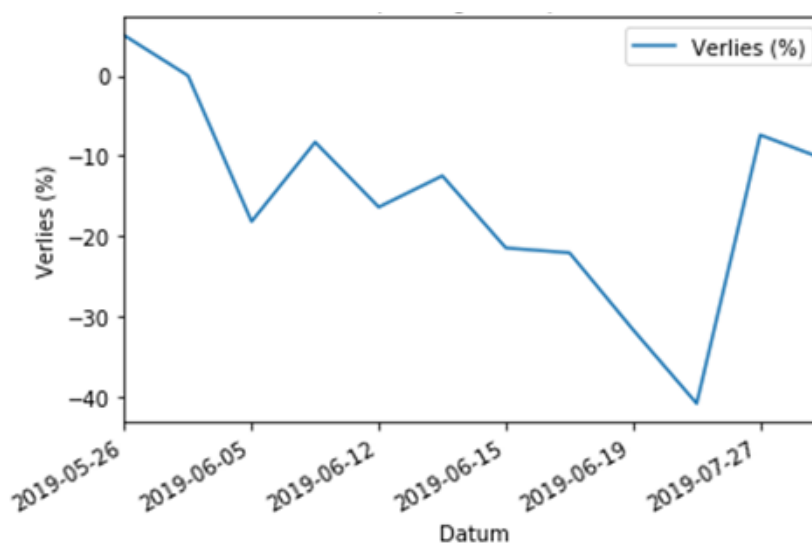
De gemiddelde doorval (i.e. het water dat door het loof heen de bodem bereikt) voor een aantal regenbuien en irrigatiemomenten voor aardappel in 2019 is weergegeven in Figuur 15. Voor neerslag was het gemiddelde interceptieverlies 18% van de neerslag. Tijdens de eerste nachtelijke beregening onder windstille condities was het verlies vergelijkbaar met dat tijdens neerslag en was de loofbedekking nog onvolledig. De verliezen tijdens de daaropvolgende haspelberegingen van 25 en 28 mm op het gewas met volgroeid loof (Figuur 9) waren echter veel hoger (12,8 en 15,7 mm, respectievelijk) dan die tijdens vergelijkbare neerslag, zoals te zien is door hun ligging ver boven de trendlijn in Figuur 15. Aangezien beregend werd onder omstandigheden met vrij lage windsnelheden (1,5-2,0 m/s), droge bodemomstandigheden en op een bodem die geen

scheurvorming vertoende bleven verliezen door verwaaiing beperkt en werd afstroming of dieppercolatie niet waargenomen. Bij de aardappelteelt in 2019 nam de effectiviteit van beregening af van ongeveer 70% van de gift eind mei naar 50% in juli, wat te wijten viel aan verhoogde interceptie en in veel mindere mate aan bodemverdamping.



Figuur 15. Verlies van water door interceptie op het loof bij neerslag en irrigatie in aardappel voor het 2019 groeiseizoen. De blauwe stippellijn geeft de trendlijn weer voor de verlies bij neerslag.

Ook bij neerslag neemt het verlies toe van minder dan 10% van de neerslag in mei tot ongeveer 40% in juli door ontwikkeling van de loofbedekking, zoals geïllustreerd in Figuur 16. Begin augustus werd het loof van het gewas gedood en nam het verlies bij neerslag weer sterk af naar minder dan 10% van de neerslag.



Figuur 16. Verandering in het verlies van neerslag door toenemende interceptie door het loof bij aardappel over het groeiseizoen.



Bij de uienteelt in 2020 was interceptie een minder belangrijke verliesfactor vanwege de geringere loofbedekking en de verticale stand van de bladeren, waardoor water dat op de bladeren valt relatief gemakkelijk naar de bodem stroomt. De interceptie van neerslag en van de watergift bedroeg minder dan 9% voor het volgroeide gewas (Tabel 2), waarvan een deel te wijten zou kunnen zijn aan verdamping van het water in de lucht tijdens beregening (<4%) hoewel dit binnen de foutenmarge van de metingen ligt. Gemeten verliezen aan interceptie en verwaaiing nemen licht toe tijdens het groeiseizoen (Tabel 2) en de ontwikkeling van het loof. Het aandeel van verwaaiing was naar verwachting verwaarloosbaar omdat de agrariër berwegening vermeed onder windiger omstandigheden. Bij ui was de factor bodemverdamping belangrijker omdat de grondbedekking van ui beduidend minder was dan bij aardappel (Figuur 10).

Tabel 2. Verlies van water door interceptie op het loof bij irrigatie in ui voor het 2020 groeiseizoen

	Irrigatie + neerslag [mm]	Doorval [mm]	Verlies [mm]	Verlies [%]
<b>15, 16, 18 mei</b>	11	10,6	0,4	4
<b>3 – 5 juni</b>	26,2	24,7	1,5	6
<b>15 – 16 juli</b>	15,5	14,1	1,4	9

Ondanks de verschillen in loofbedekking van de gewassen, waarbij interceptie de dominante verliespost was bij aardappelen en bodemverdamping bij uien, waren de efficiënties voor haspelberegening ongeveer gelijk op ≈60% van de irrigatiegift.

## 5.2.2 Watereffectiviteit druppelirrigatie

Druppelirrigatie kan zowel aan het oppervlak als in de bodem toegepast worden. Het voordeel van toepassing aan het oppervlak is dat het irrigatiewater ook goed beschikbaar is voor vlak na het zaaien of poten als de wortels van het jonge gewas nog niet zo ontwikkeld zijn dat ze water vanuit dieper in de bouwvoor kunnen onttrekken. Ook kunnen nutriënten dan al gegeven worden. Het nadeel van oppervlakkige aanleg ten opzichte van diepere aanleg is een hogere bodemverdamping en de hogere arbeidsinvestering nodig voor het jaarlijks leggen van de slangen en verwijderen voor de oogst. Bij druppelirrigatie vindt geen verwaaiing of gewasinterceptie plaats omdat water direct op of in de bodem wordt gebracht. Tevens worden bodemverdamping en afstroming geminimaliseerd of zelfs geheel voorkomen bij diepdruppelen. De watereffectiviteit van druppelirrigatie is hierdoor hoger dan die van de conventionele beregeningstechnieken zoals haspelberegening.

Bij ondergrondse irrigatie zijn de verliezen relatief laag. In 2020 zijn kleine hoeveelheden water verloren vanwege enkele kleine lekken in de druppelslangen en wellicht in zeer kleine mate door licht toegenomen bodemverdamping van capillair opstijgend water. In theorie is bodemverdamping echter verwaarloosbaar bij druppelirrigatie vanwege de kleine natte oppervlakten die bij oppervlakkige druppelirrigatie ontstaan, zoals weergegeven in Figuur 17. Uit de veldproef bleek dat ook bij diepdruppelen natte plekken, variërend in grootte van enkele centimeters tot enkele decimeters, op het veld zichtbaar waren na beregening. Deze natte plekken worden veroorzaakt door preferente stroombanen in de bodem (Figuur 18). Bodemverdamping op deze natte plekken zijn de belangrijkste verliespost voor ondergronds druppelen in de afwezigheid van lekken.

Verliezen van natte plekken zijn gekwantificeerd op basis van de potentiële verdamping van natte bodem, de totale oppervlakte van de natte plekken, en een gemiddeld gift van

2 mm/d. Het uiteinde van één druppelslang bleek niet te zijn afgesloten. Dat komt overeen met een totaal verlies van 2%, ervan uitgaande dat daardoor de druk in de slang zodanig laag bleef dat er geen water uit de druppelventielen kwam voor de desbetreffende slang. In de praktijk is het echter mogelijk dat aan het begin van de slag de druppelaars wel functioneerden en dat het verlies hierdoor te hoog is ingeschat. In totaal werden de verliezen door lekken in de slangen en door bodemverdamping uit op circa 10% van de gift geschat, waardoor de watereffectiviteit van ondergronds druppelen ongeveer 90% is.

Bij bovengrondse druppelirrigatie wordt structureel meer water verloren aan bodemverdamping bij de druppelaars (Figuur 17) vanwege de natte bodem rond de druppelaars. De extra bodemverdamping werd op basis van de potentiële verdamping, de straal van de natte oppervlakten rond de druppelaars (ongeveer 0,12 m) en bij een gemiddelde gift van 3 mm/d geschat op maximaal 10% hoger dan voor diepdruppelen. Daarmee komt de totale watereffectiviteit voor oppervlakkig druppelen op ongeveer 80% van de watergift zoals gegeven in Tabel 3.



Figuur 17. Natte oppervlakte die de bodemverdamping licht verhogen bij bovengrondse druppelirrigatie in het proefveld van Maatschap Waverijn bij de irrigatie van uien in 2020.



Figuur 18. Preferente stroombanen leiden tot natte plekken in het proefvak met ondergrondse druppelirrigatie, waardoor de verliesfactor 'bodemverdamping' toeneemt (Maatschap Waverijn, 2020).



### 5.3 Haspel- versus druppelirrigatie

Bij beregening komt niet al het opgebrachte water ten goede aan de gewasgroei. Water gaat verloren door een aantal verliesfactoren en dit is afhankelijk van de gebruikte irrigatietechniek. Tijdens de groeiseizoenen van 2019 en 2020 is de watereffectiviteit van verschillende irrigatietechnieken getest, gekwantificeerd en vergeleken. Een overzicht van de watereffectiviteiten als percentage van de gift is gepresenteerd in Tabel 3.

De watereffectiviteit van haspelberegening bedroeg in beide jaren ongeveer 60%, waarbij interceptieverliezen dominant waren bij de aardappelteelt en bodemverdamping bij uien. Maatschap Waverijn. Maatschap Waverijn beregende bij voorkeur in de avond om verdampingsverliezen te beperken en vermeerde haspelberegening onder windiger omstandigheden waardoor verliezen door verwaaiing verwaarloosbaar bleken. Bij beregening onder optimale omstandigheden zou de efficiëntie van de spuithaspel in de orde van 65% liggen. Indien beregend zou worden onder zonnige en windiger omstandigheden zou de effectiviteit aanzienlijk lager worden.

De effectiviteit van bovengronds en ondergronds druppelen bij ui in 2020 is respectievelijk 80 en 90%, waarbij verliezen zowel te wijten waren aan verhoogde bodemverdamping en lekken in de druppelsystemen. Indien deze lekken vermeden kunnen worden kan bij diepdruppelen een watereffectiviteit van ongeveer 95% worden bereikt, en voor oppervlakkig druppelen ongeveer 85%.

Tabel 3. Overzicht van gemiddelde watereffectiviteit van de beregeningstechnieken.

Methode - gewas	Watereffectiviteit [%]
Haspel - aardappel (2019)	59
Haspel - ui (2020)	61
Bovengrondse druppelirrigatie - ui (2020)	80
Ondergrondse druppelirrigatie - ui (2020)	90

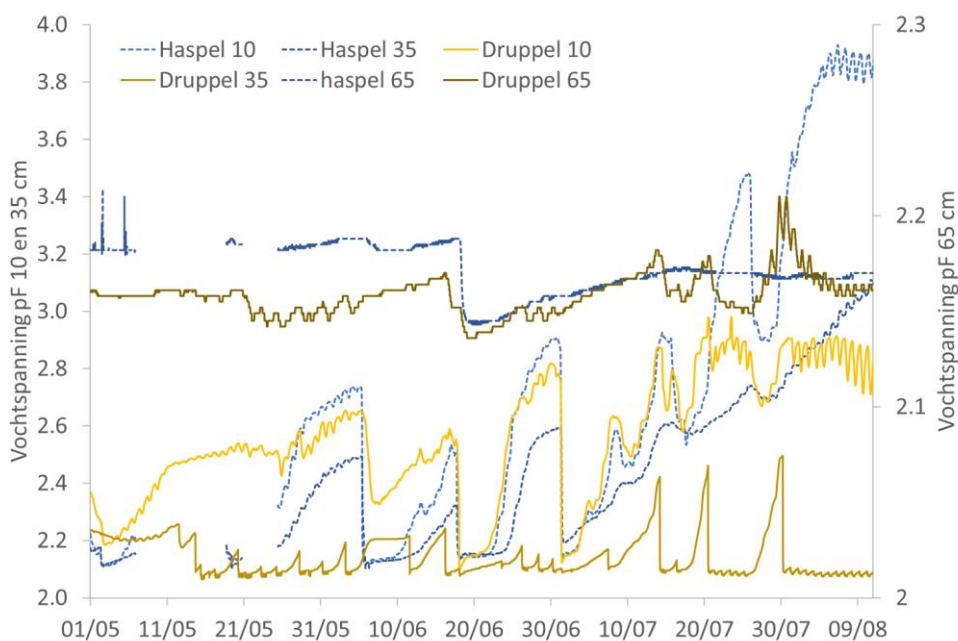
In Zeeland kan voor agrarisch gebruik in het groeiseizoen maximaal 3000 m<sup>3</sup> per kwartaal aan grondwater onttrokken worden uit een bron op 10 ha grond, met een jaarlijks maximum van 8000 m<sup>3</sup> (Waterschap Scheldestromen, 2017). Dit is gelijk aan een maximale wateregift van 60 mm aan grondwater over het groeiseizoen. Bij deze onttrekking komt er bij spuithaspelberegening netto ongeveer 39 mm ten goede aan het gewas, terwijl dit 48 en 54 mm zou zijn bij toepassing van respectievelijk oppervlakkig en diepdruppelen.

Het verloop in de bodemvochtspanningen in de haspel- en druppelproefvakken is geïllustreerd in Figuur 19. Bij de ondiepwortelende uien is er nauwelijks onttrekking onder de wortelzone op 65 cm diepte en blijft de bodem dicht tegen veldcapaciteit, met een daling in de pF na hoge neerslag op 18 juni gevolgd door een lichte geleidelijke stijging. Eind juli stijgt de pF op deze diepte in het haspelveld, maar niet in het druppelveld waar de wateregift op 35 cm diepte onttrekking van grotere diepte voorkomt. Grote variatie is er op op 10 cm diepte in beide proefvakken, waar de onttrekking het hoogste is. De beregeningen, in combinatie met neerslag, leiden tot sterke dalingen in de pF in de haspel- en druppelproefvakken op deze diepte, waarbij eind juli te zien is dat de diepdruppelirrigatie het bodemvocht op 10 cm diepte aan vult, de pF ook in de droge periode aan het einde van het seizoen onder 3,0 blijft en zo vermeden wordt dat waterstress ontstaat. In het haspelveld stijgt de pF naar 3,9 waarna geen verdere

onttrekking uit deze laag mogelijk is en de pF waarde niet verder toeneemt. Capillaire opstijging vanuit de laag op 35 cm diepte, waar de pF waarde naar 3,0 is gestegen, levert dan ook geen water meer op 10 cm diepte.

Het grootste verschil in vochtapning tussen de proefvakken is op 35 cm diepte, waar de pF bij druppelirrigatie (te zien als kleine zaagtandjes in de grafiek) stijgt tot maximaal 2,4 met weinig variatie over het seizoen, terwijl de pF op deze diepte een veel grotere variatie vertoont in het haspelproefvak. Dit geeft aan dat inzet van diepdruppelirrigatie in deze bodem door de goede capillaire werking ook voor ondiep wortelende gewassen zoals ui voldoende vocht aan kan leveren boven in de wortelzone om op deze diepte waterstress te voorkomen. Voor dieper wortelende gewassen als aardappelen kan diepdruppelen op 35 cm ervoor zorgen dat het gewas uit de hele wortelzone (ongeveer 65 cm) irrigatiewater met daarin opgeloste nutriënten kan onttrekken.

Het feit dat er goede capillaire opstijging is geeft ook aan dat fertigeren op 35 cm diepte ook voedingsstoffen kan leveren op een diepte van 10 cm onder maaiveld. Dit geldt echter alleen voor mobiele ionen, waaronder nitraat. De lage concentraties van fosfaat in het bodemwater tonen aan dat fosfor goed gebonden wordt aan bodemdeeltjes en derhalve niet meereist met het capillaire transport. Fosfor zou dan geconcentreerd worden in de bodem rond de druppelventielen. Indien een gewas wordt verbouwd waarvan de beworteling dieper is dan 40 cm kan fosfor ook via fertigatie geleverd worden. Nitraat, en wellicht in mindere mate ammonium en kalium die onderhevig zijn aan kationuitwisseling, kunnen wel goed in het opstijgend water meegenomen worden en zo aan ondiepe beworteling ten goede komen.



Figuur 19. Verloop van de vochtspanningen op verschillende diepten in de bodem in haspel- en druppelproefvelden onder uien in 2020.

## 5.4 Dieppercolatie en aanvulling van grondwater

In theorie zou dieppercolatie van bodemvocht naar het grondwater een extra verliespost kunnen zijn, zeker bij ondergronds druppelen waar water op 0,35-0,40 m onder maaiveld wordt ingebracht. In eerdere proeven met ondergrondse druppelirrigatie, uitgevoerd in het Spaarwater II project in een zware zavelbodem in



Borgsweer, bleek dat scheuren in de bodem een snelle route vormden naar het grondwater toe waarbij tijdens irrigatie een deel van het water in de drains van het veld afgevoerd werd (Hulshof et al., 2018).

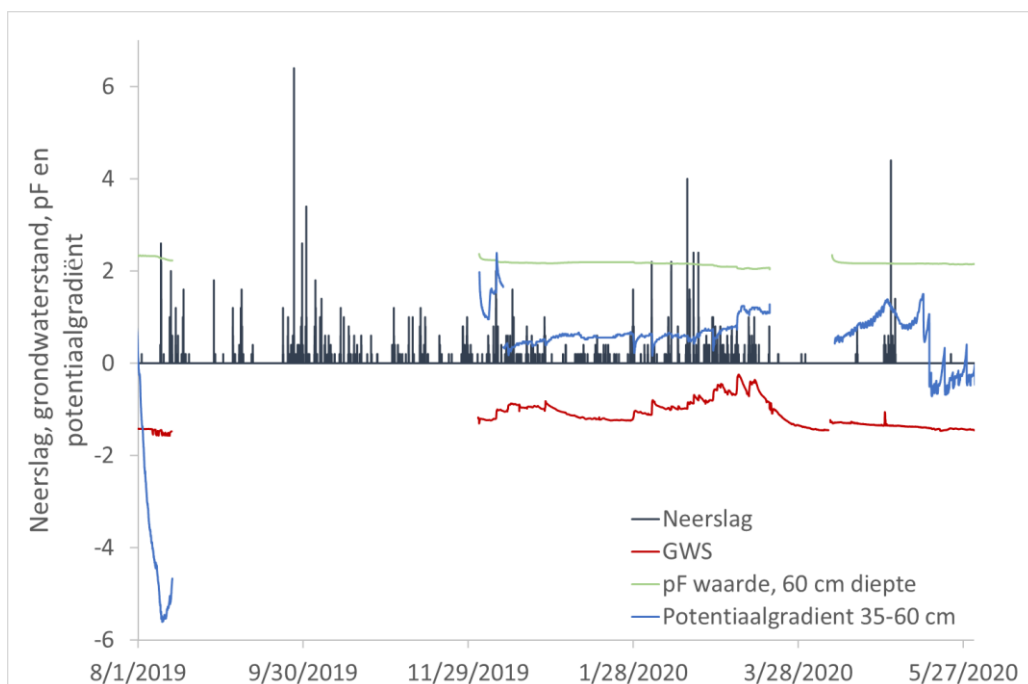
Dieppercolatie is echter ook belangrijk voor de aanvulling van het grondwater. Dieppercolatie kan voorkomen via preferente stroombanen (*e.g.* scheuren in de bodem) en via stroming door de bodemmatrix als de toegepaste irrigatie ertoe leidt dat het water (lokaal) niet langer tegen de zwaartekracht in vastgehouden kan worden in de onverzadigde zone.

Drainage uit de matrix treedt op als de vochtspanning onder de wortelzone boven -100 cm stijgt (veldcapaciteit,  $pF= 2$ ). Stroming in de onverzadigde zone wordt bepaald door potentiaalgradiënten en deze zijn voor de groeiseizoenen van 2019 en 2020 weergegeven in Figuur 27 en voor de winter in Figuur 20. In het groeiseizoen van 2019 overheerste opwaartse stroming ten gevolge van gewasverdamping. Tot 19 mei was de potentiaalgradiënt neutraal, en daalde daarna ten gevolge van gewasverdamping. De irrigatiegift van 25 mm op 31 mei leidde niet tot een neerwaartse stroming. Pas na 52,6 mm neerslag tussen 15-19 juni was er een periode van neerwaartse stroming tot 22 juni. Irrigatie met 25 mm op 29 juni leidde niet tot een verandering in de opwaartse stroming in de bodem. De  $pF$  waarde op 60 cm diepte bleef stabiel op 2,1 (veldcapaciteit) tot 27 juni en steeg in de daaropvolgende 10 dagen naar  $pF= 3,3$  ten gevolge van onttrekking door de wortels van de aardappelen en toenemende uitdroging van de wortelzone. Hierna volgde een korte periode van neerslag (33,4 mm) met direct daarop volgende irrigatie op 27 juli. Dit resulteerde in een neerwaarts gerichte potentiaalgradiënt in de bovenste bodemlaag. De bodem op 60 cm was toen echter al zo droog dat er geen verlies van water naar grondwater mogelijk was en deze situatie bleef stabiel tot de oogst van het gewas in mid-augustus. Tijdens dit groeiseizoen was er derhalve:

- Mogelijk geringe uitspoeling naar het grondwater in de periode 15-22 juni na 52,6 mm neerslag;
- Geen verlies aan irrigatiewater naar het grondwater ten gevolge van irrigatie en kleinere hoeveelheden neerslag.

Het is derhalve onwaarschijnlijk dat spuihaspelirrigatie, met hoeveelheden tot 35 mm aan watergift per keer op de droge bodem kan leiden tot lek naar het grondwater bij een aardappelgewas. Dit komt door de hoge bergingscapaciteit in de ruggen en wortelzone, zelfs indien de bodem onder de wortelzone op veldcapaciteit is.

Na 22 september 2019 volgde een periode van neerslag waarbij tussen 24 september en 6 oktober 75 mm werd geregistreerd en in totaal 203 mm werd gemeten tot 2 december 2019. Dit heeft geleid tot een permanente neerwaartse stroming in de onverzadigde zone en grondwateraanvulling gedurende de hele winterperiode tot in mei 2020 (Figuur 20). De  $pF$  waarde op 60 cm diepte lag continu tegen veldcapaciteit (2,1-2,2) en de grondwaterspiegel reageerde op neerslag en steeg in deze periode van 1,5 m onder maaiveld in augustus 2019 tot een maximum van 0,25 m onder maaiveld op 6 maart 2020, om in de daaropvolgende drogere periode geleidelijk te dalen naar 1,3 m onder maaiveld bij de start van het groeiseizoen van 2020.



Figuur 20. Waargenomen neerslag [mm], grondwaterstand [GWS, m -mv], potentiaalgradiënt [cm cm<sup>-1</sup>] op 35-60 cm diepte en pF waarde op 60 cm diepte in het druppelproefvak in de winterperiode van 2019-2020. Bij een positieve potentiaalgradiënt is de stroming naar beneden gericht en treedt er drainage en grondwateraanvulling op.

In het groeiseizoen van 2020 werden uien geteeld. Dit is een ondiep wortelend gewas waarbij de wortels niet veel dieper komen dan 30 cm onder maaiveld. Dit betekent dat directe onttrekking onder deze diepte beperkt blijft, maar dat opstijging van water wel plaats kan vinden vanuit de diepere bodem om water aan de uien te leveren. De bodemvochtsensoren werden derhalve geplaatst in de wortelzone (15 cm onder maaiveld), alsmede onder de wortelzone op 35 en 60 cm diepte.

In de periode april - mei bleef de bodem tussen 35 en 60 cm diepte in het perceel vochtig, met pF-waarden rond de 2,1, omdat de onttrekking van water via de wortels van het uiengegewas beperkt bleef. In de zwaardere bodem van het haspelproefvak bleef deze situatie vrijwel onveranderd tot aan het eind van het groeiseizoen, terwijl in de bodem van het fertigatievak na eind juli een stijging van de pF werd waargenomen naar pF= 2,4. Tijdens en na de neerslag eind april en in de periode 5-19 juni met twee intensievere buien waren er een korte perioden van enkele dagen waarin de stroming naar beneden gericht was (positieve gradiënten in Figuur 27. Tot 17 juni daalde het grondwater geleidelijk om in reactie op een bui van 17,2 mm op 16-17 juni volgend na 10 mm haspelirrigatie op 15 juni een lichte stijging van 0,05 m te vertonen wat duidt op uitspoeling vanuit de onverzadigde zone naar het grondwater.

Op basis van metingen van bodemvochtspanning is er geen sprake geweest van het optreden van dieppercolatie ten gevolge van irrigatie tijdens de groeiseizoenen van 2019 en 2020. Dit kan deels verklaard worden door de droge condities in de proefjaren. Aangezien beregening plaatsvindt in perioden van droogte zal dit ook in andere jaren, noch voor spuihaspelirrigatie of voor druppelirrigatie, tot dieppercolatie leiden en heeft deze factor weinig invloed op de watereffectiviteit. In een gemiddeld of nat jaar zal dieppercolatie mogelijk wel vaker voorkomen in perioden van neerslag. Aanvulling van

grondwater vond in de herfst en winterperiode plaats. Kleine hoeveelheden dieppercolatie werden in de zomer alleen na grote regenbuien (>40 mm) waargenomen.

## 5.5 Waterbesparing

### 5.5.1 Modelleren waterbehoefte en gewasopbrengsten

Het AquaCrop model (Mejias and Piraux, 2017) is gebruikt om de waterbehoefte en gewasopbrengsten van de gewassen van het bouwplan in Zeeland te simuleren. AquaCrop is ontwikkeld door de FAO om gewasopbrengsten te modelleren voor condities waar water schaars is. De effecten van droogte op gewasgroei worden berekend door middel van gewasspecifieke stresswaarden voor bodemvocht en temperatuur. De droge stof opbrengst uit het model wordt omgerekend naar een totale gewasopbrengst door een droge stof percentage aan te nemen voor de verschillende gewassen.

Het model is gevalideerd met de gemeten opbrengst in het jaar 2020 van de verschillende proefvelden. Tijdreeksen van neerslag en referentieverdamping zijn gebaseerd op data van KNMI-station Westdorpe. De grondwaterstand in het model is gebaseerd op metingen in het druppelproefvak. In de simulaties is een bodemopbouw van 45 cm lichte zavel op zand aangenomen. De gewaseigenschappen van ui zijn gebaseerd op Perez Ortola (2013) en aangepast aan de hand van waarnemingen van het proefveld. Zo is de zaaidatum veranderd om overeen te komen met de zaaidatum van het proefveld en de maximale effectieve worteldiepte aangepast naar 20 cm. Het model definieert de maximale effectieve worteldiepte als de diepte waar het grootste gedeelte van het water wordt onttrokken voor transpiratie. In het veld zijn wortels tot een diepte van 40-50 cm waargenomen, maar de meeste wortels bevinden zich in de bovenste decimeters.

De berekeningsscenario's zijn gebaseerd op de toegepaste berekening in 2020. Het model gaat uit van 100% effectieve berekening. Dit betekent dat de werkelijk toegepaste berekening gecorrigeerd moet worden voor de verliezen van de verschillende irrigatietechnieken aan de hand van de watereffectiviteit. De watereffectiviteit voor de berekeningsscenario's is gebaseerd op de uitkomsten van de proef, beschreven in hoofdstuk 5.2. Voor haspelberekening is de waarde van 60% aangenomen, voor druppelberekening een water effectiviteit van 80% voor bovengrondse technieken en 90% voor ondergrondse technieken (Tabel 3). De gesimuleerde gewasopbrengsten komt goed overeen met de opbrengstbepaling van ui in 2020, met een verschil tussen 5 en 10% voor de verschillende proefvelden (Tabel 4).

Tabel 4. Gemeten en gesimuleerde opbrengst van ui op basis van het groeiseizoen van 2020 voor verschillende berekeningstechnieken.

	Opbrengstbepaling [ton/ha]	AquaCrop [ton/ha]	Vershil [%]
Haspel	44.6	41.0	8.0
Bovengrondse druppelirrigatie	59.6	56.7	4.9
Ondergrondse druppelirrigatie	52.4	48.9	6.7

Het AquaCrop model is vervolgens gebruikt om de waterbehoefte en gewasopbrengsten van verschillende gewassen te vergelijken onder haspelberekening en druppelirrigatie.

Het perceel van Waverijn is representatief voor ongeveer 74% van onbebouwd gebied in Zeeland op basis van het uitzakken van de grondwaterstand in de zomer (grondwatertrappen V-VII).

In het haspelberekening scenario is uitgegaan van een vaste netto gift van 15 mm met een vaste interval van 30 dagen. Deze gift is vergelijkbaar met de werkelijk gegeven gift voor consumptieaardappel, en hoger dan de werkelijk gegeven gift voor ui. In het druppelirrigatiescenario is uitgegaan van een netto watergift van 4 mm als de grenswaarde van het direct beschikbare water wordt bereikt. Het direct beschikbare water is de hoeveelheid water die de plant kan opnemen zonder significant energie te gebruiken, waardoor geen sprake is van droogtestress. De netto berekening is vervolgens vertaald naar een bruto watergift op basis van de water effectiviteit zoals hierboven beschreven.

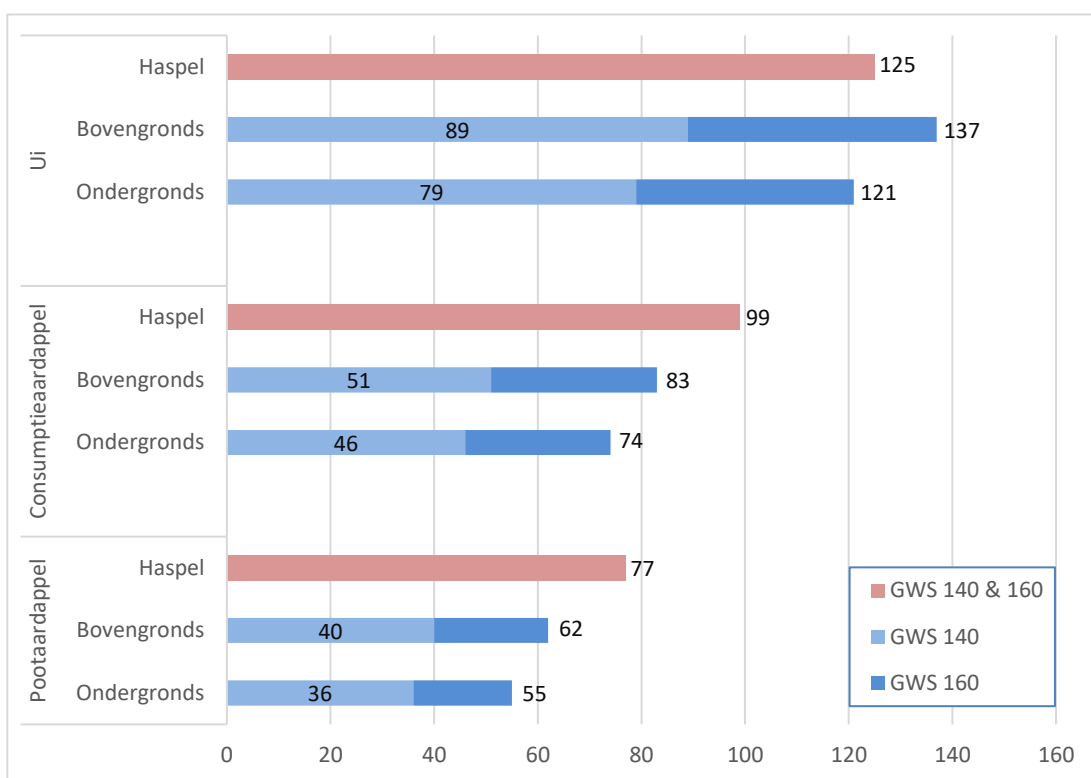
Omdat de gesimuleerde gewasopbrengsten goed overeenkomen met de opbrengstbepaling kunnen de resultaten van de modellen gebruikt worden in de verdere analyse. Hiermee zijn in §5.5.2 en 5.5.4 de potentiële waterbesparing en de vergroting van het beregend oppervlak bepaald. De gewasbaten komen in Hoofdstuk 8 aan de orde.

### 5.5.2 Potentiële waterbesparing

Om de potentiële waterbesparing te bepalen, is voor de verschillende irrigatiescenario's bepaald hoeveel water er gegeven moet worden om in de waterbehoefte te voldoen. Deze 'bruto' berekening wordt vervolgens gecorrigeerd met de watereffectiviteit. In Figuur 21 wordt per gewas en irrigatietechniek de bruto irrigatie in mm weergegeven. Hier is te zien dat met haspelberekening in de meeste scenario's meer water wordt gegeven. Bij haspelberekening is geen verschil in de bruto watergift tussen een grondwaterstand van 140 en 160 cm -mv, terwijl dit bij bovengrondse en ondergrondse druppelirrigatie wel te zien is. Bij een grondwaterstand van 160 cm -mv is de bruto watergift bij alle gewassen hoger.

Uitgaande van de langjarige gemiddelde waterbehoefte van 1990 - 2019 is de potentiële waterbesparing van ondergrondse- en bovengrondse druppelirrigatie ten opzichte van haspelberekening te zien in Figuur 21. Bij de meeste gewassen levert druppelirrigatie een waterbesparing op. Enkel bij bovengrondse druppelirrigatie van uien is te zien dat er gemiddeld 12 mm meer wordt gegeven. Er wordt voor iedere irrigatietechniek een bandbreedte aangegeven, wat ontstaat door de grondwaterstanden van respectievelijk 140 en 160 cm -mv.

Een conclusie die getrokken kan worden op basis van gebruikte irrigatietechnieken is dat er met druppelirrigatie gericht geïrrigeerd kan worden. In droge jaren zou dit echter kunnen leiden tot een toename van het watergebruik. De oorzaak hiervoor ligt mede in het gemak waarmee de irrigatie plaats kan vinden. Bij een druppelirrigatiesysteem voldoet het om via de computer de irrigatie-eenheid aan te schakelen. Voor haspelberekening spelen, naast de beschikbaarheid van de haspel op een bepaalde locatie, ook de moeite om de haspel te installeren, te verplaatsen op het veld en heersende windcondities een rol die berekening praktisch kunnen beperken.



Figuur 21. Totale bruto irrigatie over het groeiseizoen voor poot-, consumptieaardappel en ui, uitgedrukt in mm als langjarig gemiddelde voor de periode 1990 - 2019.

Tabel 5. Verschil in potentiële bruto besparing van water bij gebruik van druppel- en haspelirrigatie voor aardappelen en uien.

	Besparing bovengronds druppelen	Besparing ondergronds druppelen
<b>Uien</b>	36 mm tot 12 mm extra	46 tot 4 mm
<b>Consumptieaardappel</b>	48 tot 16 mm	41 tot 21 mm
<b>Pootaardappel</b>	37 tot 15 mm	54 tot 26 mm

### 5.5.3 Beperkte waterbeschikbaarheid

Omdat de zoetwatervoorraden schaars zijn in Zeeland en er een beperkte waterbeschikbaarheid is, is er in het vervolg van de analyse gebruik gemaakt van een zogenoemd ‘irrigatieplafond’ van 125 mm. Op deze manier wordt het mogelijk om te bepalen wat de bijdrage is van druppelirrigatie in situaties waarbij de waterbeschikbaarheid een beperkende factor is. Dit plafond ligt hoger dan de maximum toegestane onttrekking van 80 mm per jaar. Compensatie is derhalve wel nodig door een deel van het perceel in rotatie te gebruiken voor gewassen die minder of geen irrigatie behoeven, zoals suikerbiet en tarwe. Dit is in 2019 bij Maatschap Waverijn dan ook het geval geweest, waar naast de aardappelen (2,5 ha) ook tarwe verbouwd werd op het perceel met een oppervlakte van 10 ha.

### 5.5.4 Vergroting beregend oppervlak

Door haspelberekening te vervangen door druppelberekening kan in plaats van waterbesparing ook een grotere oppervlakte beregend worden met hetzelfde volume water. Stel een agrariër heeft 125 mm water tot zijn beschikking, dan kan deze met



gebruik van de verschillende irrigatietechnieken de oppervlakten getoond in Tabel 6 beregenen. Ook hier duiden de bandbreedtes op grondwaterstanden van respectievelijk 140 en 160 cm -mv aan.

Tabel 6. Mogelijke vergroting van het beregende oppervlakte bij een beschikbaarheid van 125 mm aan water voor verschillende irrigatietechnieken bij grondwaterstanden van respectievelijk 1,40 en 1,60 m onder maaiveld.

	Oppervlakte haspelberegening	Oppervlakte bovengrondse druppelirrigatie	Oppervlakte ondergrondse druppelirrigatie
<b>Ui</b>	1 ha	1,4 tot 0,9 ha	1,6 tot 1 ha
<b>Consumptieaardappel</b>	1,3 ha	2,4 tot 1,5 ha	2,7 tot 1,7 ha
<b>Pootaardappel</b>	1,6 ha	3,1 tot 2 ha	3,5 tot 2,3 ha

### 5.5.5 Van verhoogde watereffectiviteit naar waterbesparing

Eén van de belangrijke drijfveren voor agrariërs om een alternatief te zoeken voor haspelberegening is gebruiksgemak. Haspelberegening is een arbeidsintensief proces en met name in droge jaren neemt beregening veel tijd en energie in beslag. Omdat de teler geen onbeperkte capaciteit heeft voor haspelberegening moeten er keuzes worden over op welk perceel de haspel op een bepaald tijdstip ingezet wordt, wat ook de watergift beperkt omdat beregening op andere percelen dan niet toegepast kan worden. Ook weersomstandigheden kunnen beregenen onmogelijk maken. In 2020 bleek een geplande beregening op het haspelproefveld vanwege harde wind niet door te kunnen gaan, terwijl het wel mogelijk was om druppelirrigatie toe te passen.

De druppelberegening kan gemakkelijk via de computer en/of app worden gepland en aangestuurd. In de praktijk kan gewasoptimalisatie en gebruiksgemak op bedrijfsniveau ook belangrijker zijn voor een overstap dan de waterbesparing. Als gevolg hiervan kan het waterverbruik juist toenemen, ondanks dat water effectievere technieken worden toegepast. Voor realisatie van waterbesparing is het dus belangrijk om water effectieve beregeningstechnieken te combineren met regulatie van het watergebruik, bijvoorbeeld door de inzet van watermeters.

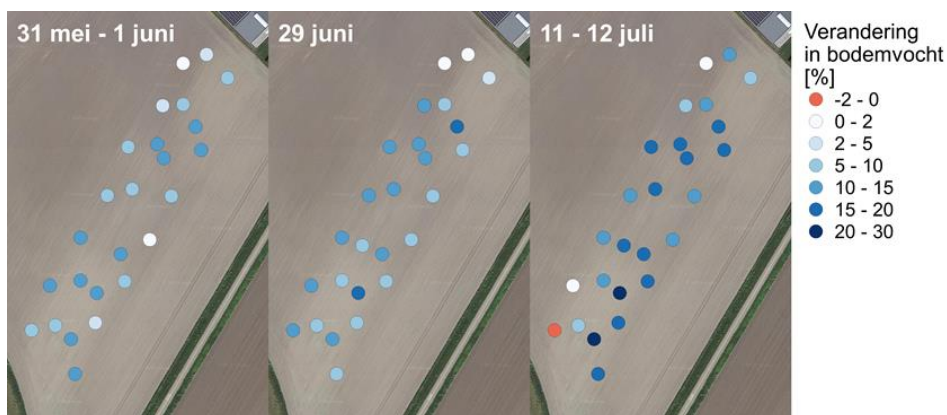
## 5.6 Verspreiding van beregening over het perceel (uniformiteit)

### Haspelberegening

Een gelijkmatige, uniforme, verspreiding van het irrigatiewater over het gewas is gewenst voor een optimale opbrengst en bevordert effectief watergebruik (Montazar and Sadeghi, 2008; Topak et al., 2005). Op perceelschaal vermindert verwaaiing door meevoering van het spuitwater met de variabele wind de gelijkmatige verspreiding van het water over de bodem bij haspelberegening (Kolhoff, 2020). Op microschaal ontstaan ook verschillen in aanvoer ten gevolge van de verdeling van het loof over het oppervlak, waarbij afvoer van het beregeningswater vanaf het loof van de plant niet uniform is. Hierdoor krijgen delen van de bodem onder het loof minder water terwijl op druppelpunten of open plekken in het loof juist een hogere gift is. Dit proces kan ook leiden tot toename van de uniformiteit in de bodem, zoals waargenomen voor alfalfa (Montazar and Sadeghi, 2008).

In de veldproef is de verspreiding van haspelirrigatiewater in de bodem gemeten met 60 sensoren. Door de verandering in het bodemvocht na een beregeningsbeurt te meten is inzichtelijk gemaakt dat er op één perceel grote verschillen kunnen zijn. Hierbij neemt

het bodemvocht langs de randen vaak nauwelijks of minder toe terwijl op andere plekken in het veld bodemvocht met tot 30% toeneemt (Figuur 22). Resultaten voor het jaar 2020 toonden een vergelijkbare variatie binnen het perceel.



Figuur 22. Ruimtelijke variatie in verandering in bodemvocht tussen de dag voor en na de irrigatiemomenten in 2019.

Analyse van het onder het gewas ingevangen irrigatiewater toonde dat Christiansen's uniformiteitsindex tijdens het groeiseizoen bij aardappelen afnam van 90% bij een berekening met een windsnelheid van 0,3 m/s naar 50% bij windsnelheden hoger dan 1 m/s (Kolhoff, 2020), waarbij een waarde van boven 84% als wenselijk wordt gezien (Christiansen, 1942). Dit geeft aan dat bij windsnelheden boven 1 m/s de uniformiteit van haspelberekening sub-optimaal is. De uniformiteit van het bodemvochtgehalte was echter relatief constant tussen de verschillende irrigatiebuien (74-80%) wat erop wijst dat er laterale verdeling van het vocht in de bodem plaatsvindt en dit wellicht niet tot grote ruimtelijke verschillen in water stress en opbrengst leidt.



Figuur 23. Luchtfoto van de verdeling van het vocht over de bodem na spuihaspelberekening op het perceel van Maatschap Waverijn (bron: Maatschap Waverijn).

Een luchtfoto van de beregening, getoond in Figuur 23, laat zien dat de beregening gevarieerd heeft, en dat er op de randen van de beregende stroken variatie is in het aangevoerde vocht of juist overlap plaats vindt. Dit proces waarbij variatie in windsnelheid en windrichting belangrijk is zorgt ook voor onregelmatige verdeling binnen de stroken.

#### Druppelirrigatie

Bij druppelirrigatie is de verdeling van de watergift uniformer door regelmatige plaatsing van de slangen en de druppelaars (Figuur 17). Lokaal kan de watergift toch verschillen. Bijvoorbeeld doordat de druk in de slangen hoger is, en daarmee de watergift groter is, aan het begin van de druppelslang dan aan het eind. In de gebruikte slangen werd dit effect door de toepassing van drukventielen met een vaste uitstroom beperkt. Lekkages in de druppelslangen of defecte druppelaars kunnen ook plaatselijk voor een grotere watergift zorgen. Als hierdoor meer water door dieppercolatie verloren gaat, kan dit leiden tot een lagere watereffectiviteit.

In het proefvak met ondergrondse druppelberegening zijn op het maaiveld natte plekken waargenomen die aantonen dat plaatselijk de watergift relatief hoog was. De natte plekken werden niet veroorzaakt door lekkages in het druppelsysteem, maar door zogenaamde preferente stroombanen in de bodem. Op deze plekken is na plaatsing ruimte langs de druppelslangen ontstaan, waar water van één of meerdere druppelaars gemakkelijker instroomt dan in de bodem daaromheen. De stromen komen samen op één punt, in plaats van door capillaire stroming gelijkmatig door de bodem verspreid te worden. Eenmaal aanwezig, blijft het water deze route volgen. Mogelijke oorzaak is de bodemopbouw ter plaatse of de hoogte en duur van een watergift. Het verdient aandacht in een vervolgonderzoek daar dit tot schade kan leiden of andere ongewenste effecten.

Er is ook wel eens lekkage opgetreden in de druppelslangen. Het meest voorkomende type lek was dat gaten van druppelaars groter waren geworden, mogelijk door de hoge druk in de druppelslangen. Daarnaast zijn twee lekkages als gevolg van een los koppelstuk en een open einde waargenomen. Deze waren na detectie allemaal vrij eenvoudig te verhelpen.

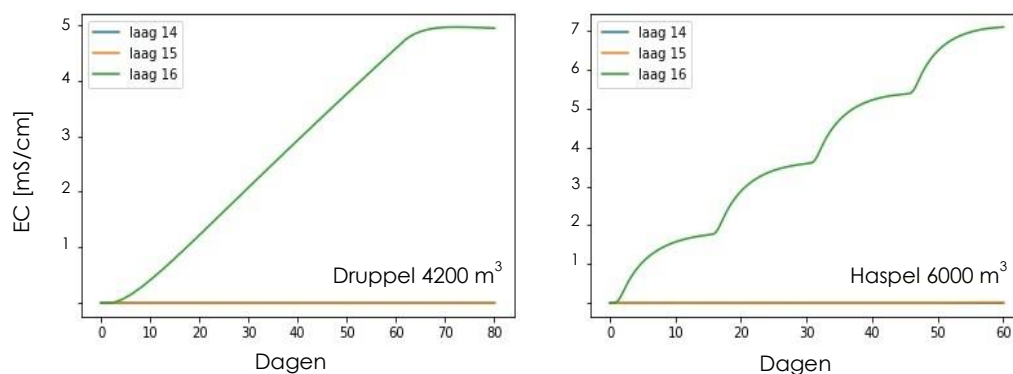
De uniformiteit van de gift bij gebruik van druppelirrigatie is veel beter dan die bij beregening met een waterkanon wat tot minder ruimtelijke variatie in de opbrengst binnen een perceel leidt door verschillen in bewatering zoals voorkomen bij haspelberegening.

### 5.7 Effect op zoetwatervoorraad kreekrug (verzilting)

Verzilting van zoetwaterbronnen treedt op wanneer grote volumes van grondwater worden onttrokken. Als gevolg van grondwateronttrekkingen in de zomer komt het brakke water omhoog. In de winterperiode wordt het grondwater aangevuld met regenwater en daalt de zoet-zout grens weer. Op het moment dat de agrariër brak water aantrekt, zal hij stoppen met onttrekken om zoutschade te voorkomen. Dit leidt echter ook tot droogteschade. De toepassing van druppelirrigatie leidt tot potentieel lagere onttrekkingsvolumes en lagere pompcapaciteit. In DeltaDrip is het effect op het zoet-zoutgrensvlak onderzocht aan de hand van geofysische metingen en modelsimulaties.

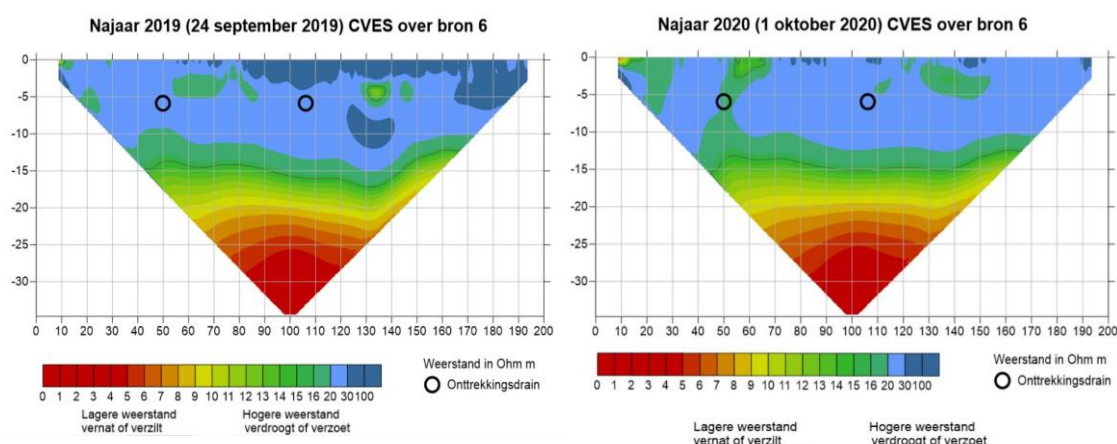
Uit modelsimulaties blijkt dat zoetwater langer beschikbaar kan blijven door het gebruik van druppelberegening. Dat kan echter alleen als het gebruik van druppelberegening daadwerkelijk wordt uitgevoerd met een lager onttrokken volume en dus leidt tot waterbesparing. Als de onttrekking wordt verlaagd van 6000 m<sup>3</sup> naar 4200 m<sup>3</sup> als gevolg

van waterbesparing door druppelberegening is de verzilting aan het einde van de zomerperiode bijna 30% lager dan bij haspelberegening (Figuur 24). Als bij druppelberegening echter evenveel water wordt onttrokken, en daarmee een groter areaal wordt beregend, als bij haspelberegening blijft de gesimuleerde verzilting gelijk, waaruit blijkt dat het effect van een lagere pompcapaciteit verwaarloosbaar is. Dit blijkt ook uit het onderzoek van Pauw (pers. Comm.).



Figuur 24. Mate van verzilting op ongeveer 14 – 16 m diepte veroorzaakt door grondwateronttrekkingen bij verschillende beregeningstechnieken en volumes.

Op basis van geofysische metingen is de diepte van de zoetwaterlens bij Maatschap Waverijn ongeveer 15 meter (Figuur 25). De diepte van het zoet-zoutgrensvlak is tussen het najaar van 2019 en 2020 gemiddeld genomen nauwelijks veranderd. Plaatselijk is het zoet-zoutgrensvlak over deze periode ongeveer 1 m omhoog gekomen, en ter plaatse van de diepdraains is de elektrische weerstand licht afgenomen. Beide waarnemingen kunnen duiden op verzilting en zijn mogelijk gevolg van de onttrekkingen in combinatie met het droge jaar. Aanvullende metingen in een gemiddeld en nat jaar zijn nodig om inzicht te krijgen in de algemene verziltingssituatie.



Figuur 25. Geofysische (CVES) metingen bij bron 6 in het najaar van 2019 (links) en 2020 (rechts). De zwarte cirkels geven locaties van diepdraains weer, de dikke lijnen de diepte van het zoet-zoutgrensvlak.

## 5.8 Conclusies

Uit metingen op de proefvakken van DeltaDrip blijkt dat de watereffectiviteit van druppelirrigatie, en van ondergrondse druppelirrigatie in het bijzonder, hoger is dan die van haspelberegening. Bovendien wordt het water bij druppelirrigatie gelijkmatiger verspreid over het perceel dan bij haspelberegening. Een uniforme beregening is

belangrijk voor een gelijkmatige ontwikkeling van het gewas. Door de hogere watereffectiviteit kan een overstap van haspelberegening naar druppelirrigatie leiden tot een waterbesparing.

Diepdruppelen is in de bodem van maatschap Waverijn goed in staat om het vocht in de wortelzone in het ideale bereik te houden voor gewasproductie. Door de goede capillaire werking is dit ook het geval op 10 cm diepte onder maaiveld en kan zo voldoende water geleverd worden aan ondiep wortelende gewassen. Bij haspelirrigatie werd een veel grotere variatie in het bodemvocht in de tijd waargenomen.

Uit modelsimulaties blijkt dat de kleinere onttrokken volumes bij een dergelijke waterbesparing het verziltingsrisico verminderen. In plaats van waterbesparing kan er ook voor worden gekozen om een groter oppervlakte te beregenen met hetzelfde volume water. Afhankelijk van het gewas kan het geïrrigeerde oppervlak tot 3,5 keer groter zijn.



# 6

## Efficiënt met nutriënten

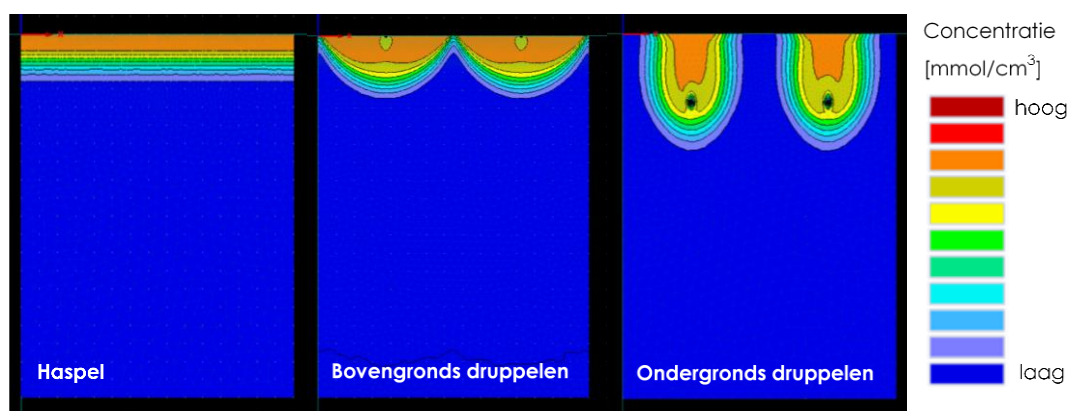
### 6.1 Inleiding

Via de druppelslangen kunnen naast water ook vloeibare meststoffen worden gegeven aan de plant via fertigatie. Omdat de giften direct in de wortelzone komen kan dit precies op de behoefte van de plant worden afgestemd. Door het toepassen van fertigatie kunnen meststoffen worden bespaard omdat het risico op uitspoeling kleiner is dan bij traditionele bemesting. Dit is één van de voordelen van fertigatie. In dit hoofdstuk worden de voordelen van deze vorm van efficiënte bemesting via de druppelslangen behandeld.

### 6.2 Flexibiliteit en vermindering van uitspoeling

Bij traditionele bemesting is het van groot belang dat de mestgift voorafgaand aan een regenbui wordt gegeven. Als deze neerslag niet wordt voorspeld en de mestgift gegeven moet worden dan is de agrariër aangewezen op het gebruik van haspelirrigatie. De neerslag is van belang zodat de nutriënten goed in de bodem kunnen zakken en bij de wortelzone terecht komen. Daarentegen leidt hevige neerslag na een mestgift tot uitspoeling van de net aangebrachte nutriënten. Door de nutriënten met de druppelslangen mee te geven wordt de agrariër flexibeler qua gift en is het risico op uitspoeling kleiner.

Om de hoogte van de mestgiften middels fertigatie goed af te stemmen op de plantbehoefte past de agrariër idealiter bladanalyse toe aan het begin van het seizoen. Dit kan bovenop de bovengenoemde voordelen leiden tot een initieel verminderde mestgift. Ook dit heeft een verminderend effect op de uitspoeling van meststoffen naar het grond- en oppervlaktewater.



Figuur 26. Hydrus modelsimulatie van de verdeling van nitraat in de bodem bij verschillende beregeningstechnieken.

### 6.3 Mestgebruik

Het basismestgebruik voor aardappelen werd gebaseerd op bodemanalyses en de behoefte van het gewas en is voor de aardappelteelt in 2019 getoond in Tabel 7.

Tabel 7. Aanvoer van meststoffen op het proefvak van 2,5 ha voor de teelt van aardappelen in 2019.

Type	Gift	N [kg]	P [kg]	K [kg]
Geitenstalmest	40000 kg	360	136	424 (gesch.)
Urean	400 l	120		
Kali-60	300 kg			180

Bij nutriëntenanalyse van het blad bleek dat bij de eerste meting K, N en B laag waren. Aan de hand hiervan is 200 kg ha<sup>-1</sup> NK 16-0-32 kunstmest gestrooid (16% N, 32% K), en 3 x 10 kg ha<sup>-1</sup> Epso Microtop (15% Mg, 31% S, 1% B en 1% Mn) in de vorm van bladvoeding bijgegeven. Vooral N bleek over het gehele seizoen laag te zijn. Daarnaast werden bij de eerste meting lage K- en B-gehalten geobserveerd. Bij de tweede meting was ook Mn laag. Bij de tweede en derde bemonstering was een herstel van de K- en B-opname waar te nemen. Het N-gehalte in het blad bleef laag. Het is goed mogelijk dat het lagere gehalte aan Mn tijdens de tweede meting veroorzaakt werd door een gebrek aan vocht opname vanwege droogte. Bij de derde bemonstering waren gehalten van macro- en micronutriënten in het blad op redelijk peil.

In 2020 is binnen DeltaDrip 110 kg/ha bemesting toegepast op de druppel en haspeltvakken, en 83 kg/ha op het fertigatieproefvak. Daarmee zijn de toegepaste mestgiftten lager dan bij traditionele bemesting, waarbij 140 kg/ha wordt opgebracht. De gereduceerde mestgift is toegepast op basis van een eerdere proef door Mts. Waverijn waarbij de gereduceerde gift geen negatieve invloed had op de opbrengsten. Dit komt waarschijnlijk door de hoge nutriëntenbeschikbaarheid in de bodem.

De mestgift van 83 kg/ha voor het fertigatieproefvak is aan het begin van het groeiseizoen van bovenaf opgebracht. Voor het uien gewas in 2020 werd 10 mm spuithaspelberegening op 8-9 april toegepast om de meststoffen in de wortelzone te brengen. Als de druppelsslangen ondergronds zijn aangebracht is fertigatie aan het begin van het seizoen geen geschikte methode. De wortels van het gewas zijn in deze fase nog niet lang genoeg om de druppelgift op te kunnen nemen. Dit terwijl het water naar beneden wegstroomt omdat de bodem nog nat is van het winterseizoen. Pas als de bodem droger wordt zal het water uit de druppelsslangen een stijgende beweging maken. Dit speelt niet bij fertigatie via bovengrondse druppelsslangen. Uit bladanalyse bleek zelfs dat deze gereduceerde mestgift al voldoende was om de behoefte van het gewas te dekken. Daardoor is tijdens het groeiseizoen geen fertigatie meer toegepast.

### 6.4 Uitspoeling van nutriënten

Er zijn verschillende routes van water op een perceel naar het oppervlaktewatersysteem toe. Deze zijn:

- 1) Snelste route: Oppervlakkige afspoeling na plasmvorming tijdens en vlak na neerslag;

- 2) Snelle route: Ondiepe laterale stroming door drains of macro-poriën in de bodem naar de slootkant toe tijdens en tot enkele dagen na neerslag;
- 3) Langzame route: Verticale drainage naar het ondiepe grondwater via preferente stroombanen (relatief snel, alleen bij hogere neerslag) en door de matrix (langzaam), gevolgd door stroming met een laterale component afhankelijk van de bodemopbouw gevolgd door uittreding van grondwater in de waterloop.

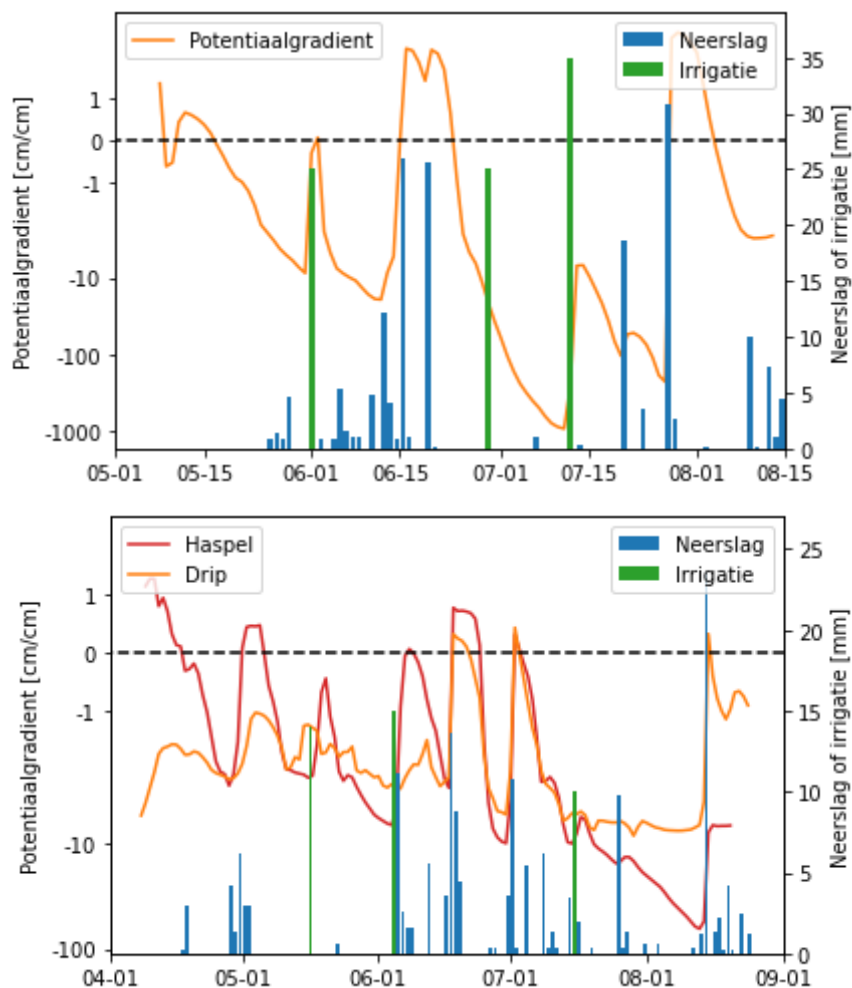
Elk van deze paden kan een karakteristieke concentratie van nutriënten hebben die niet constant hoeft te zijn in de tijd en afhankelijk is van tijdstippen en manier van mestgift en de mate van opname door het gewas en absorptie in de bodem. Plasvorming ontstond in de rijsporen op het perceel na intensieve neerslag, maar er werd geen afwatering geconstateerd van deze plassen naar de waterlopen toe, waardoor de bijdrage via route 1 als verwaarloosbaar kon worden beschouwd. Het perceel werd niet gedraineerd en de bodem was niet onderhevig aan scheuring waardoor uitspoeling naar de waterlopen via route 2 veel invloed zou hebben op de waterkwaliteit in de waterlopen. Bij route 3 kunnen in de ondergrond ook omzettingen plaatsvinden van nutriënten door redoxreacties en biologische processen.

Het verschil tussen fertigatie via oppervlakkig aangebrachte druppelslangen, druppelslangen in de bodem en meststofgift in combinatie met beregening is de manier van gift (korrels voor oppervlakkige toediening, vloeistof voor toediening via druppelslangen) en de diepte waarop de mestgift gegeven wordt. Dit heeft invloed op de concentraties van water in de stromingsroutes. In alle proefvakken zijn, indien mogelijk, watermonsters genomen die representatief zijn voor waterkwaliteit in van de stromingsroutes. Plassen ontstaan alleen tijdens hoge neerslag en verdwijnen binnen één á twee dagen door verdamping en infiltratie. Plasvorming ontstond met name op rijpaden in de proefvakken en niet tussen de ruggen of in de bedden. Plassen zijn bemonsterd op rijpaden in haspelveld op 7 januari 2020 en in haspel- en fertigatieveld op 1 juli 2020.

Ondanks dat fertigatie niet is toegepast, kan een analyse van de hoeveelheid percolatie en gemeten uitspoeling van nutriënten inzicht geven in de risico op uitspoeling naar het grondwater. Het proefperceel is niet gedraineerd, waardoor er geen sprake is van uitspoeling naar het oppervlaktewater. Op momenten dat veel percolatie plaatsvindt, is het risico op uitspoeling van nutriënten het grootst. Daardoor is ook de potentie van efficiënt nutriënt gebruik om uitspoeling te verlagen op deze momenten het grootst.

Op basis van bodemvocht- en bodemvochtspanningmonitoring in en rond de wortelzone blijkt dat het potentiaalgradiënt alleen na hevige neerslag positief is (Figuur 27). Bij een positieve potentiaalgradiënt is de stroming van water en nutriënten neerwaarts, bij een negatieve potentiaalgradiënt is de stroming naar boven gericht. Bij een positieve potentiaalgradiënt kunnen water en nutriënten dus uitspoelen naar het grondwater. Irrigatiegiften alleen leiden niet tot neerwaartse stroming in de bodem, maar kunnen wel bijdragen aan neerwaartse stroming als in de dagen na irrigatie ook hevige neerslag plaatsvindt. Deze vorm van dieppercolatie is dus tijdens de groeiseizoenen waarschijnlijk beperkt gebleven, en daarmee ook de uitspoeling van nutriënten. Dit kan deels verklaard worden door de droge proefjaren. In een gemiddeld of nat jaar zal neerwaartse stroming en daarmee mogelijke uitspoeling van water en nutriënten naar het grondwater vaker voorkomen. In de winter is de situatie anders. Door hogere neerslag en lagere verdamping neemt dieppercolatie toe en kunnen nutriënten die nog in de bodem aanwezig zijn mogelijk uitspoelen naar het grondwater (Figuur 28).

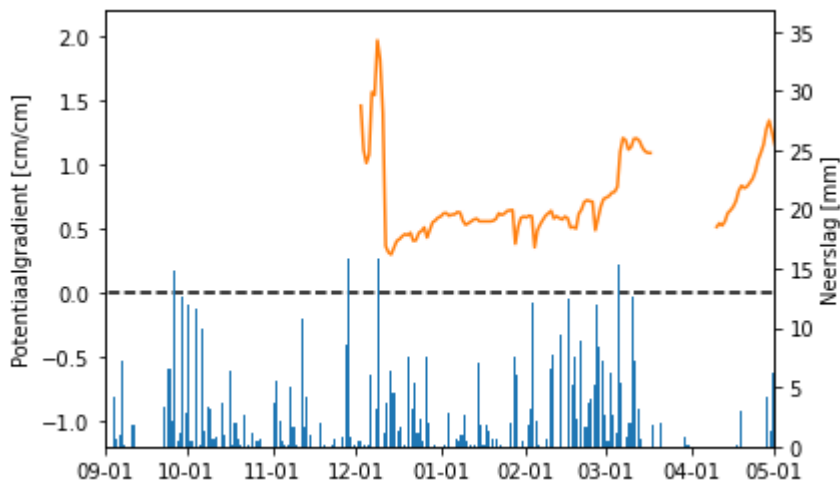
Aannemelijk is dat het efficiënter toedienen van nutriënten door middel van fertigatie kan leiden tot lagere uitspoeling van nutriënten aan het begin van de winter. Doordat fertigatie niet is toegepast binnen DeltaDrip is het niet mogelijk om dit te bevestigen. Daarvoor is een aanvullende proef noodzakelijk.



Figuur 27. Waargenomen neerslag, haspelirrigatie en potentiaalgradiënten in de proefvakken tijdens het groeiseizoen van 2019 (boven) en 2020 (onder). Bij een positieve potentiaalgradiënt is stroming van water en nutriënten neerwaarts, bij een negatieve gradiënt is de stroming naar boven gericht.

Fosfaat wordt sterk gebonden aan de bodem, waardoor de concentraties onder de detectielimiet lagen ( $PO_4\text{-P} < 0,02 \text{ mg/l}$ ) uitspoeling minimaal is. De hoogste concentraties ( $0,58 \pm 0,04 \text{ mg/l}$  in januari 2020 en  $0,48 \text{ mg/l } PO_4\text{-P}$  in juli 2020) werden in plassen op het veld gemeten.

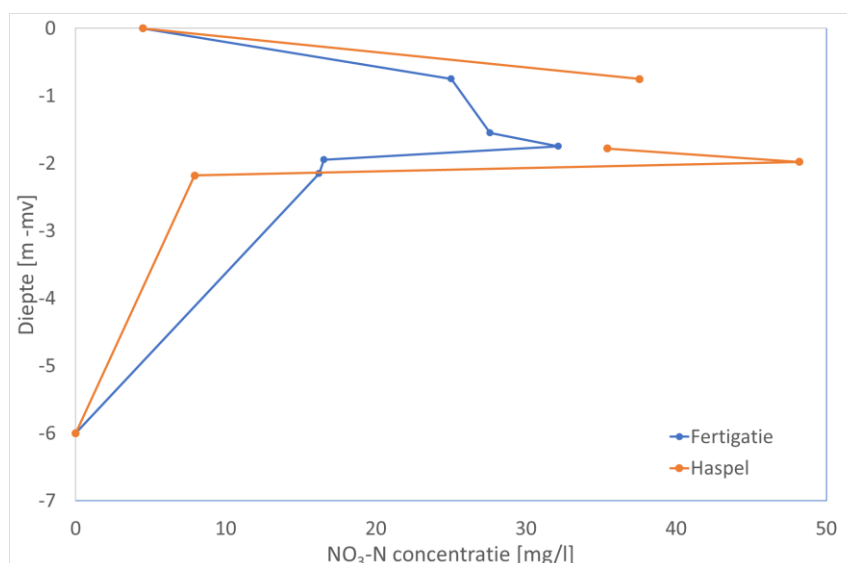
Uit metingen van nutriënten in plassen op het veld, het bodemvocht, ondiep en diep grondwater, is gebleken dat vooral het mobiele nitraat uitspoelt. Diepteprofielen van nitraat in fertigatie en haspelproefvakken in plassen aan maaiveld tot in het diepe grondwater zijn getoond in Figuur 29. Nitraatconcentraties in de plassen op het veld waren relatief laag maar vertoonden wel aanmerkelijk variatie tussen plassen (van  $0,5\text{-}17,0 \text{ mg l}^{-1} NO_3\text{-N}$ ). De hoogste concentraties werden geobserveerd in de onverzadigde zone, en daar het ondiepe grondwater ook nitraat bevatte vindt hier wel uitspoeling naar de verzadigde zone toe. In het haspelvak werden de hoogste concentraties van nitraat in de winter van 2019-2020 gemeten, waarbij de waarden in de onverzadigde zone tussen



Figuur 28. Waargenomen neerslag en potentiaalgradiënt tijdens de winter van 2019–2020. Bij een positieve potentiaalgradiënt is stroming neerwaarts gericht en treedt stroming naar het grondwater op.

56 en 67 mg l<sup>-1</sup> NO<sub>3</sub>-N lagen. De concentraties van nitraat in, en net onder de wortelzone, waren in het fertigatievak lager dan in het haspelvek (zie Figuur 29). Dit zou veroorzaakt kunnen zijn door het verschil in mestgift. Transport gebeurt met name na hevige regen in de winter als ook het phreatisch vlak stijgt van 1,5 m onder maaiveld tot rond een meter diepte in de winter, met een piek tijdens hevige regen naar 0,25 m onder maaiveld. De concentratie van nitraat in het grondwater neemt snel af met diepte, vermoedelijk door afbraak door bacteriën en vorming van anoxische condities. Als gevolg van de zeer lage concentraties in het diepere grondwater zal de stroming van grondwater naar de waterlopen rond het huidige perceel niet leiden tot verhoogde concentraties van nitraat of fosfaat in het oppervlaktewater.

Bij percelen die gedraineerd zijn, kunnen de hogere concentraties van nitraat door uitspoeling van ondiep grondwater echter wel leiden tot verhoogde concentraties van nitraat in het oppervlaktewater ver boven de normen gesteld in de KaderRichtlijn Water.



Figuur 29. Variatie van NO<sub>3</sub>-N concentraties met de diepte in fertigatie en haspelproefvakken.



## 6.5 Conclusies

Uit de metingen bleek dat fosfaat sterk gebonden werd in de bodem en in zowel de onverzadigde als verzadigde zone onder de detectielimiet bleef. Ondanks de lage concentraties in bodemvocht was er voldoende fosfaat aanwezig voor de groei van het gewas (Delphy, 2020).

Nitraatconcentraties zijn verhoogd in de onverzadigde zone en in het ondiepe grondwater maar concentraties nemen sterk af in het diepere grondwater. Uitspoeling van nutriënten uit de onverzadigde zone naar het grondwater is tijdens de proefjaren uitsluitend veroorzaakt door hevige neerslag, en gebeurt voornamelijk in het najaar en de winter. Bij berekening is geen uitspoeling te verwachten door de overwegend opwaartse flux van water in de droge bodem. Door de mestgift te verlagen of te verspreiden over meerdere momenten kan uitspoeling als gevolg van hevige neerslag worden verminderd. De gereduceerde gift in 2020 in het fertigatieproefvak bleek geen invloed te hebben op de concentraties van nutriënten in het blad en op de opbrengst van het gewas. Wel werden in dit proefvak lagere nitraatconcentraties in het bodemwater gemeten dan in het haspeltak.

Een combinatie van fertigatie, bladanalyses en verminderde mestgift aan het begin van het seizoen kan leiden tot een verminderd mestgebruik ten opzicht van het conventionele mestgebruik. Het gemak van het kunnen toepassen van fertigatie op elk ogenblik in de tijd geeft de teler ook meer flexibiliteit om op elk moment bij te kunnen sturen zonder dat de kostbare inzet van haspelberekening nodig is.

# 7

## Bodembaten

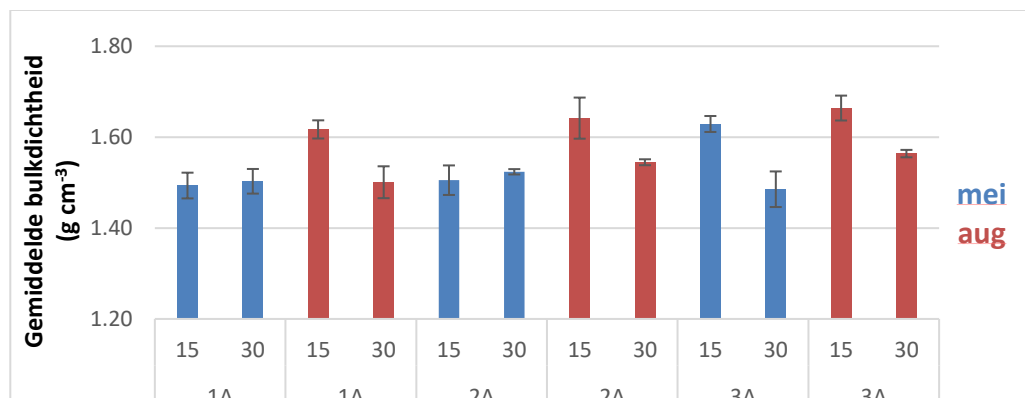
### 7.1 Inleiding

Naast effectief omgaan met zoetwater en het tegengaan van verzilting, is onderzocht of druppelirrigatie ook positieve effecten levert op de verbetering van bodemstructuur. Druppelinslag door het gebruik van haspelberegening kan tot structuurschade leiden indien de intensiteit van de beregening hoger is dan die van de neerslag. Doordat bij druppelirrigatie het water direct in de bodem wordt gebracht kan dit worden voorkomen. Het voorkomen van structuurschade heeft een positief effect op het waterbergend vermogen van de bodem en draagt bij aan een goede opname van voedingsstoffen.

### 7.2 Verdichting

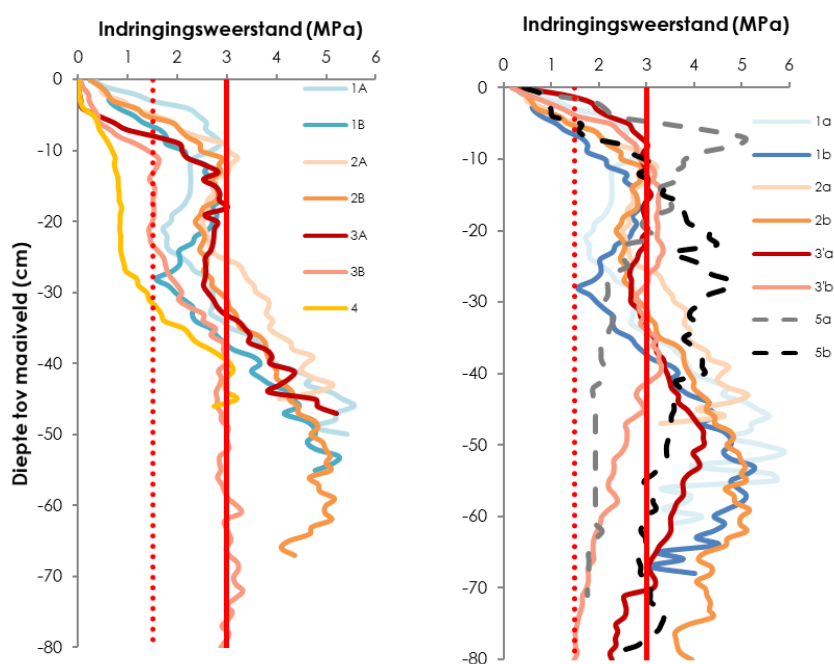
Bodemmonsters tonen aan dat bij toepassing van beregening gedurende het groeiseizoen de bulkdichtheid van de bodem toeneemt (Figuur 30), wat een indicatie is dat verdichting optreedt (Figuur 31). Hierdoor is er minder ruimte voor water en wortels om zich in de bodem te verspreiden. De toename in bulkdichtheid is vooral zichtbaar in de bovenste laag van de bodem, en is bij ondergronds druppelen sterker dan bij haspelberegening. Hierbij moet opgemerkt worden dat dit deels ook te wijten kan zijn aan de verschillen in textuur van de bodem tussen de proefvakken, waarbij het haspelproefvak een iets hogere kleifraction heeft.

De resultaten van bodemscans van indringingsweerstand bevestigen dat de verdichting de bodem toeneemt gedurende het groeiseizoen (Figuur 30). In mei was er alleen in het proefvak met bovengrondse druppelberegening tot 30 cm diepte geen hinder voor wortelgroei. Bij de andere beregeningstechnieken was dit bij maximaal 10 cm al het geval. In augustus is de verdichting in het proefvak zonder beregening in de teeltlaag (tot een diepte van 30 cm) hoger dan bij de proefvakken met beregening.



Figuur 30. Gemiddelde bulkdichtheid in mei en augustus 2020 voor drie verschillende proefvakken (1 & 2: ondergrondse druppelirrigatie, 3: spuihaspelberegening).

Het verschil in bulkdichtheid en verdichting tussen de proefvakken kan verklaard worden door verschillen in vochtgehalten in de toplaag van de bodem, die weer beïnvloedt worden door de textuur en watervasthoudend vermogen. Door de droge zomer van 2020 is de bovenste laag van de bodem regelmatig uitgedroogd en verhard. Bij ondergronds druppelen is dat effect groter dan bij haspelberegening, waarbij er vaker vocht van bovenaf is opgebracht. Bij bovengronds druppelen wordt de bovenste laag van de bodem vochtiger gehouden dan bij de andere technieken, waardoor de minste hinder voor wortelgroei wordt gemeten voor deze techniek.



Figuur 31. Indringingsweerstand (mate van verdichting) in mei (links) en augustus (rechts). De rode stippellijn geeft hinder van wortelgroei aan, de rode lijn ernstige restrictie van wortelgroei. 1 en 2: ondergronds druppelen, 3: haspel, 4: bovengronds druppelen, 5: geen beregening.

### 7.3 Erosiegevoeligheid

Bij erosie wordt landbouwgrond door wind, stromend water of druppelinslag verplaatst. Dit heeft gevolgen voor de vruchtbaarheid en bodemstructuur van landbouwgrond en daarmee de robuustheid van de landbouw. Binnen DeltaDrip is de gevoeligheid voor inslagerosie onder haspel- en druppelberegening onderzocht (Figuur 10). Na een haspelberegening van 10 mm in 2020 kwam de gemeten inslagerosie overeen met  $206 \pm 88$  kg/ha.

In de daaropvolgende periode werd ook de inslagerosie door neerslag gemeten in beide vakken, waarbij er 11 buien werden gemeten met een totaal van 55,8 mm en een maximum intensiteit van 6,8 mm in 15 minuten. De intensiteit van de beregening met de spuihaspel was lager, in de orde van 2-5 mm per 15 minuten, en verschilde daarom niet veel met die van neerslag. Gemeten inslagerosie ten gevolge van neerslag en beregening tijdens het groeiseizoen in het haspelveld ( $1786 \pm 535$  kg/ha, 65,8 mm neerslag en beregening) verschilde niet significant van de hogere metingen in het druppelproefvak ( $2995 \pm 2169$  kg/ha, 55,8 mm neerslag). De hogere waarde in het druppelvak werd veroorzaakt door enkele extreme metingen met een maximum tot 7487 kg/ha.

De aggregaat stabiliteitsindex (van den Elsen et al., 2019) op het perceel was relatief hoog met een gemiddelde waarde van 0,57 (ter vergelijking: bij metingen in Westmaas en Lelystad werden alleen waarden gevonden van minder dan 0,40). Ook metingen van verandering in aggregaatstabiliteit voor en na het groeiseizoen, een indicator voor verslemping, verschilden niet significant tussen de verschillende proefvakken.

## 7.4 Conclusies

Op basis van de uitgevoerde metingen en waarnemingen zijn geen duidelijke aanwijzingen van slechtere bodemkwaliteit na haspelberegening dan na druppelberegening. Tijdens het groeiseizoen van 2020 was de bovenste laag van de bodem in alle proefvakken uitgedroogd en verhard. Dit effect was sterker in het proefvak voor ondergrondse druppelberegening dan voor de proefvakken waarbij de beregening van bovenaf werd toegediend.

# 8

## Baten

### 8.1 Inleiding

Het toepassen van druppelirrigatie levert naast waterbesparing ook andere baten op. Bij de start van DeltaDrip is het doel gesteld om de extra gewasopbrengsten te bepalen door de vermindering van droogtestress door waterbesparing. De hypothese was dat efficiëntere omgang met zoetwater en het verkleinen van de verliesfactoren van haspelberegening zouden leiden tot hogere gewasopbrengsten omdat er meer water beschikbaar zou zijn. In het ideale geval zouden de extra gewasopbrengsten hoog genoeg zijn om de kosten te dekken, wat een sluitende business case zou bieden. De analyse om deze hypothese te beantwoorden is uitgevoerd en de resultaten worden in dit hoofdstuk beschreven.

Tijdens de duur van het project onstond een trend waarbij agrariërs in Zeeland meer gingen investeren in druppelirrigatie. Deze investeringsbeslissing stond los van de resultaten van het project Deltadrip en kon niet worden genomen op basis van de hier beschreven business case omdat de resultaten nog niet beschikbaar waren. Inzicht in de investeringsbeslissing is waardevol voor Deltadrip en op basis van gespreken met agrariërs zijn kwalitatieve conclusies getrokken over de motivatie om te investeren. Leveringszekerheid en arbeidsintensiteit lijken hierbij een belangrijke rol te spelen.

### 8.2 Gewasopbrengst

De Zeeuwse agrariërs die een kreekrug tot hun beschikking hebben mogen hier water uit onttrekken voor het beregenen van de gewassen. De wettelijke toegestane hoeveelheid te onttrekken water is 8.000 m<sup>3</sup> per jaar met een maximum van 3.000 m<sup>3</sup> per kwartaal voor een oppervlakte van 10 hectare (Waterschap Scheldestromen, 2017). Dit staat gelijk aan een onttrekking van 80 mm per jaar. Het is aan de boer om te bepalen hoe dit water wordt ingezet en voor welke gewassen. Omdat druppelirrigatie het mogelijk maakt efficiënter met water om te gaan kan netto meer water bij de plant komen met eenzelfde, bruto, uitgangshoeveelheid (zie Tabel 4).

### 8.3 Wettelijk toegestane onttrekkingshoeveelheid en akkerbouw

Omdat de groeiseizoenen van uien en aardappelen zich beperken tot twee kwartalen komt de beschikbare grondwaterhoeveelheid voor irrigatie neer op 6000 m<sup>3</sup>. Dit volume kan grofweg op twee manieren gegeven worden, 1) gelijkmatig verdeeld over 10 hectare of 2) geconcentreerd op drie tot vier hectare om de belangrijkste gewassen te irrigeren. De eerste optie betekent dat er 60 mm voor het groeiseizoen beschikbaar is voor irrigatie van het hele perceel van 10 ha, bij de tweede optie zou er voor drie tot vier hectare 150-200 mm voor 3 á 4 hectare per groeiseizoen, waarbij het overige deel (6-7 ha) van het perceel niet geïrrigeerd wordt.



## 8.4 Invloed op gewasopbrengst

Om de extra gewasopbrengst te analyseren is gekeken naar het verschil in bruto watergebruik bij druppel- en haspelirrigatie en de impact die dit heeft op de netto hoeveelheid die bij de plant terecht komt en zo de uiteindelijke opbrengst bepaalt. Hiervoor is een efficiëntie voor haspelberegening gebruikt van 65% die iets hoger is dan de gemeten efficiëntie, ervan uitgaande dat de teler bewust is van watertekorten en derhalve de spuithaspel optimaal toepast met nachtelijke beregening onder windstille condities. Uitgaande van een jaarlijkse watergift van 60 mm in het groeiseizoen en een haspelefficiëntie van 65% en voor druppelirrigatie van 90% kunnen de langjarig-gemiddelde opbrengsten in Tabel 8 worden gehaald.

Tabel 8. Gemiddelde opbrengsten voor druppelirrigatie met een efficiëntie van 90% en haspelberegening met een efficiëntie van 65% voor de periode 1990-2019. De bruto watergift was in alle gevallen 60 mm. De twee getallen voor de opbrengsten zijn die bij phreatische grondwaterstanden op 1,4 en 1,6 m onder maaiveld.

Gewas / techniek	Netto gift [mm]	Opbrengst [ton/ha]	Opbrengst [€/ha]
<b>Ui - haspel</b>	39	46,6 - 52,5	€ 4.700 - € 5.250
<b>Ui - druppel</b>	54	52,5 - 56,5	€ 5.250 - € 5.650
<b>Consumptieaardappel - haspel</b>	39	47,5 - 52,0	€ 6.675 - € 7.275
<b>Consumptieaardappel - druppel</b>	54	49,5 - 53,0	€ 6.960 - € 7.420
<b>Pootaardappel - haspel</b>	39	37,0 - 40,5	€ 10.150 - € 11.400
<b>Pootaardappel - druppel</b>	54	39,0 - 41,5	€ 10.900 - € 11.600

Uit Tabel 8 is te concluderen dat de opbrengstverschillen tussen haspel- en druppelirrigatie enkele tonnen per ha bedragen. Als we de opbrengsten monetariseren met behulp van de gemiddelde prijzen dan komen we tot extra opbrengsten van enkele honderden euro's per hectare. De extra opbrengst ten bate van het gebruik van druppelirrigatie zijn zichtbaar, de verschillen zijn echter relatief klein voor een gemiddeld jaar bij een maximaal gebruik van 60 mm.

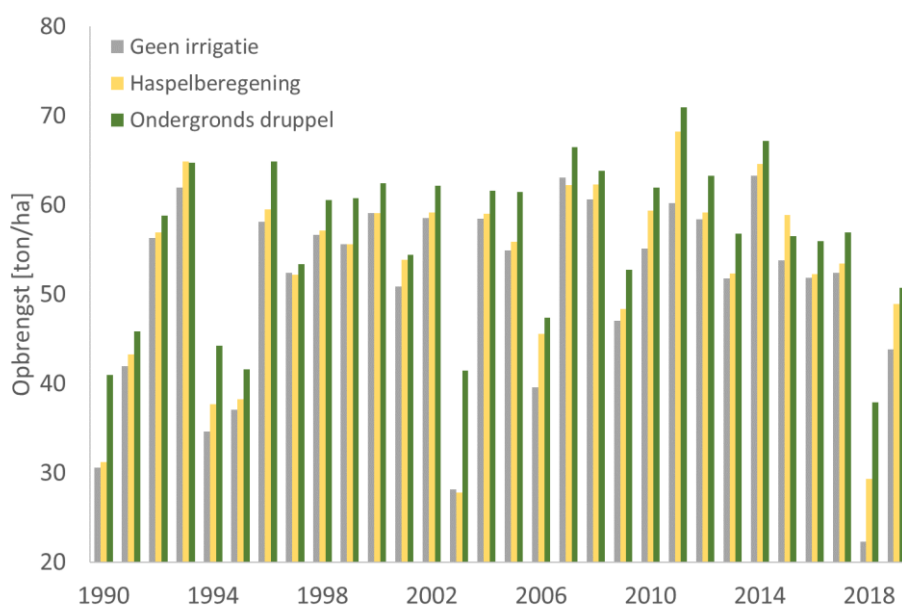
Een vergelijking van opbrengsten voor uien zonder irrigatie en met verschillende irrigatietechnieken is gegeven in Tabel 9 en de jaarlijkse variatie is geïllustreerd in Figuur 32. Indien niet geïrrigeerd zou worden zouden de opbrengsten voor uien gemiddeld ongeveer 1,9 ton/ha lager zijn dan bij beregening met de haspel. Een overstap van haspelberegening naar druppelirrigatie zou gemiddeld nog 1,8 ton/ha extra opbrengst leveren. Belangrijker is dat de standaarddeviatie lager wordt en de leveringszekerheid derhalve vergroot wordt. In natte jaren is er weinig verschil in opbrengst tussen de verschillende irrigatiemethoden, hoewel ook dan een toename van 4,9-7,7 ton/ha wordt voorspeld als irrigatie wordt toegepast.

De minimum opbrengsten in droge jaren neemt bij overstap van haspel naar druppelirrigatie echter veel meer toe met 10,1-10,7 ton/ha. Het gebruik van druppelirrigatie zou derhalve een gemiddelde jaarlijkse opbrengstverhoging garanderen,

en met name in droge jaren meer zekerheid van opbrengst geven. Hetzelfde geldt voor andere teelten.

Tabel 9. Gemiddelde opbrengsten voor uien zonder irrigatie, bij toepassing van haspelberegening met een efficiëntie van 65% en bij gebruik van oppervlakkig en diep aangelegde druppelirrigatie met een efficiëntie van 90% voor de periode 1990 -2019. De neerslag in het groeiseizoen is gegeven ter vergelijking en opbrengsten zijn gegeven voor een phreatische grondwaterstand van 1,4 m onder maaiveld.

	Neerslag [mm]	Netto gift [mm/ha]	Opbrengst [ton/ha]	Opbrengst [€/ha]
<b>Geen irrigatie</b>				
<b>Gemiddelde ± std. Dev.</b>	328±48	0	50,6±11,0	5060
<b>Minimum</b>	132		22,3	2230
<b>Maximum</b>	463		63,3	6330
<b>haspelberegening</b>				
<b>Gemiddelde ± std. dev.</b>	328±48	39	52,5±10,7	5250
<b>Minimum</b>	132		27,8	2780
<b>Maximum</b>	463		68,2	6820
<b>Ondergrondse druppelirrigatie</b>				
<b>Gemiddelde ± std. dev.</b>	328±48	54	56,2±8,9	5620
<b>Minimum</b>	132		37,9	3790
<b>Maximum</b>	463		71,0	7100
<b>Oppervlakkige druppelirrigatie</b>				
<b>Gemiddelde ± std. dev.</b>	328±48	54	56,9±8,8	5690
<b>Minimum</b>	132		38,5	3850
<b>Maximum</b>	463		71,3	7130

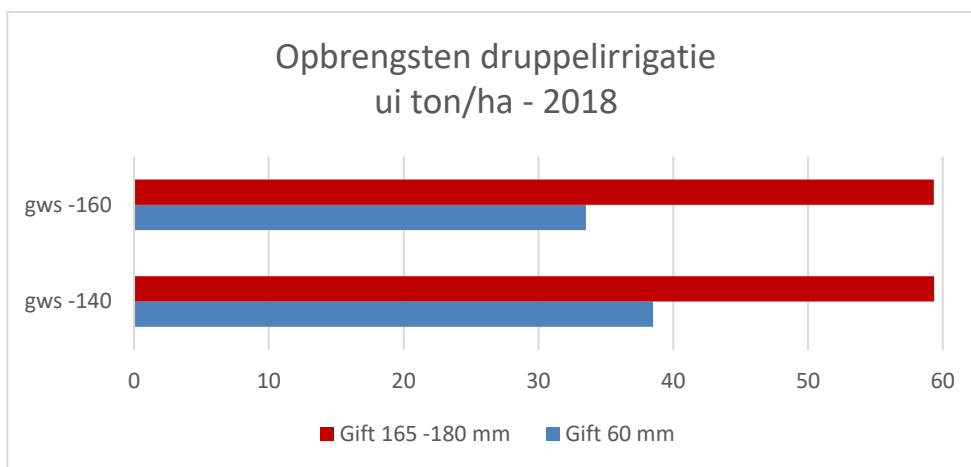


Figuur 32. Interjaarlijkse variatie in opbrengst voor ui zonder irrigatie, met haspelberegening en ondergrondse druppelirrigatie.

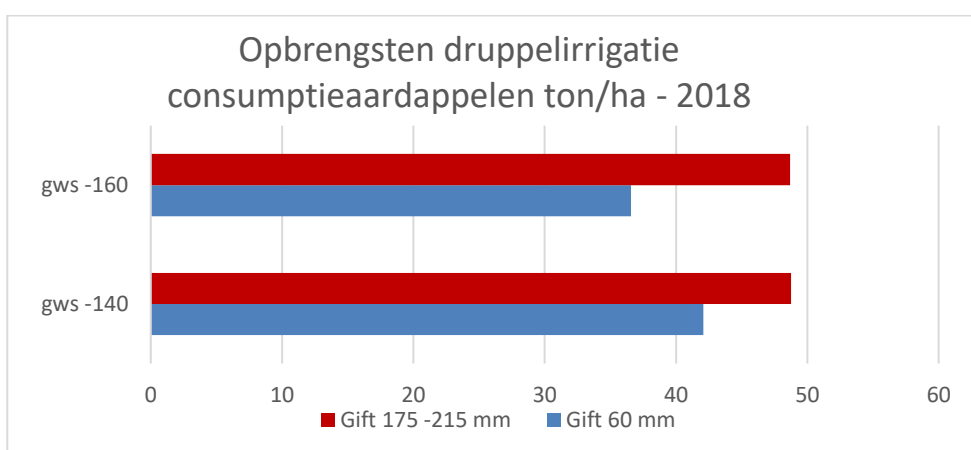
Zoals in de inleiding beschreven, is het ook mogelijk om de giften te concentreren op een kleiner oppervlak van het perceel, bijvoorbeeld 3 tot 4 ha, om zo beschikking te hebben over grotere volumes voor irrigatie. Echter, uit de modelberekeningen is

gebleken dat de waterbehoefte per hectare voor alle drie de gewassen gemiddeld tussen de 50 en 80 mm ligt. Dit betekent dat er in gemiddelde jaren geen groot voordeel te behalen valt op het moment dat de giften worden geconcentreerd. Door een deel van het oppervlak, bijvoorbeeld 20%, permanent te reserveren voor rotatie met een droogtebestendig gewas waarvoor geen irrigatie nodig is kan in normale jaren de rest van het oppervlak al optimaal geïrrigeerd worden.

Het concentreren van giften op een kleiner oppervlak is voornamelijk interessant voor droge jaren. Voor het jaar 2018 is berekend dat in de uien met een brutogift van 165 – 180 mm met druppelirrigatie een opbrengst van 60 ton/ha behaald kan worden. Met een brutogift van 60 mm met druppelirrigatie wordt in 2018 slechts een opbrengst van 33 ton uien per ha behaald (Figuur 33). Ook voor consumptieaardappelen leidt een hogere gift tot voordeel (Figuur 34). Het is voor een agrariër dus interessant om in een droog jaar het beschikbare water voor een kleiner oppervlak te reserveren waar dan een hogere opbrengst voor gehaald kan worden.



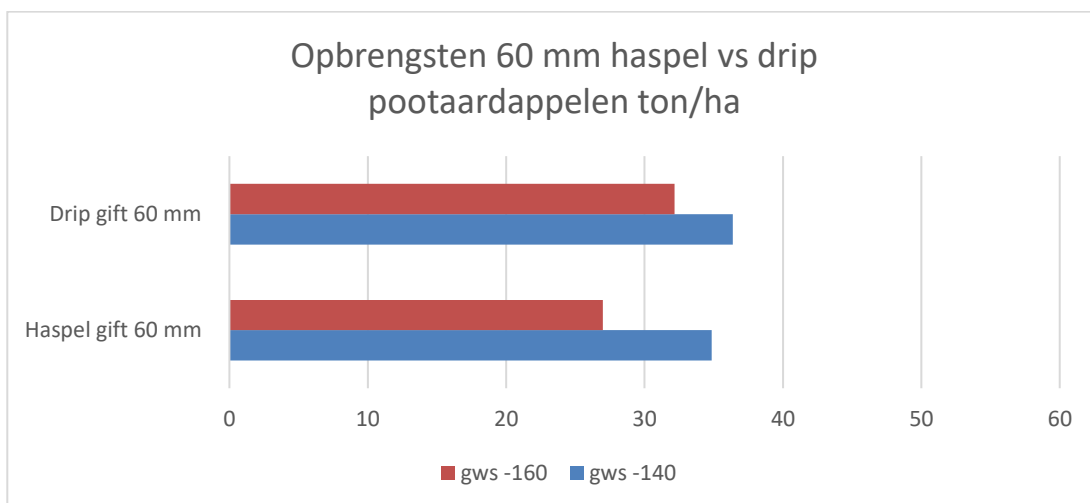
Figuur 33. Opbrengsten voor druppelirrigatie van uien bij giften van 60 mm en 165-180 mm voor twee verschillende grondwaterstanden.



Figuur 34. Opbrengsten voor druppelirrigatie van consumptieaardappelen bij giften van 60 mm en 165-180 mm voor twee verschillende grondwaterstanden.

De agrariër kan het water ook met de spuihaspel geven. Met haspelberekening gaat een deel van de effectiviteit van de gift verloren, voor zowel aardappel en ui is dit ongeveer 35%. Op basis van de berekeningen wordt een verschil van 7 ton verwacht in een droog

jaar als 2018 en 4 tot 6 ton binnen het langjarig gemiddelde. Echter hoe groter het totale irrigatievolume des te groter de absolute waterbesparing.



Figuur 35. Opbrengsten voor haspelberegening en druppelirrigatie van poot aardappelen bij een gift van 60 mm voor een grondwaterstand van 140 en 160 cm – mv

Dus, effectief water met druppelirrigatie levert een waterbesparing. Hoe groter het volume bruto irrigatie hoe groter de waterbesparing is. Echter, effectief met water omgaan leidt in gemiddelde situaties niet direct tot een aanzienlijk grotere gewasopbrengst. Echter, hoe groter het totale irrigatievolume des te groter de totale waterbesparing van druppelirrigatie ten opzichte van haspelirrigatie en des te groter de extra gewasopbrengst. Daarnaast is waterbesparing het meest van belang in droge jaren. Dus, de belangrijkste baten zijn te behalen in de droge jaren zoals 2003 en 2018 (Figuur 32). In droge jaren zijn de gewasbaten echter niet de enige belangrijke batenpost, dan gaan ook kosten, arbeidsintensiteit en leveringszekerheid een grote rol spelen.

## 8.5 Arbeidsintensiteit en kosten

Tijdens het project DeltaDrip was er een duidelijke trend van investeringen in druppelirrigatie onder de Zeelandse akkerbouwers gaande. De resultaten van de watereffectiviteitsanalyse en de bijhorende extra gewasopbrengst waren op dat moment nog niet beschikbaar. Dit maakt het interessant om de afwegingen tot investering te bespreken. Uit gesprekken met de agrariërs zijn twee belangrijke redenen gekomen: I) arbeidsintensiteit, II) leveringszekerheid en de kosten die in het volgende hoofdstuk worden behandeld

Haspelberegenen is een arbeidsintensief proces dat agrariërs tijdens de afgelopen droge jaren veel tijd, energie en geld heeft gekost. In normale jaren wordt haspelberegening gebruikt om korte droge perioden te overbruggen zonder te veel schade te lijden. In 2018, 2019 en 2020 werd haspelberegening echter een methode die benodigd was om überhaupt gewassen te kunnen verbouwen. In sommige gevallen besloten telers zelfs om het gewas af te schrijven vanwege gebrek aan water.

Gebaseerd op de praktijk worden in de analyse giften van 15 mm per keer gegeven. Voor 60 mm betekent dit dat er 4 keer gehaspeld wordt per seizoen, maar om 165 tot 180 mm te geven zouden dit 11 of 12 haspelgiften worden. Voor ieder areaal moet de agrariër de haspel opnieuw uitrijden en opzetten, dit is een proces dat afhankelijk is van de arbeid van de boer. Om bladverbranding en grotere verdampingsverliezen te

voorkomen hebben de agrariërs ook de voorkeur voor 's nachts beregenen. Ook heeft men rekening te houden met de windsnelheid tijdens de beregening. Om de aanhoudende droogte te kunnen overbruggen hebben de boeren de afgelopen jaren dan ook veel nachten doorgewerkt. Naast dat beregenen een arbeidsintensief proces is zijn er ook hoge kosten mee gepaard, €195,- per gift per hectare. In hoofdstuk 8 wordt verder op de kosten ingegaan.

De uitblijvende nachtrust en arbeidskosten worden in dit rapport niet gekwantificeerd maar het gebruiksgemak van druppelirrigatie lijkt een belangrijke factor bij de investeringsbeslissing van de agrariërs.

## 8.6 Leveringszekerheid

Naast arbeidsintensiteit lijkt leveringszekerheid een belangrijke factor binnen de investeringsbeslissing. Vooral in de handel van consumptieaardappelen is leveringszekerheid een economische factor. Met behulp van druppelirrigatie is het voor een agrariër makkelijker om ook in droge jaren van de minimale afnamehoeveelheid van 45 ton/ha te behalen. Bij gebruik van druppelirrigatie kan snel worden bijgestuurd op droge momenten. In de periode 1990-2019 wordt in elk jaar minimaal 35 ton aan opbrengst van uien behaald, voor beide grondwaterstanden van 140 en 160 cm -mv. Met haspelberekening kan de boer niet verzekerd worden van een minimale opbrengst van 45 ton. Met deze berekeningstechniek wordt in bijna 20% van de jaren de opbrengst niet behaald bij een grondwaterstand van 140 cm -mv. Bij een stand van 160 cm -mv kan de boer zelfs in 50% van de jaren niet van een minimale opbrengst van 45 ton worden verzekerd.

## 8.7 Druppelirrigatie als toekomstbestendig irrigatiesysteem

Boeren zullen in de toekomst steeds meer te maken krijgen met de gevolgen van klimaatverandering. Extreme weersomstandigheden, zoals warmere en drogere zomers, maar ook extreem natte perioden, kunnen ervoor zorgen dat de productiviteit van landbouwbedrijven achteruitgaat. Het is dus van belang dat boeren rekening houden met de veranderende weerspatronen om hun productie op peil te houden.

Het KNMI heeft een aantal klimaatscenario's opgesteld om de effecten van klimaatverandering op het toekomstige weer te projecteren. Eén van deze scenario's, het  $W_H$  scenario, is toegepast in de analyse om te effecten van klimaatverandering te modelleren. Het  $W_H$  scenario omschrijft een toekomstige situatie waarin Nederland te maken krijgt met een grote temperatuurstijging, gemiddeld minder neerslag, maar extremere regenval en een hoog neerslagtekort tijdens het groeiseizoen (KNMI, 2015).

Hogere neerslagtekorten in het groeiseizoen zullen leiden tot een grotere watervraag voor beregening. Zowel de waterbesparing als de economische factoren arbeid, leveringszekerheid en kosten maken het met oog op de toekomst interessant voor de agrariërs om over te stappen op druppelirrigatie.

## 8.8 Conclusie

Uit de gewasopbrengsten analyse blijkt dat het gebruik van druppelirrigatie tot hogere gewasbaten leidt ten opzichte van haspelberegening. De gemiddelde opbrengst die direct te koppelen is aan waterbesparing is op het langjarig gemiddelde echter klein. In droge jaren heeft druppelirrigatie wel een sterk opbrengstvermeerderend effect ten opzichte van haspelberegening. Als daarbij het irrigatiewater ook nog wordt geconcentreerd op een aantal hectare wat een groter volume mogelijk maakt is de extra



opbrengst aanzienlijk. Daarnaast zal druppelirrigatie leiden tot een minder arbeidsintensief werkproces en draagt het bij aan de leveringszekerheid, twee factoren die sterk lijken mee te wegen in de investeringsbelissing van de boer.

# 9

## Kosten

### 9.1 Inleiding

Om inzicht te krijgen in de haalbaarheid van druppelirrigatie zijn naast de baten ook de kosten in kaart gebracht. De jaarlijkse kosten van haspelirrigatie, en bovengrondse en ondergrondse druppel zijn berekend op basis van vaste en variabele kosten per hectare. Hiertoe behoren de investeringskosten, onderhoudskosten, verzekeringskosten, energiekosten en arbeidskosten.

### 9.2 Kosten haspelberekening

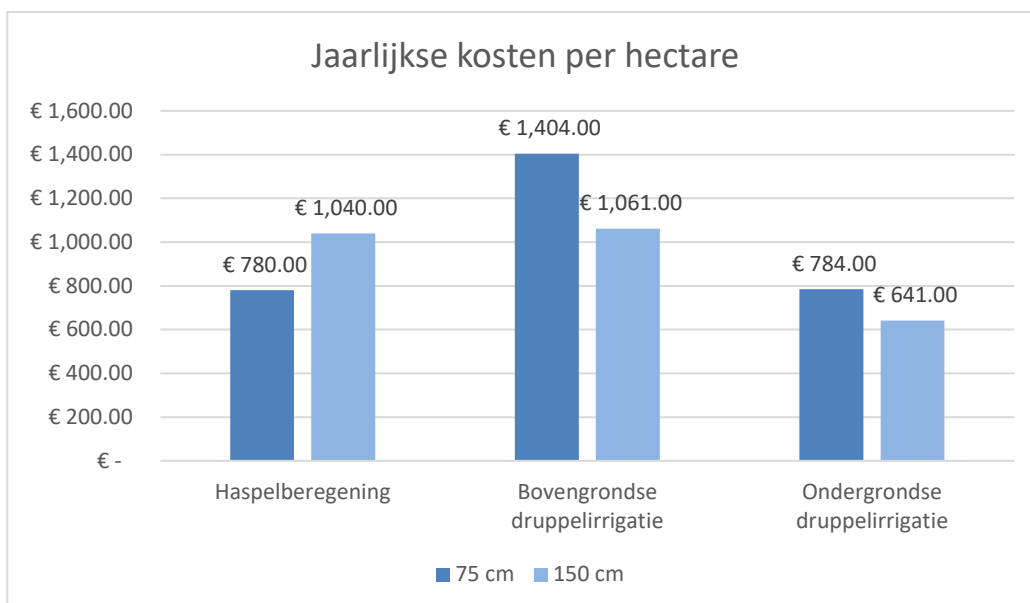
De kosten voor een beregeningsbeurt van 15mm per gift met haspel zijn €195 per hectare, gebaseerd op jaarlijkse vaste en variabele kosten. Onder de vaste kosten worden verstaan: investeringskosten van de haspel, pomp, buizen en kopstukken. Daarnaast zitten hier ook de onderhouds- en verzekeringskosten in. De variabele kosten bestaan uit de energie- en arbeidskosten. Uitgaande van een bruto watergift van maximaal 60-80 mm per groeiseizoen, betekent dat er 5 giften worden gegeven. In totaal komen de jaarlijkse kosten van haspelirrigatie uit op €780 - €1.040 per hectare. Echter, als in een droog jaar gekozen wordt voor 180 mm op 3-4 hectare betekent dit 12 beregeningsbeurten en stijgen de kosten al snel naar de €2.340 per hectare.

#### Arbeidsintensiteit beregenen

Als kanttekening kan hieraan worden toegevoegd dat in bovenstaande kostenposten de arbeidsintensiteit niet is meegenomen. Wat een rol kan spelen is dat de haspel uitgerold moet worden en meerdere keren verplaatst. Deze intensiteit zal alleen maar toenemen naarmate het droger wordt en het te beregenen oppervlakte substantieel is. Daarnaast wordt berekening bij voorkeur 's nachts toegepast om bladverbranding en verliesfactoren (zoals verwaaing en verdamping) te minimaliseren. In de realiteit betekent dit dat de boer zelf in de nacht de haspel moet verplaatsen, wat als negatief aspect ervaren kan worden.

### 9.3 Kosten druppelirrigatie

Voor druppelirrigatie bestaan de kosten ook uit jaarlijkse vaste en variabele kosten. Voor bovengronds druppelen liggen de totale kosten tussen de €1.061 en €1.404 per hectare, afhankelijk van de afstand tussen de druppelslangen (75 en 150 cm respectievelijk). De kosten voor ondergronds druppelen liggen lager, namelijk tussen de €641 per hectare bij een tussenafstand van 75 cm, en €784 bij 150 cm. Deze kosten zijn berekend op basis van aanleg op 15 hectare. Onder de vaste kosten worden bij beide systemen verstaan: investering van de druppelslangen en pomp, de onderhouds- en verzekeringskosten. De variabele kosten bestaan net zoals bij haspel uit de energie- en arbeidskosten. Het verschil in kosten tussen bovengrondse en ondergrondse drup is te verklaren doordat het bovengrondse druppelsysteem ieder jaar vervangen moet worden, terwijl het ondergrondse systeem kan blijven liggen.



Figuur 25. Jaarlijkse kosten per hectare per irrigatiesysteem

In zijn totaliteit vallen de jaarlijkse kosten per hectare van ondergrondse druppelirrigatie het laagst uit (zie Figuur ). Daarnaast is een voordeel van druppelirrigatie dat de arbeidsintensiteit veel lager ligt dan bij haspelirrigatie. Er is slechts arbeid nodig om het systeem te installeren en op te ruimen nadat de levensduur beëindigd is. De boer hoeft zelf niets aan het irrigatiesysteem te doen wanneer de gewassen beregend moeten worden.

## 9.4 Conclusie

De totale jaarlijkse kosten per hectare komen voor druppelirrigatie uit op €641 en €1.404 per hectare, afhankelijk van het bovengrondse of ondergrondse systeem en de tussenruimte van de slangen. De kosten van haspelirrigatie zijn sterk afhankelijk van het aantal beregeningsbeurten die daadwerkelijk worden gegeven. Ondergrondse druppelirrigatie is voordeliger voor de agrariër, aangezien de levensduur van het systeem langer is en in tegenstelling tot het bovengrondse systeem niet ieder jaar vervangen hoeft te worden. Daarnaast neemt de algehele arbeidsintensiteit af wanneer er van druppelirrigatie gebruik wordt gemaakt, wat als extra positief aspect van de irrigatietechniek ervaren kan worden.

# 10

## Conclusies en aanbevelingen

### 10.1 Inleiding

De akkerbouw in Zeeland heeft te maken met het risico van verzilting. Doordat het diepere grondwater in Zeeland zout is, is de akkerbouw grotendeels afhankelijk van regenwater of, indien aanwezig, de zoetwatervoorraden in de kreekruggen. Als de boeren te veel grondwater onttrekken voor beregening, is de kans op verzilting van het schaarse zoete water groot. Het zorgvuldiger omgaan met de zoetwatervoorraden zou weerstand kunnen bieden tegen toekomstige problemen zoals verzilting en droge perioden.

In DeltaDrip is onderzocht of met druppelirrigatie, als alternatief voor de traditionele haspelberegening, water en nutriënten kunnen worden bespaard. Om dit te testen is een proefveld bij Firma Waverijn te Philipine ingericht. Aan de hand van de resultaten van de pilot op dit proefveld worden de volgende deelvragen beantwoordt:

1. Is met gebruik van druppelirrigatie efficiënter watergebruik mogelijk t.o.v. haspelberegening?
2. Wat zijn de voordelen van efficiënte bemesting via druppelirrigatie?
3. Wat zijn de effecten van druppelirrigatie m.b.t. de bodemstructuur?
4. Wat zijn de te realiseren gewasbaten met behulp van druppelirrigatie?
5. Wat is het kostenverschil tussen druppelirrigatie en haspelberegening?
6. Hoe verhouden de kosten en de opbrengsten van druppelirrigatie zich tot elkaar?

### 10.2 Conclusies

#### Effectief met zoetwater

Aan de hand van de uitgevoerde metingen op de proefvakken kan worden geconcludeerd dat druppelirrigatie een aantal voordelen heeft ten opzichte van haspelberegening op het gebied van watereffectiviteit. Er gaat minder water verloren waardoor de watereffectiviteit van druppelirrigatie substantieel hoger is dan haspelberegening. Omdat er minder water nodig is om de gewassen van water te voorzien, kan een overstap van haspelberegening naar druppelirrigatie leiden tot een waterbesparing. Uit modelsimulaties blijkt dat de kleinere onttrokken volumes bij een dergelijke waterbesparing het verziltingsrisico verminderen. Bovendien is de uniformiteit van de gift hoger bij druppelirrigatie en draagt de gelijkmatigere verspreiding van het water over het perceel bij aan een gelijkmatige ontwikkeling van het gewas.

Doordat druppelirrigatie een hogere watereffectiviteit heeft dan haspelberegening, kan er in plaats van waterbesparing ook voor worden gekozen om een groter oppervlakte te beregenen met hetzelfde volume water. Afhankelijk van het gewas kan het beregende oppervlak tot 3,5 keer groter zijn.

### Nutriëntenefficiëntie

Naast waterbesparing is het met druppelirrigatie ook mogelijk om meststoffen in vloeibare vorm aan het water toe te voegen, ook wel bekend als fertigatie. Omdat het water direct in de wortelzone komt, kan de mestgift precies op de behoefte van de plant worden afgestemd. Door vaker kleine giften te geven is het risico op uitspoeling van nutriënten als gevolg van hevige neerslag bij fertigatie kleiner dan bij traditionele bemesting. Het gemak van het kunnen toepassen van fertigatie op elk ogenblik in de tijd zonder te hoeven beregenen, geeft de teler meer flexibiliteit om op elk moment bij te kunnen sturen zonder dat de kostbare inzet van de spuihaspel – waterkanon nodig is. Een combinatie van fertigatie, bladanalyses en verminderde mestgift aan het begin van het seizoen, kan derhalve het mestgebruik ten opzichte van het conventionele mestgebruik worden verminderd. Als gevolg hiervan kan ook uitspoeling van meststoffen naar het grondwater of oppervlaktewater worden verminderd.

Uitspoeling van nutriënten naar het grondwater is tijdens de proefjaren louter veroorzaakt door hevige neerslag. Bij beregening is geen uitspoeling te verwachten door de opwaartse flux van water in de bodem. Door de mestgift te verlagen of te verspreiden over meerdere momenten kan uitspoeling ten gevolge van hevige neerslag worden verminderd. De hoge concentraties van nitraat in het grondwater wijzen erop dat een deel van de bemesting niet ten goede komt aan het gewas en uitspoelt. Het experiment toont aan dat de mestgift van N verder teruggebracht zou kunnen worden. Enige uitspoeling is echter niet te vermijden vanwege het effect van hoge neerslag in het groeiseizoen en de benodigde verhoogde concentraties in de bodem voor opname door het gewas.

### Bodembaten

Op basis van de uitgevoerde metingen en waarnemingen zijn geen duidelijke aanwijzingen van slechtere bodemkwaliteit bij haspelberegening dan bij druppelberegening. Tijdens het groeiseizoen van 2020 is de bovenste laag van de bodem in alle proefvakken uitgedroogd en verhard. Dit effect was sterker voor het proefvak ondergrondse druppelberegening dan voor de proefvakken waarbij de beregening van bovenaf werd toegediend. De intensiteit van de neerslag was vergelijkbaar of hoger dan die van de watergift met de spuihaspel waardoor er ook geen extra bodemerosie te verwachten viel.

### Gewasbaten

Op basis van gemeten gewasopbrengsten binnen de proef en daarop gebaseerde modelsimulaties met AquaCrop model zijn de gewasopbrengsten afhankelijk van de verschillende irrigatietechnieken bepaald. Uit de analyse blijkt dat het gebruik van druppelirrigatie tot hogere gewasbaten leidt ten opzichte van haspelberegening. Uit de gewasopbrengsten analyse blijkt dat het gebruik van druppelirrigatie tot hogere gewasbaten leidt ten opzichte van haspelberegening. De gemiddelde opbrengst die direct te koppelen is aan waterbesparing is op het langjarig gemiddelde echter klein. In droge jaren heeft druppelirrigatie wel een sterk opbrengstvermeerderend effect ten opzichte van haspelberegening. Als daarbij het irrigatiewater ook nog wordt geconcentreerd op een aantal hectare wat een groter volume mogelijk maakt is de extra opbrengst aanzienlijk. Daarnaast zal druppelirrigatie leiden tot een minder arbeidsintensief werkproces en draagt het bij aan de leveringszekerheid, twee factoren die sterk lijken mee te wegen in de investeringsbelissing van de boer.



Wanneer er een beperkte hoeveelheid water beschikbaar is, zijn de opbrengsten bij het gebruik van druppelirrigatie hoger. Ook wanneer er rekening wordt gehouden met de toekomstige klimaatverandering, blijkt dat druppelirrigatie extra opbrengsten oplevert. Daarnaast kan er met druppelirrigatie ook bij droge jaren leveringszekerheid worden gegeven, uitgaande van een leveringsgrens van 45 ton consumptieaardappelen.

#### Kosten

Naast baten zijn er verschillende kosten verbonden aan de irrigatietechnieken. De totale jaarlijkse kosten per hectare voor haspelirrigatie zijn afhankelijk van het irrigatievolume. Ondergrondse druppelirrigatie is voordeliger voor de agrariër ten opzichte van bovengrondse druppelirrigatie, aangezien de levensduur van het systeem langer is en in tegenstelling tot het bovengrondse systeem niet ieder jaar vervangen hoeft te worden. Daarnaast neemt de algehele arbeidsintensiteit af wanneer er van druppelirrigatie gebruik wordt gemaakt, wat als extra positief aspect van de irrigatietechniek ervaren kan worden.

### 10.3 Aanbevelingen

Tijdens het tweejarig onderzoek DeltaDrip zijn veel lessen geleerd en is de kennis over de toepassing van druppelirrigatie in de Nederlandse akkerbouw sterk toegenomen. Uit het onderzoek zijn een aantal nieuwe onderzoeksvragen en aanbevelingen naar voren gekomen.

Over het doel van druppelirrigatie en het daarbij passend watergebruik zijn nog uiteenlopende ideeën en belangen. Vanuit de beleidsvorming is het achterliggende doel voor het onderzoek vaak hoe zuinig en effectief met water omgegaan kan worden. Vanuit de agrariërs wordt gekeken naar het vergroten van productie en minder naar het zuinig gebruik van water. Om deze twee doelen in perspectief te kunnen plaatsten is het aan te bevelen dat er een meerjarige proef met verschillende gewassen wordt ontwikkeld waarbij 'waterbesparing' naast of in combinatie met 'productiemaximalisatie' centraal staan.

#### Ondergronds druppelen

Zowel technisch als economische laat ondergrondse druppelirrigatie kansrijke resultaten zien. Deze technologie bevindt zich nog in de beginfase wat het belangrijk maakt om verder praktijkonderzoek uit te voeren op het vlak van o.a. aanleg, fertigatie en watereffectiviteit. Waarbij dan de grootte van de watergiftten per tijdseenheid onderzoek vraagt. De resultaten leiden in een richting van zo klein mogelijke pulsjes (zweeten) in plaats van grotere pulsen.

In akkerbouwpraktijk geldt de veronderstelling dat zaaigewassen met ondergronds druppelen niet aanslaan. Het is aan te bevelen om te onderzoeken op welke manier irrigatie in de kiemperiode kan worden ondervangen door ondergrondse druppelirrigatie. De hoofdvraag die hierbij gesteld moet worden is in hoeverre de toplaag nat te krijgen en te behouden is.

Hieraan gekoppeld is welke diepte is optimaal in relatie tot gewas, bodemopbouw en afstemming met type grondbewerking (bij Niet Kerende Grondbewerking kan het bijvoorbeeld ondieper). En het voorkomen van waargenomen preferente stroming bij ondergronds druppelen, wat een combinatie van voorgenoemde punten vraagt. Aanbevolen wordt een aantal blokken aan te leggen met verschillende configuraties om praktijkervaring op te doen en dit te vertalen voor de Zeeuwse teeltomstandigheden.

Dripslangen hebben een levensduur van 10 tot 20 jaar, vergelijkbaar met reguliere drainagebuizen. Een veel gestelde vraag van agrariërs is verbetering of optimalisatie van aanlegmethoden en vooral of en hoe dripslangen op termijn weer verwijderd kunnen worden. Er zijn twee mogelijke ontwikkelstappen denkbaar. Het ontwikkelen van apparatuur om de dripslangen uit de grond te halen of het ontwikkelen van dripslangen die biologische afbreekbaar zijn.

#### Bovengronds druppelen

Ook het bovengronds druppelen kent uitdagingen waar nog geen antwoorden op gevonden zijn. Bovengronds is voordelig voor de ondiep wortelende gewassen, zoals ui en diverse tuinbouwgewassen. In eerste plaats t.a.v. watereffectiviteit, maar ook de combinatie met fertigatie. Het betreft op dit moment vooral 1 jarig gebruik van dripslangen. De keten van afval naar hergebruik of biologisch afbreekbaar plastic verdient hier aandacht.

#### Fertigatie

In DeltaDrip is de werking van fertigatie niet in de praktijk getest. Doordat de basisbemesting in het begin van het seizoen voldoende bleek is er op een later moment geen fertigatie meer toegepast. Om toch de toepassing van fertigatie te testen is het aan te bevelen om in samenwerking met de agrariërs de basisbemesting naar beneden bij te stellen. Binnen de pilots moet hierover nauw contact en goede afspraken over worden gemaakt met de agrariërs vanwege de vaak conservatieve kijk op basisbemesting.

#### Kosten en baten

Druppelslangen leveren een economisch voordeel op vanwege lagere kosten ten opzichte van grote volumens haspelberegening en een hogere gewasopbrengst en leveringszekerheid. In de looptijd van DeltaDrip heeft het onderzoeksteam een snelle ontwikkeling van druppeltechnieken gezien. De verwachtingen zijn dat deze ontwikkelingen zich doorzetten. Deze ontwikkelingen vinden niet alleen plaats op het gebied van de prijsvorming van het product maar ook de aanleg en het verwijderen van de slangen.

Tijdens het project is duidelijk geworden dat de agrariërs nog vragen hebben bij deze twee fases van het gebruik van druppelslangen. De aanbeveling is om druppelslangen met de nieuwste technieken aan te leggen, zowel boven- als ondergronds om zowel de nieuwste technieken als de kostenvoordelen te kunnen demonstreren.

Om de huidige economische analyse sterker te kunnen onderbouwen is het van belang om nog meerdere jaren met verschillende irrigatiescenario's te meten om echte vastgestelde gewasopbrengsten te bemaatigen.

- CBS. (2019, Januari 31). <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2019/05/relatief-lage-oogst-in-zeeland>. Opgehaald van Centraal Bureau voor de Statistiek: <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2019/05/relatief-lage-oogst-in-zeeland>
- CBS. (2020, November 20). *Landbouw; gewassen, dieren en grondgebruik naar regio*. Opgehaald van <https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/80780ned/table>
- Freepik. (2020). *Food vector created by macrovector*. Opgehaald van <https://www.freepik.com/vectors/food>
- Freepik. (2020). *Water vector created by freepik*. Opgehaald van Freepik: <https://www.freepik.com/vectors/water>
- KNMI. (2015). *KNMI'14-klimaatscenario's*. Opgehaald van <http://www.klimaatscenarios.nl/kerncijfers/index.html>
- Perez Ortola, M. (2013). Modelling the impacts of in-field soil and irrigation variability on onion yield. MPhil thesis, Cranfield University, UK.
- Provincie Zeeland. (2020). *FRESHM Zeeland - Zoet-zoutverdeling Zeeuwse ondergrond*. Opgehaald van <https://kaarten.zeeland.nl/map/freshem>
- PZC. (2020, Mei 28). *Schip vol water naar Noord-Beveland: boeren betalen 16 mille voor één 'buitje regen'*. Opgehaald van <https://www.pzc.nl/zeeuws-nieuws/schip-vol-water-naar-noord-beveland-boeren-betalen-16-mille-voor-een-buitje-regen~a984e916/?referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F>
- Rougoor, C., Keuper, D., & Leendertse, P. (2017). *Schoon water en klimaat Zeeland*. Culemborg: CLM onderzoek en Advies.
- Verstand, D., Schaap, B., Schorlemmer, H., der Wolf, P., van Balen, D., & Verhagen, J. (2020). Klimaatadaptatie in de open teelten: Inventarisatie van klimaattrends, risico's en adaptatiemaatregelen voor boerenbedrijven inde open teelten. *Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research (WPR), Businessunits Open Teelten en Agrosysteemkunde*, (No. WPR 824).
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome 300, D05109.
- Baars, C., 1971. Ontwerpen van regeninstallaties (Ingenieurscollege Irrigatie). Landbouwhogeschool, Afdeling Weg- en Waterbouwkunde en Irrigatie, Wageningen, The Netherlands.
- CBS. (2019, Januari 31). <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2019/05/relatief-lage-oogst-in-zeeland>. Opgehaald van Centraal Bureau voor de Statistiek: <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2019/05/relatief-lage-oogst-in-zeeland>
- CBS. (2020, November 20). *Landbouw; gewassen, dieren en grondgebruik naar regio*. Opgehaald van <https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/80780ned/table>
- Christiansen, J.E., 1942. Irrigation by sprinkling (Bulletin No. 670). California Agricultural Experiment Station, University of California, Berkeley, California, USA.
- Dekkers, W.A., 2000. Beregenen van akkerbouw en vollegrondsgroentegewassen (Publicatie No. 99). Praktijkonderzoek voor de Akkerbouw en de Vollegrondsgroenteteelt, Lelystad, The Netherlands.
- Delphy, 2020. Druppelirrigatie in zaaiuien (Projectverslag versie 1a). Delphy, Wageningen, The Netherlands.
- Freepik. (2020). *Food vector created by macrovector*. Opgehaald van <https://www.freepik.com/vectors/food>
- Freepik. (2020). *Water vector created by freepik*. Opgehaald van Freepik: <https://www.freepik.com/vectors/water>

- Howell, T.A., 2003. Irrigation efficiency, in: Stewart, B.A., Howell, T.A. (Eds.), *Encyclopedia of Water Science*. Marcel Dekker, Inc., New York, N.Y., USA, pp. 467-472.
- Hulshof, M., de la Loma González, B., van Meijeren, S., Velstra, J., Waterloo, M.J., de Wildt, S., 2018. Spaarwater II Zuinig met zoet water (Technische Rapportage No. 676). Acacia Institute, Gouda, The Netherlands.
- Hulshof, M., de la Loma González, B., van Meijeren, S., Velstra, J., Waterloo, M.J., de Wildt, S., 2019. Spaarwater - Zuinig met zoetwater: Druppel- en subirrigatie (Technische Rapportage 2016-2018). Acacia Institute, Gouda, The Netherlands.
- KNMI. (2015). *KNMI'14-klimaatscenario's*. Opgehaald van <http://www.klimaatscenarios.nl/kerncijfers/index.html>
- Kolhoff, M., 2020. Efficiënter omgaan met water en nutriënten voor duurzame klimaatbestendige landbouw in Zeeuws Vlaanderen (Traineeship report WUR). Acacia Water and WUR, Wageningen, The Netherlands.
- Mejias, P., Piraux, M., 2017. AquaCrop, the crop water productivity model. FAO, Rome, Italy.
- Montazar, A., Sadeghi, M., 2008. Effects of applied water and sprinkler irrigation uniformity on alfalfa growth and hay yield. *Agricultural Water Management* 95, 1279-1287.
- Paredes, P., D'Agostino, D., Assif, M., Todorovic, M., Pereira, L.S., 2018. Assessing potato transpiration, yield and water productivity under various water regimes and planting dates using the FAO dual Kc approach. *Agricultural Water Management* 195, 11-24. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.09.011>
- Perez Ortola, M., 2013. Modelling the impacts of in-field soil and irrigation variability on onion yield.
- Provincie Zeeland. (2020). *FRESHM Zeeland - Zoet-zoutverdeling Zeeuwse ondergrond*. Opgehaald van <https://kaarten.zeeland.nl/map/freshem>
- PZC. (2020, Mei 28). *Schip vol water naar Noord-Beveland: boeren betalen 16 mille voor één 'buitje regen'*. Opgehaald van <https://www.pzc.nl/zeeuws-nieuws/schip-vol-water-naar-noord-beveland-boeren-betalen-16-mille-voor-een-buitje-regen~a984e916/?referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F>
- Rivulis, 2020. Rivulis Hydro PC/PCND Drip Line.
- Rougoor, C., Keuper, D., & Leendertse, P. (2017). *Schoon water en klimaat Zeeland*. Culemborg: CLM onderzoek en Advies.
- Steiner, J.L., Kanemasu, E.T., Clark, R.N., 1983. Spray Losses and Partitioning of Water Under a Center Pivot Sprinkler System (Transactions of the ASAE). American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, Michigan.
- Stuyt, L. C. P. M. and Rijk, J.: Transitie en toekomst van Deltalandbouw, Indicatoren voor de ontwikkeling van de land- en tuinbouw in de Zuidwestelijke Delta van Nederland., 2006.
- Topak, R., Suheri, S., Ciftci, N., Acar, B., 2005. Performance Evaluation of Sprinkler Irrigation in a Semi-arid Area. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 8, 97-103. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2005.97.103>
- van den Elsen, E., M. Knotters, M. Heinen, P. Römkens, J. Bloem, G. Korthals, 2019. Noodzakelijke indicatoren voor de beoordeling van de gezondheid van Nederlandse landbouwbodems. Wageningen Environmental Research.
- Verstand, D., Schaap, B., Schoorlemmer, H., der Wolf, P., van Balen, D., & Verhagen, J. (2020). Klimaatadaptatie in de open teelten: Inventarisatie van klimaatrends, risico's en adaptatiemaatregelen voor boerenbedrijven inde open teelten. *Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research (WPR), Businessunits Open Teelten en Agrosysteemkunde*, (No. WPR 824).
- Wang, H.X., Liu, C.M., 2007a. Soil Evaporation and its Affecting Factors under Crop Canopy. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 38, 259-271. <https://doi.org/10.1080/00103620601094213>
- Wang, H.X., Liu, C.M., 2007b. Soil Evaporation and its Affecting Factors under Crop Canopy. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 38, 259-271. <https://doi.org/10.1080/00103620601094213>
- Waterloo M. Tonckens W., Braam G, Broere AJ, Burger S. (2016). Spaarwater: Effectief zoetwater gebruik met druppelirrigatie, Deelrapport 2013-2015
- Waterloo, M.J., van der Gaast, J., Tonckens, W., Braam, G., Burger, S., Broere, A.-J., 2016. Spaarwater: Effectief watergebruik - druppelirrigatie en fertigatie (Deelrapport 2013-2015). Acacia Institute, Gouda, The Netherlands.
- Waterschap Scheldestromen, 2017. Grondwater onttrekken (Folder). Waterschap Scheldestromen, Middelburg, Zeeland.

Yazar, A., 1984. Evaporation and drift losses from sprinkler irrigation systems under various operating conditions. *Agricultural Water Management* 8, 439-449.  
[https://doi.org/10.1016/0378-3774\(84\)90070-2](https://doi.org/10.1016/0378-3774(84)90070-2)



Acacia Water  
van Hogendorpplein 4  
2805 BM Gouda

Telefoon: 0182 - 686 424  
Internet: [www.acaciawater.com](http://www.acaciawater.com)  
Email: [info@acaciawater.com](mailto:info@acaciawater.com)