



Validatie van de Virtuele Lysimeter

De Virtuele Lysimeter getest en gevalideerd op praktijkbedrijven

Wim Voogt, Joseph Stoenner, Jos Balendonck, Aat van Winkel

Rapport WPR-1224

Referaat

Strenge regels om de watergebonden uitstoot te verminderen noodzaken telers met grondgebonden kasteelten tot de 'zorgplicht' om fertigatie af te stemmen op de gewasvraag. Om telers daartoe in staat te stellen berekent de 'virtuele lysimeter' de 'Virtuele Lysimeter' (VL) ontwikkeld, een combinatie van een transpiratie- en een bodemmodel, dat voor een specifieke bodem-gewassituatie de in- en outputs aan waterstromen. De tool berekent. Deze VL vormt voor telers zo een krachtig hulpmiddel voor telers die, dat aan de hand van klimaatdata, een gedetailleerd waterbalansoverzicht en de potentiële uitspoeling en het bodemvocht in drie lagen laat zien. Dit geeft de teler inzicht in zijn bodem en maakt een geoptimaliseerde watergift mogelijk met minimale uitspoeling. De VL is in de periode 2020 – 2022 gevalideerd op bedrijven met chrysant en met biologische vruchtgroente, aan de hand van de gemeten drain van de geïnstalleerde fysieke lysimeters. Het bleek dat de berekende waterfluxen over langere perioden (weken, gehele teeltcycli) goed overeenstemden met gemeten waarden, maar voor korte perioden (dagen) zijn de afwijkingen groot. De patronen en trends in de vochtgehalten kwamen goed overeen met die gemeten met vochtsensoren. Al met al is de VL voldoende robuust is om een belangrijk hulpmiddel te zijn voor telers om de watergift af te stemmen op de behoefte en daarmee te voldoen aan de 'Zorgplicht'.

Abstract

Strict rules to reduce water-related emissions require growers to comply with the 'duty of care' to align fertigation with crop demand. To enable growers to do this, the 'virtual lysimeter' (VL), a combination of a transpiration and a soil model, calculates the inputs and outputs of water flows for a specific soil crop situation. It forms a powerful tool for growers, showing an overview of the crop water balance, potential leaching, and soil moisture contents in three layers, calculated from available climate data. This gives the grower insight into his soil and allows optimized irrigation with minimal leaching. The VL was validated in the period 2020 – 2022 on farms with chrysanthemum and organic fruit vegetables, based on the measured drain of the installed physical lysimeters.

It turned out that the calculated water fluxes over longer periods (weeks, full cropping cycles) corresponded well with measured values, but for short periods (days) the deviations are large. The patterns and trends in soil-moisture levels matched those measured with soil-moisture sensors. All by all, the VL is sufficiently robust to be a useful tool for growers to adjust the irrigation to the need and thus meet the 'Duty of Care'.

Rapportgegevens

Rapport WPR-1224

Projectnummer: 3742267100

BO-nummer: TU18101

DOI: <https://doi.org/10.18174/640606>

Disclaimer

© 2023 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Glastuinbouw, Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk T 0317 48 56 06, www.wur.nl/plant-research.

Kamer van Koophandel nr.: 09098104

BTW nr.: NL 8113.83.696.B07

Stichting Wageningen Research. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Stichting Wageningen Research.

Stichting Wageningen Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Adresgegevens

Wageningen University & Research, BU Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk

Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk

T +31 (0)317 48 56 06

F +31 (0)10 - 522 51 93

glastuinbouw@wur.nl

wur.nl/glastuinbouw

Inhoud

| | |
|---|-----------|
| Samenvatting | 5 |
| 1 Inleiding | 7 |
| 1.1 Verantwoording | 8 |
| 2 Aanpak | 10 |
| 2.1 Algemeen | 10 |
| 2.2 Korte omschrijving van de Virtuele Lysimeter | 10 |
| 2.3 Gegevens bedrijf A | 11 |
| 2.4 Gegevens bedrijf B | 12 |
| 2.5 Gegevens bedrijf C | 13 |
| 2.6 Gegevens bedrijf D | 14 |
| 2.7 Datacollectie | 14 |
| 2.8 Validatie en gebruikte afkortingen | 15 |
| 3 Resultaten | 16 |
| 3.1 Chrysant (bedrijf A) | 16 |
| 3.2 Biologische vruchtgroente, paprika en tomaat (bedrijf B) | 17 |
| 3.3 Zomerbloemen (bedrijf C) | 19 |
| 3.4 Alstroemeria (bedrijf D) | 19 |
| 3.5 Controle bodemvocht | 19 |
| 4 Discussie en evaluatie | 23 |
| 4.1 Modelvalidatie | 23 |
| 4.1.1 Waterbalans | 23 |
| 4.1.2 Vochtgehalten | 25 |
| 4.2 Toepassing in de praktijk | 26 |
| 5 Conclusie | 28 |
| 6 Aanbevelingen | 29 |
| Literatuur | 30 |
| Bijlage 1 Bodemgegevens bedrijf A | 31 |
| Bijlage 2 Bodemgegevens bedrijf B | 33 |
| Bijlage 3a Alle teelten Chrysant | 34 |
| Bijlage 3b resultaten chrysant teeltjaren 2021 en 2022 | 35 |
| Bijlage 4 IJking watergift lysimeter juni – nov 2021 (bedrijf B) | 37 |
| Bijlage 5 Resultaten bedrijf C | 41 |
| Bijlage 6 Resultaten bedrijf D | 43 |

Samenvatting

Voor de Nederlandse glastuinbouw gelden strenge regels om de watergebonden uitstoot te verminderen. Voor teelten in de grond is daarom een 'zorgplicht' opgelegd om fertigatie af te stemmen op de gewasvraag. Om telers in staat te stellen aan deze eis te voldoen is de 'Virtuele Lysimeter' (VL) ontwikkeld als beslissingsondersteunend systeem. Het bestaat uit een combinatie van een verdampings- (ET) model en een bodemmodel. Naar analogie van een fysische lysimeter vertegenwoordigt de VL een specifieke bodem-gewassituatie en de bijbehorende in- en outputs van waterstromen. De VL is een combinatie van een ET-model en een bodemmodel en berekent aan de hand van gegevens uit een klimaatcomputer samen met een locatie-specifieke bodemanalyse het transport en de verdeling van vocht over drie virtuele bodemlagen van elke 30 cm en produceert een gedetailleerd waterbalansoverzicht en een mogelijke uitspoeling bij een volgende watergift. Bij elkaar is het een krachtig hulpmiddel voor telers. De VL presenteert drie beknopte grafieken met de cumulatieve waarden van irrigatie, ET, berekende uitspoeling en capillaire stroming; het verloop van het berekende vochtgehalte in de afzonderlijke drie bodemlagen en de en de daaruit afgeleide waterstromen tussen lagen. Dit geeft de teler inzicht in zijn bodemgesteldheid en maakt een afgestemde en geoptimaliseerde fertigatie mogelijk met als doel minimale uitspoeling. Aangezien waterstromen het vervoermiddel zijn voor nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen kan dit instrument worden gebruikt om emissies gericht te beheersen en tot een minimum te beperken.

Dit rapport beschrijft de validatie van de VL bij vier commerciële bedrijven, een met chrysant, een met biologische teelt van vruchtgroente, een met zomerbloemen en een met Alstroemeria. De validatie is uitgevoerd op de data van de VL zoals is toegepast op de bodemsituatie van elk bedrijf, waarbij de uitkomst werd vergeleken met gemeten waarden van fysieke lysimeters, die op deze bedrijven aanwezig waren.

Uit de evaluatie van de resultaten blijkt dat de VL goed de waterbalans van een teelt benadert en is daarmee geschikt om de teler behulpzaam te zijn bij het nemen van beslissingen over de te voeren watergeefstrategie. De actuele waarden van de berekening en de gemeten hoeveelheid drain komen niet altijd overeen, maar over langere perioden gezien is de VL voldoende betrouwbaar gebleken. Ook de berekening van de vochtgehalten in de drie bodemlagen wijken af van de gemeten waarden met bodemvochtsensoren, echter de exacte waarden van deze laatste zijn – om allerlei redenen – eveneens niet goed betrouwbaar. Positief is dat de dynamiek van de berekende vochtgehalten en ook de trends sterke overeenkomst vertonen met de gemeten waarden van bodemvochtsensoren.

De VL is ontwikkeld als een hulpmiddel om de watergift af te stemmen op de gewasbehoefte en is niet bedoeld om een exacte weergave te geven van de vochtgehalten in de bodem of de hoeveelheid uitspoeling. De resultaten laten echter zien dat de VL voldoende robuust is om de teler bruikbare informatie te geven over het verloop van de waterbalans en geeft zo inzicht in de 'black-box' die de bodem voor de meeste telers is. Daarmee is de VL een belangrijk hulpmiddel voor telers om de watergift af te stemmen op de behoefte van zijn teelt (gewas en bodem), om zo te kunnen voldoen aan de 'Zorgplicht'.

1 Inleiding

In grote delen van Nederland voldoet de kwaliteit van het oppervlaktewater niet aan de chemische en ecologische normen zoals aangegeven door de EU Kaderrichtlijn Water (Van Gaalen et al, 2016). De hoge inputs aan water en nutriënten veroorzaken verliezen naar grond- en oppervlaktewater door uitspoeling. Technische innovaties en wetgeving, zoals het verplichte hergebruik van drainage voor substraatteelten, hebben sinds 1994 geleid tot een aanzienlijke vermindering van de verliezen uit kassen, maar de waterkwaliteitsnormen worden op veel plaatsen nog steeds overschreden (Van Gaalen et al., 2016). Als gevolg hiervan zijn er strengere regels ingevoerd voor de Nederlandse glastuinbouw om de uitstoot van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen uit kassen te verminderen (Besluit Glastuinbouw2002). Bij de grondgebonden teelten is het onmogelijk de waterkringloop volledig te sluiten zoals bij de teelt in substraat. Daardoor is vaak sprake van een bemestingsoverschot én een beregeningsoverschot. Deze combinatie geeft een hoog risico op uitspoeling van nutriënten. Wat ook meespeelt is dat de bodem voor veel telers een 'black box' is. De processen die zich daarin afspelen zijn onzichtbaar en de parameters zijn moeilijk meetbaar. De watergift wordt daarom vaak gebaseerd op gevoel en ervaring. Het 'Activiteitenbesluit' schrijft voor dat telers van grondgebonden gewassen de emissies van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen zoveel mogelijk moeten beperken. In het Activiteitenbesluit zijn ook gebruiksnormen voor stikstof en fosfaat opgenomen en een 'Zorgplicht'. De zorgplicht houdt in dat ondernemers de watergift en bemesting af moeten stemmen op de gewasbehoefte. De hoeveelheid gebruikte meststoffen mag in ieder geval niet hoger zijn dan de gebruiksnormen. De zorgplicht is in het Activiteitenbesluit niet nader omschreven, maar er is wel een 'checklist meststoffen' opgesteld (zie www.Glastuinbouwwaterproof.nl) om er enige invulling aan te geven. Het doel van de zorgplicht is om de emissie van meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen te beperken. Maximaal hergebruik van drainagewater is een onderdeel van de zorgplicht. Als er geen drainagewater kan worden opgevangen, omdat bijvoorbeeld de grondwaterstand te laag is, dan wordt de beheersing van de watergift nog belangrijker om emissie naar het grondwater te voorkomen.

Het kunnen voldoen aan de zorgplicht, is echter voor veel telers niet eenvoudig. Bij sommige gewassen wordt een overschotberekening als teeltkundig noodzakelijk gezien en is uitspoeling onvermijdelijk. In andere gevallen belemmert de techniek van het watergeefstelsel een nauwkeurige en precieze dosering. Maar overheersend is het probleem dat de waterbehoefte van een gewas niet rechtstreeks meetbaar is en ook dat de vochtvoorziening van de bodem zelf complex is. De watergift wordt daarom vaak gebaseerd op ervaring in plaats van op objectief meetbare criteria. Het kunnen voldoen aan de zorgplicht vereist daarom verandering van bestaande uitgangspunten en werkwijzen in de teelt en ook de introductie van nieuwe technieken en strategieën voor watergeven en bemesten.

In eerdere projecten is bekeken of een lysimeter en/of vochtsensoren middelen zijn waarmee uitspoeling kan worden gemeten (Voogt et al. 2000; 2002; 2006; 2015; 2018). De lysimeter is uitstekend geschikt, maar is om teelttechnische en praktische redenen niet inzetbaar. Vochtsensoren geven weliswaar een beeld van de vochttoestand maar bleken ongeschikt om uitspoeling te kunnen bepalen. Daarnaast speelt op sommige bedrijven het fysieke probleem van kwel en inzijging. Dit beperkt in veel gevallen de mogelijkheden voor hergebruik van drainagewater, ofwel door een te hoog zoutgehalte of door een veel te groot volume drainagewater. Er lijkt daarom geen andere keuze dan de uitspoeling op een meer modelmatige wijze te benaderen. In dit project is de Virtuele Lysimeter (VL) als tool voor telers ontworpen en uitvoerig getest. Net als bij een echte lysimeter, komt de resultante van de balans tussen aanvoer (watergift) en afvoer (gewasopname en bodemverdamping) tot uiting in een (virtuele) hoeveelheid drain.

1.1 Verantwoording

Na een pre-fase, waarin de Virtuele Lysimeter (VL) is ontwikkeld is de eerste versie van de VL getest in de periode 2019 – medio 2020 op vier praktijkbedrijven waar ook een fysieke lysimeter op het bedrijf aanwezig was. Bij twee bedrijven, met resp. zomerbloemen (Violier/Trachelium) en Alstroemeria kon niet over de volledige perioden een test worden uitgevoerd, in één geval vanwege een structureel tijdelijk andere bestemming van de kasafdeling (verhuur bollenteelt) in een ander geval vanwege technische aanpassingen van de kas en opnieuw planten. Bij twee andere bedrijven met resp. chrysant en biologische vruchtgroenten zijn wel data van volledige teeltcycli beschikbaar. Omdat in de testfase de VL nog regelmatig is aangepast, mede op basis van de gevonden resultaten, worden de uitkomsten van de testfase niet volledig in dit rapport besproken. Waar dit relevant is wordt in de discussie wel naar deze gegevens verwezen.

In de fase vanaf medio 2020 is de meer ontwikkelde versie van de VL beschikbaar gekomen en op de vier bedrijven geïnstalleerd. Deze versie is vanaf medio 2021 ook her-geprogrammeerd en omgezet naar een online tool. De validatie is uitgevoerd door de VL toe te passen op de data en parameterwaarden van praktijkbedrijven, en wel op de bodemsituatie in de kas van elk bedrijf. De uitkomst van de simulaties werd vergeleken met de gemeten waarden van de drainage van de fysieke lysimeters die op deze bedrijven aanwezig waren. Omdat de fysieke lysimeters een afgesloten bodem hebben en er geen capillair contact is met de ondergrond kan er geen sprake zijn van capillaire opstijging bij een negatief beregeningsoverschot.¹ Daarom geldt een duidelijke afbakening voor de geldigheid van de validaties. Deze zijn namelijk alleen valide als er gemiddeld over een langere periode (weken, maanden, gehele teelt) er een positief beregeningsoverschot is. Bij een negatief beregeningsoverschot is er uiteraard geen drain in de lysimeter, terwijl de gesimuleerde drain in de VL dan wel een waarde heeft, namelijk een negatieve c.q. de capillaire opstijging. Er zijn geen mogelijkheden voorhanden om dit op een praktische manier te meten. In dit onderzoek is in een aantal gevallen sprake van een dergelijke situatie, dit wordt dan aangegeven.

De validatie is vooral uitgevoerd op twee bedrijven met resp. chrysant en biologische vruchtgroenten (hierna bedrijf A en B genoemd), omdat hier veel meer data beschikbaar was en ook vanwege de beschikbaarheid van betrouwbare data van drain uit de fysieke lysimeter. In dit rapport wordt daarom de focus gericht op de resultaten op deze twee bedrijven. De resultaten van de andere twee bedrijven, met resp. Violier/Trachelium en met Alstroemeria (hierna bedrijf C en D) worden wel besproken, maar vanwege de onvolledige datasets wordt hier minder de nadruk op gelegd.

Vanaf begin 2022 is ook op een aantal praktijkbedrijven (6) de VL geïnstalleerd. De resultaten op deze bedrijven worden in deze validatiestudie niet verder opgenomen, omdat er geen fysieke lysimeter aanwezig was om de verifiëren.

Omdat het ondoenlijk is alle data te bespreken en weer te geven in figuren en tabellen, is ervoor gekozen een selectie op te nemen en te bespreken.

¹ Omdat het bodemprofiel van de Lysimeter op 90 eindigt met een laag antiworteldoek en daaronder een reservoir heeft met kleikorrels, communicerend met het drainverzamelvat, is er aan de onderzijde enige buffering van water en is daardoor de capillaire aanvoer niet geheel 0. Dit bedraagt echter niet meer dan enkele mm.



Figuur 1.1 De virtuele lysimeter beoogt een versimpelde weergave te geven van de opbouw van een bodem in een kas, waarvoor rekening wordt gehouden met de textuur (zand, klei, silt), de organische stofgehalten en de dichtheid per laag van 30 cm.

2 Aanpak

2.1 Algemeen

De validatie is uitgevoerd door op vier bedrijven de VL te installeren en vervolgens intensief de data van de waterbalans te volgen. Bedrijf A was een bedrijf in Bleiswijk met jaarrond chrysantenteelt, bedrijf B was een bedrijf in Velden met biologische teelt van tomaat en paprika. Bedrijf C een bedrijf in Nieuwe-Wetering met een teeltplan met zomerbloemen: Violier en Trachelium, maar ook jaarlijks een lange periode (sept – feb) waarin niet in de grond werd geteeld, maar in kratten met bollen. Deze perioden zijn buiten de data en validatie gehouden. Bedrijf D was een bedrijf in Schipluiden, met continueelt Alstroemeria, met in de meetperiode een teeltwisseling.

Voor alle bedrijven werden kasafdelingen en daarin kraanvakken geselecteerd waar sinds 6 jaar een fysieke lysimeter (FL) aanwezig is. Deze lysimeters hebben een oppervlakte van 2.2 bij 1.6 m en een diepte van 0.9 m en zijn gemaakt van 8 mm polyester. Deze zijn destijds geplaatst op een representatieve locatie in de kas in een uitgegraven gat van dezelfde grootte, waarbij de bak opnieuw gevuld is met –zoveel mogelijk– dezelfde hoeveelheid grond en met de bodemlagen in de oorspronkelijke volgorde. De bovenkant van de lysimeterwand was versterkt met een rand van 2 mm roestvrij staal. Om capillaire verbinding tussen binnen- en buiten de lysimeter te voorkomen loopt de rand tot aan het maaiveld. Van belang is dat deze vrijgehouden wordt van grond en beworteling om watertransport over en weer tussen de lysimeter en de omgeving en dus foutieve metingen te voorkomen (zie Figuur 2.2 in §2.4). De bodem van de lysimeter loopt uit in een put met een pomp- en meetapparaat. Drainage van de lysimeter (D_m) werd dagelijks gemeten. De lysimeter en drainmeting is in detail beschreven in Voogt *et al.* (2015).

Irrigatie vond plaats door middel van bovengrondse sprinklers (bedrijf A en C) of via druppelirrigatie (soms) in combinatie met laaghangende sprinklers (bedrijf B) of uitsluitend druppelirrigatie (bedrijf D). De configuratie van sprinklers en druppelirrigatiesproeiers op FL was zodanig dat de hoeveelheden ontvangen water representatief waren voor het oppervlak. Dit is vóór het begin van de proeven gekalibreerd. De gewassen in de lysimeter werden gelijk geplant en behandeld als het gewas in de kas en ook het algehele gewasbeheer werd exact gelijk uitgevoerd. De telers werden overigens vrijgelaten om hun irrigatie te plannen volgens hun eigen inzichten en ervaringen. Het behalen van nul-emissie was wel een wens, maar op zichzelf géén doelstelling van de validatiestudie.

2.2 Korte omschrijving van de Virtuele Lysimeter

Een uitgebreide omschrijving van de VL is gegeven in rapport WPR 1223 (Voogt en Stoenner 2023). In het kort komt het hier op neer. De 'Virtuele Lysimeter' (VL) is een beslissingsondersteunend systeem voor de watergift. Het is een computermodel en bestaat uit een combinatie van een verdampingsmodel (ET) en een bodemmodel (SWM). Naar analogie van een fysieke lysimeter vertegenwoordigt de VL een specifieke bodem-gewassituatie en de bijbehorende in- en output van de waterstromen. De bodem is hiervoor opgedeeld in drie lagen van elk 30 cm en aan de hand van een aantal specifieke bodemgegevens per laag is een vocht karakteristiek (pF curve) toegekend aan elke laag die het vochtgehalte beschrijft op basis van de zogenaamde 'van Genuchten' reeks (voor details, zie Voogt en Stoenner 2023). Actuele 5 minuut gegevens van het kasklimaat uit de klimaatcomputer worden gebruikt om de verdamping door het gewas te berekenen. De waterbalans per laag, tezamen met de vocht karakteristiek geeft informatie over de waterbeweging door de lagen en het vochtgehalte per laag. De output van de VL levert een gedetailleerd overzicht van de waterbalans, de berekende vochtgehalten en de verplaatsing van water door de drie bodemlagen.

De onderliggende software voor de VL is aanvankelijk geschreven in MATLAB en de data werd automatisch of soms handmatig opgehaald, waarna de gegevens online in excelformaat werden gedeeld. Voor de ontwikkelfase was dit werkbaar, maar voor verdere opschaling ongeschikt. Daarom is een webtool ontwikkeld, geschreven in Python, waarbij de data wordt opgehaald via een API (Application Programming Interface) of via het dataplatform LetsGrow. Proefversies van de tool zijn bij een aantal telers uitgezet en gedurende een bepaalde periode gevolgd, waarbij stapsgewijs verbeteringen zijn aangebracht. De uiteindelijke versie presenteert voor de teler drie beknopte grafieken die de waterbalans laten zien door de cumulatieve waarden van irrigatie, ET, berekende uitspoeling en capillaire aanvoer; het verloop van het berekende vochtgehalte in de drie afzonderlijke bodemlagen; en de waterstromen tussen de lagen. De info geeft de teler inzicht in zijn bodemsituatie, waardoor de 'black box' die de bodem voor velen is, wordt geopend.

Aangezien waterstromen het transportmiddel zijn voor nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen, kan dit instrument worden gebruikt om emissies gericht te beheersen en tot een minimum te beperken. De combinatie van het ET-model en het bodemmodel creëert zo een krachtig hulpmiddel voor telers om de waterbalans van de teelt te volgen en de watergift af te stemmen op de behoefte.

2.3 Gegevens bedrijf A

De teler met jaarrond chrysant was gevestigd in Bleiswijk, de grond was een lichte kleigrond (Bijlage 1) met een stabiele grondwaterstand op -90 cm. De kas was ruim 5 ha groot, waarbij voor dit onderzoek één kraanvak werd gevolgd; het kraanvak waarin ook de FL zich bevond. Het vak was (uiteeraard) onderdeel van de opeenvolging van teelten op het gehele bedrijf. De chrysanten werden geteeld in een opeenvolging van ca. 65 dagen, waarbij na elke oogst meestal dezelfde of de volgende dag werd geplant. Voorafgaand aan het planten werd de grond bewerkt met een spitsfreesmachine, tot ca. 15 cm diepte, waarbij de restanten aan potjes, wortels en stukjes stengel van de vorige teelt werden ondergewerkt. Een keer per jaar werd de grond dieper gespit, tot 30 cm, voorafgaand aan het eenmalige stomen van de grond. De gehele cyclus van het stomen bedroeg maximaal 5 dagen, zodat vrijwel het gehele jaar door de kas werd beteeld. De kas is voorzien van energie- en verduisteringsscherm en assimilatiebelichting (SON-T, 120 $\mu\text{mol m}^{-2}$). Dit laatste is voornamelijk gebruikt tijdens de langedag-fase en in de periode van september tot maart ook in de daglichtperiode van de kortedag-fase. De verduisteringsschermen werden uiteraard gesloten tijdens de korte dag periode. Irrigatie is gedaan met de berekening met een capaciteit van 1.5 mm min^{-1} . Dit is handmatig geprogrammeerd volgens het typische schema voor chrysanten: beginnend met een gift van 3 mm direct na het planten, gevolgd door een gift van (15 - 25 mm) verdeeld over enkele dagen, bedoeld om de uitgedroogde grond opnieuw te bevochtigen, gevolgd door ca. 6 weken 'normale' irrigatie (3 - 9 mm) met een interval van drie - vijf dagen gevolgd door een uitdroofase de laatste 10 - 14 dagen voor de oogst, waarbij géén water werd gegeven. Intervallen en hoeveelheden zijn afhankelijk van het seizoen en de werkelijke klimatologische omstandigheden en het inzicht van de teler. Gietbeurten worden voornamelijk 's nachts toegepast, in rondes van maximaal 3 mm met een interval van 1 - 2 uur. Op dit bedrijf is gestart in juni 2019 met een eerste teelt, en vervolgens in het totaal 16 teelten in continue opvolging tot eind 2022. In dit rapport worden de resultaten van 14 teelten besproken, de eerste twee teelten waren zogenaamde "aanloopteelten". In die periode is de VL nog softwarematig aangepast en zijn de data niet gebruikt om de VL te valideren.



Figuur 2.1 De watergift met berekening over het gewas.

2.4 Gegevens bedrijf B

Het tweede bedrijf was een biologische groenteteler in Velden, met een zeer humeuze zandgrond en een grondwaterstand variërend van > 2 m in de zomer tot 1,5 m in de winter (Bijlage 2). De kas was 2 ha, waarbij op één kraanvak (oppervlak ca 1000 m²) de VL werd toegepast. In dit vak was ook de FL aanwezig (Figuur 2.2).

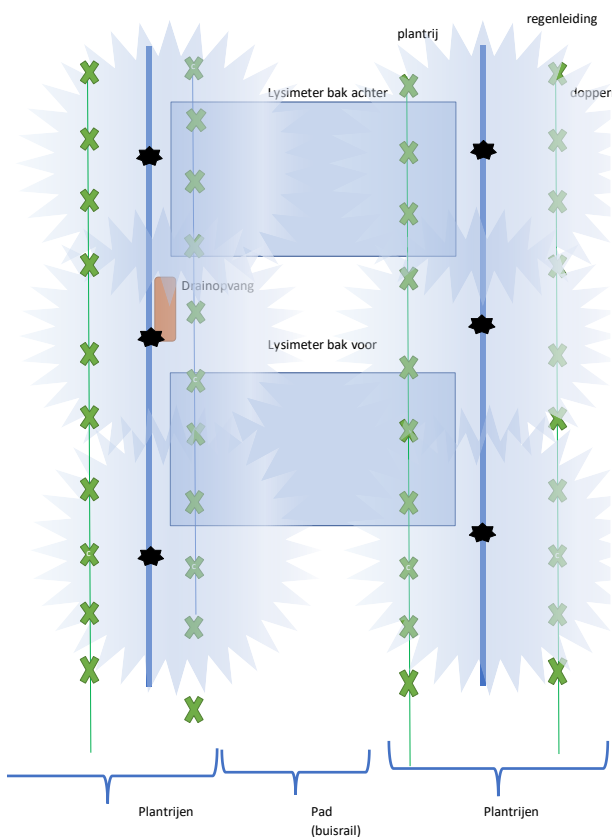


Figuur 2.2 De fysieke lysimeter in de paprikateelt, met de bovenrand bedekt met grond/compost (links) en op de juiste manier vrijgemaakt (rechts) ter voorkoming van waterverplaatsing naar binnen of naar buiten de lysimeter via capillair contact en/of beworteling over de bovenrand.

Gewassen worden geteeld vanaf begin januari tot half november. In de tussenliggende periode wordt bemest met een voorraadbemesting van compost, die licht werd ingewerkt. Er is niet gestoomd. De kas is voorzien van standaard buis-rail verwarming en een zon/energiescherm. In de paprikateelt is er een tijdelijk vast foliescherm gemonteerd. Irrigatie wordt toegepast door druppelirrigatie, met een capaciteit van 1.5 L h⁻¹ en met één druppelaar per plant en daarnaast via laaghangende sprinklerirrigatie met leidingen op de grond met een capaciteit van 1 mm min⁻¹. Bij paprika is de eerste twee maanden gebruik gemaakt van druppelirrigatie en daarna van sprinklerirrigatie. Bij tomaat is dit alleen in de afweekfase gedaan (planten staan dan op schotelletjes voorafgaande aan het planten). Gietbeurten waren afhankelijk van plantgrootte en stralingsom. Voor de druppelirrigatie waren dit beurtgroottes van maximaal 5 min. (0,3 mm) met een frequentie afhankelijk van de opgebouwde stralingsom (instelparameter). Voor de sprinklerirrigatie waren dit beurtgroottes van 3 - 10 min. (5 - 15 mm) met intervallen van 2 - 5 dagen en toegepast in rondes van maximaal 5 mm met intervallen van 1 - 2 uur.

De configuratie van de regenleiding was als volgt. De fysieke lysimeter bestond op dit bedrijf uit twee afzonderlijke bakken van elke 1.60 m breed en 1.20 m lang, met een tussenruimte van 1 m, waarbij de drain van beide bakken werd verzameld in één reservoir (Figuur 2.3). De plaatsing was in de breedte van een kap, waarbij het oppervlak tweemaal een halve planrij en een geheel pad besloeg. Elke planrij had een regenleiding met smalsproeiende regenleidingdoppen, gesitueerd aan de rand van de lysimeter, waarbij het geprojecteerde sproei patroon van elke regenleiding, voor de helft overlapte met de lysimeter-bakken. Elk kraanvak besloeg een oppervlak van 883 m², met elk 6 regenleidingen, met een hoofdaanvoer vanaf voor- en de achterzijde. Voor verificatie is op één regenleiding een set litertellers gemonteerd, één aan de voorzijde, een aan de achterzijde. Deze werden handmatig afgelezen. Een ijking is uitgevoerd om de werkelijk neerslag te verifiëren met de geregistreerde watergift (Bijlage 4).

In het eerste jaar werd paprika geteeld: geplant op 10 januari 2021 en beëindigd op 25 november 2021. Het tweede jaar werden tomaten geteeld: gestart in de kas op 6 januari (afkweekfase) en op 15 februari in de grond geplant en op 15 november beëindigd.



Figuur 2.3 Plattegrond/ situatieschets van de lysimeter (in dit geval twee parallel geschakelde bakken), de planrijen en individuele planten en de regenleiding met de individuele sprinklers.

2.5 Gegevens bedrijf C

Deze teler, met een teeltcyclus met zomerbloemen was gevestigd in Nieuwe-Wetering. De grond was een humusrijke lichte kleigrond met een stabiele grondwaterstand op -80 cm. De kasafdeling was 2500 m² groot, waarbij voor dit onderzoek één kraanvak werd gevolgd; het kraanvak waarin ook de FL zich bevond. De teelten die gevolgd werden waren Violieren, gevolgd door een teelt Trachelium. In de perioden vanaf medio oktober tot medio februari werd de afdeling verhuurd en werden snijtulpen in broeikisten geteeld, deze perioden zijn niet meegenomen in de validatie.

Voorafgaand aan het planten werd de grond bewerkt met een freesmachine, tot ca. 15 cm diepte, waarbij de restanten aan potjes, wortels en stukjes stengel van de vorige teelt werden ondergewerkt. In de onderzoeksperiode is er niet gestoomd. De kas was voorzien van zon-/energie scherm. Irrigatie is gedaan met de beregening met een capaciteit van 1.5 mm min^{-1} dit is handmatig, naar inzicht van de teler geprogrammeerd. Op dit bedrijf is gestart in maart 2020 met een eerste teelt Violier gevolgd door Trachelium. In alle volgende jaren is deze teeltcyclus gevolgd. In dit rapport worden de resultaten van de teelten niet uitvoerig besproken, de resultaten zijn wel opgenomen op Bijlage 5.

2.6 Gegevens bedrijf D

De teler met Alstroemeria was gevestigd in Schipluiden; de grond was een vrij zware kleigrond met een stabiele grondwaterstand op -90 cm. De kasafdeling was 3 ha groot, waarbij voor dit onderzoek één kraanvak werd gevolgd; het kraanvak waarin ook de FL zich bevond. Er was één teelt, Alstroemeria. De moderne kas was voorzien van een dubbel zon- en energiescherm. Ook is er assimilatiebelichting aanwezig. Irrigatie is gedaan met druppelbevloeiing, vier strengen per bed (1.20 m) met in-line druppelaars (30 cm, 2 L/uur). De watergift verliep automatisch naar rato van de stralingssom. En is naar inzicht van de teler aangepast. Vanaf maart 2020 is op dit bedrijf gestart met de VL. Vanaf december '20 tot april '21 is dit onderbroken, vanwege rooien en herplanten. Omdat op dit bedrijf niet continu data van de drain van de FL is gemeten, is het resultaat maar beperkt bruikbaar voor de validatie. In dit rapport worden de resultaten van de teelten daarom niet uitvoerig besproken, de resultaten zijn wel opgenomen op Bijlage 6.

2.7 Datacollectie

Op alle bedrijven werd de primaire (Excel-Matlab) versie van de VL geïnstalleerd op de klimaatcomputer. De latere online versie werd via een webapplicatie verbonden met de klimaatcomputer, waarbij de verbinding voor het automatisch uploaden van data is gemaakt via LetsGrow. De gegevens van de 5 minuutwaarden van beide werden regelmatig gedownload en opgeslagen en offline verwerkt in Excel sheets. De volgende data werden geregistreerd:

- Straling: som van globale straling buiten (weertoren)
- Kastemperatuur
- Buistemperatuur (hoofdverwarming en bijverwarming apart)
- Belichting (aan/uit) (alleen bedrijf A)
- Stand schermdoek
- Stand verduisteringsdoek (alleen bedrijf A)
- Watergift

Daarnaast zijn er een aantal parameters waarvan de waarden bedrijfsspecifiek zijn ingevuld, zoals voor de kastransmissie, schermdoeken, belichting en verwarming voor details zie (Voogt en Stoenner 2023).

Naast de automatische data zijn er handmatig gegevens verzameld. Enerzijds noodzakelijk om de parameters van de VL goed te kunnen inschatten, anderzijds om de validatie te kunnen uitvoeren. Bij bedrijf A is de meting van de hoeveelheid drain gedaan via de automatische drainmeting. Bij bedrijf B was deze meetmethode niet meer intact en is handmatig de drain verzameld door wekelijks afpompen van de drain vanuit het ondergrondse reservoir in een jerrycan. De resolutie van de drain is daarom op bedrijf B aanmerkelijk lager dan bij bedrijf A. Bij bedrijf C was wel een automatische drainmeting aanwezig, maar door mankementen niet altijd betrouwbaar. Bij bedrijf D was net als bij bedrijf B alleen handmeting mogelijk, dit is niet altijd uitgevoerd. Verder zijn metingen gedaan aan de waterafgifte van de irrigatiesystemen, de bodem: vochtgehalten, dichtheid en organische stofgehalte, en controles aan de fysieke drainmeting van de VL.

2.8 Validatie en gebruikte afkortingen

Als belangrijkste ijkpunt voor de mate van succes van de VL is gekeken of de totale hoeveelheid gesimuleerde drain overeenkomt met de werkelijke gemeten drain in de FL over een langere tijdsperiode (week, maand of teelt). Daarnaast is gekeken of de dynamiek van de drain overeenkomt met het verloop van de drain in de FL. De gegevens van de VL zijn vertaald naar uurwaarden en naar totaalommen per etmaal. De gegevens van de FL zijn etmaalgegevens. De gegevens van de VL en FL zijn met elkaar vergeleken op basis van de cumulatieve waarden in de tijd. Zoals hiervoor aangegeven zijn alleen de data van de bedrijven A en B hiervoor gebruikt. Voor de achtergronden van de data en berekeningen wordt verwezen naar WPR 1222 (Voogt en Stoenner 2023).

Daarbij geldt het volgende:

| | |
|------------------|--|
| D_s | = Drainage gesimuleerd, de uitspoeling uit laag 3 van de VL, dit is de netto uitkomst over 24 h. Waarbij aangetekend dat in de FL er géén capillaire aanvoer kan zijn, in de VL wordt dit wel berekend (gelijk aan L_{3d} in rapport WPR). |
| $\%D_s$ | = Gesimuleerde drain (VL), uitgedrukt als % van de gift. |
| D_m | = Gemeten drainage (FL), per 24h. |
| $\%D_m$ | = Gemeten drain (FL), uitgedrukt als % van de gift. |
| ET_c | = De gewasverdamping + bodemverdamping (evapo-transpiratie), zoals deze berekend wordt volgens de verdampingsmodule in de VL. |
| I_c | = De watergift, geregistreerd vanuit de klimaatcomputer. |
| S_f | = Beregeningsoverschot, gelijk aan $I_c - ET_c$. |
| L1, L2, L3 | = Berekende bodemvochtgehalten in resp. laag 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90cm. |
| FL12, FL23, FL3d | = Watertransport vanuit resp. laag 1 naar laag 2, laag 2 naar 3 en laag 3 naar ondergrond (drainage). |

3 Resultaten

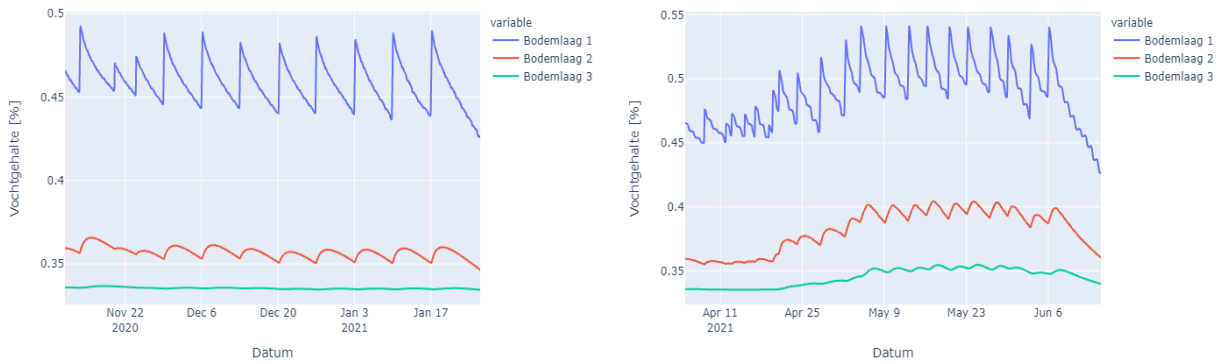
3.1 Chrysant (bedrijf A)

Bij alle 14 individuele teelten chrysanten leidde de cumulatieve watergift tot een beregeningsoverschot. Bij sommige teelten was dit beperkt (teelten 4,5,6,14), soms was dit fors (10 – 20%) (teelten 7,8,9,11) en bij een aantal teelten groot (>20%) (teelten 3,10,12,13,15,16). Het blijkt dat in sommige teelten de cumulatieve waarde van de gesimuleerde drain (D_s) en gemeten drain (D_m) voor de volledige teeltperiode gelijkwaardig zijn, dat wil zeggen van dezelfde orde grootte. In andere gevallen is het verschil tussen beide waarden echter aanzienlijk (Tabel 3.1). Niettemin volgen D_s en D_m gedurende een teeltcyclus over het algemeen vrijwel hetzelfde patroon. Dit is duidelijk te zien in het gepresenteerde voorbeeld van één jaar met vijf opeenvolgende chrysantengewassen. Hierbij lopen de startdata van de individuele teelten uiteen van midden in de herfst, tot eind van de zomer (Figuur 3.1). Het seizoeneffect op de ontwikkeling van de totale verdamping (ET_c) en de toegepaste berekening (I_c) is daarbij goed zichtbaar. Bij alle vijf teelten is sprake van een aanzienlijk beregeningsoverschot (S_f). De resultaten van D_s en D_m zijn in drie van de vijf teelten (1,4,5) vrijwel gelijk en volgen ook hetzelfde patroon, maar beiden liggen wel een stuk lager dan S_f . Dit komt doordat in de berekening van S_f de totale I_c is verminderd met de totale ET_c , en geen rekening houdt met de veranderingen in vochtberging of vochtlevering via capillaire aanvoer, wat bij de berekening van D_s wel het geval is. De gegevens van alle 17 teelten zijn weergegeven op Bijlage 3.

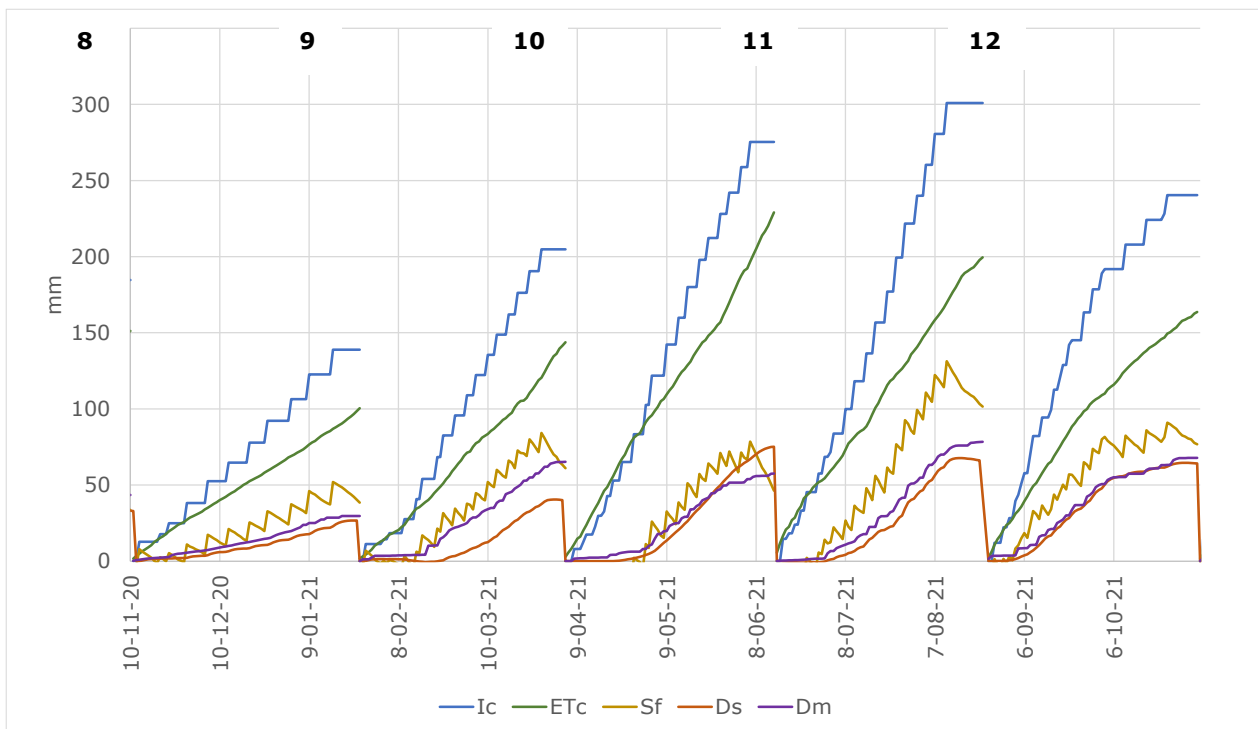
Tabel 3.1 De totale som van Watergift (W), Evapotranspiratie (ET), Gesimuleerde drainage D_s en Gemeten drainage D_m en het % verklaard (het % D_m verklaard door D_s) van 11 opeenvolgende teelten chrysant op bedrijf A.

| Specificaties | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | | |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|--|
| Jaar | 2019 | | | | 2020 | | | | 2021 | | | | 2022 | | | |
| Plantdatum | 13-11 | 28-01 | 08-04 | 23-06 | 03-09 | 11-11 | 26-01 | 05-04 | 15-06 | 25-08 | 04-11 | 18-01 | 28-03 | 08-06 | | |
| Oogstdatum | 25-01 | 06-04 | 18-06 | 25-08 | 11-11 | 25-01 | 04-04 | 14-06 | 22-08 | 03-11 | 17-01 | 27-03 | 00-01 | 17-08 | | |
| W | 180 | 152 | 316 | 322 | 185 | 139 | 197 | 287 | 304 | 240 | 154 | 173 | 279 | 348 | | |
| ET | 115 | 168 | 268 | 278 | 163 | 116 | 168 | 201 | 257 | 184 | 89 | 169 | 196 | 213 | | |
| D_s | 62 | 17 | 22 | 42 | 34 | 27 | 40 | 75 | 68 | 65 | 54 | 11 | 77 | 111 | | |
| D_m | 62 | 26 | 42 | 36 | 44 | 29 | 65 | 58 | 78 | 66 | 42 | 35 | 31 | 65 | | |
| % drain (D_s) | 34% | 11% | 7% | 13% | 18% | 19% | 21% | 26% | 22% | 27% | 35% | 6% | 27% | 32% | | |
| % drain (D_m) | 54% | 16% | 16% | 13% | 27% | 25% | 39% | 29% | 30% | 36% | 47% | 21% | 16% | 30% | | |
| % verklaard | 101% | 64% | 51% | 118% | 75% | 92% | 62% | 131% | 86% | 97% | 128% | 32% | 250% | 171% | | |

In Figuur 3.2 is als voorbeeld het verloop van het berekende vochtgehalte weergegeven van twee teelten (teelt 8 en 10). De berekende vochtgehalten door de VL laten duidelijk de dynamiek zien die het gevolg is van de toegepaste berekening en de opname door het gewas en bodemverdamping en de verplaatsing van het resulterende overschot neerwaarts in de bodem (Figuur 3.2). In L1 is de dynamiek veruit het sterkst. Elke gietbeurt geeft een sterke verhoging van het watergehalte, om in de uren daarna geleidelijk weer te dalen. De dynamiek in L2 is een stuk minder, is meer afgevlakt en laat ook een zekere vertraging zien. In L3 is de dynamiek vaak niet meer zichtbaar, of zeer beperkt. Het verschil tussen een winterteelt (teelt 8) en een zomerteelt (teelt 10) komt vooral tot uiting in de gietfrequentie (teelt 8 intervallen van 5 - 7 dagen, teelt 10 intervallen 2 - 3 dagen). Verder blijkt dat er bij teelt 10 een periode van vernatting is opgetreden, zichtbaar in een stijging van de vochtgehalten in L3 die duidelijk de dynamiek volgt van L1 en L2 gevolgd tegelijk is er een stijging van de hoeveelheid uitspoeling.



Figuur 3.1 Berekende bodemvochtgehalten in de lagen L1, L2, L3 in teelt nr. 8 en teelt nr. 10.

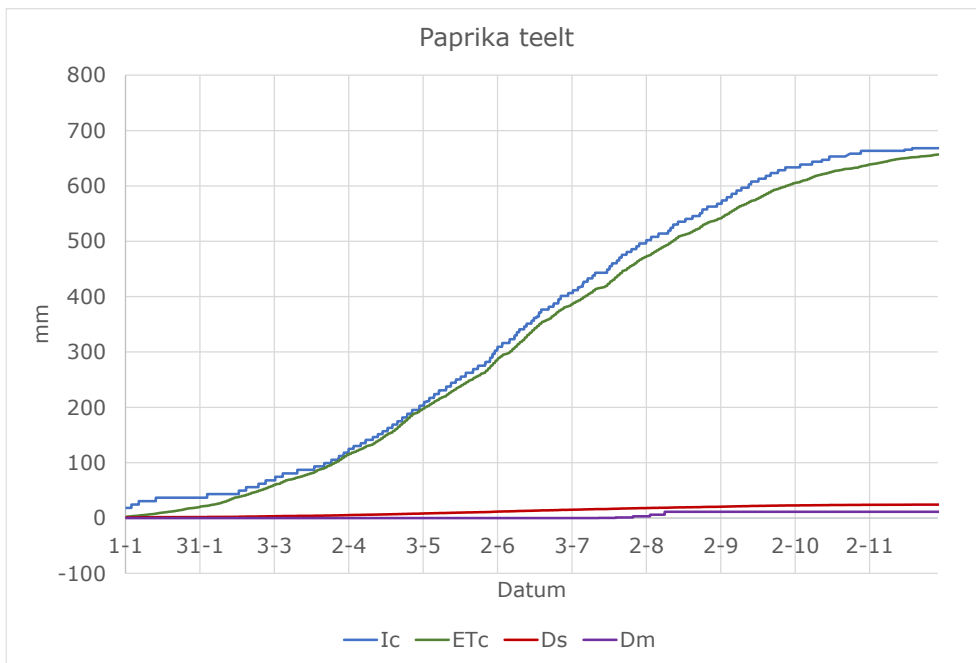


Figuur 3.2 Cumulatieve watergift (I_c), Verdamping (ET_c), het beregeningsoverschot (S_f), de gesimuleerde drain (D_s) en gemeten drain (D_m), gedurende een cyclus van ongeveer een jaar (nov 2020 – okt 2021) met daarin vijf opeenvolgende teelten chrysant, teelt nr. 8 tot nr. 12.

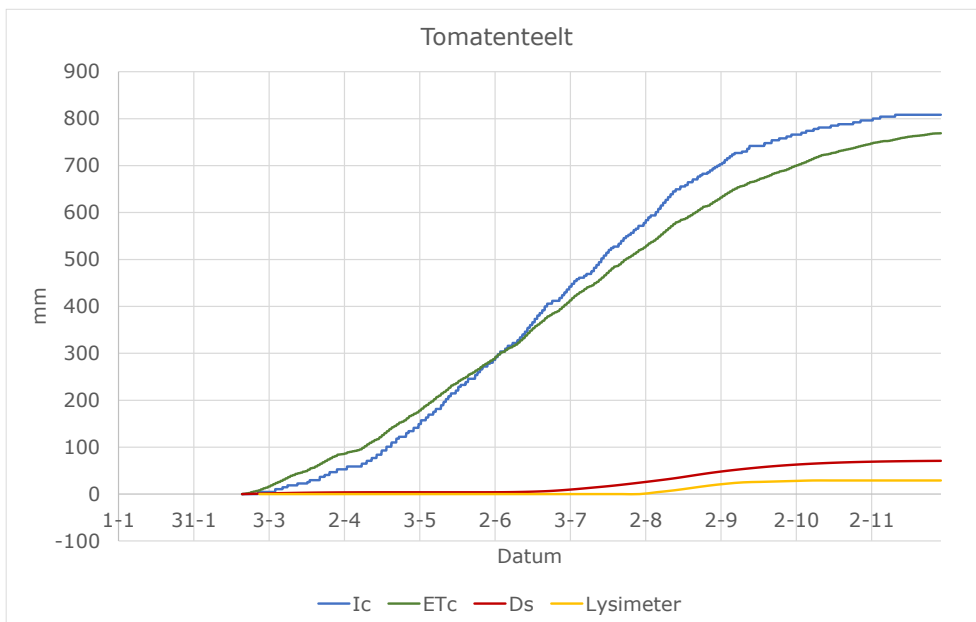
3.2 Biologische vruchtgroente, paprika en tomaat (bedrijf B)

De watergift bij de paprikateelt loopt vrijwel parallel aan het verloop van de berekende verdamping (Figuur 3.3), alleen in de zomermaanden is er iets meer water gegeven dan de verdamping. Na het einde van de teelt toe is de watergift sterk teruggebracht, waardoor de cumulatieve gift en cumulatieve verdamping vrijwel gelijk eindigen. De gemeten drain in de FL is dan vrijwel nul, met uitzondering van een kleine hoeveelheid begin augustus. De door de VL berekende drain (D_s) is zeer gering, maar bedraagt wel iets meer dan de gemeten drain (D_m). Aanvankelijk was het verschil tussen gift en verdamping groter, echter bij herijking van de parameterlijst bleek er een onderschatting te zijn van de kastransmissie. Na aanpassing bleek het verschil nog miniem. Echter er was tijdens de paprikateelt ook gereede twijfel over de watergift geregistreerd door de klimaatcomputer en de realiteit. Hiervoor zijn kalibraties gedaan aan de regenleiding via litertellers en is een ijking uitgevoerd van de watergift ter plaatse van de lysimeter (Bijlage 4). Zie ook paragraaf 4.2.

Bij de erop volgende tomatenteelt zijn de gegevens over de eerste zes weken weggelaten, omdat dit een teelt op plantschotels was, waarbij er nog geen contact was met de bodem. De monitoring en validatie is daarom gestart op 20 februari. Aanvankelijk werd minder water gegeven dan de berekende verdamping, dus met een negatieve S_f . Vanaf begin juni is de watergift aangepast en flink hoger geworden. Dit heeft ertoe geleid dat in de tweede helft van de teelt S_f positief was, waarbij zowel D_s als D_m toenamen. Het verschil tussen D_s en D_m is aanzienlijk (Figuur 3.4), maar voor beide biologische groentegewassen was S_f veel kleiner dan bij bedrijf A.



Figuur 3.3 Cumulatieve watergift (I_c), Verdamping (ET_c), de gesimuleerde drain (D_s) en gemeten drain (D_m), gedurende de teelt van paprika in 2021.



Figuur 3.4 Cumulatieve watergift (I_c), Verdamping (ET_c), de gesimuleerde drain (D_s) en gemeten drain (D_m), gedurende de teelt van tomaat in 2022.

3.3 Zomerbloemen (bedrijf C)

De verdamping bij Violier varieert tussen 160 en 200 mm en bij Trachelium is dit tussen 200 en 230 mm (Bijlage 5). Omdat op dit bedrijf alleen deze twee teelten zijn uitgevoerd in het betreffende kascompartiment, bedraagt de jaarlijkse verdamping ca 400 mm, over de periode half maart – half oktober. Een opvallende constante bij dit bedrijf is dat de watergift bij de Violierenteelt vooral in de tweede helft van de teelt aanmerkelijk lager is dan de berekende verdamping. Bij de Trachelium is de watergift in de eerste twee maanden nog wat ruim en houdt gelijke tred of is soms iets hoger dan de berekende verdamping. In de tweede teelhelft is er aanzienlijk minder water gegeven. Dit heeft duidelijk zijn weerslag op de berekende vochtgehalten in de bodem. Overduidelijk volgen deze het patroon van de perioden waarbij gift en verdamping in evenwicht zijn, zoals bij het begin van de Violieren-, maar vooral bij de Tracheliumteelten, of waarin er uitdroging plaatsvindt, zoals bij de tweede helft van beide teelten. De berekende hoeveelheden drain zijn beperkt en ook in de FL is niet of nauwelijks drain gemeten. Een uitzondering is dat in beide teelten in 2020 wel wat drain is gemeten, die voor de Tracheliumteelt in overeenstemming is met het overschot aan berekening in die periode. Voor de Violierenteelt is dat niet verklaarbaar uit de data, maar is hoogstwaarschijnlijk veroorzaakt door de aanloop vanuit de voorafgaande situatie waarin niet geteeld is, maar wel activiteiten plaatsvonden (tulpenbroei in kisten).

3.4 Alstroemeria (bedrijf D)

De continue teelt in 2020 gaf een totale verdamping van ca 400 mm, en ook in de twee volgende jaren was de verdamping tussen ca 350 en 400 mm (Bijlage 6). Uit eerder onderzoek was al gebleken dat dit gewas veel minder verdampt dan men zou kunnen verwacht (hoge LAI) en in vergelijking met andere gewassen. In 2020 is minder dan 350 mm gegeven, in 2021 ongeveer 400 mm, alleen in 2022 is er veel meer water gegeven dan de berekende verdamping. Dit alles resulteerde in een berekende uitspoeling/drain van nul in 2020. In 2021 is er een kleine hoeveelheid drain berekend in de eerste maand, dat komt overeen met de grotere gift dan de berekende verdamping. Daarna is er een teeltwisseling geweest, het resultaat van de VL is daarom voor die periode niet bruikbaar. In de rest van het teeltjaar 2021 is er met eenzelfde patroon water gegeven als in 2020 en loopt vrijwel parallel met de verdamping. Hierdoor is de cumulatieve hoeveelheid berekende drain stabiel. In 2022 is er qua watergift een omslagpunt rond juni, waar vanaf dat punt veel meer water is gegeven. Dit kwam door een veranderd inzicht van de teler dat meer water noodzakelijk was vanwege het droge voorjaar/zomer en de uitdroging van de bodem. In alle jaren is slechts een minieme hoeveelheid drain in de FL gemeten. Voor de jaren 2020, 2021 (met uitzondering van de eerste twee maanden) en 2022 tot eind mei was dit logisch want er was ook geen berekende drain. Omdat capillaire stijging niet kan worden gemeten in een FL, kan daarom helaas niet gevalideerd worden of deze data ook kloppen. Het ontbreken van drain in de periode ná juni 2022 kan niet goed verklaard worden. Wel is de bovenrand van de FL beschadigd geraakt bij de herplanting in 2021, zodat er mogelijk via capillair contact water verdwijnt.

Het verloop van de door de VL berekende vochtgehalten komen goed overeen met de resultaten van de waterbalans. Het tekort in vocht door een lagere gift dan verdamping (teeltjaren 2020, 2021, eerste maanden 2022) uit zich zeer duidelijk in een daling van het vochtgehalte in laag 1 (0-30 cm) en een vertraagde reactie in de lagen 2 en 3.

3.5 Controle bodemvocht

In de ontwikkel- en testfase is gedurende enige tijd met vochtsensoren een controlemeting uitgevoerd met bodemvochtsensoren op bedrijf A. In 2020 was dit met een sensor van DeltaT Devices (type SM300 met data acquisitie via datalogger). Deze is ingegraven op dieptes van 15 en 45 cm, overeenkomend met resp. het midden van laag 1 (0-30 cm) en laag 2 (30-60 cm) en een diepe sensor op 60 cm, dit komt overeen met de bovenkant van laag 3. Dieper dan 60 cm is om praktische redenen niet mogelijk. Voor deze sensoren is voor het omrekenen van de ruwe meetwaarde naar vochtgehalte de algemene omrekeningsformule voor minerale gronden toegepast.

In 2022 is eenzelfde test gedaan, maar nu met sensoren van Quantified (Triple Poseidon). Deze drie sensoren waren gekoppeld met één IOT-device (Firefly) die via een lokale ethernet gateway data naar de cloud (Insight) stuurde. In die test zijn ook sensoren op dezelfde diepte geplaatst op een representatieve plek buiten de fysieke lysimeter. Voor de kalibratie van deze sensoren zijn grondmonsters tijdens plaatsing genomen op drie diepten, welke gravimetrisch op vochtigheid geanalyseerd zijn. Deze data zijn gebruikt om een een-punts kalibratie voor vochtgehalte uit te voeren met de ruwe meetwaarden van de sensoren bij installatie. In 2022 zijn vergelijkbare testen ook gedaan op bedrijf B.

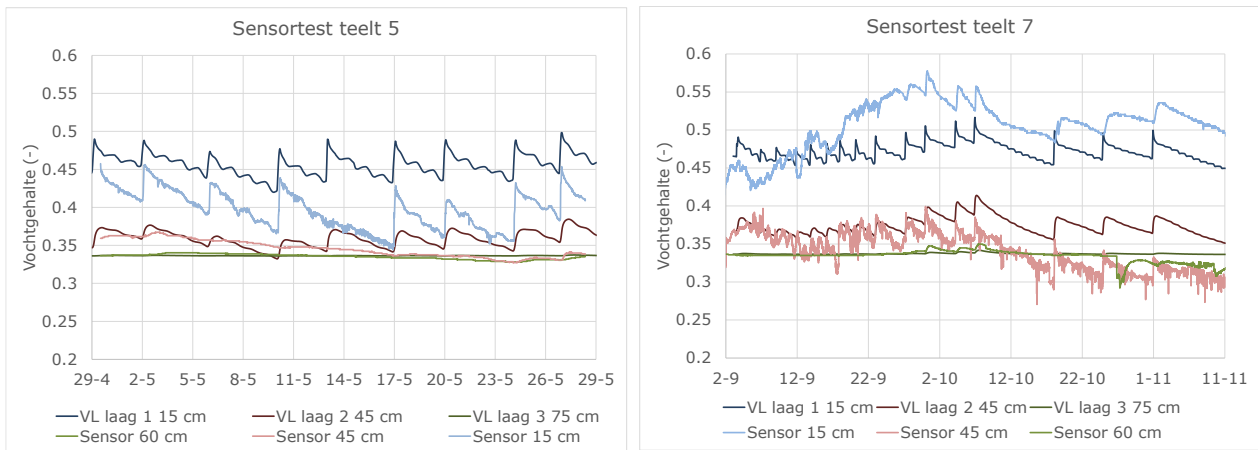
De resultaten zijn grafisch weergegeven in de figuren 3.5 – 3.7. De data van de VL zijn uurgemiddelden, terwijl de fysieke vochtsensoren data per 5 min zijn, dit verklaart de grotere “ruis” van de grafieklijnen van deze sensoren. In 2022 werd de meetfrequentie na enkele maanden door de Firefly installatie automatisch teruggebracht tot meetwaarden per uur, om energie te besparen vanwege een lage batterijspanning, dit komt tot uiting in de stippellijnen na een bepaalde datum.

Het eerste wat opvalt aan de vergelijking tussen de gemeten en berekende waarde is dat de ligging van de lijnen ten opzichte van elkaar behoorlijk afwijkt, met andere woorden de berekende en gemeten vochtgehalten zijn verschillend, soms is de afwijking zelfs groot. Wel lijkt de orde van grootte overeen te komen, c.q. de volgorde van nat naar droog of andersom van de drie gemeten of berekende lagen. Ook zijn de waarden van binnen en buiten de fysieke lysimeter van de drie lagen sterk afwijkend van elkaar.

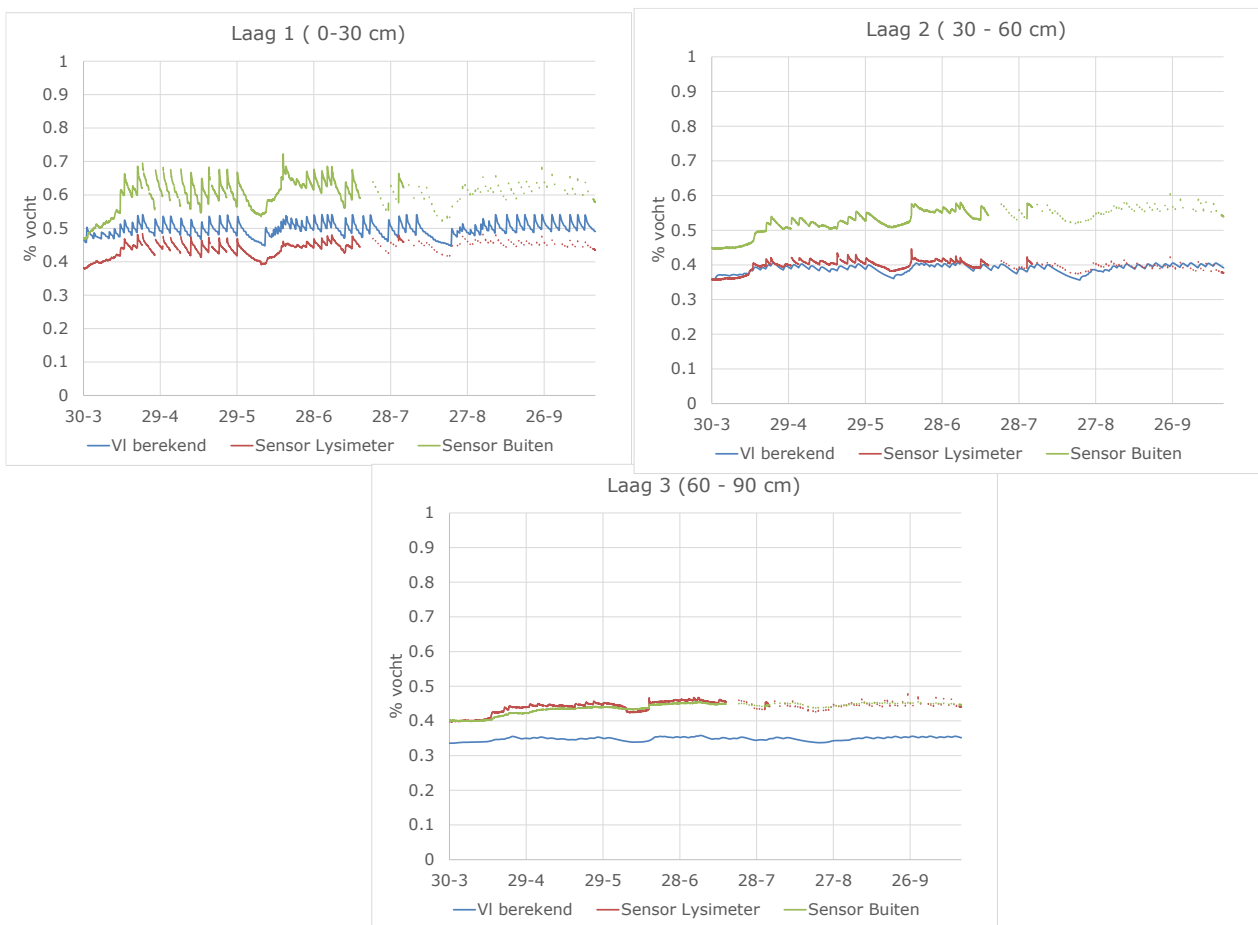
De dynamiek van de VL-sensor in laag 1 die samenhangt met de watergift (piekwaarden) en de daaropvolgende verlaging van het vochtgehalte (verticale transport en wateropname c.q. verdamping) worden met ongeveer dezelfde patronen teruggezien in de sensormetingen. Dit is zowel in de teelten 5 en 7 in 2020, als in de teelten in 2022 bij bedrijf A. De sensoren buiten de lysimeter vertonen een vrijwel identiek patroon als binnen de lysimeter (Figuur 3.5 en 3.6). In de eerste maanden van teelt 7 is dit veel minder goed zichtbaar, het verloop is wat diffuser. Vanaf eind september in die teelt komt het patroon van de dynamiek wel weer overeen met de VL-waarde. Wat bij deze teelt ook opvalt is de afwijkende trend in het vochtgehalte, die de vochtsensor laat zien. Het lijkt in de eerste 4 – 6 weken van die teelt steeds natter te worden en in de tweede helft is er vervolgens een dalende tendens te zien.

De patronen van de VL-sensor in laag 2 en de sensoren op 45 cm zijn veel minder gelijkend. Zijn de watergiften in de VL-sensor op die diepte nog wel goed te zien, bij de sensoren is dat veel minder het geval. Bij teelt 7 (Figuur 3.5) en teelt 15 en 16 (Figuur 3.6) is het patroon nog wel duidelijk herkenbaar. Bij de diepste sensor en laag 3 van de VL is er sowieso sprake van weinig dynamiek, niettemin kan er nog steeds het patroon van de VL-sensor in verloop van de diepere sensor teruggevonden worden, met name bij de teelten in 2022 (Figuur 3.6).

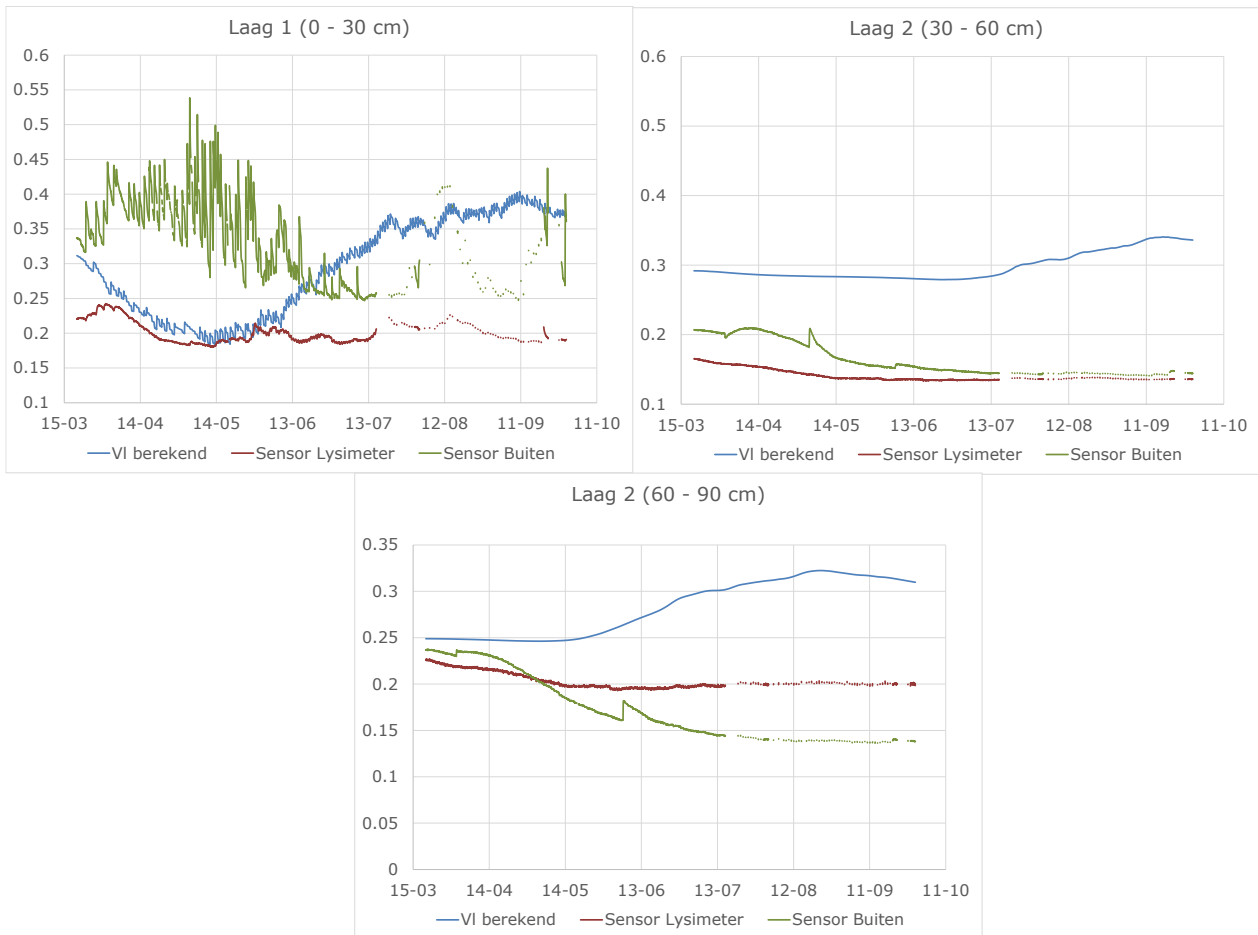
De patronen die zichtbaar zijn in de figuren van de tomatenteelt van bedrijf B zijn niet gelijk en soms ook tegenstrijdig en niet direct te duiden. Er lijkt niet altijd een duidelijke overeenkomst tussen de waarden van de fysieke vochtsensoren en van de door de VL berekende vochtgehalten, en soms blijkt een tegenovergesteld patroon te bestaan, daar waar de vochtsensor verdroging constateert (tweede helft teelt), geeft de VL een vernatting aan. Het is niet duidelijk waar dit aan ligt.



Figuur 3.5 Vochtgehalten in de drie bodemlagen berekend met de VL, vergeleken met gemeten vochtgehalten met bodemvochtsensoren (SM300-deltaT), tijdens teelten 5 en 7 van chrysanten (bedrijf A), waarden als vochtpercentages (vol/vol).



Figuur 3.6 De vochtgehalten in de drie bodemlagen berekend met de VL, vergeleken met gemeten vochtgehalten met bodemvochtsensoren (Quantified), tijdens teelt 15 en 16 van chrysanten (bedrijf A), waarden als vochtpercentages (vol/vol).



Figuur 3.7 De vochtgehalten in de drie bodemlagen berekend met de VL, vergeleken met gemeten vochtgehaltenes met bodemvochtsensoren (Quantified), tijdens tomatenteelt (bedrijf B), waarden als vochtpercentages (vol/vol).



Figuur 3.8 Meetopstelling met de set bodemvochtsensoren op drie dieptes van DeltaT Devices SM300 bij bedrijf A (links), van Quantified Triple Poseidon (midden) en Quantified Firefly voor datatransmissie (rechts) bij bedrijf B.

4 Discussie en evaluatie

4.1 Modelvalidatie

4.1.1 Waterbalans

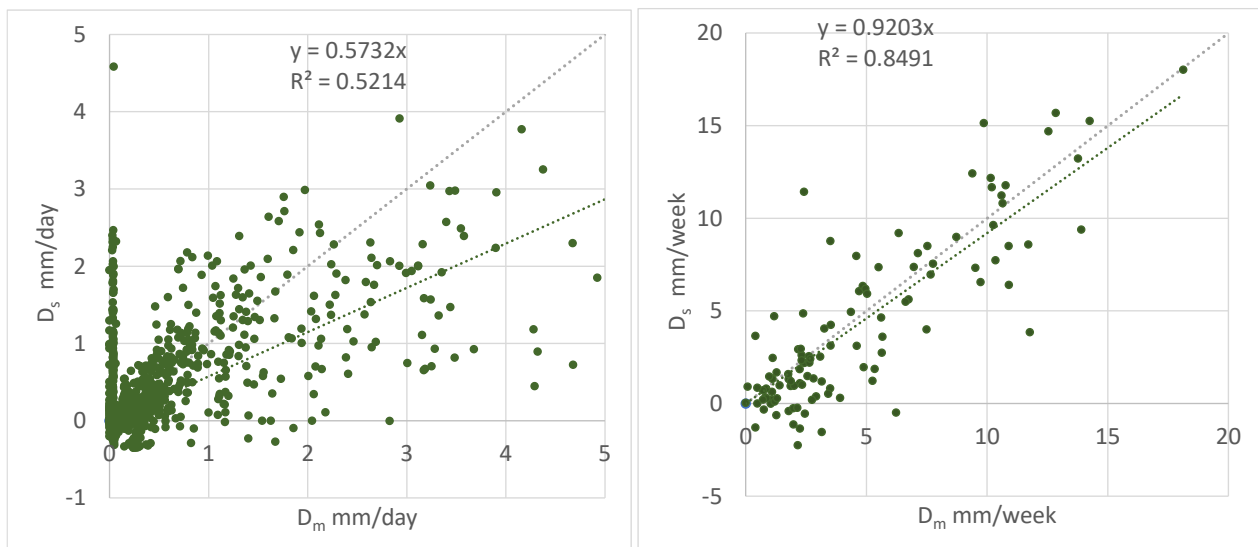
Een belangrijke graadmeter voor de beoordeling van de accuratesse van de VL is het verschil tussen de waarden en het patroon in het verloop van D_s en D_m . Uit de resultaten behaald bij de chrysanthe bleek dat de verschillen tussen de totale gesimuleerde en gemeten drainage (D_s en D_m) soms vrij groot zijn (Tabel 3.1). Echter, het verloop in de tijd van D_s en D_m volgt over het algemeen wel hetzelfde patroon (Figuur 3.1). Dit is ook het geval voor het volledige teeltseizoen van paprika. Er zijn een aantal redenen aan te voeren waarom de verschillen tussen D_s en D_m in een aantal gevallen zo groot zijn. Bij bedrijf A wordt voor de chrysanthe een specifiek irrigatieschema gevolgd, dat begint met een grote gietbeurt van 15 - 25 mm om de bodem te herbevochtigen. Dit omdat in de voorafgaande teelt in de laatste 10 á 14 dagen geen water wordt gegeven en de grond daarna flink is uitgedroogd. Daarna volgen 'normale' gietbeurten van (3 - 9 mm) met een interval van drie tot vijf dagen (afhankelijk van het seizoen) en de laatste 10 - 14 dagen voor de oogst wordt dan weer geen water meer gegeven.

De eerlijkheid gebied te zeggen dat het bodemmodel een sterk vereenvoudigde versie is van een wetenschappelijk model zoals het model SWAP (Soil, Water, Atmosphere and Plant) (Kroes *et al.* 2009), waarin verticaal transport van water in onverzadigde/verzadigde bodems berekend wordt aan de hand van gecompliceerde mathematische vergelijkingen (Richard functions) en een reeks aan veranderende randvoorwaarden (bijvoorbeeld grondwaterstanden die fluctueren als reactie op de neerslaginput). Los van de grote hoeveelheid parameters die nodig is om dit model te laten werken, vraagt dit te veel rekentijd en capaciteit van computers en is daarom praktisch niet haalbaar. Voor de toepassing van de bodemmodule in de VL is een vereenvoudigde benadering echter te rechtvaardigen.

Concreet betekent het echter wel dat de simulaties af kunnen wijken van de werkelijkheid in de fysieke lysimeter. i) De bodemmodule van de VL houdt geen rekening met fysieke veranderingen van de bodem (zwellen, krimp) die worden beïnvloed door de afwisselende droge en natte perioden, zoals de vorming van macroporiën die 'kortsluiting' (ook wel by-pass genoemd) kunnen geven voor irrigatiewater en grotere stroomsnelheden kunnen veroorzaken dan door het model wordt gesimuleerd. ii) Een andere afwijking van de werkelijkheid ontstaat als de watergift (voor laag 1) dicht aan ligt tegen de verzadigde doorlatendheid van de grond. Deze is moeilijk te meten (laat staat te schatten) omdat die vaak afhangt van een paar grote poriën, bijvoorbeeld veroorzaakt door net wat hogere wormactiviteit. iii) Ook houdt het model ook geen rekening met de onderschepping van de bovengrondse sprinklerirrigatie door het gewas, dat naarmate het gewas groter wordt en de gietbeurt kleiner is een niet te verwaarlozen deel kan zijn van de totale watergift en daardoor niet in de bodem terechtkomt. Voor de uiteindelijke waterbalans van het gewas zal dit echter nauwelijks een rol spelen, omdat logischerwijs het volume water dat door het gewas wordt onderschept de ET_c in dezelfde mate reduceert, maar in het bodemmodel zal het direct de gesimuleerde waterstromen beïnvloeden. iv) Ook kunnen er onvolkomenheden zitten in de metingen van D_m , waarbij er sowieso vanwege technische beperkingen alleen dagelijks een meting is op een vast tijdstip. Het kan daardoor zijn dat een bepaalde hoeveelheid drain pas bijna 24 uur na het ontstaan wordt gemeten terwijl het model de uitspoeling uit laag 3 eerder berekend. Daarnaast kunnen de hierboven genoemde macroporiën ook storend zijn, wanneer een deel van de irrigatie sneller in de lysimeter wordt gemeten dan in de berekening wordt weergegeven. v) Tenslotte is er de al genoemde complicatie (zie 1.1) dat de lysimeter een gesloten bodem heeft en daardoor geen verbinding heeft met de ondergrond, c.q. het grondwater en de verzadigde zone. Capillaire stijging is daardoor -met uitzondering van een klein gedeelte vanuit het reservoir aan de onderzijde - uitgesloten zodat de bodem in de lysimeter zal uitdrogen in periodes met een negatieve FL3d, die meer is dan enkele mm en over een langere periode. In een daaropvolgende periode met een positieve FL3d zal de gemeten drainage worden uitgesteld ten opzichte van de gesimuleerde drainage. Een dergelijk patroon is duidelijk te zien in de resultaten van de tomatenoogst (Figuur 3.2). In de eerste drie maanden is S_f negatief,

die overgaat in een positieve S_r , met uiteindelijk ongeveer 40 mm hogere I_c dan ET_c . Dit resulteert dan in een positieve D_s , ongeveer vanaf het moment dat de cumulatieve $I_c > ET_c$. Daarentegen neemt D_m ruim een maand later pas toe en blijft ook achter bij D_s . Een bijkomende complicatie is dat bij de tomatenteelt de situatie bij aanvang van de teelt niet goed is te duiden. Het tomatengewas is aanvankelijk geïsoleerd van de ondergrond vanwege de potten op schotels en er is pas verbinding met de bodem na het planten in week 5. De VL heeft geen mogelijkheid om dit gedrag te simuleren. Verstoringen ontstaan ook als er door grondbewerking of aanvulling met compost de bovenrand van de lysimeter niet meer tot aan het maaiveld doorloopt, zoals zichtbaar is op de foto in Figuur 2.3. Dit veroorzaakt capillair contact met de bodem buiten de lysimeter, waardoor er een andere hydrologische situatie ontstaat, waarbij er water uit de lysimeter wordt getrokken of juist wordt aangevoerd indien de grondwaterstand buiten de lysimeter resp. dieper of ondieper is dan de bodem van de lysimeter (90 cm). Als de afdekking met grond of compost wat langer duurt kunnen er wortels van de planten buiten of binnen de lysimeter over de rand groeien en zo de waterbalans van de lysimeter verstoren. Bij de paprikateelt in 2021 (bedrijf B) heeft dit een tijdlang meegespeeld en kan ertoe hebben bijgedragen dat D_m in de eerste helft van de teelt lager is geweest dan D_s .

Alle deze versturende invloeden bij elkaar genomen maakt dat de metingen van D_s en D_m lang niet altijd met elkaar zullen matchen. Uit een nadere analyse van de data blijkt ook dat er een goede relatie is tussen D_s en D_m als de resultaten worden gemiddeld over een periode van 7 dagen. Niet alleen is de correlatie hoog te noemen ($R^2 = 0.84$), de verhouding tussen D_m en D_s nadert een 1:1 relatie (regressie coëfficiënt 0.92). Echter, als de meetwaarden op dagbasis met elkaar worden gecorreleerd, is de spreiding erg groot en ook is de verhouding tussen beide parameters ver van een 1:1 relatie (Figuur 4.1). Dit heeft ongetwijfeld te maken met de in de vorige alinea geschetste complicaties van al dan niet aanwezige buffering van het water in de bodem, of macroporiën transport (tekortkoming van de VL) en de lage resolutie van de FL.



Figuur 4.1 Spreidingsdiagrammen van de gesimuleerde drainage (D_s) van de virtuele lysimeter vergeleken met de gemeten drainage (D_m) door de fysieke lysimeter van de dagelijkse som (linker grafiek) of de wekelijkse som (rechter grafiek), simulatie resultaten van elf chrysantengewassen (bedrijf A).

De resultaten van bedrijf C zijn maar beperkt bruikbaar voor de validatie, omdat het geen aaneengesloten teel jaren betreft, met telkens een flink gat in beschikbare (of relevante) data. Niettemin is duidelijk dat tijdens de teelten *Violer* en *Trachelium* in alle drie de jaren er een duidelijk beeld is van het verloop van de waterbalans en ook van de vochtgehalten. Het valt daarbij op dat de vochtgehalten een vrij grote dynamiek vertonen, maar ook dat de vochtgehalten ondanks de soms sterk negatieve waterbalans (gift - verdamping), niet heel sterk dalen. Dit komt door de grote capillaire opstijging in dit bodemtype, maar ook door de wat hogere grondwaterstand op dit bedrijf.

Voor bedrijf D geldt ook dat validatie niet goed mogelijk is, vanwege het gedeeltelijk ontbreken van data van de drain in de FL en het disfunctioneren van de drainmeting na herplanten in 2021. Echter de data van de jaren 2015 – 2018 (zie Voogt, 2018) hebben aangetoond dat de benadering van de verdamping via de algoritmes van het verdampingsmodel voor de gewasverdamping betrouwbaar zijn. De resultaten over 2020 – 2021 laten zien dat dit consistent is met de eerdere resultaten van dit bedrijf (Voogt *et al.*, 2018). Ook de weergaven van de berekende vochtgehalten zijn consistent met de waterbalans, zodat het valide is om de toepassing van de VL ook voor Alstroemeria te kunnen vertrouwen.



Figuur 4.2 *Beeld van de beschadigde bovenrand van de Fysieke lysimeter door grondbewerking (bedrijf D).*

4.1.2 Vochtgehalten

Op het eerste gezicht lijken de berekende vochtgehalten sterk af te wijken van de gemeten waarden. Het is echter uit dit onderzoek onmogelijk te zeggen welke van de twee het juiste vochtgehalte weergeeft. Het is algemeen bekend dat een betrouwbare meting met een vochtsensor een zorgvuldige en tijdrovende sensorkalibratie vereist. Voor de gebruikte sensoren zijn voor het omrekenen van de meetwaarde naar vochtgehalte de algemene omrekeningsformules voor minerale gronden toegepast. Dit kan per grondsoort afwijken, daarnaast zijn er lokale variabelen en effecten van de plaatsing die de waarden verstoren. Kortom, er kunnen geen conclusies worden verbonden aan het verschil in vochtgehalten tussen de VL en de sensoren. Positief is dat de trends die uit de VL berekeningen naar voren komen bijna 1:1 worden teruggevonden in de gemeten waarden. Dit geldt uiteraard zeker voor de pieken die ontstaan na een watergift, maar ook voor de langere termijn (dagen/weken). Dat dit niet voor alle situaties het geval is geweest blijkt uit teelt 7 (Figuur 3.7). De berekende waarde in laag 1 laat over de weergegeven periode maar een geringer stijgende en in de tweede helft lichter dalende tendens zien dan de sensorwaardes. Het is goed denkbaar dat dit afwijkende gedrag te wijten is aan de lokale condities van de plaatsing van de sensor, het ontbreken van de piekwaarden na gietbeurten in de eerste weken zijn hiervoor een duidelijke aanwijzing. De ervaring ook uit andere experimenten heeft geleerd dat er na plaatsing van sensoren enige tijd nodig is voor het “settle” van de sensoren en er stabiele meetwaarden geproduceerd worden. Ook de patronen bij grafieken van de tomatenteelt (bedrijf B; Figuur 3.8) geven niet altijd een duidelijke overeenkomst tussen de fysieke vochtsensoren en de VL-sensor, soms is het zelfs tegenovergesteld. Het is niet geheel duidelijk waar dit aan ligt, maar hoogstwaarschijnlijk is de problematiek van de waterverdeling in die teelt hier ook debet aan (zie ook Bijlage 4).

Afgezien van de hierboven geschetste afwijkingen, kan gesteld worden dat de berekeningen van het vochtgehalte een toegevoegde waarde hebben voor de VL. In aanvulling op de berekeningen van de waterbalans, kan een teler namelijk aan de hand van de trends in een oogopslag zien of hij met zijn gekozen watergeefstrategie op de goede weg zit; vindt er vernatting plaats (risico op uitspoeling) of is er een tendens tot droger worden van de bodem. Daarbij is ook de samenhang tussen patronen en tendensen van de drie bodemlagenlagen van groot belang bij de interpretatie.

4.2 Toepassing in de praktijk

De VL heeft potentieel veel output die interessant en nuttig is voor een teler om inzicht te krijgen in de waterhuishouding van zijn teelt en bodem. Dit zijn de data over de waterbalans (gift, verdamping, uitspoeling), die zowel actueel als cumulatief over een periode, per week, maand, sinds start teelt, seizoen of jaar kunnen worden gegenereerd. Vervolgens zijn er de gegevens over de drie bodemlagen, waarbij er in de eerste plaats de (berekende) vochtgehalten zijn, maar ook kunnen de gegevens over de wateronttrekking per laag of van de waterverplaatsing van de ene naar de andere laag (dus ook drain en capillaire aanvoer) zichtbaar worden gemaakt. Ook de vochtberging per laag of hoeveelheid beschikbaar vocht kan berekend en weergegeven worden. Tenslotte is er op basis van de gegevens een advies mogelijk voor een te realiseren watergift bij de volgende beregeningsbeurt, die dan tot nul uitspoeling zal leiden. Deze waarde kan de teler overigens zelf kiezen (in te stellen waarde).

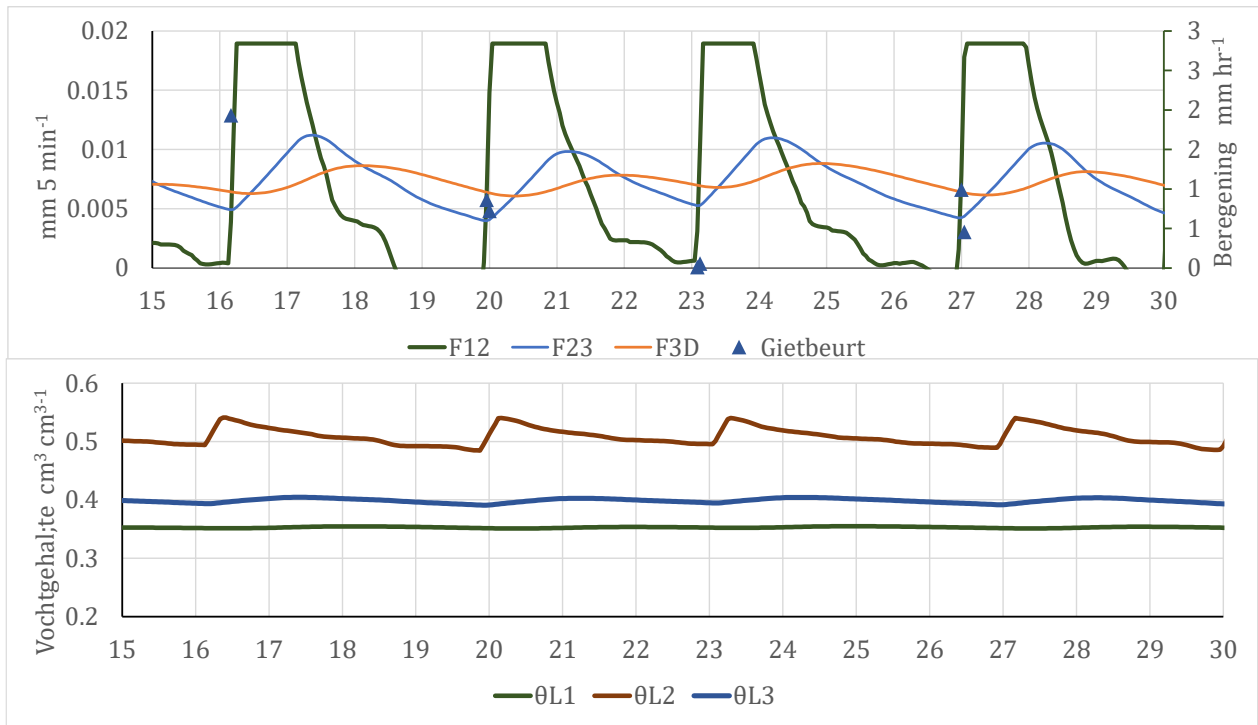
Dit alles maakt dat de gebruiker zeer veel informatie ter beschikking heeft om de 'black-box' die de bodem voor veel telers is, meer inzichtelijk te krijgen. Echter de potentiële hoeveelheid gegevens is dusdanig groot dat de gebruiker mogelijk "door de bomen het bos niet meer ziet". Het is daarom van belang de belangrijkste doelstelling van de tool in het oog te houden, namelijk de watergift op korte en langere termijn te optimaliseren en daarmee uitspoeling voorkomen.

Om die reden is gekozen voor een beperkte mate van output, die vooral een helder inzicht geeft in de waterhuishouding en de waterbalans van een teelt. Daarbij is de ontwikkeling tijdens een teelt of over een langere periode in de tijd het belangrijkste. Het weergegeven van cumulatieve waarden van zowel I_c , ET_c als D_s vanaf de start van een teelt maakt de trend zichtbaar die zal leiden tot een watertekort of tot een wateroverschot met daarbij uiteindelijk drain of uitspoeling. Dit betekent dat bijtijds bijsturen van de tot dan toe gevoerde watergeefstrategie de trend weer kan ombuigen in de gewenste richting.

Voor veel telers is het zicht op de vochttoestand van de bodem beperkt tot de toplaag, wat er in de bodemlagen eronder gebeurt blijft onzichtbaar en als er uitspoeling optreedt is ook dat niet zichtbaar. De VL heeft daardoor de potentie om veel meer inzicht te leveren in de dynamiek van het vocht in de bodem. Bovendien zal het weergegeven van het verloop van het vochtgehalte in de drie bodemlagen en de waterstromen over de drie bodemlagen het begrip en het bewustzijn van mogelijke uitspoeling aanzienlijk vergroten. In Figuur 4.3 is in een voorbeeld weergegeven hoe de irrigatierondes een direct effect hebben op de vochttoestand in de bovenste laag met een zekere vertraging gevolgd door een toename van de stroming van laag 1 naar laag 2 en het vochtgehalte in laag 2 en na enige vertraging ook in een toename van de stroming naar de 3^e laag en enkele dagen later drain. Wat daarbij opvalt is dat het vochtgehalte in laag 3 nauwelijks verandert. Dit komt door de nabijheid van het grondwater (-90 cm), waardoor de mate van verzadiging al erg hoog is, waardoor de verandering van het vochtgehalte door de aanvoer relatief beperkt is. Door het verloop van het berekende bodemvochtgehalte bij te houden, heeft een teler een duidelijk inzicht of zijn grond uitdroogt of meer verzadigd raakt.

Het is logisch dat een gebruiker niet van de ene op de andere dag alle finesses van de VL en de toepassing hiervan doorheeft. Het is daarom bij uitstek een programma waar ervaring mee moet worden opgedaan. Bovendien wordt de meerwaarde van de VL pas duidelijk als er langere datareeksen beschikbaar komen, zodat de trends in de waterbalans en in de vochtgehalten zichtbaar worden. Behalve de actuele gegevens heeft een gebruiker die de VL voor een langere tijd gebruikt de beschikking over de data van alle voorafgaande teelten. Een vergelijking met een eerdere teelt of zelfde periode als de actuele is daardoor gemakkelijk gemaakt.

Ook heeft een gebruiker de mogelijkheid om met de bestaande dataset effecten van verschillende instellingen en keuzes van parameterwaarden te gaan simuleren. Hij kan bijvoorbeeld zien wat het effect is als hij parameters van de kas (transmissie, schermdoeken e.d.) verandert of wat het effect is op de vochtgehalten van meer organische stof in de bodem etc. Al met al is het een leerproces voor een gebruiker om goed met deze tool overweg te kunnen.



Figuur 4.3 De door de VL gesimuleerde dynamiek van waterstromen van L1 naar L2 (F12), L2 naar L3 (F23) en L3 naar afvoer (F3D) met de watergift (boven) en de gesimuleerde bodemvochtgehalten voor de lagen 0-30 ($\theta L1$), 30-60 ($\theta L2$), en 60-90 cm ($\theta L3$) tijdens een periode van twee weken van een chysantenteelt van wk 15 - 30.

5 Conclusie

De Virtuele Lysimeter is de afgelopen vier jaar ontwikkeld van concept, via een initieel rekenmodel tot een volwaardig web-based model. De VL is uitvoerig getest en gevalideerd op vier bedrijven, met uiteenlopende gewassen, waar een fysieke lysimeter aanwezig was. Ook zijn er over bepaalde periodes controlemetingen gedaan met vochtsensoren. De belangrijkste conclusies zijn:

- De VL pretendeert niet een wetenschappelijke benadering te zijn van de waterstormen in de bodem, echter de VL benadert in voldoende mate de werkelijkheid als het gaat om de waterbalans van een teelt en is daarmee geschikt om de teler behulpzaam te zijn bij het nemen van beslissingen over de te voeren watergeefstrategie.
- De actuele waarde van de berekende en de gemeten hoeveelheid drain komt niet altijd overeen met de gemeten waarde in de lysimeter, maar over langere perioden gezien is dit voldoende betrouwbaar gebleken.
- De berekeningen van de vochtgehalten in de drie bodemlagen wijken af van de gemeten waarden met bodemvochtsensoren, echter de exacte waarden van deze laatste zijn net als die van de VL twijfelachtig.
- De dynamiek van de berekende vochtgehalten en het trendmatige verloop vertonen sterke overeenkomst met de meetwaarden van bodemvochtsensoren en tonen daarmee aan dat dit een robuuste weergave is van de werkelijkheid.
- De VL is niet bedoeld om een exacte weergave te zijn van een bodemprofiel en dus exact een vochtgehalte of de uitspoeling te kunnen berekenen, maar is een hulpmiddel voor een teler om de watergift af te stemmen op de gewasbehoefte.
- De resultaten geven aan dat de VL voldoende robuust is om aan dit doel te voldoen, met name de trendmatige weergave van het verloop van de waterbalans componenten (gift, verdamping en drain) en de vochtgehalten per bodemlaag geeft de gebruiker veel inzicht in de 'black-box' die de bodem anders in de meeste gevallen is.
- Toepassing van de VL in de dagelijkse praktijk van een gebruiker zal de nodige ervaring vergen. Naarmate de VL langer gebruikt wordt neemt ook de hoeveelheid data toe en maakt de toegevoegde waarde van deze tool steeds groter.
- Al met al is de VL een belangrijk hulpmiddel voor telers om de watergift af te stemmen op de behoefte van zijn teelt (gewas en bodem), zodat hij daarmee kan voldoen aan de 'Zorgplicht'.

6 Aanbevelingen

Hoewel dit rapport het resultaat beschrijft van een validatietraject, waarbij op meerdere bedrijven en bij diverse teelten en grondsoorten veel ervaring is opgedaan, is dit model nog niet volledig uitontwikkeld.

Sowieso zijn er nog een aantal technische zaken die verbeterd zullen moeten worden en daarnaast is het traject van implementatie nog maar net begonnen.

Wat de technische zaken betreft zullen de volgende aspecten nog verder moeten worden aangepast en verbeterd:

- De berekening en de voorspelling van het vochtgehalte in de bodem. Daarbij geldt wel de kanttekening dat de VL een sterk vereenvoudigde berekening van de waterstromen bevat. Een exacte berekening van het vochtgehalte of de uitspoeling is daarom een utopie. Echter, aan de hand van directe metingen (vochtsensoren) kan de parameterisatie van het bodemmodel verbeterd worden, waardoor de berekende vochtgehalten betrouwbaarder worden.
- Berekening van de gewasverdamping kan meer specifiek worden gemaakt. Dit betreft de gewasspecifieke parameters, die voor een groot deel gebaseerd zijn op onderzoek aan enkele hoofdgewassen. In het programma 'Kas Als Energiebron' loopt divers onderzoek, zoals de effecten van LED of schermen en luchtvochtigheid (ontvochtiging, ventilatoren e.d.) op de gewasverdamping. De uitkomsten van dergelijk onderzoek zullen in toekomstige versie meegenomen moeten worden.
- Ontwikkelingen op het gebied van de uitwisseling tussen de klimaatcomputer en de VL moeten meegenomen worden, met name de ontwikkeling van API's is hierbij van belang.
- Naast de berekening van de 'wateruitspoeling' zou ook de uitspoeling van nutriënten: 'nitraat en fosfaat' tot meer inzicht kunnen lijden. Het is daarom ook aan te bevelen een nutriënten module te ontwikkelen en die aan de VL te koppelen.
- Datzelfde geldt voor een module 'vochtsensoren', waarbij vochtsensoren parallel aan het berekende vochtgehalte een gemeten waarde weergeven, waarbij het model gebruikt kan worden op de vochtsensoren te resetten of te kalibreren en andersom de meetwaarden een controle kunnen vormen voor de berekende waarden met de VL. Dit kan sterk bijdragen aan het versterken van het vertrouwen van de resultaten van de VL.

Ten aanzien van de implementatie zijn er de volgende aanbevelingen:

- Meer bedrijven zouden moeten worden aangemoedigd om de VL te installeren en ermee te werken. Dit zal bijdragen aan het versterken van de zichtbaarheid en bekendheid van dit instrument en de mogelijkheden hiervan.
- Meer ervaring bij diverse gewassen en situaties (grondsoort, hydrologie etc.) zal ook bijdragen aan het inzicht in de mogelijkheden en wellicht ook de beperkingen die de VL heeft. De mogelijke ontdekte fouten en beperkingen kunnen gebruikt worden om de VL verder te verbeteren.
- Om aan te kunnen sluiten bij de belevingswereld van de telers is het wellicht ook goed om aan te sluiten bij bestaande platforms. Te denken valt aan het QMS systeem dat chrysantentelers veel gebruiken.
- Tenslotte is naast het leren en begrijpen van de VL het doel om ook te gaan werken volgens de adviezen van de VL. Het doel is immers om aan de hand van de modeluitkomsten, de watergebonden emissies naar grond- en oppervlaktewater te verminderen. De begeleiding en ondersteuning van teeltadviseurs en van de beoogde 'watercoaches' onmisbaar.

Literatuur

Besluit Glastuinbouw, 2002. <https://wetten.overheid.nl/BWBR0013430/2012-01-01>.

De Graaf, R., and J. Van den Ende, 1981.

“Transpiration and evapotranspiration of the glasshouse crops.” III International Symposium on Water supply and Irrigation in the open and under Protected Cultivation 119.

Kroes, J.G., J.C. van Dam, P Groenendijk, R.F.A. Hendriks, C.M.J. Jacobs, 2009.

SWAP version 3.0. Theory description and user manual. Alterra report 1649 update 0.2, Wageningen University and Research centre, Wageningen.

Van Gaalen, F., Tiktak, A., Franken, R., Van Boekel, E., Van Puijenbroek, P., Muilwijk, H., 2016.

Waterkwaliteit nu en in de toekomst. Eindrapportage ex ante evaluatie van de Nederlandse plannen voor de Kaderrichtlijn Water, Den Haag: PBL.

Voogt W., van der Burg A. A. M., de Graaf R., van Oosten R., 2000.

Water-, stikstof- en natriumbalans bij teelten in kasgrond. Intern Rapport Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente Naaldwijk, 40pp.

Voogt, W., J.A. Kipp, R. de Graaf and L. Spaans., 2000.

A fertigation model for glasshouse crops grown in soil. Acta Hort, 537, ISHS 2000, 495-502.

Voogt W., Assinck F., Balendonck J., Blom-Zandstra M., Heinen M, & De Zwart F. H., 2002.

Minimalisering van de uitspoeling bij teelten in kasgrond. Praktijkonderzoek Plant & omgeving, sector glastuinbouw, Naaldwijk, Rapport 543, 34 pp.

Voogt, W., Steinbuch, F., van Winkel, A., 2006.

Evaluation of the 'fertigation model', a decision support system for water and nutrient supply for soil grown greenhouse crops. Acta Hort. 718, 531-538.

Voogt, W., 2015.

Verkenning kwel-beperkende maatregelen voor grondgebonden kasteelt. Report GTB-1359, Wageningen University and Research, Wageningen.

Voogt, W., Balendonck, J., Janse, J., Swinkels, G.J., Van Winkel, A., 2015.

Implementatie emissie-managementsysteem grondgebonden teelten. Report GTB-1363, Wageningen University and Research, Wageningen.

Voogt, W., Balendonck, J., Van Winkel, A., 2018.

Bodemvochtgehalte sensoren voor watermanagement in grondteelten. Report WPR 715. Wageningen University and Research, Wageningen.

Voogt, W., Stoenner, W. 2023.

Ontwikkeling van de Virtuele Lysimeter. Report WPR 1223, Wageningen University and Research, Wageningen.

Bijlage 1 Bodemgegevens bedrijf A

| Profielkuil | datum | 20-12-2010 | x | y | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---------|---------------|-------|--------------------|---------------------------|---------|------|------------------------|------------|------------------|---------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|------------------|---------------------------|---------|-------------|--|
| Profielbeschrijving | | | | 95031 | 447714 | | | Landgebruik: | kascomplex | | | | | | | | | | | |
| standaardpunter | M4p235c | VII | | | bewortelbare diepte 100cm | 100 | | Chrysenten | | | | | | | | | | | | |
| vlakcode | pMn85C | VIIo | GHG | | 85 | GLG | 130 | Gemiddelde GHG en GLG: | 108 | | | | | | | | | | | |
| horizont | diepte | grens | grens | kleur | humus | lutum | silt | kalk | rijping | geologische code | vlekken | vochtigheids-toestand | structuur | structuur | structuur | zichtbare porien | dichtheid geschat (g/cm3) | wortels | opmerkingen | |
| | | duidelijkheid | vorm | | geschat | geschat | | | | | roest | | type | grootte | graad | | | | | |
| 1Ap1 | 0-35 | s | | 1 zwart/grijsbruin | | 10 | 20 | 50 | 2 | 5 | 693 | v | ab | | 1 s | | 2 | 1.3 | wortels | heterogeen, moerige resten, kalk van bemesting, rulle grond, kleibrokken |
| 1C1g | 35-60 | g | | 1 zwart/grijsbruin | | 0.5 | 18 | 50 | 1 | 5 | 212 | h | v | sb | | 2 s | | 1 | 1.5 | g |
| 1Cg2 | 60-100 | g | | 1 bruingrijs | | | 10 | 35 | 1 | 5 | 212 | h | v | sp | | 0 | 0 | 3 | 1.4 | g |
| 1Cg3 | 100-120 | | | 1 bruingrijs | | | 7 | 30 | 3 | 5 | 212 | h | v | sp | | 0 | 0 | 3 | 1.4 | g |
| Beschrijving afopend bodemprofiel met humeuze bovengrond (restveen), kalkloos tot 100 cm enkele foto's van bodemprofiel. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Het onderste deel van de bouwvoor en het begin van de ondergrond is wat verdicht. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Op 40 m afstand een boring gedaan (wpt293: (-95012/447657) de 1Cg1 is daar dikker tot 70 cm en veel stugger (slechter structuur, scherpblokkig, fossiele wortelresten en iets zwaarder): gevraagd om extra ringen van te nemen. De lysimeter zit zo'n 80 meter van beide plekken vandaan. Evt zal een later boring meer uitsluitsel geven over wat er echt in de lysimeter zit. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Profielkuil | datum | 9-2-2011 | x | y | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Profielbeschrijving | | | | 95169 | 447702 | | | Landgebruik: | kascomplex | | | | | | | | | | | |
| standaardpunter | M4p235c | Vlo | | | bewortelbare diepte 100cm | 50 | | Chrysenten | | | | | | | | | | | | |
| vlakcode | pMn85C | Vlo | GHG | | 70 | GLG | 140 | | | | | | | | | | | | | |
| horizont | diepte | grens | grens | kleur | humus | lutum | silt | kalk | rijping | geologische code | vlekken | vochtigheids-toestand | structuur | structuur | structuur | zichtbare porien | dichtheid geschat (g/cm3) | wortels | opmerkingen | |
| | | duidelijkheid | vorm | | geschat | geschat | | | | | roest | | type | grootte | graad | | | | | |
| 1Ap1 | 0-38 | s | | 1 zwart | | 12 | 23 | 50 | 2 | 5 | 693 | v | ab | | 1 s | | 3 | 1.3 | v | heterogeen, rulle grond, kleibrokken |
| 1C1g | 38-50 | s | | 1 grijsbruin | | | 20 | 50 | 1 | 5 | 212 | h | d | sb | | 2 s | | 2 | 1.5 | g |
| 1Cg2 | 50-75 | s | | 1 grijs | | | 3 | 23 | 1 | 5 | 212 | h | d | sb | | 3 s | | 1 | 1.6 | g |
| 1Cg3 | 75-120 | | | 1 bruingrijs | | | 10 | 35 | 3 | 5 | 212 | h | v | sg | | 2 | 0 | 2 | 1.4 | g |
| De bovenstaande profielbeschrijving is op 5 m van de lysimeterkuil genomen (aan de westkant) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Aad de Winkel van PPO het foto's gemaakt van de profielbeschrijving. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Draindiepte van retourdrain watersysteem kas op 80 cm, daaronder (>100cm diep) bevindt zich nog een drainsysteem voor ontwatering (niet gezien). | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| De laag 50-75 cm is in de helft van de lysimeterkuil (westkant) sterk verdicht, massief, geen wortels en blauwgrijs gekleurd (stinkt). De oostkant is vrij egaal bruin, goed poreus en wat beworteld. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |



Proefiel opbouw bedrijf A.

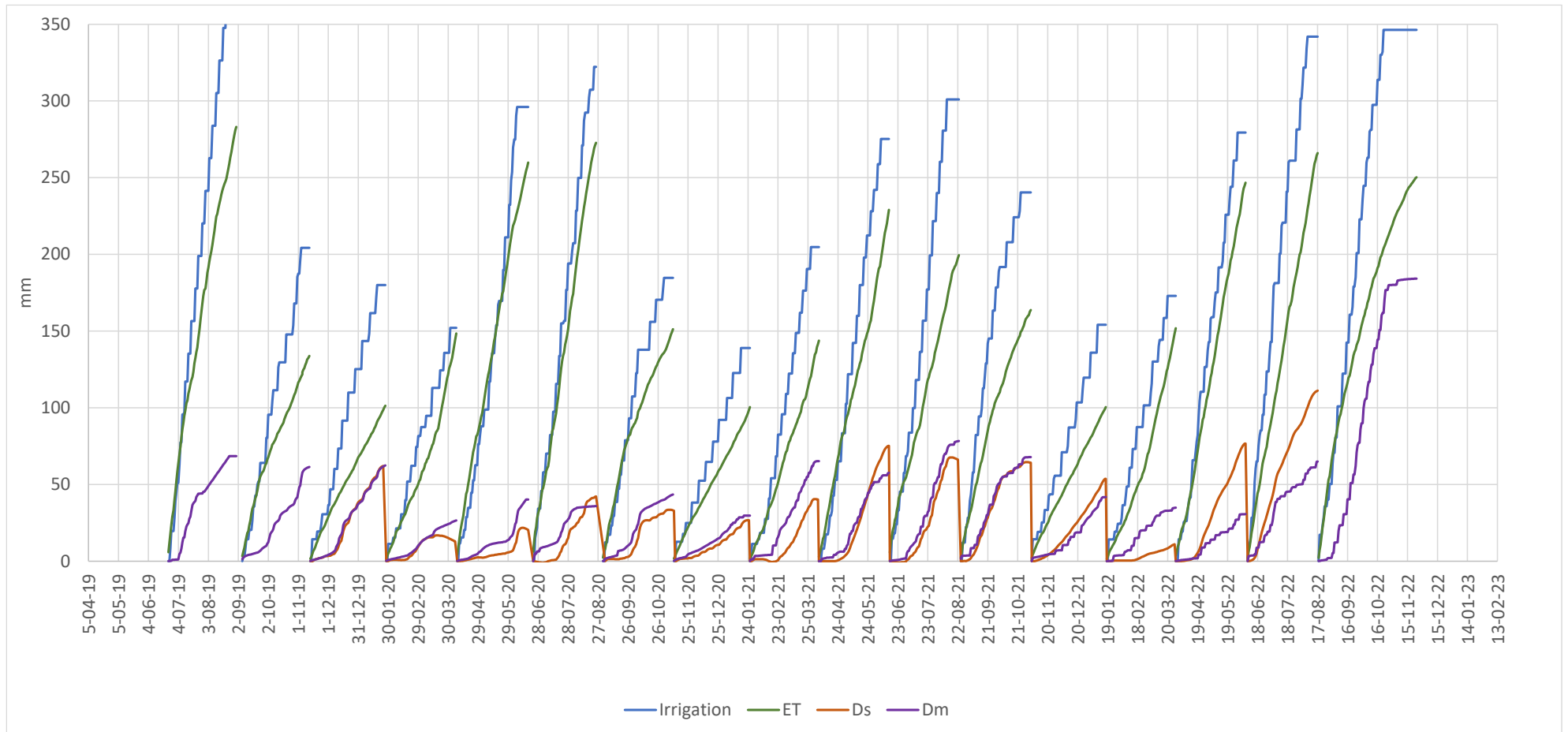
Bijlage 2 Bodemgegevens bedrijf B

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|--|---------------|--------------|------------------|--------------|---------------------|------------------------|-------------|--------------|--------------------------|----------------|-----------------------------|----------------|------------------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------------|------------------|----------------|--------------------------------------|--|
| Profielkuil | datum | 19-11-2010 | | x | y | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Profielbeschrijving | | | | 211258 | 381320 | | | | Landgebruik: | TG (tuinland onder glas) | | | | | | | | | | | | |
| standaardpunten | 4r423 | VI | | | | bewortelbare diepte | 150 | | | | | | | | | | | | | | | |
| vakkcode | bEZ30 | VI | GHG | >150 | GLG | >150 | Gemiddelde GHG en GLG: | >150 | | | | | | | | | | | | | | |
| horizont | horizontdiepte | grens | grens | kleur | humus | lutum | leem | silt | M50 | kalk | rijping | geologische formatie | vlekken | vochtigheids-toestand | structuur | structuur | structuur | zichtbare porien | dichtheid | wortels | opmerkingen | |
| | cm | duidelijkheid | vorm | | geschat | geschat | | | | | | | roest | | type | grootte | graad | | geschat (g/cm3) | | | |
| 1Aap1 | 0-15 | v | | zwart/grijsbruin | 8 | 6 | 30 | 35 | 180 | 1 | 5 | 693 | 0 d | | ab | | 1 m | 3 | 1.4 v | | heterogeen, potgrond bijmenging | |
| 1Aap2 | 15-30 | v | | donkerbruin | 5 | 6 | 30 | 35 | 180 | 1 | 5 | 331 | 0 d | | ab | | 1 m | 3 | 1.5 m | | homogeen, kleine afgeronde elementen | |
| 1Aa | 30-100 | s | | donkerbruin | 3 | 6 | 30 | 35 | 180 | 1 | 5 | 331 | 0 d | | ab | | 1 m | 3 | 1.5 m | | homogeen, kleine afgeronde elementen | |
| 1Cg2 | 100-150 | | | lichtgeel | | 8 | 40 | 45 | 165 | 1 | 5 | 331 | 0 v | | gr | | | | 1.4 m | | | |
| Beschrijving | beworteling zichtbaar tot 130 cm, gedraineerd op 80cm grofheid zand moeilijk te schatten, volgens bodemkaart 1: 50 000 grof zand, profielbeschrijving vlakbij: pfb_id 305 (zie kaart) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Bodemprofiel (0-50 cm -mv) bodemfysische karakterisering bij bedrijf B.

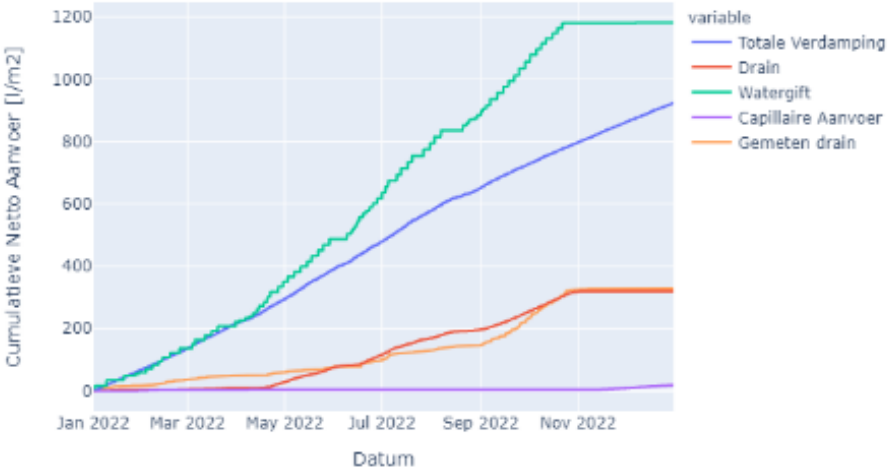
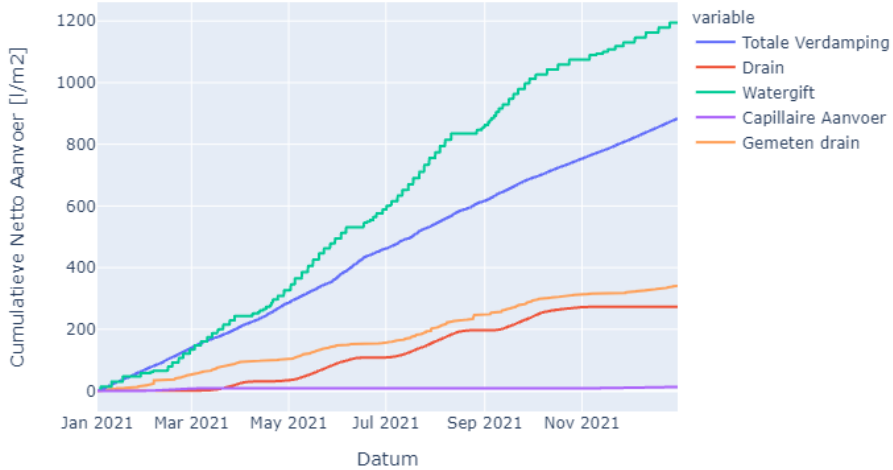


Bijlage 3a Alle teelten Chryasant

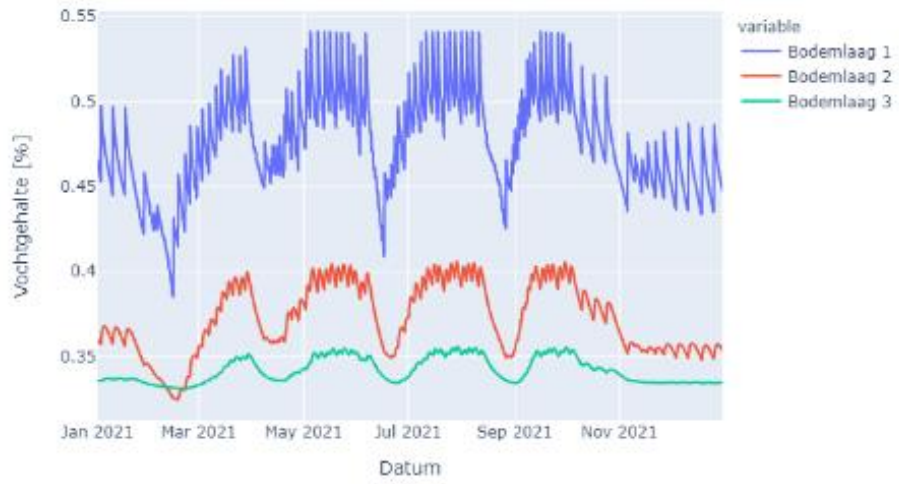


Verloop van de cumulatieven van gift, verdamping, gesimuleerde drain (D_s) en gemeten drain (D_m) van alle 17 gevolgde teelten.

Bijlage 3b resultaten chrysant teeltjaren 2021 en 2022



Resultaten cumulatieve waterbalans over teeltjaar 2021 en 2022 (t/m nov 2022).



Resultaten berekende vochtgehalten over teeltjaar 2021 en 2022 (t/m nov 2022).

Bijlage 4 IJking watergift lysimeter juni – nov 2021 (bedrijf B)

Een vergelijking is gemaakt van de registratie watergift door de computer, litertellers op de regenleiding en de fysiek opgevangen gift in de lysimeter. De configuratie van de regenleiding doppen en de lysimeter is weergegeven in Figuur 2.1.

Litertellers waren geplaatst op de regenleiding, voor- en achterzijde. Gedurende een halfjaar zijn de litertellers afgelezen en zijn de data vergeleken met de registratie van de computer. Het blijkt dat de klimaatcomputer gemiddeld 14% meer water lijkt te registreren dan de litertellers (Tabel 1).

Parallel hieraan is een meting gedaan met de afname van de watervoorraad uit de opslagkelder. Op 5/7 is ongeveer 190000 liter gegeven en registratie via de computer kwam op 177600 liter, dit is 6.5% minder dan de gemeten/geschatte hoeveelheid. Echter dit is een vrije ruwe schatting, omdat het netto oppervlak c.q. inhoud van de kelder is niet geheel nauwkeurig bepaald kon worden.

Tabel 1 gegevens van de registratie van litertellers en van de watergift data van het kraanvak uit de klimaatcomputer over de periode juni – einde teelt.

| | Litertellers | | | | | | | | volgens computer | | | |
|-----------|--------------|--------|--------|--------|----------------|--------|------|----------|------------------|------|------|-----|
| | Standen | | debiet | | totaal vak | | | | begin | eind | | |
| | voor | achter | voor | achter | m3/ leiding | m3/vak | l/m2 | l/m2/dag | | l/m2 | meer | |
| | m3 | m3 | m3 | m3 | | | | | | | | |
| 23-jun | 227.5 | 48.3 | | | | | | | 443 | | | |
| 07-sep | 241.4 | 65.7 | 13.9 | 17.4 | 31.3 | 187.8 | 213 | 2.80 | 689 | 246 | 3.24 | 16% |
| 16-sep | 242.9 | 67.6 | 1.5 | 1.9 | 3.4 | 20.4 | 23 | 2.57 | 715 | 26 | 2.89 | 13% |
| 27-sep | 244.3 | 69.4 | 1.4 | 1.8 | 3.2 | 19.2 | 22 | 1.98 | 739 | 24 | 2.18 | 10% |
| 12-okt | 245.3 | 70.6 | 1.1 | 1.3 | 2.4 | 14.2 | 16 | 1.07 | 757 | 18 | 1.20 | 12% |
| 19-11-21 | 246.7 | 72.6 | 1.6 | 2.0 | 3.6 | 21.4 | 24 | 0.64 | 783 | 25.9 | 0.68 | 7% |
| Gemiddeld | | | 19.5 | 24.4 | 43.8 | 263.0 | 298 | 2.00 | | 340 | 2.28 | 14% |

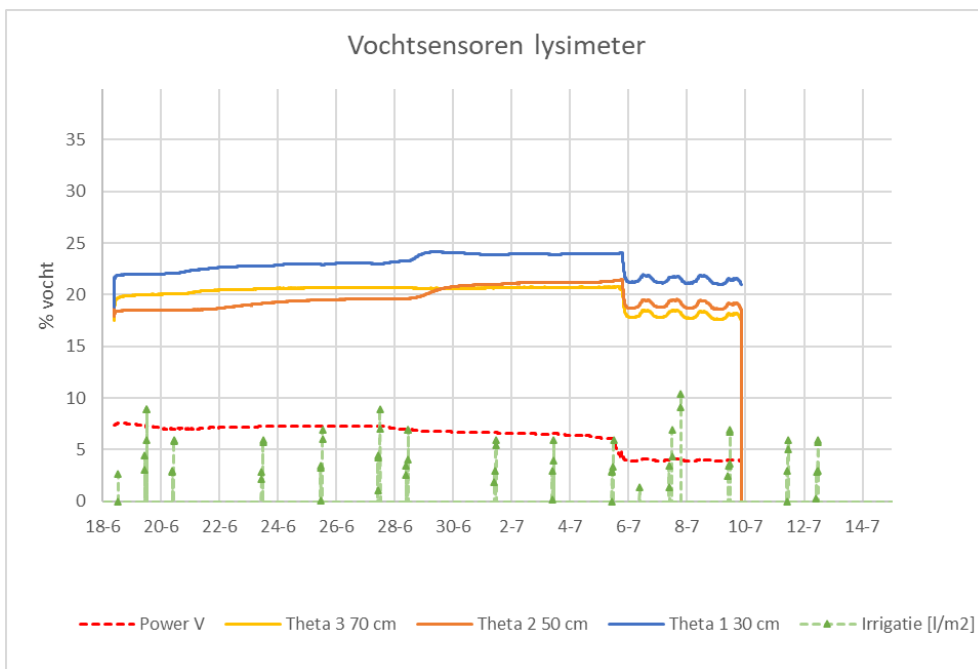
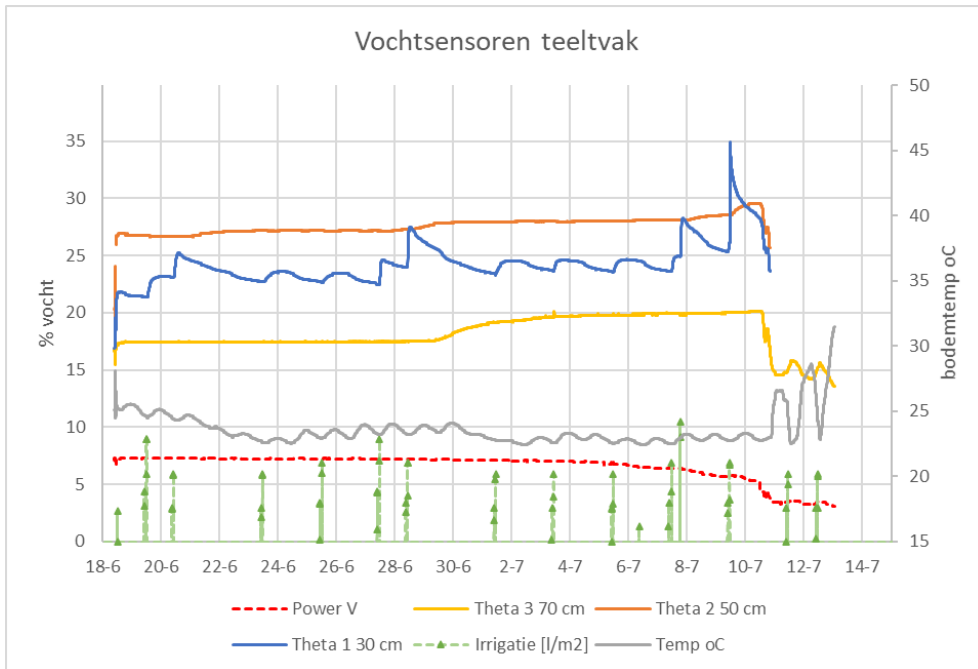
Vochtsensoren

Gedurende een periode is met vochtsensoren gemeten. Helaas maar een beperkte periode vanwege een technisch mankement aan de sensoren. Uit onderstaande figuur is echter wel iets te concluderen: De watergiften zijn duidelijk herkenbaar in de bovenste sensor, zeker als er op korte termijn achter elkaar water wordt gegeven (zoals 19/6-20/6 en 27-28/6).

De tweede sensor laat geen pieken meer zien, soms wat stijging, zoals na de opeenvolgende beurten op 19-20/6 en heel duidelijk 27-28/6. Die trend is ook te zien in de diepste sensor. Kortom er lijkt wel watertransport naar onderen te zijn. Helaas is na 11/7 er geen betrouwbare data meer, de spanning van de batterij valt dan snel weg. Wel lijkt de gift van 9/7 een verder piekje te geven in de tweede laag, maar helaas zakt het signaal van de derde sensor dan al weg.

Van de lysimeter is de dataset helaas nog beperkter. Vreemd genoeg zien we daar nauwelijks de watergiften terug, maar wel lijkt het vochtgehalte in de eerste en tweede laag geleidelijk wat te stijgen.

Na 6/7 geen betrouwbare data meer.



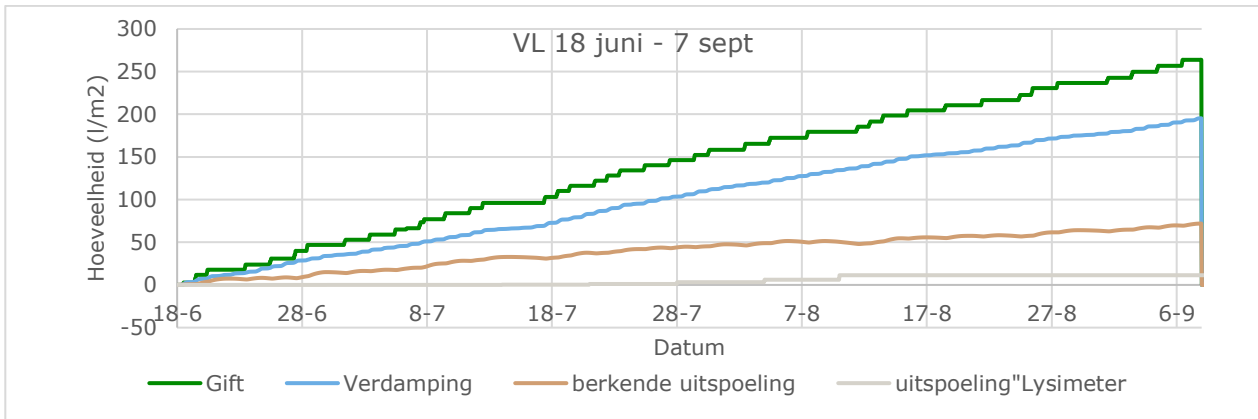
Grondboringen

Met een edelman boor is een handmatige opname gemaakt van het vochtprofiel. De vochtgehalten in het teeltvak en in de eerste lysimeter komen met elkaar overeen. De grond was bovenin (30 cm) normaal vochtig en onderin (70 cm) wat natter. Echter in de 2e lysimeter was de bovenin tamelijk droog en onderin kurkdroog.

In de 1e lysimeter-bak staan 5 planten, terwijl de 2e lysimeter bak er 6 heeft. Ook is te zien dat de sproeidop van de leiding onder de goot wat hinder ondervindt van de drainkoker, waardoor er een sector van de sproeidop niet ver genoeg komt.

Virtuele lysimeter

1. Over de periode 18/5 – 7 sept is er een gift van ruim 260 mm en verdamping van bijna 200 mm. Dit levert een berekende uitspoeling van ruim 60 mm. Echter de lysimeter is nauwelijks een paar mm.



Discussie

Het lijkt erop dat de flowmeter van de computer een redelijk beeld geeft van de realiteit, maar mogelijk wat naar boven afwijkt. De werkelijke watergift is daardoor mogelijk wat lager dan de computer aangeeft. Maar inden we aannemen dat de literteller 16% te veel aangeeft, komt de werkelijke gift uit op 218 mm. Er is dan nog steeds een overschot, maar dan nu nog maar ca. 20 mm. We gaan er hierbij vanuit dat de berekende verdamping klopt. We hebben nog steeds geen redenen om aan te nemen dat het niet klopt. Maar zullen dit proberen nog te verifiëren. Kortom er zou wel degelijk wat uitspoeling plaatsvinden. De mogelijke uitspoeling zou wel overeenkomen met de beperkte metingen van de vochtsensoren in het teeltvak. Waarom er dan zo weinig uitspoeling is uit de lysimeter ?

Uit de waarneming van de zeer droge ondergrond in de achterste bak is op te maken dat er daar sowieso geen uitspoeling plaatsvindt. Dit komt door de 6 planten in de achterste bak, wat er eigenlijk één te veel is.

De voorste bak met 5 planten, voelt wel vochtig onderin, maar het is niet na te gaan of er uitspoeling zou hebben kunnen plaatsvinden. Er kan geen sprake zijn van uitwisseling tussen de ene en andere bak, omdat de "drain" via grove kleikorrels naar het reservoir loopt, er is dus geen capillair contact tussen de vochtige voorste en de droge achterste bak. Beide bakken zijn elke 1.6*1.20 = 1.9 m². Uitgaande van een plantafstand van 0.45 * 0.8 staan er 2.8 paprika/m². Dus per bak horen er 5.3 pl. te staan. De voorste bak heeft er net iets te weinig, de achterste net een teveel.

Einde van de teelt is een test gedaan, waarbij fysiek de neerslag per bak is gemeten. Hiertoe werd een zeil gespannen over beide bakken en is van een aantal gietbeurten de neerslag opgevangen.

| opp. Lysimeter | breed | lang | m2 |
|----------------|---------------|-------------|---------------|
| | 1.64 | 1.22 | 1.99 |
| Fysieke opvang | | | |
| bak vooraan | bak achteraan | bak vooraan | bak achteraan |
| ml | ml | L/m2 | L/m2 |
| 4040 | 3460 | 2.0275 | 1.7364 |
| gietbeurt | | | |
| | literteller | computer | |
| | l/m | l/m2 | |
| Beurt 1 | 0.8 | 2.2 | |

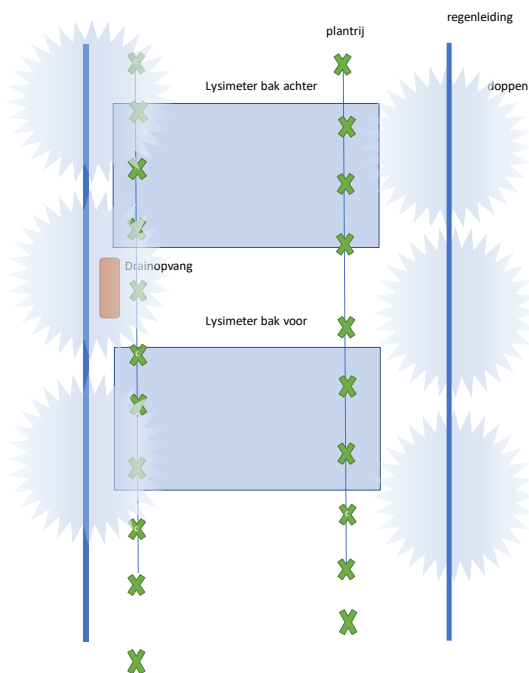


Het resultaat is dat er in de achterste bak 15% minder is ontvangen dan in de voorste bak. De grootte van de gietbeurt die bepaald is via de literteller is aardig in lijn met de fysiek opgevangen hoeveelheid. Dat er minder water in de achterste bak terecht komt zal te maken hebben met dat de plaatsing van de doppen niet symmetrisch is en de 'schaduw' van de drinkoker.

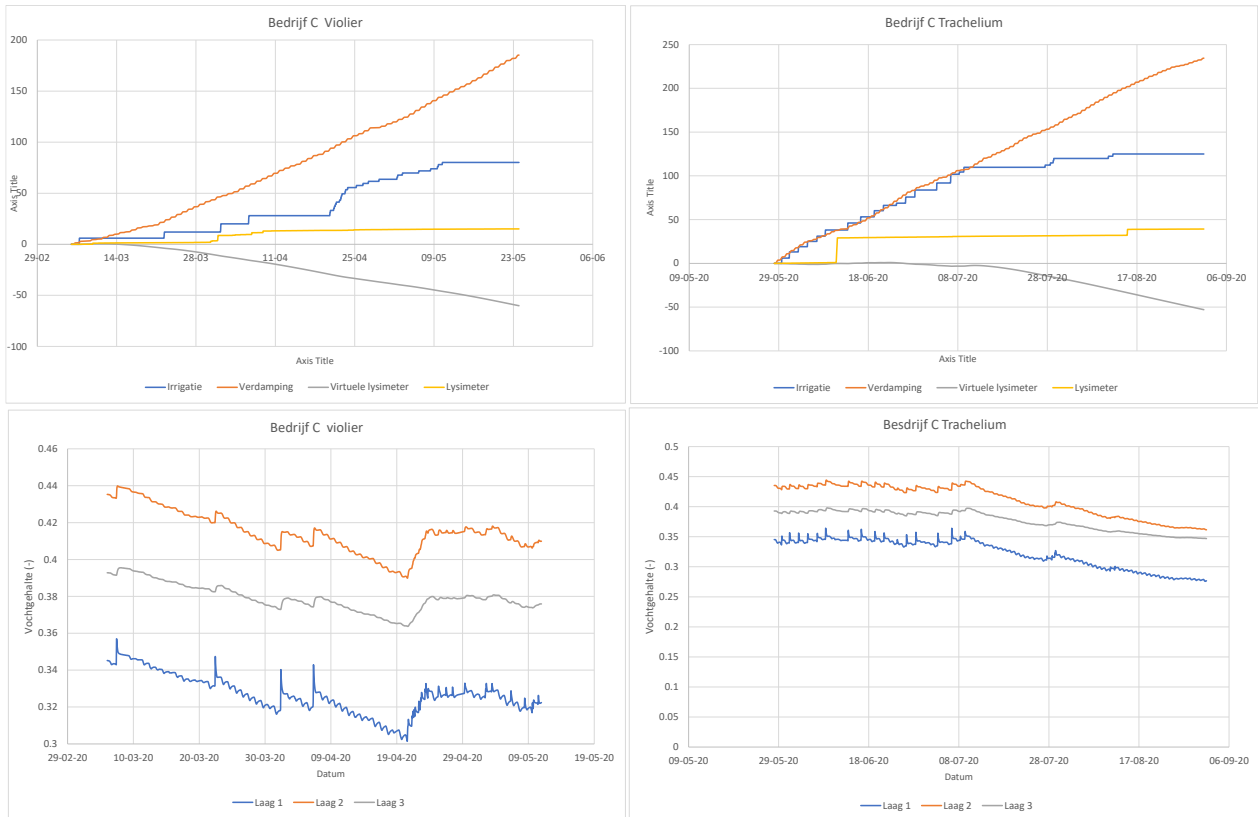
De vergelijking met de computer afgifte mist elke vergelijking, door veel spuitende doppen is de afgifte via de computer veel hoger want veel water ging verloren op bepaalde plekken, de litertellers waren niet representatief.

Conclusie

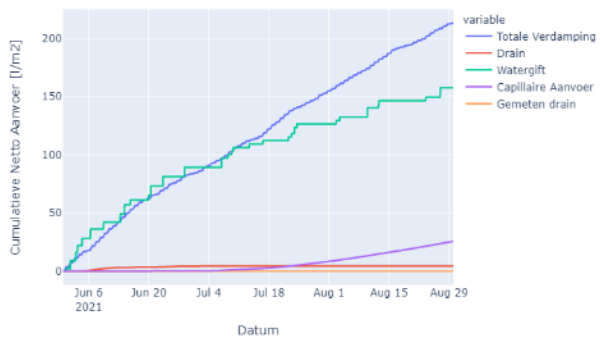
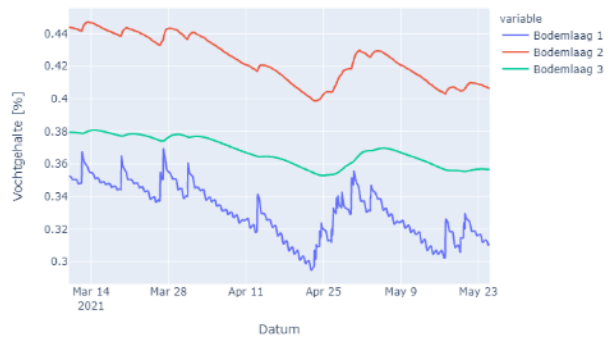
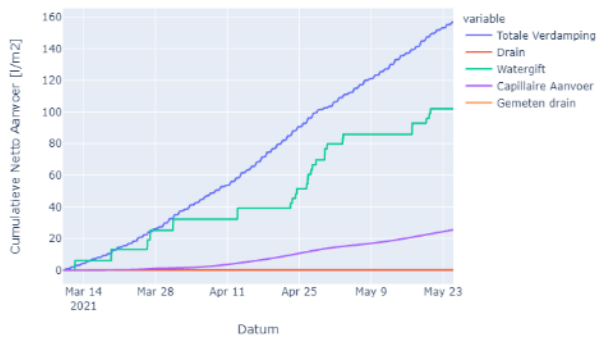
- De literteller op de computer geeft mogelijk een overschatting van de gift.
- De regenleiding bij de lysimeter lijkt onvoldoende of ongelijkmatige neerslag te genereren. Er is echter nog steeds ook een beregeningsoverschot.
- De zeer droge achterste lysimeter geeft aan dat er al lange tijd meer verdampt is dan aangevoerd, dit komt door de extra plant, of door de slechte waterverdeling, of door een combinatie daarvan.
- Dit zou kunnen worden opgemaakt uit de vochtsensoren, terwijl ook de boringen dit aangeven.
- Kortom, de drainmeting bij de paprikateelt is een onderschatting van de werkelijkheid.



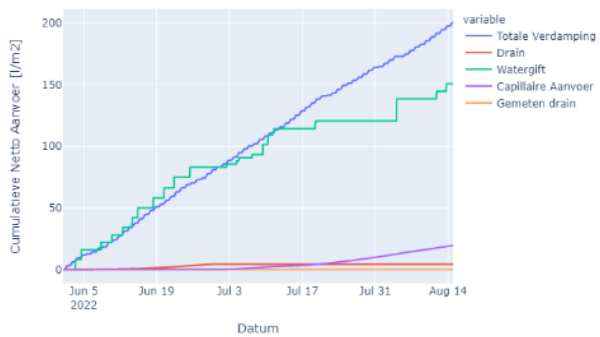
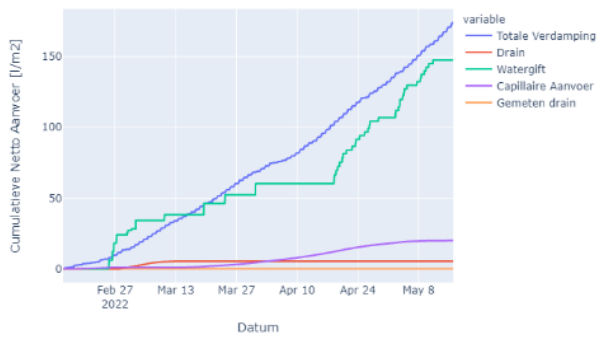
Bijlage 5 Resultaten bedrijf C



Resultaten gift, verdamping en uitspoeling berekend (VL) en gemeten uitspoeling (FL) (grafieken boven) en de berekende vochtgehalten (grafieken onder) van bedrijf C 2020, achtereenvolgens Violier en Trachelium, output afkomstig van de eerste versie van de VL.

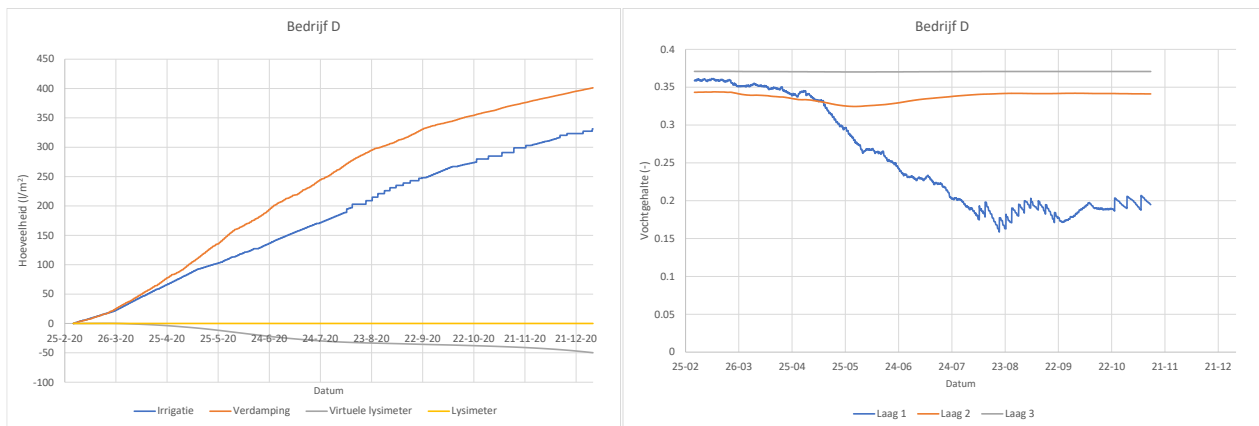


Resultaten bedrijf C, 2021. *Violierenteelt* (boven) en *Tracheliumteelt* (onder), output afkomst van de online versie VL.

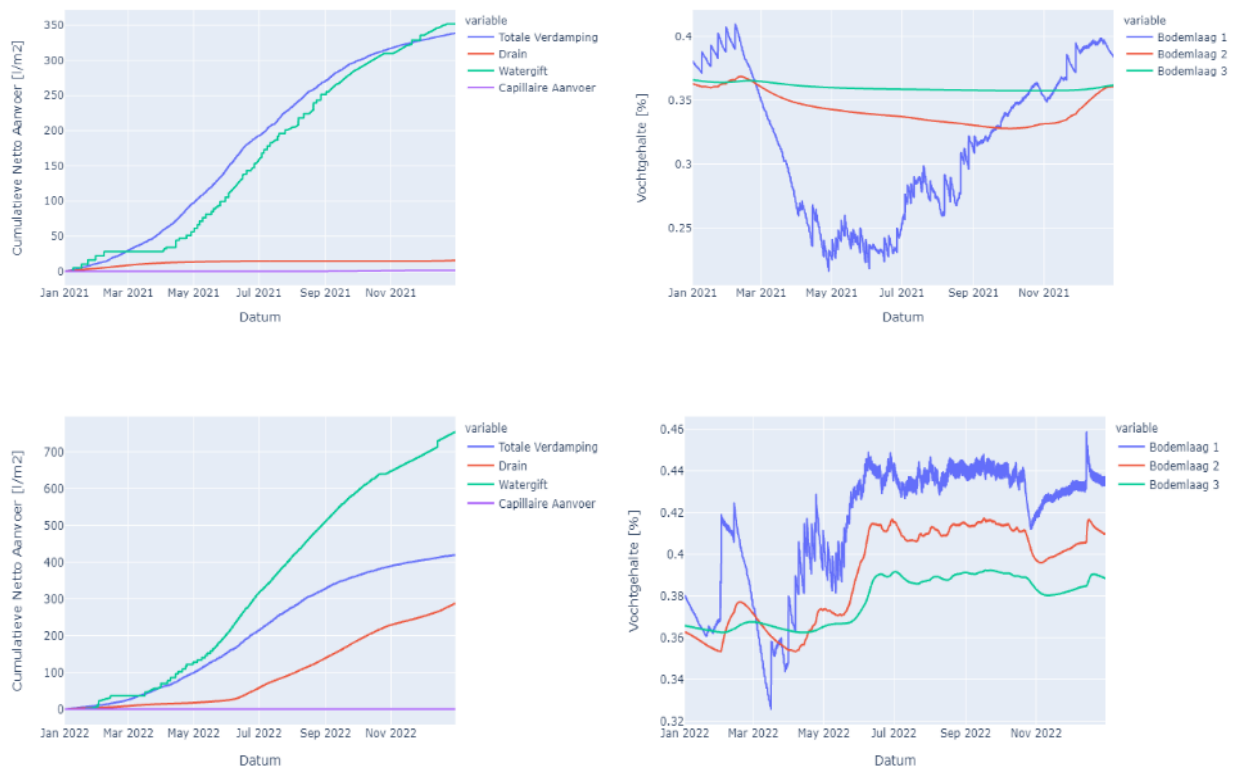


Resultaten bedrijf C, 2022. *Volierenteelt* (bovenste) en *Tracheliumteelt* (onder), output afkomstig van de online versie VL.

Bijlage 6 Resultaten bedrijf D



Resultaten *Alstroemeria* (bedrijf D) in 2020 gift, verdamping en uitspoeling berekend (VL) en gemeten uitspoeling (FL) (grafieken boven) en de berekende vochtgehalten (grafieken onder), output afkomstig van de eerste versie van de VL.



Resultaten *Alstroemeria* (bedrijf D) in 2021 (boven) en 2022 (onder) gift, verdamping en uitspoeling berekend (VL) en gemeten uitspoeling (FL) (grafieken boven) en de berekende vochtgehalten (grafieken onder), output afkomstig van de online versie VL.

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen University & Research,
BU Glastuinbouw
Postbus 20
2665 ZG Bleiswijk
Violierenweg 1
2665 MV Bleiswijk
T +31 (0)317 48 56 06
www.wur.nl/glastuinbouw

Rapport WPR-1224

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.600 medewerkers (6.700 fte) en 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.