

Tussenrapportage waterwerk: 2022-2023

Janus den Toonder, Merel Hondebrink, Bart Timmermans,
Tessa van Hateren, Maarten J. Waterloo



© 2024 Louis Bolk Instituut

Tussenrapportage waterwerk: 2022-2023

Janus den Toonder¹, Merel Hondebrink¹, Bart Timmermans¹, Tessa van Hateren², Maarten Waterloo²

¹ LBI

² Acacia Water

Deze publicatie is beschikbaar via
www.louisbolk.nl/publicaties

www.louisbolk.nl

info@louisbolk.nl

T 0343 523 860

Kosterijland 3-5

3981 AJ Bunnik

 @LouisBolk

Louis Bolk Instituut: Onderzoek en advies ter bevordering van
duurzame landbouw, voeding en gezondheid

Inhoud

Inhoud	5
1 Inleiding	6
1.1 Doelstelling	7
2 Methode	8
2.1 Behandelingen	8
2.2 Veldproef	9
2.3 Gewassen 2022 – 2023	10
2.4 Analyses 2022 – 2023	10
3 Resultaten	12
3.1 Weersverloop 2022 en 2023	12
3.2 Irrigatie 2022 en 2023	14
3.3 Vochtgehalte	15
3.4 Bodemwaterchemie	20
3.4.1 <i>Nitraatgehalte</i>	20
3.4.2 <i>Fosfaatgehalte</i>	22
3.4.3 <i>Gewasbeschermingsgehalte</i>	24
3.5 Bodemkwaliteit	24
3.5.1 <i>Bodemsamenstelling</i>	24
3.5.2 <i>Profielkuil</i>	25
3.5.3 <i>Bodemleven</i>	27
3.6 Minerale stikstof concentraties	27
3.7 Gewas	28
3.7.1 <i>2022: aardappel</i>	28
3.7.2 <i>2023: grasklaver</i>	30
3.8 Irrigatiekosten	34
3.8.1 <i>Haspel</i>	35
3.8.2 <i>Bovengrondse druppelirrigatie</i>	36
3.8.3 <i>Diepdruppelirrigatie</i>	37
4 Discussie	40
5 Conclusies	43
6 Referenties	45

1 Inleiding

Het klimaat ondergaat verandering. We worden niet alleen geconfronteerd met extremere zomerse buien, maar sinds 1950 is het in de zomer per saldo ook aanzienlijk droger geworden. Het is aannemelijk dat er als gevolg van aanhoudende klimaatverandering in de toekomst meer en langere droge periodes zullen optreden. Voorbeelden zijn de droge zomers van 2018, 2019 en 2020. Tegelijkertijd stijgt de vraag naar water door socio-economische ontwikkelingen. Hierdoor staat het watersysteem onder toenemende druk.

Onder andere boeren staan voor de uitdaging van zoetwaterschaarste. Het is daarom van groot belang om maatregelen te onderzoeken die deze uitdaging kunnen verlichten. Dit kan worden bereikt door de bodemstructuur te verbeteren, zodat deze meer water kan vasthouden tijdens droge periodes, of door extra externe opslagcapaciteit voor zoetwater te creëren. Aan de andere kant kan ook worden gekeken naar het verminderen van de behoefte aan irrigatie. Waarschijnlijk zal een combinatie van deze strategieën nodig zijn om in de toekomst als landbouwsector adequaat te kunnen blijven functioneren. Het project Waterwerk focust zich specifiek op het laatste: vermindering van het watergebruik. Binnen Waterwerk doen we onderzoek naar efficiëntere irrigatiemethoden.

In 95% van de gevallen in Nederland waar beregend wordt in de landbouw, gebeurt dit met behulp van de haspel. De haspel is echter niet erg efficiënt: een groot deel van het water bereikt nooit de wortelzone. Daarnaast brengt het gebruik van haspelslangen een aantal andere aanzienlijke nadelen met zich mee. Het water wordt ongelijkmatig verdeeld over het geïrrigeerde gebied, wat resulteert in verschillen in gewasgroei. Daarnaast vereist het gebruik van haspelslangen veel arbeidsuren, soms zelfs 's nachts, en leidt het tot aanzienlijk brandstofverbruik omdat er veel diesel voor nodig is. Overmatige waterafgifte in korte tijd kan daarnaast leiden tot uitspoeling van water en voedingsstoffen.

In 2020 heeft Vitens contact opgenomen over het opzetten van een pilot met toekomstgerichte beregeningstechnieken nabij waterwingebieden in de akkerbouw. De ontwikkelingen op dit vlak gaan snel, en het inzicht groeit dat deze technieken kansen bieden om het watersysteem minder te belasten. Dit heeft uiteindelijk geleid tot het project "PPS Waterwerk".

In de u bekende notitie: "Vorbereidingsfase pilot inzet druppel- en subirrigatie bij drinkwaterwinning" (Timmermans, Koopmans en Velstra, 2020) is een onderzoeksontwerp gemaakt bij Ekoboerderij de Lingehof van de familie Jurrius te Randwijk (± 100 ha). In 2021 is er een pilot opgezet die beoogde het effect van diepdruppelirrigatie in een veldproef te bepalen, wat heeft geresulteerd in het rapport "Irrigatie pilot 2021 – Vitens", van Hondebrink et al. (2021).

Vanaf 2022 is het project Waterwerk officieel van start gegaan. Tijdens dit vierjarige project wordt in een praktijkproef onderzoek gedaan naar ondergrondse- en bovengrondse druppelirrigatie, en peil gestuurde drainage. In deze tussenrapportage zullen de resultaten van de afgelopen twee jaar worden gedeeld (2022 en 2023).

Naast potentiële waterbesparingseffecten van (ondergrondse) druppelirrigatie zijn er ook andere verwachte effecten. De geleidelijke afgifte van water door de druppelsslagen zorgt ervoor dat er niet in één keer een grote hoeveelheid water wordt geïrrigeerd, zoals bij het gebruik van een haspel. Daarom wordt verwacht dat indien goed toegepast, druppelirrigatie waarschijnlijk resulteert in verminderde uitspoeling van voedingsstoffen in vergelijking met haspelirrigatie in bodems met scheurvorming. Bovendien zorgt de langdurige en geleidelijke irrigatie, zoals bij druppelirrigatie, ervoor dat de bodem continu vochtig blijft, wat naar verwachting leidt tot een actiever bodemleven. Ten slotte wordt verondersteld dat de irrigatiemethode invloed heeft op de ontwikkeling van wortels, waarbij diepdruppelirrigatie wordt geassocieerd met diepere wortelgroei in de richting van de druppel slang. Bij oppervlakkige druppelirrigatie bestaat naar verwachting juist het risico van het ontstaan van "luie" wortels die niet diep genoeg groeien.

1.1 Doelstelling

Het doel van het project "Waterwerk" is het verkrijgen van inzicht in diverse irrigatiemethoden die mogelijke voordelen kunnen bieden ten opzichte van de gangbare haspelirrigatie.

Waterbesparing staat hierbij centraal, maar er wordt tevens een integrale analyse uitgevoerd van de kwaliteit van zowel de bodem als het gewas. In dit rapport worden de inzichten gedeeld die zijn verkregen na twee jaar in het project "Waterwerk", met betrekking tot de volgende irrigatiemethoden:

- Bovengrondse druppelirrigatie
- Diepdruppelirrigatie
- Haspelberegening
- Peilgestuurde drainage

Deze vier irrigatiemethoden worden vergeleken met een referentievak in het perceel waar niet wordt geïrrigeerd.

2 Methode

2.1 Behandelingen

De 'Peilgestuurde drainage'' wordt pas in 2024 aangelegd vanwege de onmogelijkheid om dit in de te natte bodem in najaar 2023 / voorjaar 2024 te realiseren waarbij de bodem schade op zou lopen, en is daarom nog geen onderdeel van dit rapport. De volgende behandelingen worden onderling vergeleken en met een *controle* (geen berekening):

Tabel 1: de verschillende irrigatiemethoden die zijn onderzocht

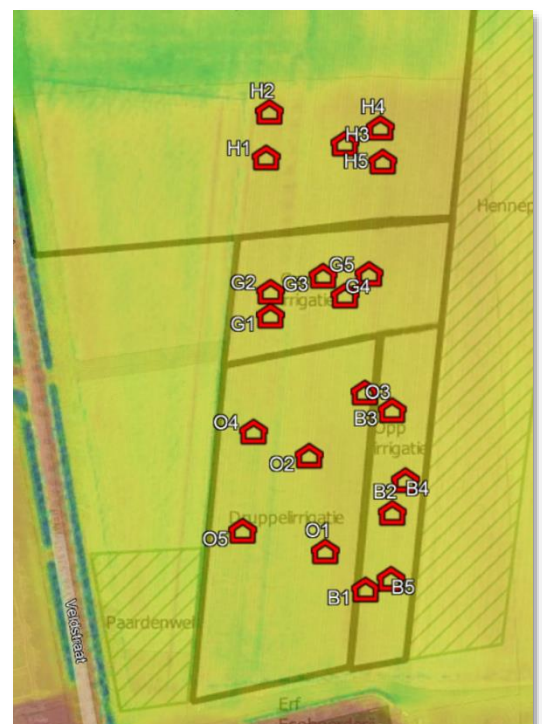
Irrigatiemethode	Beschrijving	Mogelijke voordelen	Overwegingen en risico's
<i>Bovengrondse druppelirrigatie</i>	Bovengrondse druppelirrigatie betreft het leggen van slangen met kleine gaatjes op het perceeloppervlak voor geleidelijke waterafgifte direct in de rij van gewassen. Dit resulteert in efficiënte irrigatie en een uniforme groei van gewassen. In dit geval is gekozen voor onderlinge afstand tussen de slangen van 75 cm.	<ul style="list-style-type: none"> - Efficiënte irrigatie met verminderd waterverlies. - Uniforme gewasgroei. - Makkelijke computer of smartphone gestuurde watergift. 	<ul style="list-style-type: none"> - Hogere aanlegkosten dan haspel - Noodzakelijk verwijdering van druppel-slangen na elk teeltseizoen. - Beperkt hergebruik van slangen (niet duurzaam). - Mogelijk "lui" gewas met beperkt wortelstelsel.
<i>Diepdruppelirrigatie</i>	Bij de diepdruppel-irrigatie liggen verdeelleidingen in druppel-slangen op een diepte van 38 cm, wat geschikt is voor meerdere opeenvolgende teelten omdat het onder de bewerkings-diepte ligt. Het bevordert diepere beworteling en minimaliseert waterverliezen. In dit geval is gekozen voor onderlinge afstand tussen de slangen van 75 cm.	<ul style="list-style-type: none"> - Mogelijkheid tot langdurig gebruik voor opeenvolgende teelten. - Bevordering van een diep wortelstelsel. - Minimaal waterverlies. Nog efficiënter dan bovengrondse druppelirrigatie. - Uniforme gewasgroei. - Makkelijke computer of smartphone gestuurde watergift. 	<ul style="list-style-type: none"> - Hogere aanlegkosten dan bovengrondse druppelirrigatie. - Onzekerheden over gebruik op zwaardere gronden. Met name over interactie met bodemstructuur en de levensduur van het systeem. - Vragen over diepte van wortels en effectieve capillaire opstijging, alsook of

			het voldoende is voor tijdens de kiemfase.
<i>Haspelirrigatie</i>	De haspelirrigatie is de meest gebruikte irrigatiemethode in de Nederlandse akkerbouw. Het haspelsysteem bestaat uit een grote haspel met een slang die aan het uiteinde is voorzien van een sproeier of irrigatiekop. De haspel kan over het veld bewogen worden om verschillende delen van het perceel te irrigeren.	- kan de bodem snel voorzien van veel water aan het maaiveld, heeft daarom snel effect.	- water efficiëntie is laag. - ongelijke verdeling van water. - mogelijke verspreiding van ziekten. - snelle onttrekking van grote volume grondwater, wat kan leiden tot verzilting.

2.2 Veldproef

De veldproef wordt uitgevoerd op het bedrijf *Ekoboerderij de Lingehof*, van de familie Jurrius, te Hemmensestraat 17, 6668 LB Randwijk. Het bedrijf heeft een ruime vruchtwisseling. De grond op de boerderij bestaat hoofdzakelijk uit zware tot zeer zware klei. In de bodem is een lichte ploegzool aanwezig, die de penetratie van wortels en water enigszins beperkt en scherpblokkig afbreekt. Deze lichte ploegzool is representatief voor de meerderheid van de akkerbouwpercelen in ons land, vooral op zwaardere grond. Overwegingen waarom er voor dit bedrijf is gekozen zijn te lezen in Timmermans et al. (2020). De proef is uitgevoerd op een perceel van 5 ha. Voorafgaand aan 2022 betrof de rotatie lupine (2021), pompoen (2020), uien (2019), grasland (2018), en grasland (2017).

Figuur 1 geeft een overzicht van de veldproef. Voor elke behandeling zijn vijf specifieke locaties gekozen voor metingen, die tevens fungeren als herhalingen. Deze herhalingen zijn vastgesteld aan de hand van puntcoördinaten. In de praktijk betekent dit dat bij het uitvoeren van bemonsteringen een afwijking tot 3 m van het oorspronkelijke coördinaat mogelijk is. Tijdens veldwerk in 2022 werd waargenomen dat herhaling G5 ook nat is geworden door behaspeling, terwijl hier geen irrigatie zou moeten plaatsvinden. Dit komt omdat dit plot dicht tegen de grens van de haspel behandeling aanzit.



Het is niet ondenkbaar dat ook in 2023 de haspelirrigatie tot G5 is gekomen. Om die reden is besloten om resultaten van G5 uit de data te halen van 2022 en 2023.

2.3 Gewassen 2022 – 2023

In 2022 verbouwde de teler verschillende rassen aardappelen, gevolgd door een grasklavermix in 2023. Aardappelen vormen een van de belangrijkste gewassen die bijdragen aan het inkomen van de boer, bekend als "cash crops". De grasklavermix wordt op een extensieve wijze beheerd als een rustgewas, met als doel de bodem te verbeteren en minerale stikstof toe te voegen. In tegenstelling tot aardappelen, staat hierbij minder centraal dat het direct bijdraagt aan het financiële rendement. Effecten van de behandelingen op algemene bodemkwaliteit zijn daarentegen wel van belang tijdens deze periode.

Er zijn in 2022 twee verschillende aardappelrassen geteeld, namelijk Cammeo en Marabel. Voor Marabel werden per behandeling drie herhalingen uitgevoerd (B1-3, O1-3, H1-3, G1-3), terwijl voor Cammeo twee herhalingen plaatsvonden en er geen bovengrondse druppelirrigatie plaatsvond (O4-5, H4-5, G4-5). Herhaling G5 is uiteindelijk uit de data gehaald omdat deze is geïrrigeerd, waardoor de controle in het ras niet herhaald is.

In 2023 is een grasklaver mengsel ingezaaid op met Engels raaigras, witte klaver. In 2023 zijn er vijf snedes geweest op 3 mei, 6 juni, 17 juli, 1 september, en 13 oktober. Hierbij geldt dat de snede op 13 oktober enkel plaatsvond in de proefvelden en niet in de rest van het perceel. Uiteindelijk is door de boer besloten af te zien van de snede op dat specifieke moment.

2.4 Analyses 2022 – 2023

In Tabel 2 staan de verschillende bemonsteringen en analyses die zijn uitgevoerd aangaande bodem en gewas. In 2023 is er geen bovengrondse druppelirrigatie aangelegd, dit is namelijk niet mogelijk bij gras, welke meerdere keren per jaar gemaaid moet worden.

Tabel 2: Analyses, bemonstering en methoden

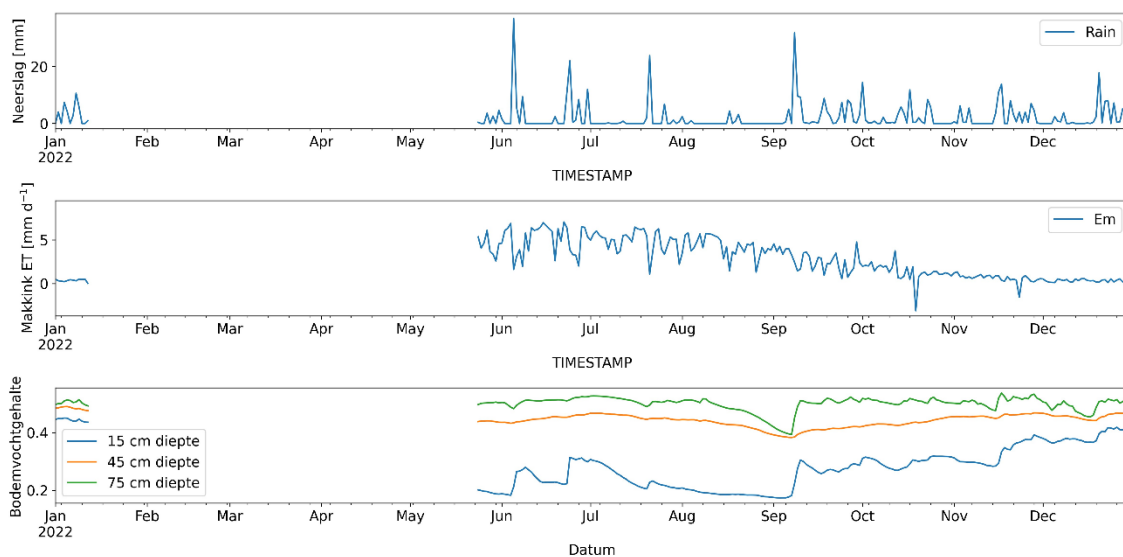
Categorie	Analyse	Bemonstering	Methode	Datum bemonsterd
Bodem	Algemene bodem-samenstelling	Steken tot 30 cm, per herhaling mengmonster van 10 steken.	Eurofins	2022: 23 mei 2023: 29 maart
	bodem minerale stikstof	Steken tot 30 cm, per herhaling mengmonster van 10 steken.	Eurofins	2022: 23 mei, 18 juli, 11 november 2023: 29 maart, 6 juni, 6 juli, 1 september, 3 november
	Profielkuil	-	Visuele bodemscan tot relevante diepte waarbij bijvoorbeeld de bodemstructuur, de beworteling, storende lagen en het	2022: 26 juli

			bodemleven worden geobserveerd.	
Opbrengst	Aardappelen	Opkomstbepaling: tellen over vier ruggen en twee strekkende meters; Proefrooien: Bemonstering van twee naast elkaar liggende ruggen over 1,5 meter		2022: 12 augustus
		Opbrengstbepaling: Canopy	Foto maken van de begroeiing. Programma berekent op basis daarvan de opbrengst.	2022: 23 mei
	Opkomst aardappelen		2 strekkende meters en dan tellen over 4 ruggen hoe de opkomst is.	2022: 23 mei
	Gras	Opbrengstbepaling: met 1,5m brede maaiër een strook van 5 meter maaien. Maaisel verzamelen en wegen. Vervolgens droge stof monster nemen voor droge stof bepaling.	Droge stof bepaling: voor en na in de oven zetten wegen, en vochtverlies bepalen.	2023: Snedes 1: 3 mei Snedes 2: 6 juni Snedes 3: 17 juli Snedes 4: 1 september Snedes 5: 13 oktober
Gewaskwaliteit	Diameter aardappel	Proefrooien: Bemonstering van twee naast elkaar liggende ruggen over 1,5 meter	Diameter bepalen van aardappelen	2022: 12 augustus
	Inhoudsstoffen (gras)	Droge stof monster maken	Eurofins	2023: Bij iedere snede (zie bovenstaand)
	Klaveraandeel (gras)	Na het maaien werd op willekeurige plekken gewas "geplukt" terwijl het gewas nog op de bodem lag, ongeveer 5 keer per herhaling.	Scheiding van gras, witte klaver, en rode klaver in het lab; Bepaling van droge stofopbrengst door verwarming in een oven en meting van droog gewicht	2023: Bij iedere snede (zie bovenstaand)
Bodemleven	Wormen; gewicht en determinatie	per herhaling worden twee pluggen van 20cmx20cmx20 met een schep bemonsterd.	In het lab wordt de plag ontleed en wormen worden geïsoleerd en gewogen. Een specialist determineert de wormen onder de microscoop.	2023: 31 oktober

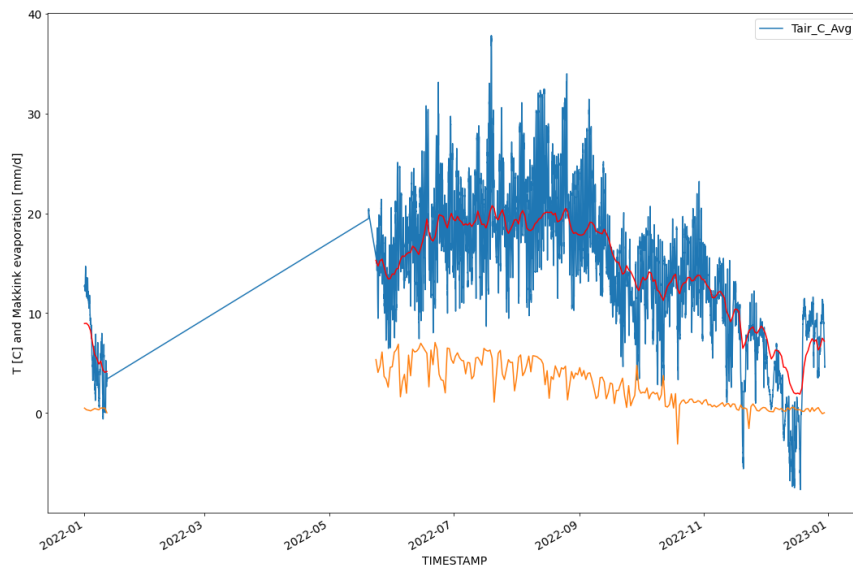
3 Resultaten

3.1 Weersverloop 2022 en 2023

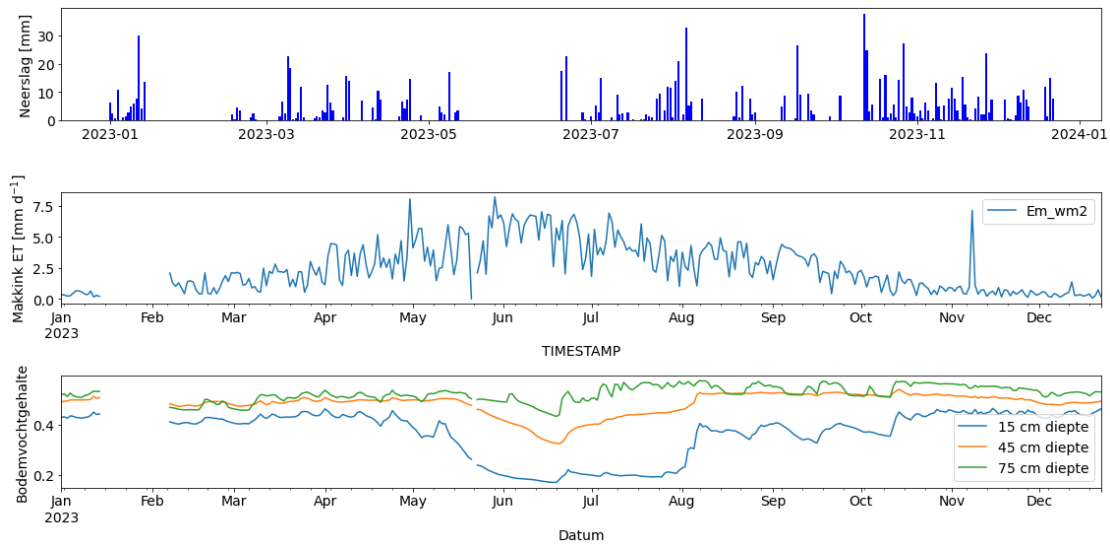
De zomer van 2022 verliep warm en droog. Hoewel juni nog vrij nat was, viel er in juli en augustus weinig regen en door de hoge temperatuur vond er veel verdamping plaats (Figuur 2, Figuur 3). Het bodemvocht bij het weerstation – waar geen irrigatie plaatsvond - daalde daarom ook sterk. Dit is zelfs bij de diepste bodemvochtsensor te zien op 75 cm onder maaiveld. De regen in september verlichtte de droogte en was in staat het bodemvocht weer deels aan te vullen. 2023 begon nat, met meer regen dan normaal in januari, maart en april. Vanaf halverwege mei viel er ongeveer anderhalve maand juist zeer weinig neerslag (Figuur 4, Figuur 5). Het neerslagtekort gecombineerd met een grote verdampingsflux door de hoge temperaturen leidde aan het begin van de zomer opnieuw tot een verlaging in het bodemvocht. In juli viel er weer wat regen, maar dit leidde nog niet tot een verhoging van het bodemvocht. Na aanhoudende regen in augustus werd het bodemvocht wel op alle dieptes weer aangevuld.



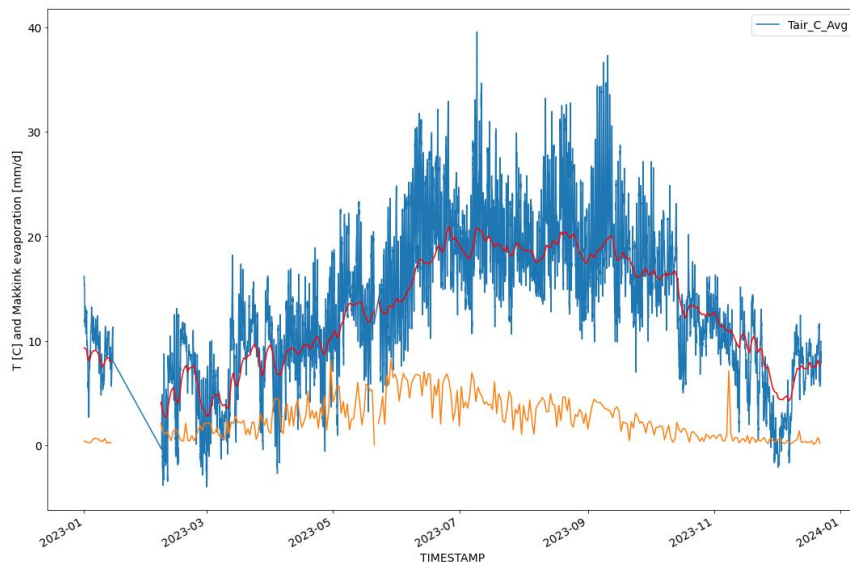
Figuur 2 Neerslag, verdamping en bodemvocht bij het weerstation in 2022. Tussen half januari en half mei is er geen data verzameld door een lege batterij.



Figuur 3 Makkink verdamping (geel) en temperatuur (rood) in 2022.



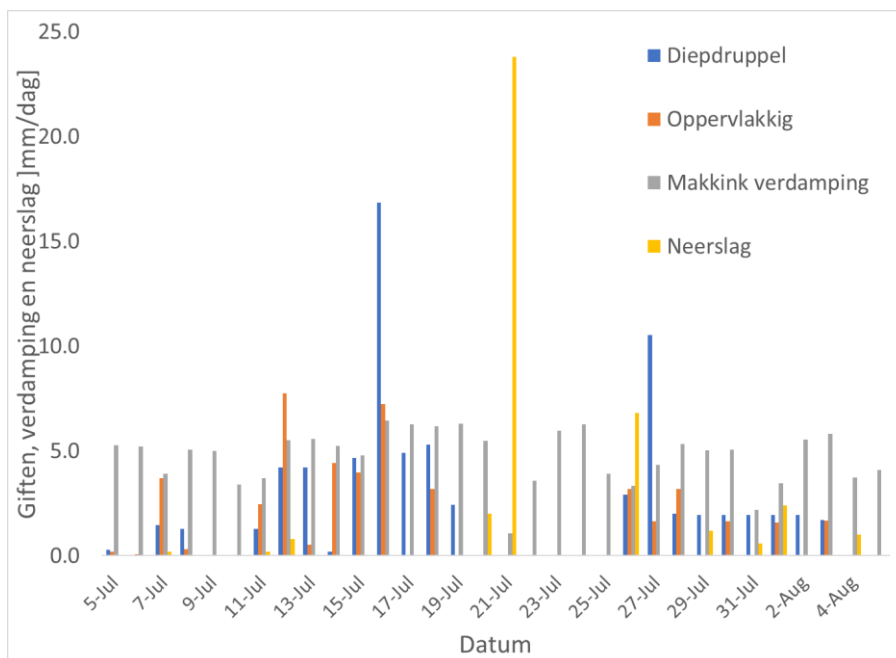
Figuur 4 Neerslag, verdamping en bodemvocht bij het weerstation in 2023.



Figuur 5 Makkink verdamping (geel) en temperatuur (rood) in 2023.

3.2 Irrigatie 2022 en 2023

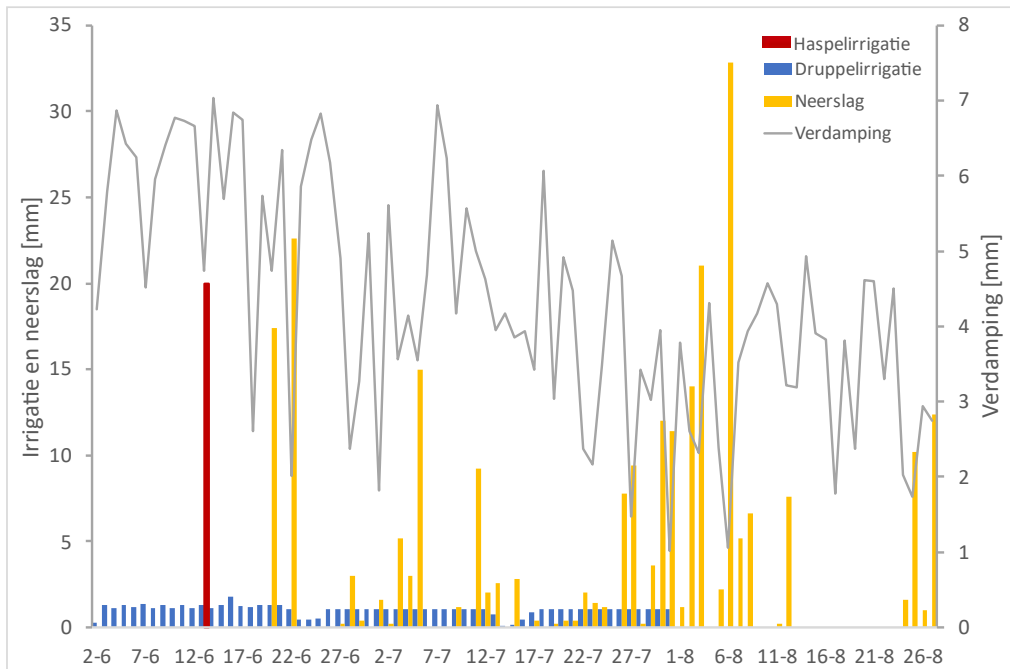
In 2022 zijn de eerste meetstations op 24 mei geïnstalleerd. De oppervlakkige en diepe irrigatie startte op 5 juli. Tussen 24 mei en 3 augustus viel er in totaal 160 mm neerslag, bij een verdamping van 353 mm. Deze tekorten zijn deels aangevuld met irrigatie (Figuur 6): de oppervlakkige druppel heeft in dezelfde periode 47 mm aangevoerd, en de diepe druppel 74 mm.



Figuur 6 Irrigatie, verdamping en neerslag in 2022.

In 2023 is er begonnen met irrigeren tijdens de langdurig droge periode aan het begin van de zomer: tussen 3 juni en 31 juli. In die periode viel er 137 mm neerslag, bij een referentieverdamping

van 285 mm. Via de diepdruppel is er daarnaast 61,6 mm water aangevoerd, en een haspelgift in juni 20 mm (Figuur 7).



Figuur 7 Irrigatie, verdamping en neerslag in 2023.

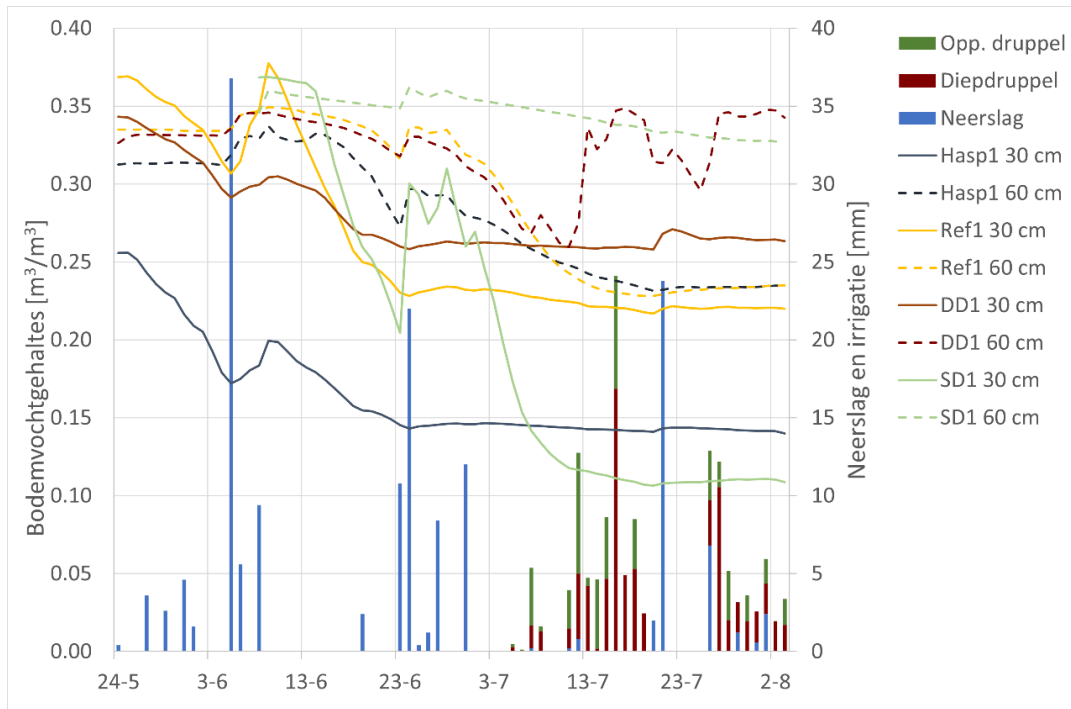
3.3 Vochtgehalte

In 2022 werden er twee verschillende aardappelrassen geteeld op de proefpercelen, die elk op een ander moment gepoot werden. Bij meetstationcode 1 werd er eerder gepoot dan bij de meetstations met code 2. De metingen begonnen na het potten.

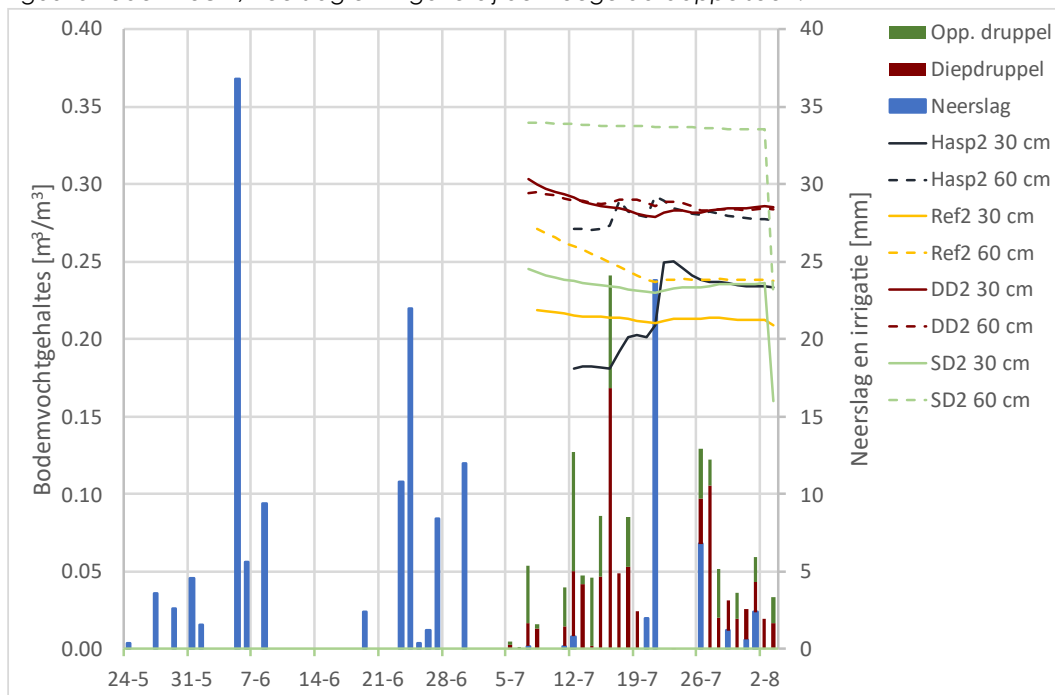
Bij de vroege aardappersoort (Cammeo, Figuur 8) is te zien dat de oppervlakkige druppel (groene kleuren) niet tot een verhoging van de bodemvochtgehaltes heeft geleid. Het bodemvochtgehalte op 30 cm diepte zakt sterker uit dan het bodemvochtgehalte bij het referentiestation, en tot vergelijkbare waarden als deze bij het haspelperceel. De diepdruppel (donkerrood) beïnvloedde vooral het diepere bodemvocht (gestippelde lijn). Het ondiepe bodemvocht bleef constant op een gematigd gehalte, en werd dus niet aangevuld door de diepdruppel. Bij de latere aardappersoort (Marabel,

Figuur 9) was er een kortere meetperiode. Er is daar geen duidelijke invloed te zien van de druppelmomenten. Wel is te zien dat het bodemvochtgehalte bij het referentieperceel lager ligt dan het bodemvochtgehalte bij de verschillende druppelinstallaties. Dit kan wijzen op de werking van het druppelirrigatiesysteem, maar het zou ook zo kunnen zijn dat dit verschil veroorzaakt wordt door ruimtelijke verschillen op de proefpercelen. De vlakke trend in de diepe bodemvochtmetingen, in combinatie met ondiepe grondwaterstanden, geeft namelijk aan dat de bodem op deze diepte bijna verzadigd was. Het verhoogde bodemvochtgehalte in SD2 60 cm ten opzichte van DD2 bij vergelijkbare grondwaterstanden kan daarom verklaard worden door een hogere porositeit (dus ruimtelijke verschillen tussen de proefpercelen). De grondwaterpeilen op de proefpercelen zijn ook geanalyseerd (Figuur 10). De reactie op neerslag is goed te zien, zowel in nattere als in drogere periodes. Daarnaast wordt uit de figuur

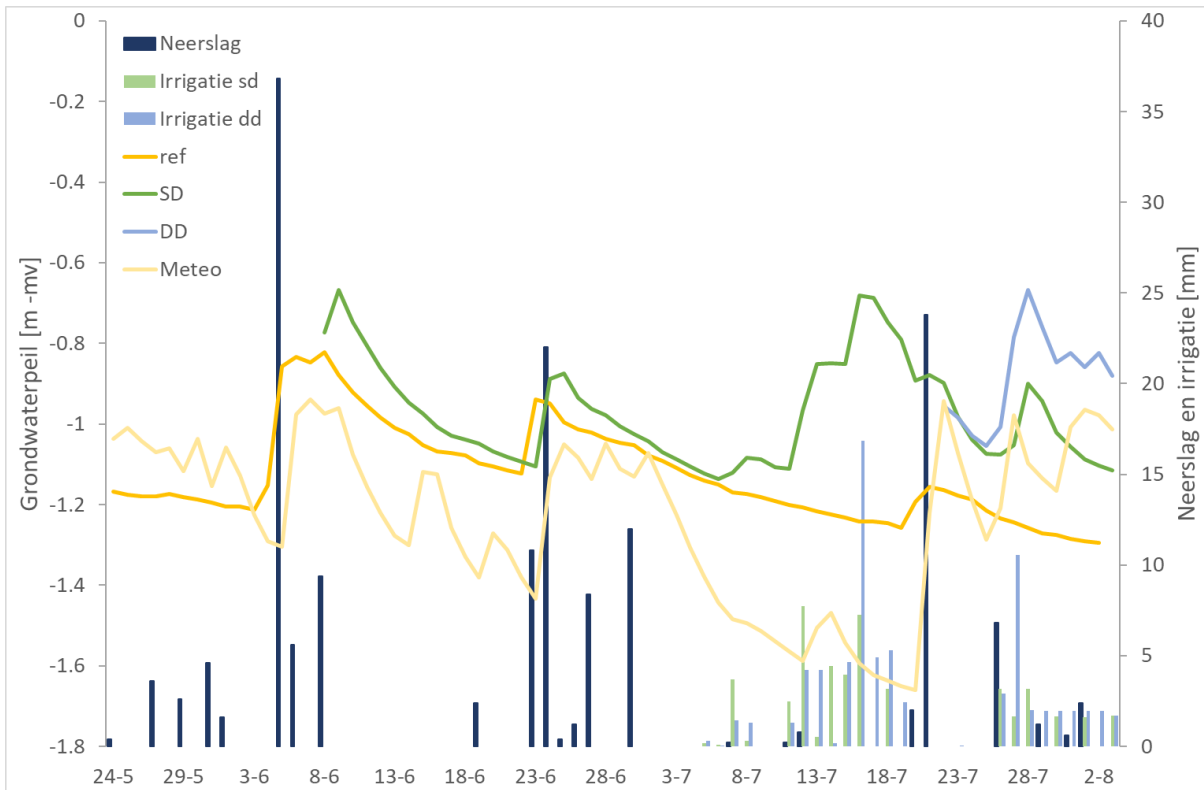
duidelijk dat de grondwaterpeilen, net als het diepere bodemvocht, tijdens de irrigatie ook toenemen. Dit geeft aan dat er een verlies van irrigatiewater naar het grondwater is, zowel bij de diepe als bij de oppervlakkige druppel. Dit lekken van irrigatiewater naar het grondwater is moeilijk te voorkomen, maar het geeft wel aan dat er op enkele dagen overmatig irrigatie is toegepast. Voor een goede werking van het systeem is het belangrijk om regelmatig kleine giften (e.g. ongeveer 0,5-0,6 m³ ha⁻¹ uur⁻¹) te geven, zodat de bodem tijd heeft om het water op te nemen.



Figuur 8 Bodemvocht, neerslag en irrigatie bij de vroege aardappelsoort.



Figuur 9 Bodemvocht, neerslag en irrigatie bij de latere aardappelsoort (Marabel)



Figuur 10 Grondwaterpeilen in 2022 bij de verschillende proefpercelen (ref referentie, SD oppervlakkige druppel, DD diepdruppel) en het meteorologiestation.

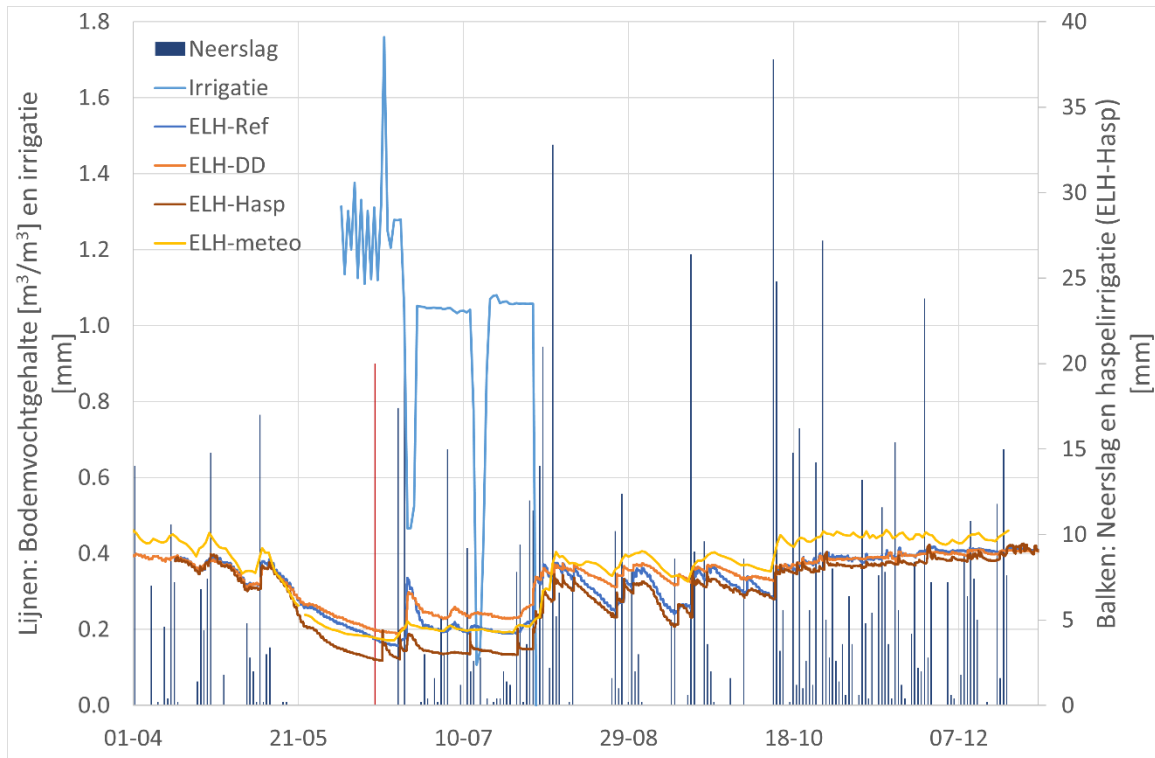
De meetapparatuur werd in 2023 opnieuw geïnstalleerd, tussen 29 maart en 11 april. Er was dus een langer meetseizoen dan het jaar ervoor. Op alle percelen groeide dit jaar een gras/klaver mix.

In de oppervlakkige bodemvochtgehalten (Figuur 11) is vanaf medio mei de droge periode goed te herkennen. Het diepdruppelperceel is al voor de irrigatie begint iets natter dan de andere percelen. Ook het referentieperceel heeft wat hogere bodemvochtgehalten. In augustus zijn juist de bodemvochtgehalten bij de diepdruppel en het meteorologiestation wat hoger.

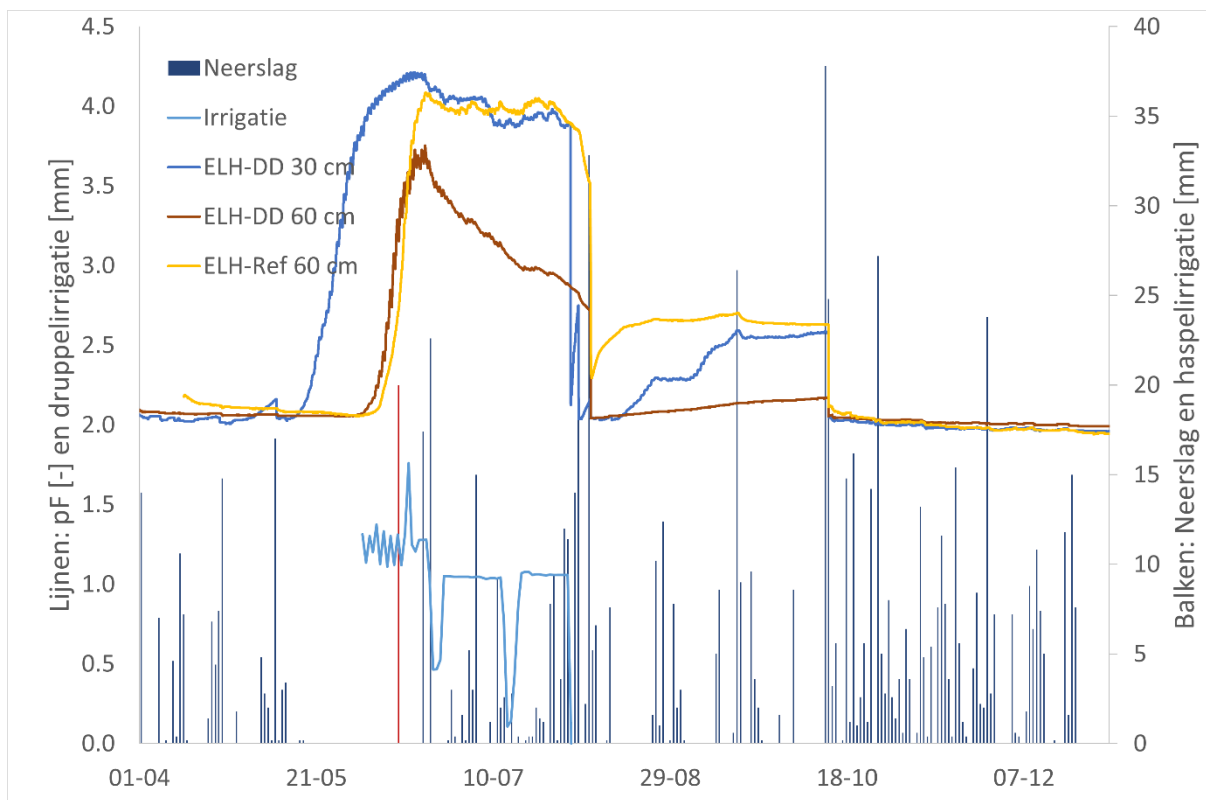
De invloed van de irrigatie lijkt op basis van dit figuur minimaal. Dit zijn echter de waarden voor het ondiepe bodemvocht. Net als in 2022 is er een verschil in reactie tussen het diepe en het ondiepe bodemvocht te zien (Figuur 12). De druppelgift lijkt dus geen invloed te hebben op vochtspanning op 30 cm diepte, maar wel op 60 cm diepte.

Het grondwaterpeil (Figuur 13) zakt uit in de referentie en haspel proefvakken bij een gebrek aan neerslag. Bij een regenbui of haspelberegening stijgen de grondwaterpeilen ook weer mee omhoog. Het grondwaterpeil bij de diepdruppelirrigatie stijgt bij een druppelgift. Dit is goed te zien in juni, en het geeft opnieuw een verlies van irrigatiewater naar het grondwater aan. Door de diepe aanvoer van water kan het wel leiden tot opname van water door diepere wortels. Het blijkt dat het lekken van irrigatiewater naar grondwater moeilijk te voorkomen is. Het regelmatig geven van zeer kleine giften (e.g. ongeveer $0,5-0,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ uur}^{-1}$) zou ervoor kunnen zorgen dat de

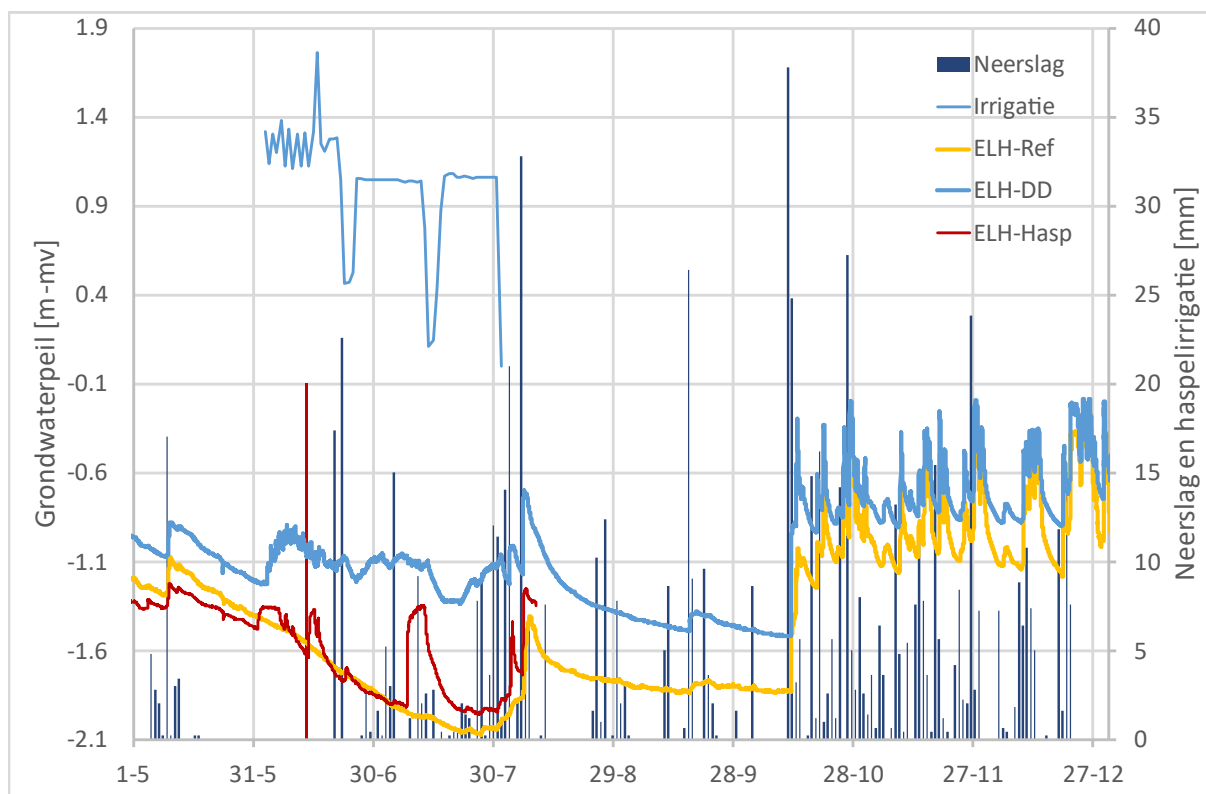
bodem het water beter op kan nemen, waardoor het verlies van irrigatiewater geminimaliseerd wordt.



Figuur 11 Oppervlakkig bodemvocht in 2023



Figuur 12 pF op 30 en 60 cm diepte bij de diepdruppelirrigatie in 2023



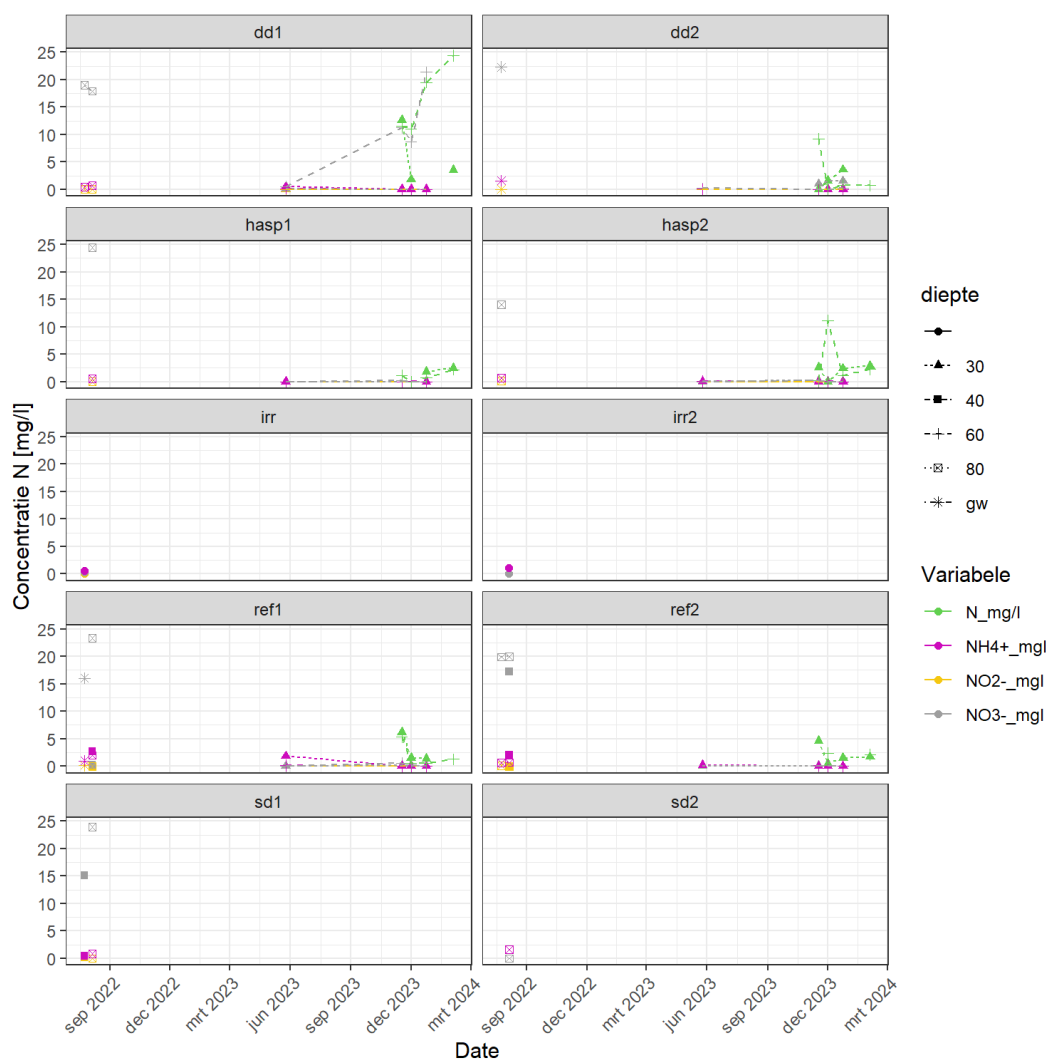
Figuur 13 Grondwaterpeil in 2023 in het diepdruppel, haspel, en referentieperceel.

3.4 Bodemwaterchemie

Bij de meetpunten zijn op verschillende dieptes rhizons geplaatst waarmee het poriewater uit de bodem kan worden getrokken. De rhizons zijn in 2022 tweemaal bemonsterd en in 2023 éénmaal in de zomer, en meerdere keren in de winter. De chemie van het bodemwater wordt voornamelijk bemonsterd, omdat we geïnteresseerd zijn in de nitraat en fosfaatgehalten van de bodem, gezien dit een biodynamische boerderij betreft. Waar bij de reguliere akkerbouw na de zomer doorgaans nutriëntenuitspoeling plaatsvindt, verwachten we dat hier niet, omdat de nutriënten zijn vastgelegd in de bodem. Ook is de concentratie van gewasbeschermingsmiddelen getest in het drainwater.

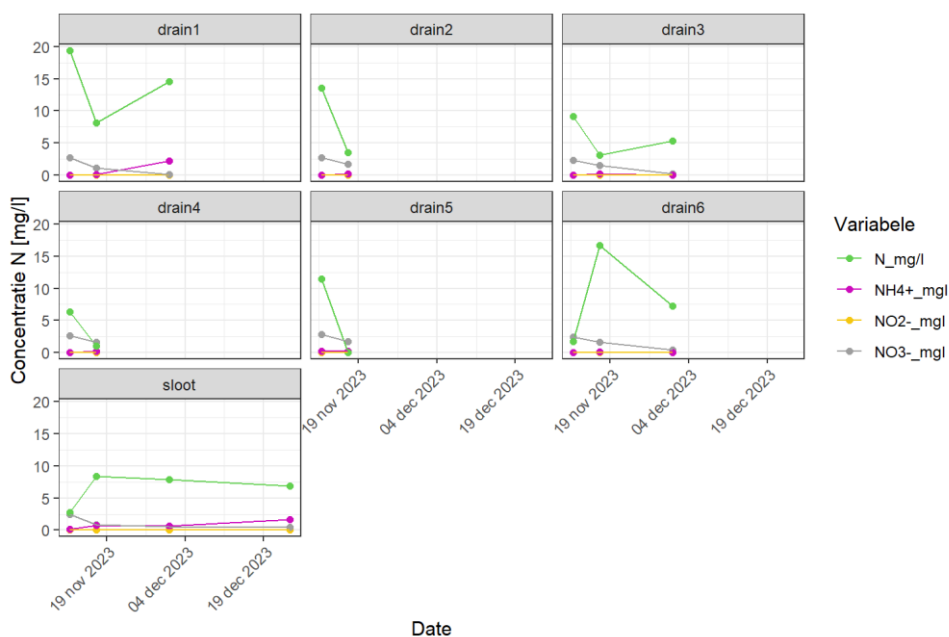
3.4.1 Nitraatgehalte

Figuur 14 laat de verschillende gemeten N-verbindingen in het bodemwater zien. De groene punten geven een indicatie van het totaal aanwezige nitraat, dit wordt sinds 2023 gemeten. Te zien is dat deze waarde niet boven de 25 mg/L uitkomt. De hoogste concentraties N zijn gevonden in de vorm van $\text{NO}_3\text{-N}$, en dan voornamelijk in 2022. In 2023 werd vooral op 60 cm diepte bij de diepdruppel meer N aangetroffen dan bij de andere meetlocaties. Bij de overige meetlocaties was deze concentratie grotendeels lager dan 5 mg/L. De concentraties in de zomer lijken lager dan in het najaar en de winter, wat aangeeft dat er wel iets van nitraatuitspoeling plaatsvindt.



Figuur 14 N-verbindingen in het bodemwater bij alle meetlocaties. Gegeven is het gehalte N in deze verbindingen (NH_4-N , NO_2-N , NO_3-N).

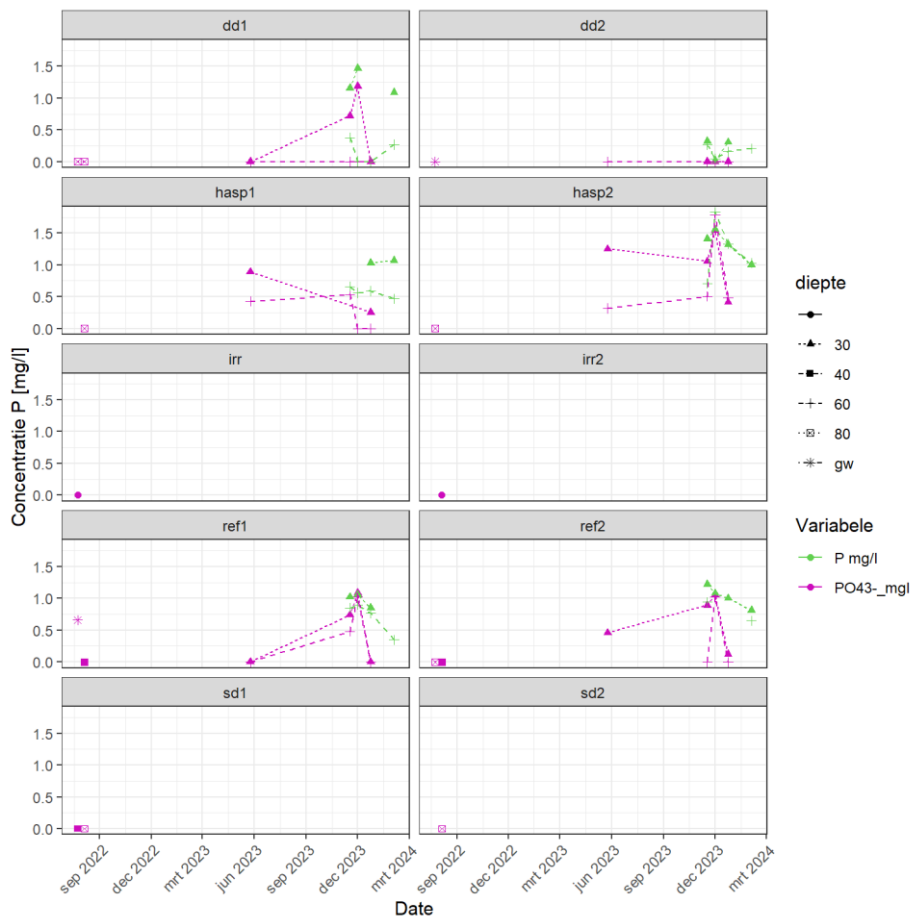
Om te testen of dit nitraat daadwerkelijk uitspoelt, is aan het einde van 2023 ook het drainwater bemonsterd (Figuur 15). Het gaat hierbij om de eerste zes drains vanaf de boerderij gezien, die om de 12 meter liggen. Drain 1 ligt in dit geval het dichtst bij de boerderij, en drain 6 5*12 m verderop. Hoewel de precieze concentraties verschillen, is de concentratie total-N (in groen) in het drainwater vergelijkbaar met dat uit de rhizons, alsook met het slootwater. Het blijven bemonsteren van de rhizons in 2024 is dus belangrijk, zodat een uitspoeling van nitraat bevestigd kan worden.



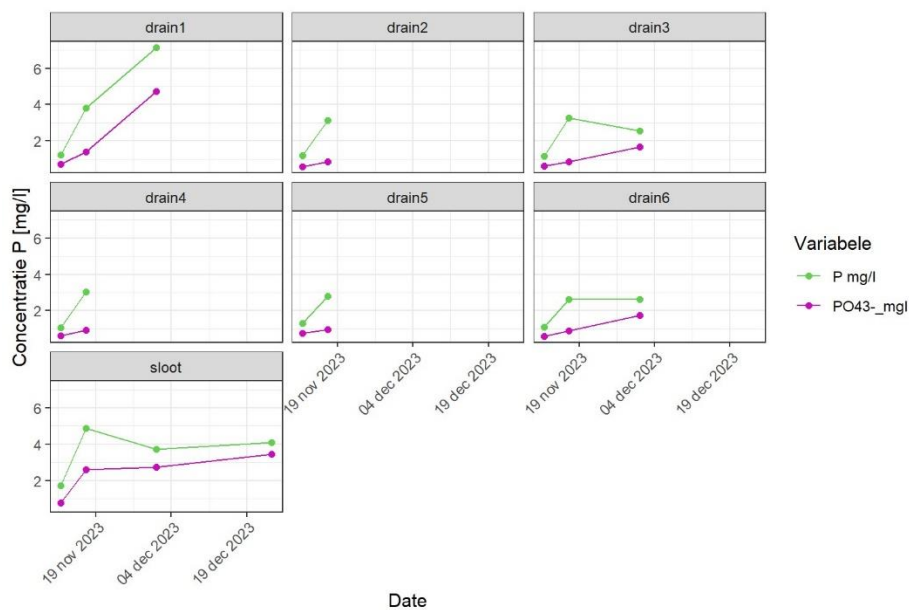
Figuur 15 N-verbindingen in het uitspoelwater. Gegeven is het gehalte N in deze verbindingen.

3.4.2 Fosfaatgehalte

Eenzelfde analyse als voor nitraat, is ook voor fosfaat gedaan. De resultaten hiervan zijn te zien in Figuur 16. De fosfaatgehalten in 2023 zijn aanzienlijk hoger dan in 2022 het geval was. Dit geldt voor alle meetlocaties. Concentraties P zijn over het algemeen hoger bij ondieper gemonsterde locaties. Er zijn geen grote verschillen waar te nemen tussen veld 1 en veld 2 en tussen de verschillende irrigatiemethoden. De enige uitzondering hierop is de diepdruppel op het tweede veld. Hier worden lagere fosfaatconcentraties gemeten dan op de andere meetlocaties. In tegenstelling tot nitraat, zijn de gemeten fosfaatconcentraties in het uitspoelwater (Figuur 17) een stuk hoger dan in het bodemvocht.



Figuur 16 P-verbindingen in het bodemwater bij alle meetlocaties. Gegeven is het gehalte P in deze verbindingen.



Figuur 17 P-verbindingen in het uitspoelwater, als gemonstert uit de drains en in het slootwater.

3.4.3 Gewasbeschermingsgehalte

Op 15 november is een van de drains extra bemonsterd en door Eurofins laten testen op het gewasbeschermingsgehalte. Hierbij is er getest op een lange lijst van 330 stoffen, o.a. herbicides, fungicides, insecticides, acaricides, en groeiregulators. De analyse was ook gedaan voor MCPA welke 20 jaar geleden voor het laatst werd toegepast. Alle geteste variabelen waren in dit gemonsterde drainwater onder de detectielimiet.

3.5 Bodemkwaliteit

3.5.1 Bodemsamenstelling

In zowel 2022 als 2023 zijn er in het voorjaar algemene bodemanalyses uitgevoerd. In Tabel 3 staan de parameters die daarbij onderzocht zijn en de gemiddelde waarden van deze bodemparameters per behandeling, gemeten in zowel 2022 en 2023. In tegenstelling tot 2023 is in 2022 geen analyse gedaan naar microbiële concentratie of activiteit.

Tabel 3: Bodemparameters die significant verscheelde tussen behandelingen. C= controle, H=haspel, DD=diepdruppelirrigatie, BD= bovengrondse druppelirrigatie, p = p-waarde (ANOVA). In 2023 is er grasklaver geteeld en is er dus geen bovengrondse druppelirrigatie geweest.

2022	C	H	DD	BD	p
N bodemvoorraad (mg/kg)	1985 ab	2148 b	1976 ab	1778 a	<0,01
S plantbeschikbaar (mg/kg)	5.8 ab	7.9 bc	8.9 c	5.3 a	<0,01
P plantbeschikbaar (mg/kg)	2.9 a	4.6 b	2.5 a	2.0 a	<0,01
P bodemvoorraad (mg P ₂ O ₅ /100g)	45.2 a	66.8 b	43.8 a	37.2 a	<0,01
Mg plantbeschikbaar (mg/kg)	203 ab	207 ab	223 b	195 a	<0,01
pH	5.9 ab	6.2 b	6.0 b	5.8 a	<0,01
OS (%)	3.2 ab	3.4 b	3.1 ab	2.7 a	<0,01
Silt (%)	36.8 b	32.4 a	37.0 b	35.0 ab	<0,01
Zand (%)	41.8 ab	45.8 b	41.2 a	44.8 ab	0,047
Klei (%)	18.5	18.4	18.8	17.4	ns.
S bodemvoorraad (mg/kg)	292	309	269	261	ns.
K plantbeschikbaar (mg/kg)	152	164	152	122	ns.
Na plantbeschikbaar (mg/kg)	27.2	26.4	28.2	25.8	ns.
2023	C	H	OD	BD	
N bodemvoorraad (mg/kg)	1925	1980	1762		ns.
P plantbeschikbaar (mg/kg)	2.5 *ab	3.5 b	2.2 a		0,01
P bodemvoorraad (mg P ₂ O ₅ /100g)	46.8 a	65.2 b	41.2 a		<0,01
Mg plantbeschikbaar (mg/kg)	212	204	217		ns.
pH	6.0 a	6.4 b	6.1 a		<0,01

OS (%)	3.2	3.4	3.5		ns.
Silt (%)	35.8	33.6	36		ns.
Zand (%)	42.0 ab	45.0 b	39.8	a	0,03
Klei (%)	19.2	18.4	20.6		ns.
S bodemvoorraad (mg/kg)	262	269	239		ns.
K plantbeschikbaar (mg/kg)	125	125	120		ns.
Na plantbeschikbaar (mg/kg)	25.2	29.8	24.8		ns.
Microbiële biomassa (mg C/kg)	369	367	337		ns.
Schimmel biomassa (mg C/kg)	128 ab	132 b	118	a	0,04
Microbiële activiteit (mg N/kg)	57.5	53.4	45.6		ns.
Bacteriële biomassa (mg C/kg)	140	144	130		ns.

* Verschil tussen controle en haspel is trendmatig ($p=0,06$)

In beiden jaren verscheelde dezelfde behandelingen significant met elkaar voor de totale bodemvoorraad P en het zandgehalte. In 2022 werd voor de beschikbare P gevonden dat deze hoger was in de plots met de haspelbehandeling, in 2023 was het verschil tussen de controle (geen) en de haspel slechts trendmatig ($p=0,06$). Wel werd wederom de laagste concentratie beschikbare P gevonden in de plots met diepdruppel behandelingen. De zand concentratie is tevens in beiden jaren het hoogst bevonden in de plots met de haspelbehandeling. In 2022 werd gevonden dat de stikstofvoorraad in de bovengrondse druppelbehandeling lager was dan in de overige haspelbehandeling.

3.5.2 Profielkuil

Een jaar ná installatie van de diepdruppelsslagen zijn in een relatief droge periode op 26 juli 2022 een aantal profielkuilen geanalyseerd (Figuur 18). Juli is tevens de maand waarop de aardappel geoogst werd.

Tijdens profielkuilen beoordelen is met name gelet op beworteling en vocht. In de bovengrondse druppel slang werd waargenomen dat de bodem vochtiger was in de rug aan de kant waar de druppel slang zich bevond en dat de wortels ook de lichte neiging hadden richting de druppel slang te groeien. Voor de diepdruppel slang werd gevonden dat de wortels van de aardappel tot de druppel slang rijkte. Er werd tussen de behandelingen geen duidelijk verschil gevonden in bodemvocht. De beworteling leek wel wat minder diep in vergelijking met de bovengrondse druppelirrigatie, diepdruppelirrigatie en referentie.

Daarnaast bleek uit meerdere proefkuilen dat er een duidelijke scheur aanwezig was boven de diepdruppelslang (Figuur 19). Dit is afkomstig van de aanleg van de slangen, waarbij met een grote machine sleuven in de grond zijn gemaakt tot 38 cm, waarin de slangen werden geplaatst.



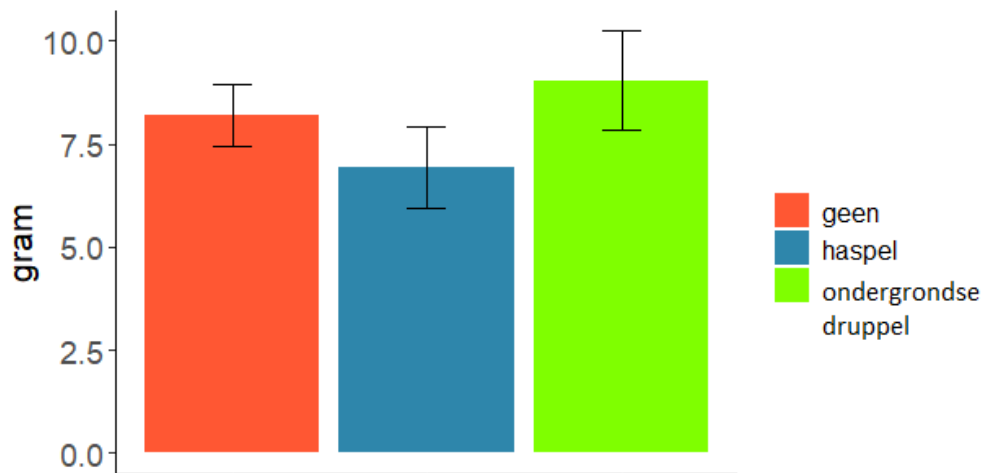
Figuur 18 profielkuilen van verschillende behandelingen. Links naar rechts: bovengrondse druppel, haspel, diepdruppel, referentie.



Figuur 19 Een duidelijke scheur zichtbaar boven een diepdruppelslang.

3.5.3 Bodemleven

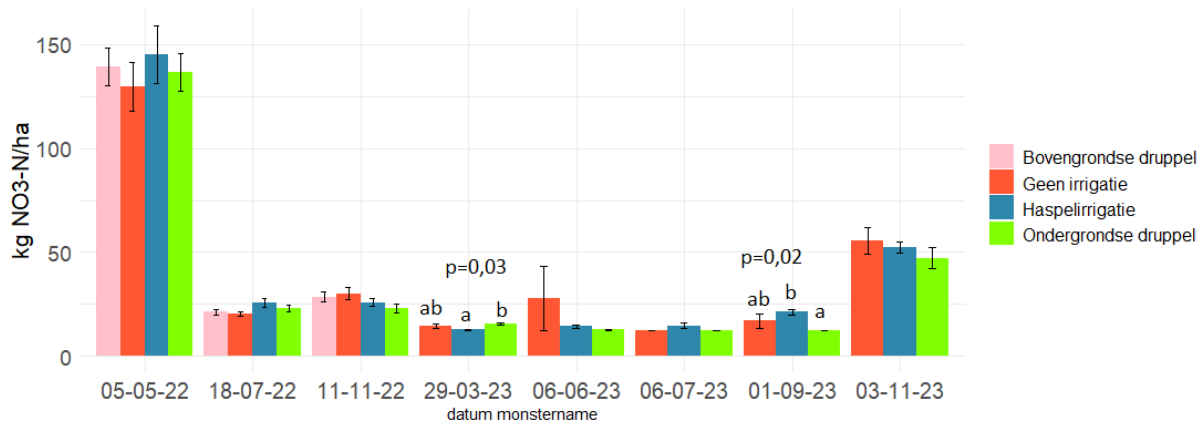
Voor bodemleven zijn er op 31 oktober 2023 wormenplaggen genomen en in het lab onderzocht op de aanwezigheid van wormen. Ten tijde van het schrijven van dit rapport zijn de wormen niet gedetermineerd; dat zal in de loop van 2024 gebeuren. Wel is de biomassa per herhaling bepaald (per plag van 20x20x20). Zie daarvoor Figuur 20. Tussen de behandelingen zijn geen significante verschillen gevonden.



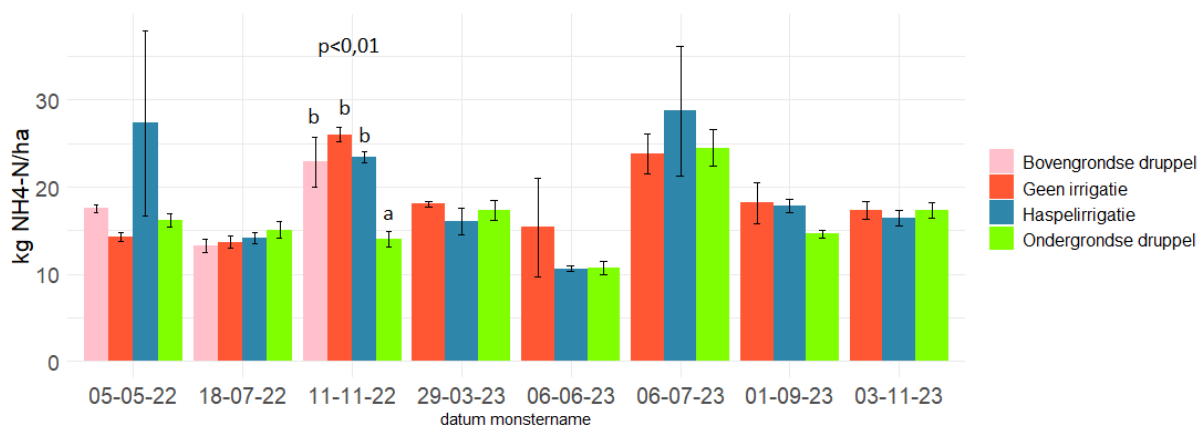
Figuur 20 Wormen biomassa voor de verschillende behandelingen.

3.6 Minerale stikstof concentraties

Op acht momenten verspreid over 2022 en 2023 zijn bodemonsters genomen voor analyse op minerale stikstof, gedifferentieerd in $\text{NO}_3\text{-N}$ en $\text{NH}_4\text{-N}$ (zie Figuur 21 en Figuur 22). In sommige gevallen was de concentratie $\text{NO}_3\text{-N}$ lager dan de detectielimiet van het lab (3,1 mg N/kg). In dat geval is ervoor gekozen de concentratie gelijk te maken aan het detectielimiet. Voor stikstof zijn er in 2023 op 23 maart en op 1 september significante verschillen gevonden tussen behandelingen. Echter waren de verschillen klein en praktisch verwaarloosbaar. Voor NH_4 zijn er op 11 november 2022 grotere effecten gevonden, namelijk de diepdruppelirrigatieplots hadden een significant lagere concentratie. Het effect van de behandelingen op de stikstofdynamiek wordt beter inzichtelijk wanneer de meetwaarden worden gebruikt als input voor het NDICEA model. Dat zal in 2024 worden uitgevoerd.



Figuur 21 Concentratie NO3 stikstof (mg/kg) over tijd.



Figuur 22 Concentratie NH4 stikstof (mg/kg) over tijd.

3.7 Gewas

3.7.1 2022: aardappel

Opkomst

De opkomst is op 5 mei 2022 bepaald door over 2 strekkende meters het aantal planten te tellen, en dit per herhaling vier keer te doen. De opkomst verschildte niet significant tussen behandelingen, wat niet verrassend is omdat er ten tijde van meting nog niet geïrrigeerd was in de behandelingen. Cammeo had gemiddeld wat minder planten (~6) dan Marabel (~8).



Figuur 23 Aardappelopkomst

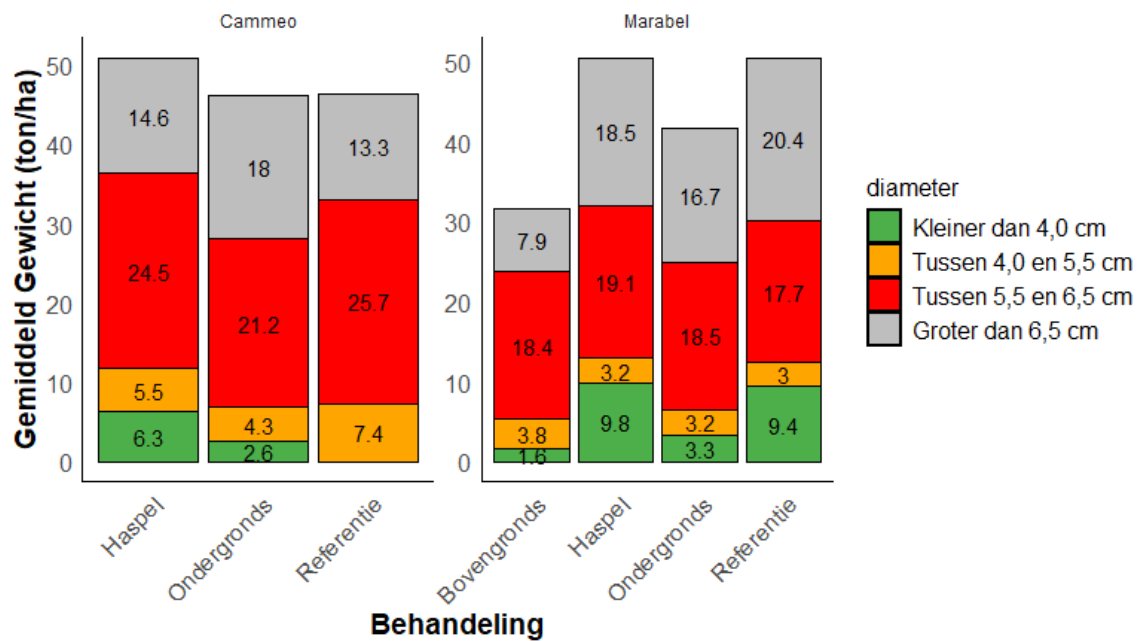
Opbrengst

Herhaling G5 is verwijderd, die zich bevond op de locatie waar Cammeo is geteeld. Daarom heeft Cammeo voor de "geen irrigatie" slechts één herhaling. De druppelirrigatie is pas in werking gezet toen de bodem al tamelijk verdroogd was, wat de effectieve werking van de behandelingen kan hebben belemmerd. De resultaten zijn weergegeven in *Figuur 24*.

Voor het ras Cammeo werden geen significante effecten waargenomen. Cammeo is een vroeg ras, en toen er droogte optrad in het seizoen was het al afgerijpt. Om die reden zijn eventuele effecten van irrigatiebehandelingen niet waargenomen. In het geval van het ras Marabel werden daarentegen wel significante resultaten geconstateerd. Concreet leverde bovengrondse druppelirrigatie de laagste opbrengst op, gevolgd door diepdruppelirrigatie. Haspelirrigatie en behandeling zonder irrigatie resulteerden daarentegen in de hoogste opbrengst.

Opvallend is dat de referentieverhaling een hogere opbrengst vertoonde dan de herhalingen met druppelirrigatie, wat waarschijnlijk met ruimtelijke verschillen in bodem te maken heeft aangezien het gewas op het ernaast liggende perceel hetzelfde patroon vertoonde. Ook grondverstoring tijdens aanleg van behandelingen is niet logisch, aangezien er weinig verstoring optreedt bij aanleg van bovengrondse druppelirrigatie. Waarschijnlijker is dus dat het verschil

voortkomt uit oorspronkelijke verschillen in bodemcondities, niet gerelateerd aan de toegepaste behandelingen.



Figuur 24 Opbrengst aardappelen (augustus, 2022), waarbij links het ras Cameo en rechts het ras Marabel is weergegeven.

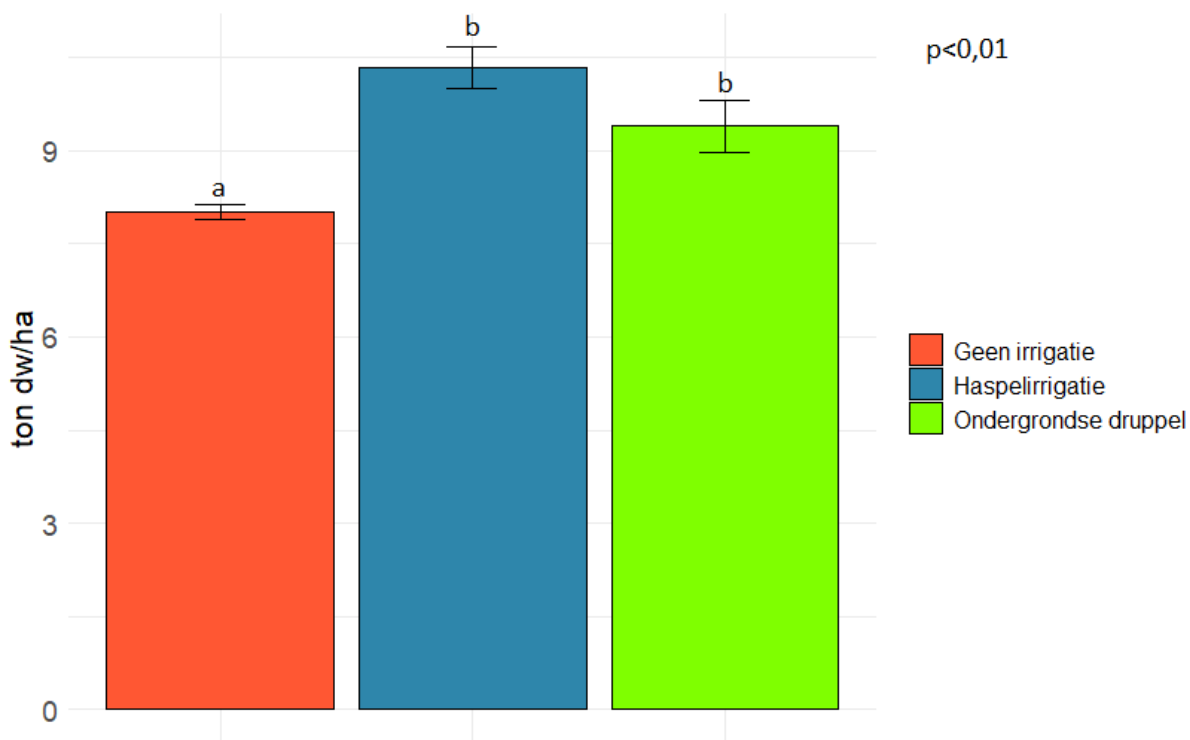
Gewaskwaliteit

In de aardappelopbrengst is tevens gekeken naar verschillen in de diameter van de aardappelen. Voor pootaardappelen zijn diameters tussen de 4,0 en de 6,5 gewenst. In het ras Marabel is te zien dat opbrengstverschillen met name voorkomen in ofwel kleine aardappelen ($d < 4,0 \text{ cm}$) ofwel grote aardappelen ($d > 6,5 \text{ cm}$). Bij de aardappelen met een diameter tussen de 4,0 en 6,5 cm zijn de verschillen in opbrengst meer beperkt.

3.7.2 2023: grasklaver

Opbrengst grasklaver

In totaal zijn er vijf sneden geweest. Van de eerste snede is geen goede opbrengstbepaling gedaan, omdat het gras al gemaaid was door de boer voorafgaand aan het veldwerk. Wel is er van snede 1 een algemeen gemiddelde opbrengst bepaald over het hele proefveld. De totale cumulatieve opbrengst van de 2^e tot de 5^e snede was voor de "geen irrigatie", "haspelirrigatie" en "diepdruppelirrigatie" respectievelijk 8,0; 10,3; en 9,4 ton droge stof per hectare (Figuur 25). Zowel de haspelirrigatie als de diepdruppelirrigatie resulteerde in een significant hogere opbrengst dan de controlebehandeling zonder irrigatie.



Figuur 25 Totale opbrengst 2de snede t/m 5de snede voor geen irrigatie (rood), haspel (blauw) en diepdruppelirrigatie (groen).

Tabel 4 Totale opbrengst grasklaver over 2e tot 5e, en 1e tot 5e snede. 1e snede is een gemiddelde van alle behandelingen (1,5 ton dw/ha)

	2 ^e tot 5 ^e snede (ton dw/ha)	1 ^e tot 5 ^e snede (ton dw/ha)
Geen irrigatie	8,0	9,5
Haspelirrigatie	10,3	11,8
Diepdruppel	9,4	10,9

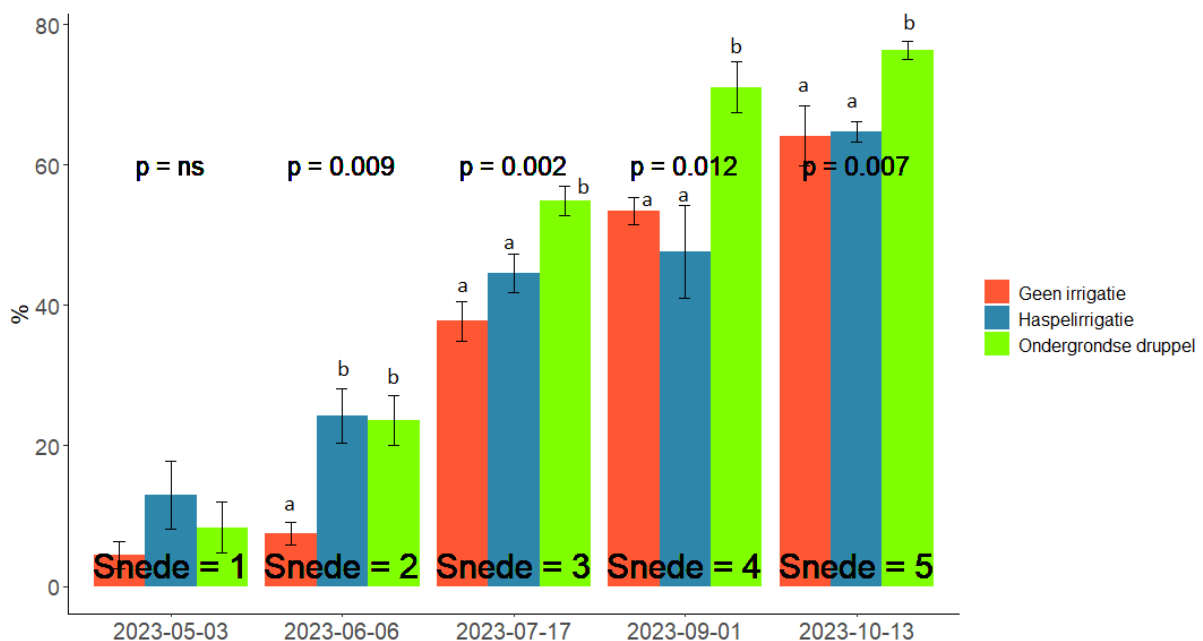
In de eerste snede is de gemiddelde opbrengst over alle behandelingen ongeveer 1,5 ton ds per hectare geweest. Als we dit op tellen bij de opbrengsten uit de 2^e tot de 5^e snede (Figuur 25), komen we voor de haspel en de irrigatie behandeling op vrij hoge opbrengsten uit (Tabel 4). Mogelijk is er geen (significant) verschil gevonden tussen de behandelingen waarbij irrigatie

plaatsvond, omdat water niet limiterend is geweest in deze beide behandelingen. De opbrengstniveaus lijken bij beide rond het maximum van een eerste jaar grasklaver te zitten. In dat geval is er bij de diepdruppelirrigatie mogelijk meer geïrrigeerd dan nodig was voor optimale opbrengst.

Het is echter niet uitgesloten dat de irrigatie uit de diepdruppelbehandeling minder efficiënt is geweest, doordat het water uit de diepdruppelslang onvoldoende (snel) opsteeg. Het lukte met deze behandeling namelijk niet om de bovenste bodemlagen vochtig te krijgen, wat de reden is geweest om over een relatief lange periode door te irrigeren. Dit heeft tot een groot verschil in watergift (resp. 20 mm vs 60 mm) geleid, waarvan we niet precies weten of het (deels) nodig was omdat het irrigatiewater naar het grondwater liep.

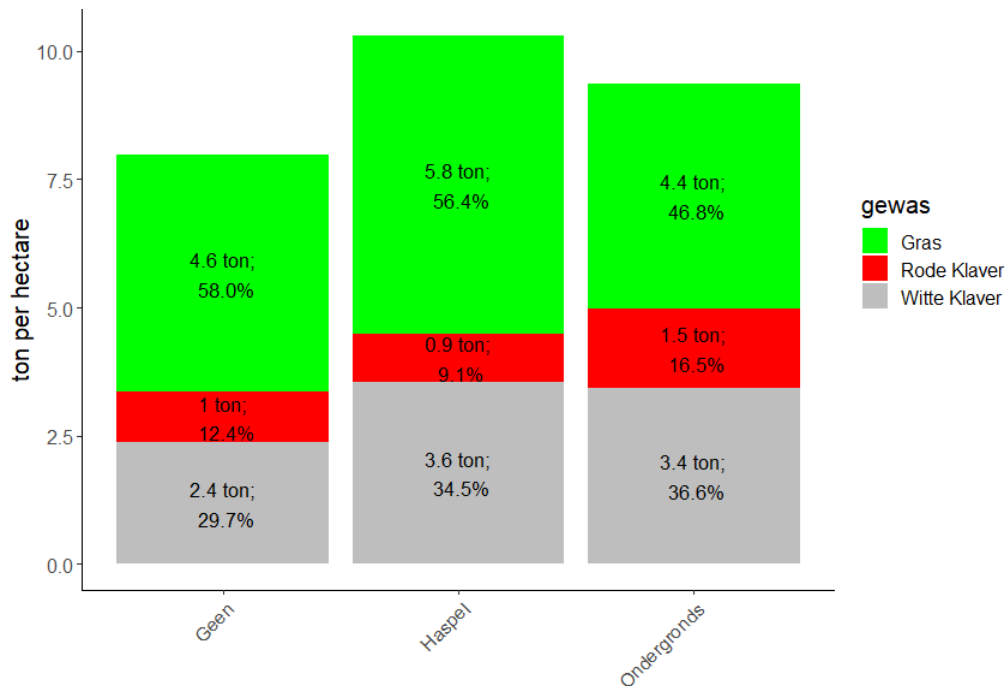
Klaveraandeel

Vanaf de derde tot de vijfde snede is het effect van de behandelingen zichtbaar: de diepdruppelbehandeling resulteerde in een significant groter klaveraandeel dan de andere behandelingen (Figuur 26). Dit was ook duidelijk waarneembaar in het veld (Figuur 28 **Error! Reference source not found.**). De druppelirrigatie ging aan op 2 juni, en vanaf dat moment is het effect dan ook duidelijk waarneembaar in het klaveraandeel. Het effect dat is gevonden bij de tweede snede is moeilijk te verklaren, want toen hadden de behandelingen nog niet “aan” gestaan. Mogelijk is het ontstaan door een verschil in de bodem.



Figuur 26 Klaveraandeel per snede per behandeling voor geen irrigatie (rood), haspel (blauw) en diepdruppelirrigatie (groen).

In *Figuur 27* is te zien welk aandeel gras, witte klaver en rode klaver hebben in de totale opbrengst van de verschillende behandelingen over de 2^e tot 5^e snede.



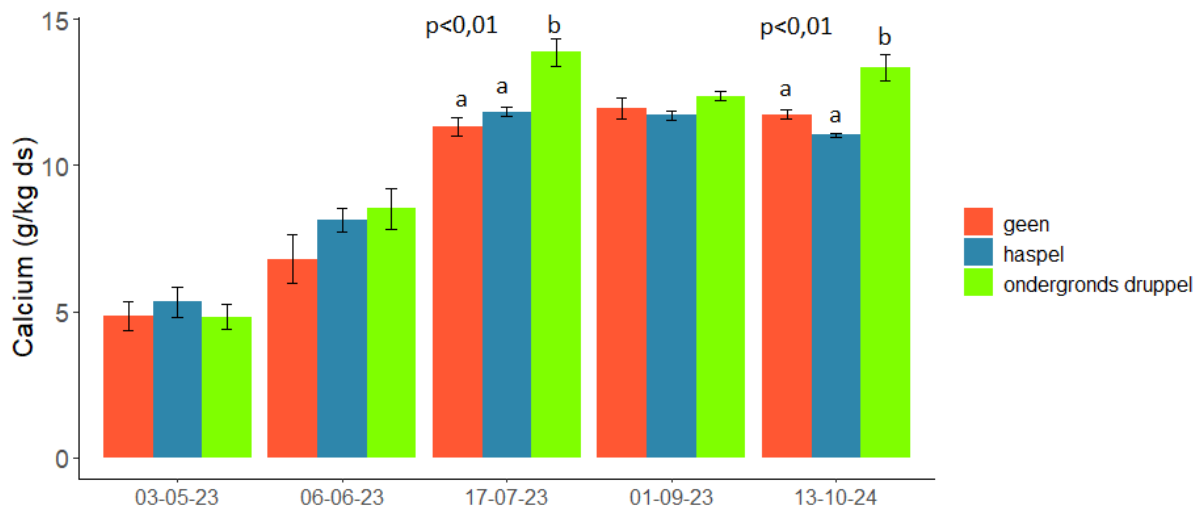
Figuur 27 Differentiatie in gras, rode klaver en witte klaver tussen de verschillende behandelingen, waarbij de totale opbrengst is weergegeven (2de t/m 5de snede) en de percentages.



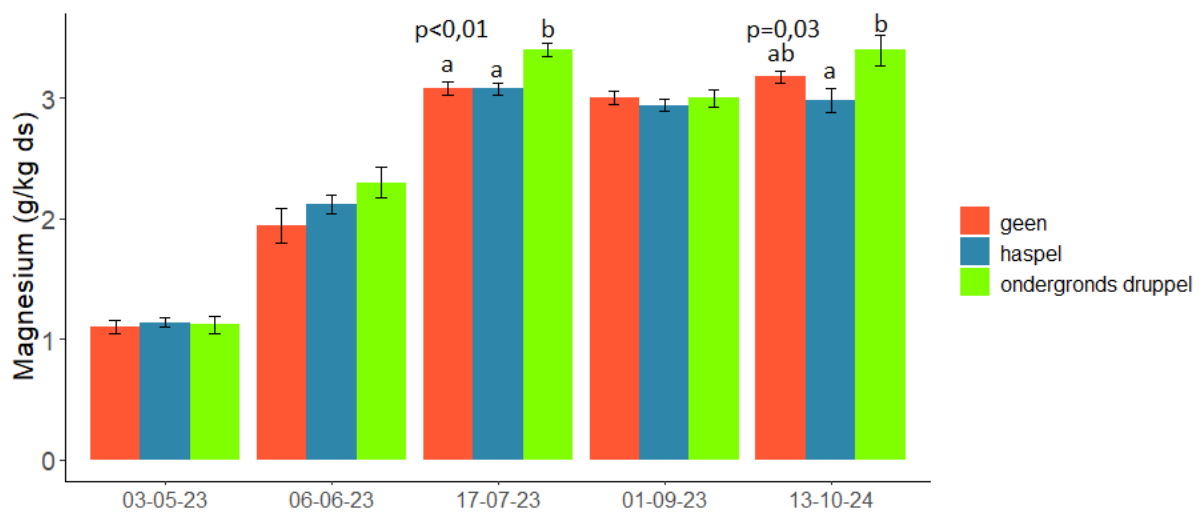
Figuur 28 Duidelijk verschil in hoeveelheid klaver tussen de diepdruppel (links) en geen irrigatie (rechts).

Inhoudsstoffen

Het rantsoen is deels bepalend of een koe bepaalde ziektes krijgt. Om melk te geven is het belangrijk om een rantsoen te hebben met genoeg calcium en energie. Mocht er te weinig calcium in het veevoer zitten, kan de koe melkziekte krijgen. In Figuur 29 is te zien dat er significante verschillen tussen de calciumgehalten zijn tussen de behandelingen. Naast melkziekte bestaat er ook kopziekte bij melkvee. Hierbij is de oorzaak een tekort aan magnesium. De magnesiumgehalten voor de diepdruppelirrigatie zijn bij 2 snedes significant hoger dan voor de andere behandelingen (Figuur 30).



Figuur 29 Calciumgehalten (g/kg DS) in de verschillende snedes per behandeling.



Figuur 30 Magnesiumgehalten (g/kg DS) in de verschillende snedes per behandeling.

3.8 Irrigatiekosten

Er is een initiële inventarisatie van de irrigatiekosten uitgevoerd. Deze staat nog op losse schroeven en aannames moeten nog gevalideerd worden. De calculatie is geïnspireerd door het WUR rapport van Burgt & Verstand (2021) waarin de kosten van bovengrondse druppel irrigatie en haspelirrigatie zijn bepaald bij verschillende scenario's. Enkele kosten posten uit dit rapport zijn overgenomen, maar er is in sommige gevallen ook aanzienlijk afgeweken van de methode uit bovengenoemde verhandeling.

3.8.1 Haspel

Haspelirrigatie kost jaarlijkse tussen 119 en 689 euro per hectare, afhankelijk van de frequentie van irrigatie en de actuele waarden van enkele kostenposten, zoals dieselprijs. Hier volgt een verduidelijking, raadpleeg ook Tabel 5.

Een haspel heeft een levensduur van 15 jaar en is inzetbaar voor 15 hectare. De aanschafkosten van een haspel liggen tussen 10.000 en 20.000 euro. Op jaarbasis (gedeeld door 15) en per hectare (gedeeld door 15) bedragen de kosten voor de haspel dus 44 tot 89 euro.

Elke beregende hectare vereist 3 uur tijd voor de haspel, waarbij 10 tot 15 liter diesel per uur wordt verbruikt. De totale brandstofkosten variëren tussen 30 en 90 euro, afhankelijk van de dieselkosten (1 tot 2 euro per liter).

Een beregeningssessie duurt 0,5 tot 2 uur per hectare, en de arbeidskosten, die 15 euro per uur bedragen, liggen daarmee tussen 7,5 en 30 euro per haspelsessie per hectare.

In het gunstigste scenario wordt er twee keer per jaar beregend, terwijl dit in het ongunstigste geval vijf keer gebeurt. Met deze informatie kunnen we de minimale jaarlijkse kosten berekenen voor energie, vaste kosten en arbeidskosten. Dit kan worden uitgedrukt als:

Tabel 5 Kosten scenario's beregenen met haspel.

Aannamen	min	max	
Te beregenen oppervlak:	15	15	hectare per haspel
Levensduur van haspel:	15,0	15,0	jaar per haspel
Scenario's			
Aantal keer beregenen 20mm:	2,0	5,0	keer per seizoen
Kosten energie			
Draaiuren	3,0	3,0	uren per beregening per hectare
Brandstofverbruik	10,0	15,0	liter per uur
Dieselskosten	1,0	2,0	euro per liter
totaal	30,0	90,0	Euro per beregening per hectare
Personeelskosten			
Salaris	15,0	15,0	euro per uur
Arbeidsuren per beregeningsbeurt	0,5	2,0	uur per beregening per hectare
Totaal	7,5	30,0	euro per beregening per hectare
Vaste kosten			
Aanschafkosten haspelinstallatie	10000,0	20000,0	euro
Afschrijving per jaar	666,7	1333,3	euro
Afschrijving per hectare per jaar	44,4	88,9	euro
	Beste	Slechtst	
Kosten:	119	689	Euro per hectare jaar

3.8.2 Bovengrondse druppelirrigatie

De kosten voor bovengrondse druppelirrigatie variëren jaarlijks tussen 1027 en 1897 euro, afhankelijk van de irrigatiefrequentie en de actuele waarden van enkele kostenfactoren, zoals de energieprijzen. Hier volgt een verduidelijking, raadpleeg ook Tabel 6:

Voor diepdruppelirrigatie dient een vast systeem te worden geïnstalleerd, dat een levensduur heeft van 20 tot 50 jaar en gepaard gaat met een investering van 5975 tot 10775 euro per 10 hectare. Dit betekent dat de jaarlijkse kosten per hectare tussen de 12 en 54 euro liggen.

De energiekosten bedragen 1,4 tot 3,5 euro per dag dat het systeem aan staat (zie box 1). Het systeem staat per seizoen 18 (beste geval) tot 92 (slechtste geval) dagen aan, overeenkomend met respectievelijk 20 en 100 mm watergift. Energiekosten over het totale seizoen bedragen dus ~25 (best case) tot 318 (worst case) euro.

Box 1: energiekosten druppelirrigatie

Om de energiekosten per dag dat het irrigatiesysteem actief is te bepalen, hanteren we het irrigatieprogramma zoals vermeld in de onderstaande tabel. Dit programma, dat ook in dit project is toegepast, stelt ons in staat de energiekosten te berekenen op basis van het vermogen van de hydraulische pomp.

Het vermogen van de pomp is 5,5 kW. Het systeem is, wanneer ingeschakeld, dagelijks gedurende 76 minuten actief (1,27 uur). Met een gemiddelde stroomprijs van 0,2 tot 0,5 euro per kWh, variëren de geschatte energiekosten voor het irrigatiesysteem tussen 1,4 en 3,5 euro per dag dat het in bedrijf is.

Tijd	hoeveelheid (m ³)	Duur (min)	Oppervlakte: 19200 m ²
6:00	1,4	5	Gift [mm]: 1,11
8:00	1,4	5	mm/dag
10:00	1,4	5	Gift [m ³ /min]: 0,28
12:00	1,4	5	m ³ /min
13:00	1,4	5	
14:00	1,4	5	
16:00	1,4	5	
18:00	1,4	5	
19:00	1,12	4	
20:00	1,12	4	
21:00	1,12	4	
22:00	1,12	4	

Arbeidskosten bedragen 15 euro per uur. Jaarlijks moeten de druppelslangen opnieuw worden geïnstalleerd (8-15 uur) en weer worden afgebouwd (8-10 uur). Daarnaast moet de

bodemvochtigheid worden gecontroleerd en, indien nodig, de irrigatie worden ingeschakeld en uitgeschakeld (5 uur). De totale arbeidskosten variëren tussen de 390 en 525 euro.

Tot slot moeten elk jaar nieuwe druppelsslangen worden aangeschaft, wat tussen de 600 en 1000 euro kost.

Tabel 6 Kosten scenario's irrigeren met bovengrondse druppel.

Aannamen	min	max	
Levensduur van (vast) systeem	20	50	Jaar
Aantal hectare voor vaste kosten	10	10	
Scenario's (dagen beregenen)	18,0	91,0	dagen per seizoen
Kosten energie			
irrigatietijd per dag	1,3	1,3	uur
Vermogen pomp	5,5	5,5	kW
Energiegebruik	7,0	7,0	kWh/ha/dag
Kosten van energie	0,2	0,5	euro per kWh
Totaal	1,4	3,5	euro per dag
Personeelskosten			
Salaris personeel	15	15	euro per uur
Opbouw installatie	8	15	uur per hectare per jaar
Afbouw installatie	8	10	uur per hectare per jaar
aan-uitzetten slangbruggen	5	5	uur per hectare per jaar
Totaal	315	450	euro per seizoen
Vaste kosten			
Kraanset	175	175	euro
Pomp	5500	9000	euro
transportslang van pomp naar druppel slang	150	1400	euro
verdeelleiding	150	200	euro
kosten per jaar per hectare	11,95	53,875	euro
	Best	Worst	
Kosten:	352	822	Euro per hectare jaar

3.8.3 Diepdruppelirrigatie

De jaarlijkse kosten van de diepdruppelirrigatie bedragen 193 tot 545 euro per jaar, afhankelijk van de irrigatiefrequentie en de actuele waarden van enkele kostenfactoren, zoals de energieprijzen. Hieronder volgt de berekening. Zie ook tabel 7 voor meer details.

Het opzetten van het vaste systeem kost 8975 tot 15525 euro per 10 hectare, en gaat 20 tot 50 jaar mee. De jaarlijkse kosten per hectare komen dan uit tussen de 18 en de 78 euro.

De kosten van de energie is gelijk aan bij de bovengrondse druppelirrigatie, tussen de 25 en 318 euro per seizoen.

Arbeid bedraagt het bijhouden van de bodemvochtigheid en waar nodig het aan-en uitzetten van de druppelslangen. In totaal 5 uur voor 15 euro per uur, maakt 75 euro.

Tabel 7 Kosten scenario's irrigeren met diepdruppel per jaar.

Aannamen	min	max	
Levensduur van (vast) systeem	20,0	50,0	Jaar
Aantal hectare voor vaste kosten	10,0	10,0	
Scenario's (dagen beregenen)	18,0	91,0	dagen per seizoen
Kosten energie			
irrigatietijd per dag	1,3	1,3	uur
Vermogen pomp	5,5	5,5	kW
Energiegebruik	7,0	7,0	kWh/ha/dag
Kosten van energie	0,2	0,5	euro per kWh
Totaal	1,4	3,5	euro per dag
Arbeidskosten			
Salaris personeel	15,0	15,0	euro per uur
aan-uitzetten slangbruggen	5,0	5,0	uur per hectare per seizoen
Totaal	75,0	75,0	euro per seizoen
Vaste kosten			
Kraanset	175,0	175,0	euro
Pomp	5500,0	9000,0	euro
transportslang van pomp naar druppelslang	150,0	1400,0	euro
verdeelleiding	150,0	200,0	euro
druppelslangen	600,0	1000,0	euro
Opbouw installatie	80,0	150,0	uur
Afbouw installatie	80,0	100,0	uur
Totale kosten per jaar per hectare	18,0	77,6	Per hectare per jaar
	Best	Worst	
Kosten:	118	470	Euro per hectare jaar

In Tabel 8 is een overzicht te zien met de kosten van verschillende irrigatiesystemen. Er is hier geen rekening gehouden met de mogelijke gewas-opbrengstverschillen die mogelijk kunnen resulteren tussen de behandelingen.

Tabel 8 Overzicht van de kosten van de 3 verschillende irrigatiesystemen, waarbij onderscheid is gemaakt in best case en worst case scenario. De kosten zijn per jaar.

Irrigatiesysteem	Best case	Worst case
Haspel	€119	€689
Bovengrondse druppel	€352	€822
Diepdruppel	€118	€470

4 Discussie

Bodemvocht

Op basis van de gedane metingen in de jaren 2022 en 2023 lijkt het erop alsof een diepdruppel in dit bodemtype er niet in slaagt het ondiepe bodemvochtgehalte te verhogen. Het bodemvochtgehalte op 60 cm diepte stijgt wel tijdens de irrigatieperiode, maar het grondwaterpeil stijgt ook mee. Dit was het geval tijdens beide gemeten groeiseizoenen. De hoeveelheid water die gegeven is aan de twee gewassen zegt dus niet zozeer wat over het watergebruik van de verschillende gewassen, maar meer over de hoeveelheid water die naar het grondwater verloren gaat. De invloed van de diepdruppel lijkt hiermee meer een invloed te hebben zoals we dat bij subirrigatie verwachten. Mogelijk heeft de peilopzet wel invloed op de wortelingsdiepte van de gewassen. Diepwortelende gewassen zouden wel degelijk een positieve invloed van de diepdruppel kunnen ondervinden, ook omdat het grondwater binnen bereik van de wortels komt te liggen.

Bodemkwaliteit

Er is binnen het proefveld, voorafgaand aan de proef, al een kleine gradiënt aanwezig in de bodemsamenstelling. Dit was in 2022 tevens te zien aan het hennepgewas dat aangrenzend aan het proefveld werd geteeld; meer naar het noorden leek het gewas het beter te doen.

Waarschijnlijk speelt er in het proefveld dus ook een effect van de bodem zelf. Volgens de bedrijfseigenaar, André Jurrius, heeft de bodem richting het noorden een zwaardere grondslag, al is dit niet bevestigd in onze bodemanalyses. Echter zijn er andere bodemparameters gevonden die significant verschilden tussen de behandelingen in zowel 2022 als 2023. In beide jaren is een hogere P-beschikbaarheid en voorraad gevonden in de haspelherhalingen dan in de andere behandeling, alsook een hogere zandconcentratie. In 2022 is er ten tijde van de bemonstering nog geen behandeling "aangezet", en dus zijn de significante verschillen niet het gevolg van de behandeling maar eerder inherent aan de grondslag.

In een profielkuil die gegraven is op 26 juli 2022 is zichtbaar dat er een flinke scheur in de bodem direct boven de slang zat. Hierdoor is de capillaire opstijging van water waarschijnlijk niet ideaal. 26 juli was een dag in een relatief droge periode, mogelijk is hierdoor de scheur extra benadrukt. Interessant is in ieder geval om te analyseren of de bodem zich in de loop van tijd herstelt. Ook kan hieruit de les getrokken worden dat de bodem nooit te droog moet worden (omdat dan de scheurvorming versterkt wordt) en dat dus tijdig de diepdruppelirrigatie aan moet worden gezet. In de toekomst kan hierop gestuurd worden door al bij een lagere zuigspanning (pF waarde) te starten met druppelirrigatie.

Voor minerale stikstof zijn zowel voor NH_4^+ als voor NO_3^- verschillende concentraties gevonden bij sommige metingen. Ondanks de significantie was het verschil tussen de concentraties klein en waarschijnlijk niet relevant in de praktijk. In het najaar van 2022 werd voor NH_4^+ een lagere concentratie gevonden in de diepdruppel irrigatie die aanzienlijk was. Echter is NH_4^+ niet uitspoelingsgevoelig en stond er in november geen gewas meer op het perceel, dus de vraag is

wat de praktische impact is. De huidige data gaat in 2024 gebruikt worden voor doorrekeningen met NDICEA, waaruit mogelijk meer conclusies kunnen worden getrokken.

Bodemleven

Ten tijde van het schrijven van deze rapportage is er een analyse gedaan naar wormen in de verschillende behandelingen. Echter zijn de wormen nog niet gedetermineerd, maar enkel gewogen. Daaruit bleek dat er met betrekking tot gewicht geen verschillen zijn waargenomen tussen behandelingen.

Opbrengst

Er was geen significant verschil in de opkomst van aardappel in 2022, wat niet opmerkelijk is omdat destijds nog niet geïrrigeerd was. Wel werd er een verschil gevonden in de uiteindelijke opbrengst van het ras Marabel (maar niet voor Cammeo). Hier was het zo dat de haspelirrigatie en de controle (geen irrigatie) de hoogste opbrengst hadden, gevolgd door de diepdruppel en ten slotte de bovengrondse druppelirrigatie. Deze resultaten zijn op eerste gezicht moeilijk te verklaren; het is immers vreemd dat de controle, waarbij geen water is geïrrigeerd, een hogere opbrengst optrad dan bij beiden druppelirrigatiemethoden, waar wel is geïrrigeerd. Zeer waarschijnlijk zijn de opbrengstverschillen het gevolg van de grondslag, welke verder van het erf af gunstiger was voor gewasgroei. Dit was tevens te zien in het aangrenzende perceel waar hennep werd geteeld. Echter vereist het data van meerdere seizoenen om deze conclusie hard te maken. Mogelijk wordt het effect van de behandeling bij grotere droogte prominenter, maar zowel 2022 alsook 2023 waren vrij natte jaren.

Voor grasklaver in 2023 werd gevonden dat de opbrengst in de controle significant lager was dan de opbrengst in de diepdruppel- en haspelbehandeling, waarbij er geen significant verschil was tussen de laatste twee behandelingen. Er kan dus gesteld worden dat irrigatie beter is dan geen irrigatie, wat te verwachten is. Opmerkelijk is dat er geen verschil is gevonden tussen de opbrengst in de haspelbehandeling en de opbrengst in de diepdruppelbehandeling, hoewel hier wel een groot verschil zat in irrigatievolume (respectievelijk 20mm vs. 60mm). Mogelijk was 20mm genoeg om te voorzien in de waterbehoefte en was de overige 40mm die met de diepdruppelslang werd gegeven overbodig, omdat het water niet meer limiterend was.

Een andere mogelijkheid is dat het water uit de diepdruppelslang niet voldoende opsteeg (capillaire werking) om zodoende bij de wortels van het gras te geraken. Het (niet significante) verschil in opbrengst tussen de haspel en diepdruppelirrigatie zit met name in gras en niet in klaver die doorgaans dieper wortelt, wat een extra indicatie voor deze hypothese is.

Een andere indicatie is dat, vanaf het moment dat de druppelslang is aangezet op 2 juni, dit direct waarneembaar was in het klaveraandeel. Namelijk, in de diepdruppelirrigatie behandeling werd procentueel meer klaver gevonden dan in de overige behandelingen. Dit verschil kwam met name tot stand door het dieper wortelen van de klaver. De opbrengst was niet hoger, doordat er een lagere grasopbrengst in de diepdruppel behandeling werd gevonden (maar een gelijke of hogere klaveropbrengst). Een groter klaveraandeel kan gunstig zijn voor de binding van

stikstof, waardoor er minder stikstofbemesting hoeft worden aangewend. Klaver kan, in samenwerking met rhizobiumbacteriën stikstof binden uit de lucht. Als vuistregel kunnen witte en rode klaver 35 tot 55 kg N per ton DS klaver binden. Dus een perceel grasklaver met 40 procent klaver en 12 ton grasklaveropbrengst kan 150 tot 250 kg N per ha (viermaal 35 tot 55 kg N per hectare) binden (van Eekeren et al., 2022). Het aandeel klaver is in deze proef iets hoger. Met name in diepdruppel behandeling (52%). Voor een melkveehouder is het belangrijkste dat de verhouding gras:klaver (30% tot 60% klaver) goed is voor een zo optimale opbrengst. Dit alles leidt tot de conclusie dat de diepdruppelirrigatie in ieder geval voor sommige gewassen toepasbaar is op zwaardere gronden, met name gewassen met diepere beworteling. Voor andere gewassen die minder diep wortelen moet gekeken worden naar irrigatiemanagement; mogelijk helpt het om de irrigatie eerder aan te zetten zodat de bodem niet te veel droogt en de capillaire opstijging optimaal is. Daarnaast zou het ook langer kunnen duren, dat wil zeggen een aantal jaren, voordat de bodem volledig hersteld is na de aanleg van diepdruppelirrigatieslangen.

Kosten

In dit rapport is een eerste poging gedaan om de kosten van de verschillende irrigatiemethoden die tot nu toe in de PPS waterwerk zijn uitgevoerd te bepalen. Daarbij is het rapport van Burgt & Verstand (2021) als uitgangspunt genomen en aangepast naar eigen inzicht en actualiteit. Belangrijk is op te merken dat het gaat om een uitgewerkt concept die mogelijk nog geen betrouwbare weergave geeft van de werkelijkheid.

Overeenkomstig de bevindingen van Burgt & Verstand (2021) wordt uit de voorlopige berekeningen geconcludeerd dat de bovengrondse druppelirrigatie erg kostbaar is en pas bij grootte droogte mogelijk goedkoper wordt dan de haspel. Dit is met name het gevolg van de jaarlijkse druppelslangen die moeten worden aangeschaft, aangelegd en weer afgebroken, wat significante kosten in de vorm van arbeid en materiaal vergt. De energiekosten voor de druppelirrigaties zijn laag, en afgezien van de arbeid van het installeren en afbreken van de bovengrondse druppelirrigatie is er niet veel arbeid nodig.

Interessant is de vergelijking van de haspel met de diepdruppelirrigatie. De diepdruppelirrigatie vereist geen jaarlijkse plaatsing van nieuwe slangen en is daarom flink goedkoper dan de bovengrondse druppelirrigatie. In de haspelirrigatie is het aantal keer dat er wordt geïrrigeerd het meest bepalend in de totale kosten. Voor de diepdruppelirrigatie zijn met name de kosten van het vaste systeem (welke nu op basis van een marge is bepaald) van belang in de totale kosten. In erg droge seizoenen is het daardoor waarschijnlijk het geval dat de irrigatiekosten bij de haspel hoger zijn dan bij de diepdruppelirrigatie. Kortom, met toenemende klimaatverandering zal dit, gegeven dat de technologie goed werkt, een interessant alternatief worden voor behaspeling. Ten slotte, in deze berekening zijn enkel de kosten bepaald, en niet de baten. Mogelijk hebben de irrigatiemethoden ook invloed op de gewasopbrengst. Dit zou dan in het totale kosten/baten plaatje moeten meegenomen. Echter, met de huidige resultaten van PPS waterwerk is er nog geen goede conclusie te vellen over de opbrengsteffecten.

5 Conclusies

In 2022 en 2023 zijn verschillende irrigatiemethoden, namelijk diepdruppelirrigatie, haspelirrigatie, bovengrondse druppelirrigatie, en geen irrigatie onderzocht. Hierbij is gekeken naar bodem, bodemleven, en gewas. Ook zijn de kosten van de verschillende technieken in kaart gebracht. Hier volgen enkele belangrijke conclusies en waarnemingen. Ten eerste, in zware kleigrond resulteert de aanleg van diepdruppelslangen mogelijk in beschadiging van de bodem, welke zich uit in verticale scheuren boven de slang. Deze scheuren verhinderen mogelijk capillaire opstijging van het irrigatiewater en kan zodoende de gewasgroei beperken. Het is aannemelijk dat deze schade zich na verloop van tijd herstelt. Op basis van de gedane metingen lijkt het erop dat een diepdruppel in dit bodemtype er momenteel nog niet in slaagt het ondiepe bodemvochtgehalte te verhogen. Het bodemvochtgehalte op 60 cm diepte stijgt wel tijdens de irrigatieperiode, maar het grondwaterpeil stijgt ook mee. Dit was het geval tijdens beide gemeten groeiseizoenen. Dit geeft aan dat een deel van het irrigatiewater verloren gaat richting het grondwater en mogelijk via de drains kan uitstromen. Dit laatste is echter niet waargenomen.

In praktijkgrond is het tevens zo dat effecten van behandelingen niet altijd gemeten kunnen worden, door mogelijke variatie in grondslag op perceel-schaal. In 2022 vonden we bijvoorbeeld verschil in opbrengst tussen behandelingen die waarschijnlijk het gevolg zijn van grondslag, en niet van behandeling. Hieruit volgt dat het effect van de irrigatiemethoden pas waarneembaar is bij grotere droogte dan in 2022 heeft plaatsgevonden.

Een belangrijke conclusie is dat het overstappen op druppelirrigatie niet 'klaar' is met het aanschaffen en installeren van de druppelirrigatie. Het vergt een heel andere manier van denken en werken dan de meer gangbare haspelirrigatie. Zo moet er veel verder vooruit gedacht worden, en eigenlijk al met irrigeren gestart worden bij lichte verdroging van de bodem, zodat deze vochtig gehouden kan worden tijdens een volgende droge periode. Als er met irrigeren gestart wordt op het moment dat normaal gesproken ook de haspel wordt aangezet, is de bodem dusdanig verdroogd dat het water niet meer opgenomen wordt. Met druppelirrigatie kan niet voldoende geïrrigeerd worden om een dergelijke toestand te herstellen. Met andere woorden, vooruitdenken en vroeg beginnen is heel erg belangrijk.

In 2023 werd gevonden dat de haspel- en diepdruppelirrigatie een significant hogere opbrengst hadden dan de controle (zonder irrigatie), maar niet onderling van elkaar verschilde. Het verschil in de diepdruppelirrigatie en de haspelirrigatie zat met name in de grasopbrengst en niet in de klaveropbrengst. Aannemelijk is dus dat de diepdruppelirrigatie voornamelijk de klaver heeft voorzien van water. Dit impliceert dat het water in de druppelirrigatie wellicht niet voldoende opsteeg en daarom alleen beschikbaar was voor de klavers, welke in het eerste jaar na zaai beiden een diepe penwortel hebben die makkelijk in de buurt van de slangen kan reiken. Zoals reeds eerder geconstateerd is een deel van de diepdruppelirrigatie naar het grondwater uitgelopen en dus niet heeft geresulteerd in vochtvoorziening in de bovengrond. In ieder geval

kan geconcludeerd worden dat diep wortelende gewassen kunnen profiteren van diepdruppelirrigatie in zwaardere grondslag. Voor minder diep wortelende gewassen moet er mogelijk meer tijd verstrijken voor de grond om te herstellen, of moeten er andere irrigatiepraktijken worden toegepast, bijvoorbeeld het eerder aanzetten van de druppelirrigatie zodat de bodem voldoende vochtig blijft en er geen scheuren ontstaan.

Met betrekking tot kosten kan gezegd worden dat de bovengrondse druppelirrigatie duur is, en waarschijnlijk pas bij grote droogte economisch gunstig ten opzichte van de gebruikelijke haspelirrigatie. De kosten van de diepdruppelirrigatie zijn met name afhankelijk van de exacte aanschafkosten van het installatiemateriaal. Bij de haspelirrigatie zijn de kosten juist erg afhankelijk van hoe veel er moet worden beregend. Bij toenemende droogte zal de diepdruppelirrigatie waarschijnlijk goedkoper zijn dan de haspelirrigatie. Daarbij moet de kanttekening worden gemaakt dat hier nog niet is gekeken naar de verschillen in opbrengsten, omdat die in het huidige project nog niet eenduidig te berekenen is.

Het komende jaar zullen de metingen in het grasklaverveld voortgezet worden en zal ook het interceptieverlies bij gebruik van de spuihaspel worden bepaald. Tevens zal er subirrigatie met gebruik van biodrains worden toegepast waarbij installatie plaats zal vinden zodra de bodemconditie het toelaat om dit zonder veel schade te doen.

6 Referenties

Burgt, E., Verstand, D., 2021. De Kosten van irrigatiesystemen in beeld; Een kostenvergelijking van druppelirrigatie, peil-gestuurde drainage en de haspel. Wageningen Research, Rapport WPR 900.ss

Hondebrink, M. A., Timmermans, B. G. H., Velstra, J., & Waterloo, M. J. (2021). Irrigatie pilot 2021 - Vitens. Louis Bolk Instituut. Publicatienummer 2021-039 LbP. 27 pagina's. © 2021 Louis Bolk Instituut.

Timmermans, B., Koopmans, C., & Velstra, J. (2020). Voorbereidingsfase pilot inzet druppel- en subirrigatie bij drinkwaterwinning. Louis Bolk Instituut. Publicatienummer 2020-031 LbP. 35 pagina's. © 2020 Louis Bolk Instituut.

Van Eekeren, N., Hoekstra, N., Janssen, P., de Wit, J. (2022) Grasklaver: onderzoekservaringen op een rij. VFocus.