

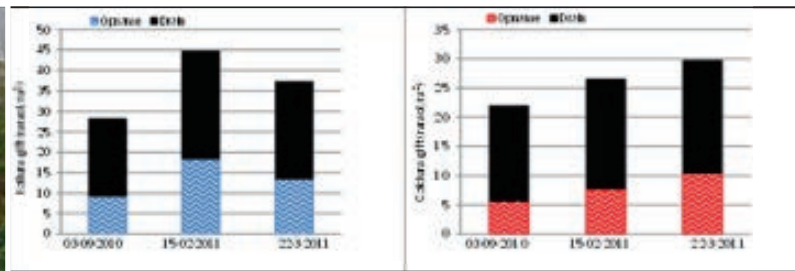


Optimalisatie bemesting

Een blauwdruk voor optimaal hergebruik van drainwater getoetst op vijf bedrijven

Patricia de Boer-Tersteege, Aat van Winkel, Johan Steenhuizen,

Marleen IJdo, Barbara Eveleens en Chris Blok



Referaat

Om de uitstoot van drainwater naar het milieu te beperken is het nodig de samenstelling van de gift nauwkeuriger af te stemmen op de behoefte van het gewas. Op 5 bedrijven is gekeken naar de water- en voedingshuishouding. Op basis van bestaande gegevens is per dag berekend wat het verschil is tussen gift en drain uitgedrukt in $l.m^{-2}$ (voor water) en in $mmol.m^{-2}$ (voor de afzonderlijke voedingselementen). Voordelen van $mmol.m^{-2}$ in plaats van EC zijn: a) de plantopname wordt zichtbaar, b) er kan per element gewerkt worden en c) de ondergrondse processen kunnen aan bovengrondse groei gekoppeld worden. Vervolgens is uit te rekenen hoeveel water en welke voeding de gift moet bevatten dus hoeveel de unit moet aanvullen aan het retour gekomen drainwater. Mits problemen met natrium en groeiremmers onder controle zijn, is het zo voor bijna alle teelten mogelijk zonder spui te recirculeren omdat grote verstoringen van de verhoudingen tussen voedingselementen worden voorkomen. Om deze regeling toe te passen zijn geen nieuwe metingen nodig. Wel wordt aanbevolen analyses frequenter uit te voeren. Ion-specifieke metingen zijn een aanvulling, maar zijn niet essentieel. Het voedingsverbruik in $mmol.m^{-2}$ kan worden uitgezet tegen de stralingsgegevens.

Abstract

To reduce the emission of drainage water into the environment it is necessary to matching the nutrient solution composition better to the crop requirements. Data from 5 commercial cucumber and tomato nurseries was used to calculate the daily water ($l.m^{-2}$) and nutrient uptake ($mmol.m^{-2}$) by the crop. Advantages of expressing the nutrient uptake in $mmol.m^{-2}$ as opposed to EC are: a) actual plant uptake is shown b) the individual element uptake can be calculated c) the processes in the root system can be linked to the growth above ground. Using this uptake data both the required amount of water and nutrients in the next irrigation cycle can be calculated and also how much additional nutrients should be added to the drainage water to reach the required concentration. Apart from accumulation of sodium and growth retardants it is possible for almost any crop to use this method to recirculate without discharge as no large fluctuations in the ratios of the elements will occur. This method requires no new measurements. It is recommended to analyse more frequently. Ion specific meters can improve the data supply but are not essential for this method. Data on plant nutrient uptake in $mmol.m^{-2}$ can be plotted against radiation data.

© 2012 Wageningen, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO) onderzoeksinstituut Wageningen UR Glastuinbouw.

Wageningen UR Glastuinbouw

Adres : Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk
: Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk
Tel. : 0317 - 48 56 06
Fax : 010 - 522 51 93
E-mail : glastuinbouw@wur.nl
Internet : www.glastuinbouw.wur.nl

Inhoudsopgave

	Voorwoord	5
	Samenvatting	7
1	Inleiding	11
	1.1 Achtergrond	11
	1.2 Doel	11
	1.3 Aanpak	12
2	Opzet	13
	2.1 Overzicht deelnemende bedrijven	13
	2.2 Bedrijfssituatie water- en voedingsstromen	13
	2.3 Waarnemingen per bedrijf	15
3	Bedrijfsvoordelen aangepaste regeling	17
4	Resultaten	19
	4.1 De Analyse	19
	4.1.1 Relatie tussen opname en stralingssom	20
	4.2 Detailmetingen op een rozenbedrijf	20
	4.2.1 Waterstromen	20
	4.2.2 Voedingsstromen	21
	4.3 Water- en voedingsstromen tijdens een cherrytomatenteelt	22
	4.3.1 Waterstromen	22
	4.3.2 Voedingsstromen	23
	4.3.3 Relatie tussen stralingssom en water- en voedingsopname	24
	4.4 Water- en voedingsstromen tijdens een komkommerteelt	26
	4.4.1 Waterstromen	26
	4.4.2 Voedingsstromen	26
	4.4.3 Relatie tussen stralingssom en voedingsopname	28
	4.5 Water- en voedingsstromen tijdens een tomatenteelt	29
	4.5.1 Waterstromen	29
	4.5.2 Voedingsstromen	29
	4.5.3 Relatie tussen stralingssom en water- en voedingsopname	31
	4.6 Continue metingen tijdens een herfstteelt tomaat	34
	4.6.1 Waterstromen	34
	4.6.2 Voedingsstromen	34
	4.7 Overzicht water- en voedingsopname per bedrijf	36

5	Discussie	37
	5.1 In kaart brengen water- en nutriënten stromen	37
	5.2 De analysemethode	37
	5.3 Waterstromen	38
	5.4 Voedingsstromen	38
	5.5 Relatie tussen stralingssom en voedingsopname	40
	5.6 Mogelijke vervolgstappen	40
	5.7 Toegevoegde waarde van gebruik van ion-specifieke meters	41
	5.8 Conclusie en aanbevelingen	41
6	Literatuur	43
Bijlage I	Analysemethode	45
Bijlage II	Vergelijk met bemestingsrichtlijn	47
Bijlage III	Voorbeeld van verloop gift en opname op het cherrytomatenbedrijf	49
Bijlage IV	Blauwdruk	51
Bijlage V	Bedrijf en blauwdruk	53

Voorwoord

Het onderzoek beschreven in dit verslag is onderdeel van het drie jarige project Glastuinbouw Waterproof - Substraten (Beerling, 2010; Klap & Beerling, 2010). De algehele projectleiding lag bij Joke Klap (PT) en Ellen Beerling (WUR). Zij maakten daarbij gebruik van een kernteam met specialisten van WUR, TNO en LTO. De vele projectpartners en de financiers kwamen bijeen in half jaarlijkse klankbord bijeenkomsten. Het project was opgedeeld in zeven werkpakketten met elk een eigen technisch leider met team. Er waren drie Begeleidings Commissies Onderzoek (BCO) aangesteld voor verschillende combinaties van werkpakketten. Het in dit rapport beschreven onderzoek valt onder werkpakket 4. Werkpakket 4 werd geleid door Chris Blok. Doel van dit werkpakket is de regeling van de toediening van meststoffen te optimaliseren, in combinatie met maximaal drainwaterhergebruik.

Voor de totstandkoming van dit onderzoek waren we afhankelijk van door de telers geleverde informatie over de water- en voedingsgift op hun bedrijf. Bij deze willen we de betrokken medewerkers van Meewisse Roses, T.&T. van Leeuwen, Van Nunhems Netherlands BV, E. Van der Berg en het Improvement Centre bedanken voor hun medewerking.



De partners in het project Glastuinbouw Waterproof Substraat hebben in de periode mei 2010 - oktober 2012 oplossingen (door)ontwikkeld voor het voorkomen van emissies van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen naar het oppervlaktewater of riool. Dit heeft zijn beslag gekregen in 6 werkpakketten rond de thema's: maximaliseren van het hergebruik door opheffen van groeieremming (WP 1 en 2) en de optimalisatie van bemesting (WP 3 en 4), het zuiveren en valoriseren van het restant te lozen water (WP 5 en 6). Communicatie van resultaten naar de sector liep als rode draad door alle werkpakketten heen.

De resultaten zijn weergegeven in de volgende rapporten:

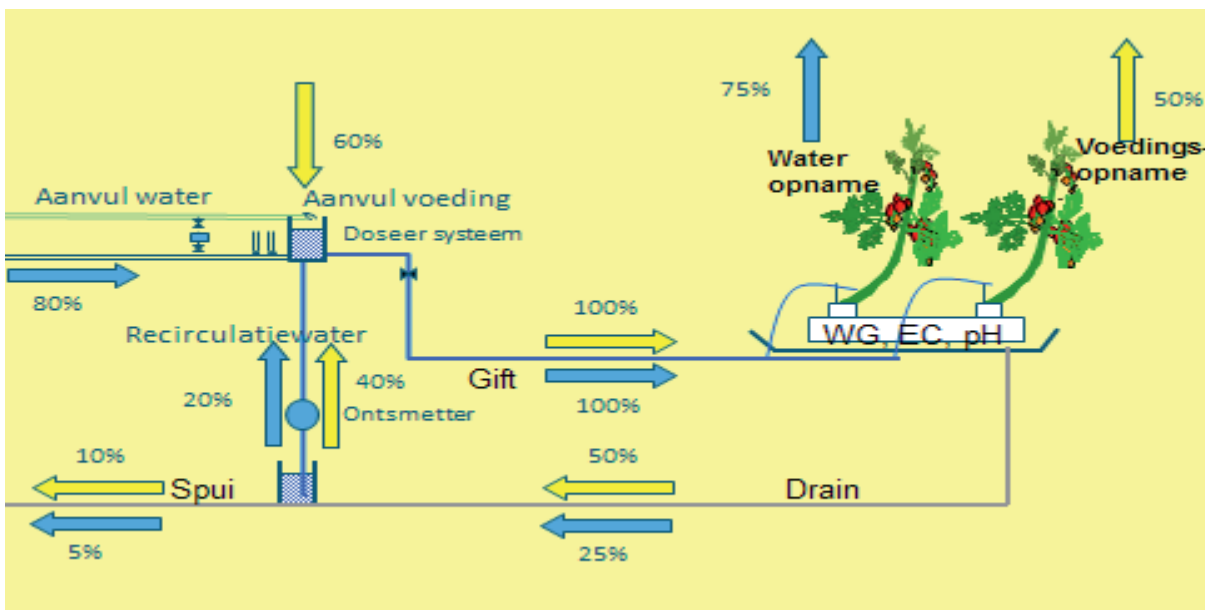
- Maas, B van der; Os, E van; Blok, C; Beerling, E & Enthoven, N (2012). Zuivering recirculatiewater in de rozenteelt, duurproef. Werkpakket 1. Wageningen UR Rapport GTB-1198
- Maas, B van der; Raaphorst, M & Beerling, E (2012). Monitoren bedrijven met toepassing van geavanceerde oxidatie als waterzuiveringsmethode. Werkpakket 1. Wageningen UR Rapport GTB-1199
- Maas, B van der; Meijer, R; Driever, S; Warmenhoven, M; Boer, P de; Blok, C; Marrewijk, I; Holtman W; Oppedijk B (2012). Opsporen en meten van groeiremming vanuit het recirculatiewater. Werkpakket 2. Wageningen UR Rapport GTB-1200
- Gieling, T; Blok, C; Maas, B van der; Os, E van & Lagas, P (2012). Literatuurstudie ion-specifieke meetmethoden. Werkpakket 3. Wageningen UR Rapport GTB-1195
- Boer-Tersteeg, P de; Winkel, A van; Steenhuizen, J; IJdo, M; Eveleens, B & Blok, C (2012). Een blauwdruk voor optimaal hergebruik van drainwater getoetst op 5 bedrijven. Werkpakket 4. Wageningen UR Rapport GTB-1196
- Jurgens, R; Appelman, W; Kuipers, N; Feenstra, L; Creusen, R; Os, E van; Bruins, M & Balendonck, J (2010). Haalbaarheidsstudie zuiveringstechnieken restant-water substraatteelt. Werkpakket 5. TNO rapport TNO-034-UT-2010-02389
- Jurgens, R; Appelman, A; Zijlstra, M; Creusen, R; Os, E. van (2012). Glastuinbouw Waterproof, substraatteelt - WP5-onderzoek fase 2 (laboratorium onderzoek). TNO Rapport
- Appelman, A; Creusen, R; Jurgens, R; Medevoort, J van; Zijlstra, M; Os, E. van (2012). Glastuinbouw Waterproof, substraatteelt - WP5-onderzoek fase 3 (pilotonderzoek membraandestillatie). TNO Rapport
- Feenstra, L; Balendonck, J & Kuipers, N (2011). Haalbaarheidsstudie valorisatie van concentraatstromen. Fase 1 - Desktop studie "Scenario's". Werkpakket 6. Wageningen UR Rapport GTB-1203
- Feenstra, L; Nijhuis, M; Bisselink, R; Kuipers, N; Jurgens, R (2012). Valorisatie van concentraatstromen. Fase 2 - Laboratoriumonderzoek. TNO-rapport | TNO-060-UT-2012-01396
- Balendonck, J; Feenstra, L.; Os, E van; Lans D van der (2012). Haalbaarheidsstudie valorisatie van concentraatstromen. Fase 2 - Desktop studie afzetmogelijkheden van concentraat als meststof voor andere teelten. Werkpakket 6. Wageningen UR Rapport GTB-1204
- Os, E van; Jurgens, R; Appelman, W; Enthoven, N; Bruins, M; Creusen, R; Feenstra, L; Santos Cardoso, D; Meeuwse, B & Beerling, E. (2012). Technische en economische mogelijkheden voor het zuiveren van spuiwater. Wageningen UR Rapport GTB-1205

Samenvatting

Het doel van dit onderzoek is het beperken van de uitstoot van overtollig drainwater naar het milieu door beter beheersen van de water- en voedingsstromen binnen het bedrijf. Een kerngedachte hierbij is dat de emissie kan verminderen door de samenstelling van de gift zo goed mogelijk aan te passen aan de behoefte van het gewas. Op vijf bedrijven is gekeken naar de water- en voedingshuishouding. Op basis van bestaande gegevens is per bedrijf en per dag berekend wat het verschil is tussen gift en drain uitgedrukt in $l.m^{-2}$ (voor water) en in $mmol.m^{-2}$ (voor de afzonderlijke voedingselementen). Hierbij is het verschil plantbehoefte genoemd hoewel daar andere verliezen bij ingesloten zijn.

Het nadeel van werken met EC is dat niet duidelijk is hoeveel voeding de plant opneemt. Juist de plantopname in $kg.m^{-2}.uur^{-1}$ of $mmol.m^{-2}.uur^{-1}$ vertelt veel over goede of afwijkende groei. Zoals: Is de aanvoer in de nacht voldoende? Hoeveel neemt de opname af bij hoge relatieve luchtvochtigheid? Hoeveel kan de EC omlaag bij hoge instraling?

Met deze gegevens is vervolgens uit te rekenen hoeveel water en welke voeding de gift moet bevatten en hoeveel de unit moet aanvullen aan het retour gekomen drainwater. Mits problemen met natrium en groeiremmers onder controle zijn, is het zo voor bijna alle teelten mogelijk zonder spui te recirculeren omdat grote verstoringen van de verhoudingen tussen voedingselementen worden voorkomen. Daardoor kan ook zonder risico met hoge recirculatiepercentages worden gewerkt en kan het drainpercentage later op de dag worden verlaagd. Spui door overloop van de drainopslag is zo te voorkomen.

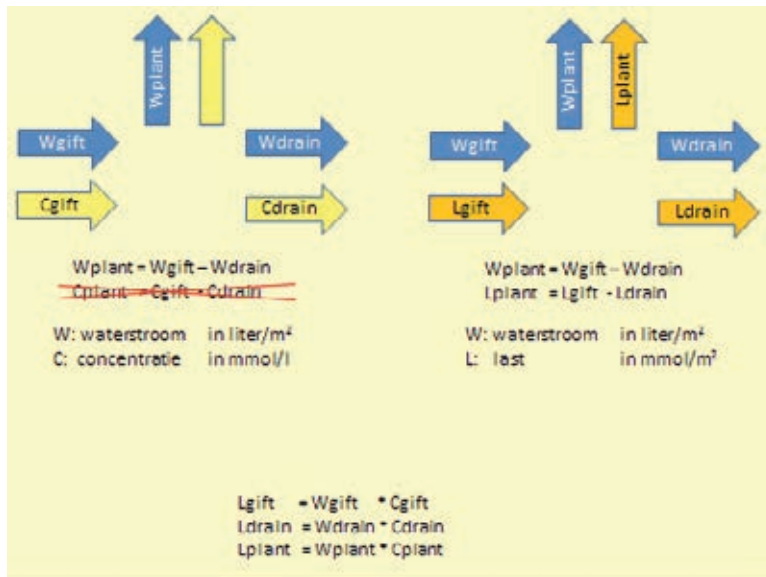


Figuur 1a. Een voorbeeld van een recirculatieschema waarin water en voeding zijn gescheiden. De blauwe pijlen geven de waterstromen aan, de gele pijlen de voedingsstromen. In de Figuur is ter illustratie aangegeven welk deel van de gifthoeveelheid (100%) het systeem kan verlaten als spui (huidige situatie) en hoeveel vervolgens moet worden aangevuld.

Figuur 1a. toont hoe deze methode onderscheid maakt in de voedings- en waterstromen. Er is te zien dat de verhouding voeding/water verandert door de plantopname. Ook door de tijd (dag, week, maand) heen kan er een sterk verloop zijn van de verhouding voeding/water. Sturen op verbruik per oppervlakte eenheid ($l.m^{-2}$ en $mmol.m^{-2}$) zegt meer dan sturen

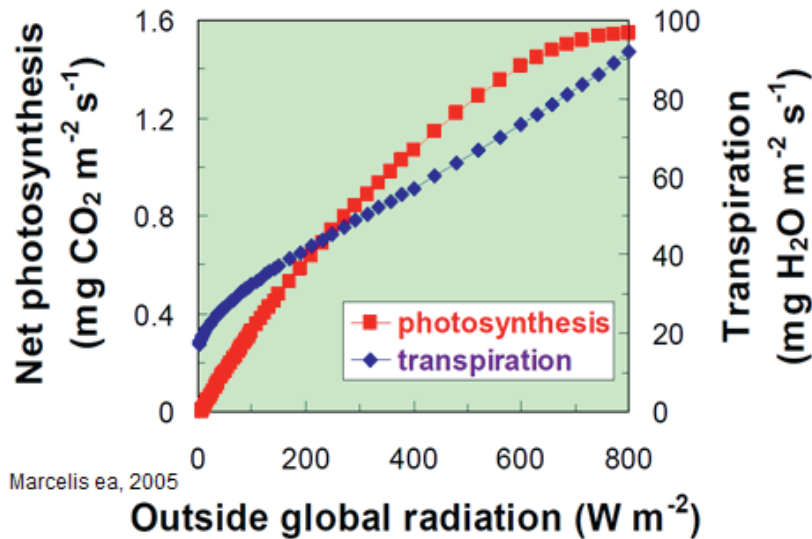
op EC (in $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ als maat voor de concentratie in $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$). Dit omdat in concentratie twee min of meer onafhankelijk veranderende grootheden zitten, mmol en l. Als de opname in $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}$ toeneemt, kun je direct een oorzaak zoeken. Als de concentratie op $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ toeneemt, is het de vraag of de hoeveelheid voeding is toegenomen of de hoeveelheid water afgenomen, of een combinatie van beiden.

In Figuur 1b. is te zien welke informatie de teler op dit moment gebruikt, de aanvoerhoeveelheid en concentratie, de drainhoeveelheid en concentratie en soms de wateropname door de plant. In Figuur 1c. is te zien hoe in dit project dezelfde informatie wordt gebruikt om te berekenen wat de absolute aanvoer/drain/opname aan voeding is in $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}$.



Figuur 1b. en 1c. Links de normale beoordeling, rechts de in dit verslag gebruikte beoordeling van voedingsopname door de plant in $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}$. Om L te berekenen geldt; $L_{\text{gift}} = W_{\text{gift}} \cdot C_{\text{gift}}$; $L_{\text{drain}} = W_{\text{drain}} \cdot C_{\text{drain}}$; $L_{\text{plant}} = L_{\text{gift}} - L_{\text{drain}}$.

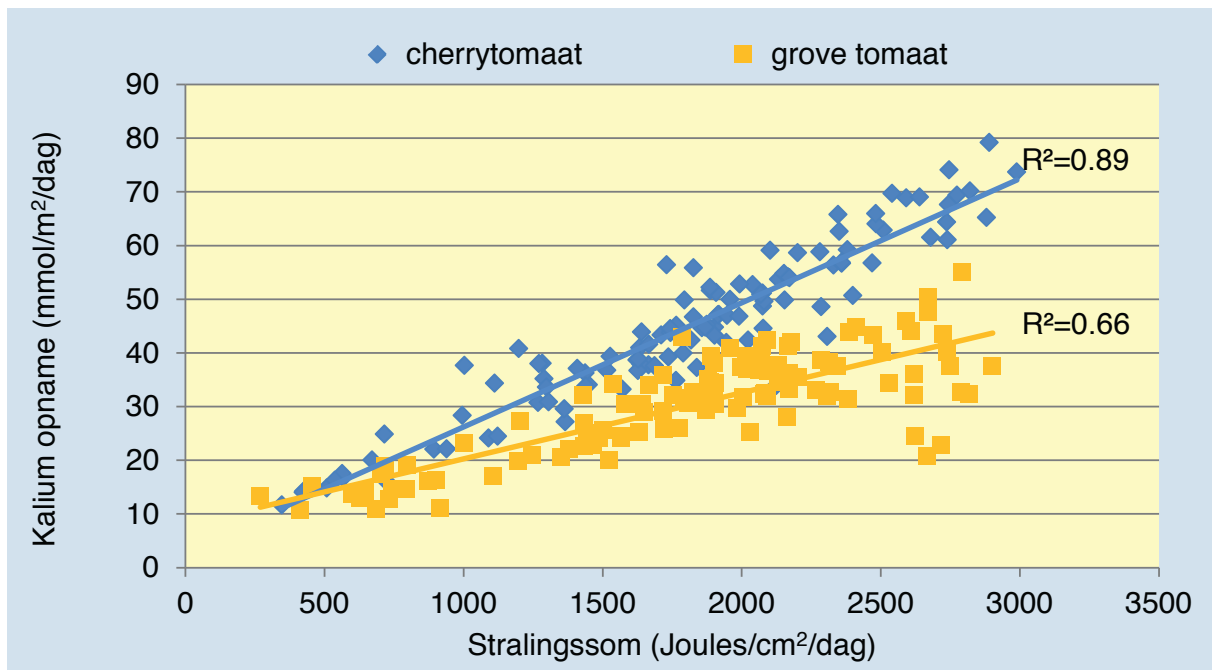
In Figuur 2. staat als verklaring dat wateropname en voedingsopname niet gelijk op lopen in een grafiek van de verdamping in $\text{l.m}^2.\text{s}^{-1}$ en de groei als fotosynthese in mg CO_2 per $\text{m}^2.\text{s}^{-1}$ bij verschillende stralingsniveaus voor Nederlands klimaat. De wateropname van de plant zal de verdamping volgen en de voedingsopname van de plant de groei gemeten als fotosynthese.



Figuur 2. Fotosynthesesnelheid en transpiratie bij verschillende stralingshoeveelheid (Marcelis ea 2003).

Om deze regeling toe te passen zijn geen nieuwe metingen nodig. Wel is het aan te bevelen voedingsanalyses frequenter uit te voeren en is een technische oplossing nodig om de voedingsunit vaker en liefst niet handmatig van nieuwe drainanalysecijfers en drainpercentages te voorzien. Ion-specifieke metingen kunnen een aanvulling betekenen op de voedingsanalyses, maar zijn niet essentieel.

De gegevens van voedingsverbruik in mmol.m^2 kunnen worden uitgezet tegen de stralingsgegevens. Hierdoor ontstaat een bedrijfsspecifiek en rasafhankelijk beeld van voedingsverbruik. Als voorbeeld is het verbruik van kalium bij verschillende gewassen uitgelicht (Figuur 3.). Per 1000 Joule was het dagelijks verbruik van -als voorbeeld- Kalium bij cherrytomaat in de zomerperiode 24 mmol.m^2 , bij komkommer en een grove tomaat zijn waarden van respectievelijk 12 en 15 mmol.m^2 gevonden en voor roos in het voorjaar 20 mmol.m^2 . Het wordt sterk aanbevolen deze informatie te gebruiken als aanvulling op de bemestingsadviesbasis, als bedrijfsvergelijking tussen telers en als voorspeller en controle op te verwachten voedingsverbruik en groei. Uit de Figuur blijkt hoe groot het verschil tussen rassen kan zijn. Ook is het nuttig aandacht te besteden aan punten die onder de lijn vallen omdat daar groeivermogen onbenut blijft. Telers met hetzelfde ras moeten vrijwel dezelfde hellingshoek van de opname per element vinden als ze de straling in de kas inclusief belichting in PAR gebruiken. Een lagere helling betekent minder productie.



Figuur 3. Verband tussen stralingsom en kaliumopname bij cherrytomaat en grove tomaat tussen 30 maart en 19 juli. Per gewas is een trendlijn (lineair) in de Figuur weergegeven. Per 1000 Joule was het verbruik bij cherrytomaat 24 mmol.m⁻², bij grove tomaat 15 mmol.m⁻².

Deze manier van werken is uitdrukkelijk bedoeld om naast het verminderen van spui ook uitzicht te bieden op winst door teeltverbetering. Of deze manier van werken naast kostenbesparing en milieuwinst ook leidt tot opbrengst of kwaliteitsverbetering is nog niet zeker. Wel is duidelijk dat een beter beeld ontstaat van de plantprestatie en de voedingsbehoefte van het gewas.

Er wordt aanbevolen de toepassing van de balansmethode te laten begeleiden door teeltadviseurs met ervaring met het nieuwe voedingsadvies. Op termijn vergroot de nieuwe manier van werken het inzicht in de plantbehoefte en de rol van de elementen en het bovengronds klimaat. Op korte termijn wordt echter een omschakeling gevraagd van het denken in concentratie (EC, mmol.l⁻¹) naar vracht (mmol.m⁻²). Een aantal telers liet weten dat hun kennis van voeding niet groot genoeg is om een dergelijk toepassing zelfstandig door te voeren.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

In 2000 is de EU Water Framework Directive uitgebracht. Deze verplicht de lidstaten de kwaliteit van hun oppervlaktewater op een uniforme wijze te verbeteren tot een kwaliteit die in 2027 behaald moet zijn (EU, 2000). De lidstaten zijn tot op zekere hoogte vrij te kiezen hoe zij de veranderingen in gang willen zetten. Zij zijn wel verplicht een daartoe opgesteld plan met heldere tussendoelen op te stellen en uit te voeren. In Nederland is dat de KaderRichtlijn Water geworden (KRW, 2000). Hoewel Nederland in termen van bemestingsefficiëntie niet zelden toonaangevend is, zijn er twee factoren die het halen van de doelstellingen uitdagend maken. Ten eerste is het gebruik van kunstmest in Nederland vaak hoger dan in het buitenland. Ten tweede is de dichtheid van grondgebruik in Nederland hoger dan in vergelijkbare gebieden in het buitenland. Zo kan het gebeuren dat ondanks de indrukwekkende hoeveelheid drainwater die wordt hergebruikt op glastuinbouwbedrijven, de hoeveelheden nitraat, fosfaat en gewasbeschermingsmiddelen in het oppervlaktewater van glastuinbouwconcentratiegebieden de normen overschrijden (Tolman, 2010). Dit is de reden dat de waterschappen en het georganiseerde glastuinbouwbedrijfsleven grote projecten zijn gestart om de efficiëntie van drainwater hergebruik op de bedrijven nog verder op te voeren (Van Staalduinen, 2009).

Glastuinbouw Waterproof - Substraten - Werkpakket 4

Het onderzoek beschreven in dit verslag is onderdeel van werkpakket vier van het project Glastuinbouw Waterproof - Substraten (Beerling, 2010; Klap & Beerling, 2010). Doel van dit werkpakket is de regeling van de toediening van meststoffen te optimaliseren, in combinatie met maximaal drainwaterhergebruik. In het kader van dit vierde pakket is in 2010 met behulp van een rekenmodel onderzocht wat de invloed is van natrium op de hoeveelheid spui (Blok ea, 2010). Dit onderzoek leidde tot een aantal aanbevelingen voor aanpassing van de drain bijmengregeling. In dit verslag wordt beschreven hoe een verdergaande optimalisatie kan worden verkregen door het inzicht in de water- en voedingsstromen op een bedrijf te vergroten. Water en voedingsstoffen worden niet altijd in gelijke mate opgenomen door de plant. Als de plantbehoefte aan water toeneemt, hoeft dit niet te betekenen dat de behoefte aan voedingsstoffen in gelijke mate groter wordt. Een eerste stap die in dit onderzoek is gemaakt, is de loskoppeling van de water- en voedingsbehoefte. Hier komt bij dat de afzonderlijke voedingselementen niet altijd in dezelfde verhouding worden opgenomen. Bij hergebruik van drainwater kan hierdoor onbalans in de samenstelling van de voedingsoplossing ontstaan. Om deze reden is in het hier beschreven onderzoek onderscheid gemaakt tussen afzonderlijke voedingselementen. Wanneer telers handvatten hebben om de balans in de samenstelling van de voedingsoplossing te bewaren, kun je spui als gevolg hiervan voorkomen. Daarnaast wordt het veiliger om een groter deel van de gift te laten bestaan uit drainwater, zonder dat hierdoor onbalans in de voedingsgift ontstaat. Ook hierdoor kan de emissie van overtollig drainwater worden beperkt.

Ionenmeter

In werkpakket drie is gekeken naar de toepasbaarheid van ion-specifieke metingen (IJdo ea, 2011). Met ion-selectieve elektroden is het mogelijk om de belasting van voedingsstoffen naar het milieu terug te brengen en de teelt beter te optimaliseren (Slegers ea, 2010). Met de ionenmeter van CleanGrow, de M62 multi ion Sensor (www.cleangrow.com) is het mogelijk direct de gehalten aan calcium-, chloride-, natrium-, kalium-, ammonium- en nitraatgehalte in de voedingsoplossing te meten. Het is mogelijk direct na de resultaten van de metingen hierop in te spelen en het recept van de voedingsoplossing tijdig aan te passen of eventueel meerdere keren per dag de voedingsoplossing te verversen. Gebruik van een ionenmeter kan dus een hulpmiddel zijn om de samenstelling van de voedingsoplossing te controleren en te beheersen.

1.2 Doel

Het beter beheersen van de water- en voedingsstromen binnen het bedrijf en beperken van de uitstoot van overtollig drainwater naar het milieu.

1.3 Aanpak

Er is op een aantal bedrijven gekeken hoe drainwaterhergebruik is georganiseerd. Er is steeds begonnen met een inventariserend gesprek met de verantwoordelijke voor de kringloop van water en voeding. Waar mogelijk is daarna een kopie gemaakt van bedrijfsinformatie ten aanzien van gift- en drainwater hoeveelheden en de voedingsamenstelling van het gift en drainwater. Om inzichtelijk te maken hoeveel water en voedingsstoffen per dag worden verbruikt, is een rekenmethode uitgewerkt. Deze methode geeft inzicht in plantbehoefte aan water- en voedingsstoffen. Besproken wordt hoe deze gegevens kunnen dienen als basis voor verdere automatisering van de voedingsgift met als doel de balans in de samenstelling van de voedingsoplossing te bewaren en zo spui te verminderen.

Een aanvullende methode om meer inzicht te krijgen in het dagelijkse verloop van de samenstelling van de voedingsoplossing is het gebruik van ion-specifieke meters. Voor dit onderzoek is de meter gebruikt tijdens de herfstteelt van een grove tomaat. Aangegeven wordt hoe de ion-specifieke meters een rol in de praktijk kunnen vervullen.

Daarnaast is een overzicht gemaakt van de verschillende andere maatregelen die een teler kan nemen om de uitstoot van voedingsmiddelen te verminderen (Bijlagen 4 en 5).

2 Opzet

Aan dit onderzoek hebben vijf bedrijven met verschillende gewassen en bemesting strategieën meegewerkt (2.1). Voor elk van deze bedrijven zijn de water- en voedingsstromen in kaart gebracht en is een overzicht gemaakt van de situatie binnen het bedrijf (2.2). Vervolgens is per bedrijf een inschatting gemaakt van het dagelijkse verbruik van water en afzonderlijke voedingselementen (2.3). Bij een rozenbedrijf (Meewisse Roses) is deze inschatting gemaakt op basis van metingen op drie meetdagen. Tijdens de teelt van Cherrytomaten (T&T van Leeuwen), komkommer (Van Nunhems Netherlands BV) en een grove tomaat (Improvement Centre, WUR Glastuinbouw) is de inschatting gemaakt op basis van de beschikbare gegevens aangaande water- en voedingsstromen over een bepaalde periode. Bij WUR Glastuinbouw is het verloop van de concentraties voedingselementen bovendien gevolgd met behulp van een ion-specifieke meter.

Tijdens de gesprekken met telers is geïnventariseerd wat de voordelen zijn van een betere beheersing van de water- en voedingsstromen en het voorkomen van verstoringen van de verhoudingen tussen voedingselementen. Het resultaat hiervan is weergegeven in hoofdstuk 3.

2.1 Overzicht deelnemende bedrijven

Een overzicht van de deelnemende bedrijven is weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1. Overzicht van de deelnemende bedrijven.

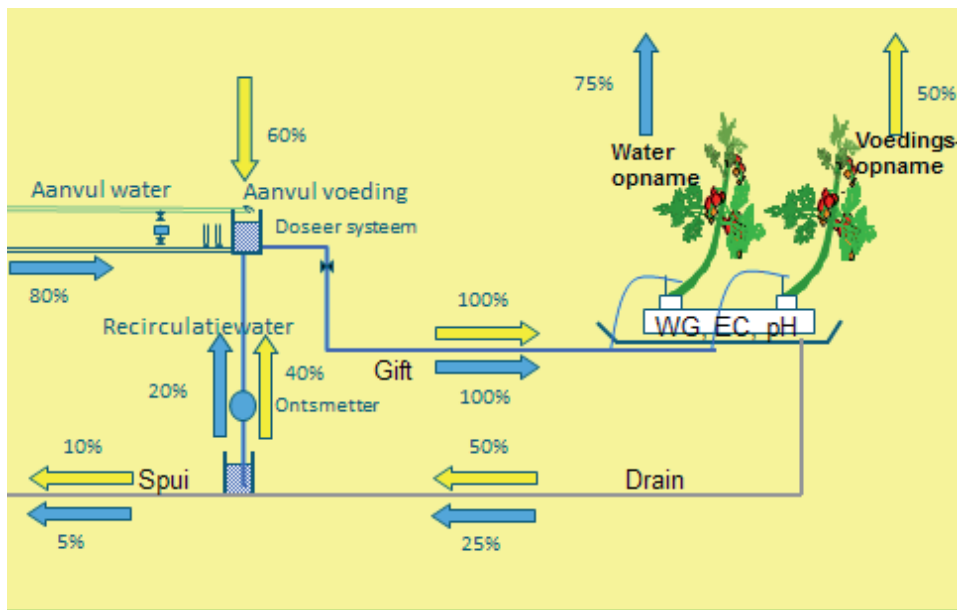
Bedrijf		Gewas	Oppervlak m ²
Meewisse Roses	Bleiswijk	Roos (Grand Prix)	40.000
T. & T. van Leeuwen	Grubbenvorst	Cherrytomaat (Sassari)	50.000
Van Nunhems Netherlands BV	Nunhem	Komkommer*	35.000
Improvement Centre	Bleiswijk	Grove tomaat (Komeett)	1.008 (per afdeling)
WUR Glastuinbouw	Bleiswijk	Grove tomaat (Komeett)**	140

*Op de locatie van Nunhems Netherlands BV te Nunhem, onderdeel van Bayer CropScience, zijn tweeënzeventig teeltafdelingen met diverse tuinbouwgewassen. Het onderzoek is gericht op de veredeling en zaadproductie. Gewassen die hier op steenwol worden geteeld zijn: komkommer, tomaat, Spaanse peper, paprika, augurk, asperge en spinazie. Voor de in dit rapport beschreven onderzoek is uitgegaan van een afdeling met komkommer. De totale oppervlakte bedraagt 35.000 m², waarvan 20.000-25.000 m² geteeld op steenwol, de rest zijn grondgebonden teelten.

** Herfstteelt

2.2 Bedrijfssituatie water- en voedingsstromen

Figuur 4. toont de verschillende water- en voedingsstromen op een bedrijf. Steeds gaat het om een bepaalde hoeveelheid water en voeding per tijdsinterval. De waterhoeveelheid is te meten met flowmeters. De absolute hoeveelheid voedingselementen (mmol) die wordt aangeboden aan de planten is te berekenen uit de grootte van de gift (liters) en de concentratie van de voedingsoplossing (mmol.l⁻¹). Op basis van de hoeveelheid drainwater en de samenstelling van het drainwater (mmol.l⁻¹, verkregen na analyse) kan de absolute hoeveelheid voedingselementen (mmol) in het drainwater worden berekend. Het verschil tussen de hoeveelheid in gift en drain geeft de absolute hoeveelheid voedingselementen die de planten opnemen. De voor dit rapport gevolgde rekenmethode voor het in kaart brengen van de nutriënten stromen is verder ontwikkeld binnen dit project, om deze reden is besloten deze rekenmethode in detail te beschrijven in het hoofdstuk resultaten (paragraaf 4.1).



Figuur 4. Een voorbeeld van een recirculatieschema voor water en voeding. De pijlen geven aan waar water en voeding hoeveelheden onafhankelijk van elkaar bekend moeten zijn om een kringloop te maken. De blauwe pijlen geven de waterstromen aan, de gele pijlen de voedingsstromen. In de Figuur is ter illustratie aangegeven welk deel van de gifthoeveelheid (100%) het systeem kan verlaten en hoeveel vervolgens moet worden aangevuld.

In Tabel 2. en Tabel 3. is de situatie wat betreft water- en voedingsstromen per bedrijf weergegeven.

Tabel 2. Waterstromen en watergeefstrategie per bedrijf.

Bedrijf	Herkomst aanvulwater		Watergeefstrategie		Bijmengregeling drainwater
	Regenwater	bronwater	Maximaal aantal beurten	Max. beurtgrootte	
	%	%	nr	ml.m ²	% max.
Meewisse Roses			8-12	1000	50
T. & T. van Leeuwen	80-90	10-20	40-50	200	30
Van Nunhems Netherlands BV	60	40	20-25	200	40
Improvement Centre	100				30
WUR Glastuinbouw	100		30-40	200	33

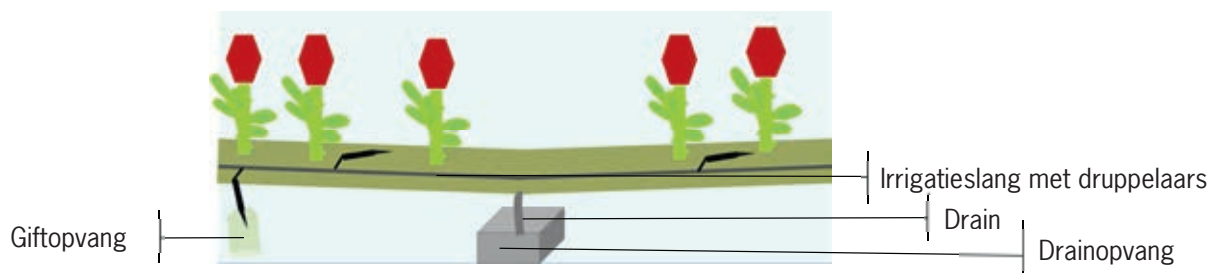
Tabel 3. Spui en overloop per bedrijf.

Bedrijf	Spui		Overloop
	periode	reden	
Meewisse Roses	geen	-	ja
T. & T. van Leeuwen	voorjaar	bij groeiremming	ja
Van Nunhems Netherlands BV	winter	afhankelijk van natrium- en chloorgehalte	ja
Improvement Centre	geen	-	n.v.t.
WUR Glastuinbouw	geen	-	n.v.t.

2.3 Waarnemingen per bedrijf

Detailmetingen op een rozenbedrijf

Bij Meewisse Roses zijn op drie meetdagen gegevens verzameld en geanalyseerd. De opzet van deze metingen is uitgebreid beschreven in een eerder verschenen rapport (Jldo ea, 2011). Bij Meewisse Roses wordt het hele jaar rond de cultivar Grand Prix geteeld met behulp van assimilatiebelichting. Pad 050 is uitgekozen als een representatief pad en staat schematisch weergegeven in Figuur 5.



Figuur 5. Schematische weergave van de bemonsteringslocaties van voedingsgift, matmonsters en drain.

Op drie dagen is de water- en voedingsgift gedurende de dag gemonitord. De gift- en drainhoeveelheid is uit de klimaatcomputer afgelezen. Het gift- en drainwater is opgevangen en de voedingssamenstelling is geanalyseerd. Het giftwater is opgevangen met opvangflesjes onder de druppelaars, bij twee druppelaars aan het begin van het pad en twee druppelaars halverwege het pad, vlakbij de drainopvang. Het drainwater is opgevangen in het midden van de goot. Dit is het laagste punt omdat de goot vanaf het begin en het eind afloopt naar het midden (zie Figuur 5.). De verzamelde gegevens zijn verwerkt volgens de rekenmethode welke in paragraaf 4.1 beschreven is.

Water- en voedingsstromen tijdens een cherrytomatenteelt

Bij T&T van Leeuwen zijn gedurende de periode van 15 februari tot 16 augustus 2011 op het bedrijf geregistreerde gegevens aangaande de watergift (liter.m⁻², EC en voedingssamenstelling) en drain (liter.m⁻², EC en één of tweewekelijkse analysesresultaten) gebruikt voor de in paragraaf 4.1 beschreven rekenmethode.

Water- en voedingsstromen tijdens een komkommerteelt

Gedurende de periode van 30 mei tot 20 juli 2011 zijn de geregistreerde gegevens aangaande de watergift (liter.m⁻², EC en voedingssamenstelling) en drain (liter.m⁻², EC) tijdens een komkommerteelt bij Nunhems Netherlands BV geanalyseerd. In de periode tussen 30 mei en 26 juni bleek de wateropname niet gerelateerd te zijn aan de stralingssom. Het is niet duidelijk wat hier de oorzaak van is, in deze periode zijn geen verdamping remmende maatregelen uitgevoerd (schermen, krijten). Om deze reden is de analyse uitgevoerd met de gegevens uit de periode van 27 juni tot 20 juli. Het drainwater werd vroeger frequent geanalyseerd, maar nu niet meer dan 6 maal per jaar, omdat een goede voorspelling kan worden gemaakt van de nutriëntengehalten in het verzamelde drainwater. De fluctuaties van de nutriënten in het verzamelde drainwater zijn gering, omdat gedurende het gehele jaar drainwater van verschillende teeltstadia van een gewas wordt opgevangen. Voor de berekeningen in hoofdstuk 4 zijn de analysegegevens van 3 februari 2011 gebruikt.

Water- en voedingsstromen tijdens een tomatenteelt

Bij het Green Q-Improvement Centre is door Wageningen UR Glastuinbouw een proef uitgevoerd waarbij twee afdelingen tomaat met verschillende CO₂-dosering strategieën zijn vergeleken (De Gelder ea, 2012). Tijdens de duur van de teelt van 28 december 2010 tot 15 november 2011 zijn watergift (liter.m⁻², EC, voedingssamenstelling aanvuldeel) en drainpercentage geregistreerd. De voedingselementen concentratie in de mat is eens per twee weken geanalyseerd. Aan de hand van deze gegevens zijn de berekeningen zoals beschreven in paragraaf 4.1 uitgevoerd. Het analyseresultaat verschilde niet of nauwelijks tussen de afdelingen. Om deze reden zijn in dit rapport de resultaten van één van de beide afdelingen weergegeven.

Water- en voedingsstromen tijdens een herfstteelt tomaat

Van 10 augustus tot 16 december is bij WUR Glastuinbouw in Bleiswijk een proef met hergebruik van drainwater uitgevoerd in kas 6.03. Er is 100% hergebruikt, er was dus geen spui. Eens per twee weken is het drainwater bemonsterd (praktijkconform). Er zijn twee behandelingen vergeleken. Bij de eerste behandeling is het voedingsschema aangepast aan het resultaat van de veertiendaagse bemonstering. Bij de tweede behandeling is regelmatig gemeten (3-4 maal per week) met een ion-specifieke handmeter (Clean Grow, de M62 multi ion Sensor, www.cleangrow.com). Het voedingsschema is op basis van deze metingen direct aangepast.

De behandeling waarbij het voedingsschema is aangepast aan het resultaat van de veertiendaagse bemonstering zijn de water- en voedingsstromen in kaart gebracht volgens de methode beschreven in paragraaf 4.1. Tijdens de duur van de proef is de watergift (liter.m⁻², voedingssamenstelling aanvuldeel) en de drainhoeveelheid geregistreerd. Voor de analyse is het resultaat van de veertiendaagse bemonstering gebruikt.

Paprikateelt

Op het bedrijf van E. van der Berg wordt paprika geteeld. Oorspronkelijk was het de bedoeling ook voor dit bedrijf een analyse te maken van water en voedingsstromen. Op het moment dat de analyses werden uitgevoerd, waren echter alleen gegevens beschikbaar uit een periode dat de kas is ontruimd en van nieuwe planten is voorzien. Wel is met de teler een inventariserend gesprek gehouden over de mogelijke voordelen van betere beheersing van water- en voedingsstromen binnen het bedrijf (zie hoofdstuk 3).

3 Bedrijfsvoordelen aangepaste regeling

Het hebben van een continu inzicht in het verloop van de nutriënten balans in een systeem waarbij drainwater wordt hergebruikt zal verschillende voordelen opleveren. Welke voordelen hierbij behaald kunnen worden is afhankelijk van de bedrijfssituatie en de visie van de teler. Tijdens de gesprekken met telers is geïnventariseerd wat de specifieke voordelen zouden zijn voor het betreffende bedrijf.

Roos: Meewisse Roses

In het kader van het project Glastuinbouw Waterproof Substraat is bij Meewisse Roses een proef uitgevoerd waarbij gekeken is naar de mogelijkheden om 100% te recirculeren (Slegers, 2011). Het bleek mogelijk om op dit bedrijf zonder grote problemen te blijven recirculeren. Met volledige recirculatie bleek 10% te kunnen worden bespaard op meststoffen. Dat is ongeveer 15-20 Eurocent per vierkante meter op jaarbasis (en ongeveer 65 g nitraat per vierkante meter). Bovendien hoeft de teler minder osmosewater te gebruiken, wat ook nog eens 25 cent per vierkante meter bespaarde.

Cherrytomaten: T&T van Leeuwen

Door continu inzicht in de ionenbalans in het verzamelde drainwater kan vlotter worden ingespeeld op de samenstelling van de te geven voedingsoplossing. Op deze wijze zou de teelt verder kunnen worden geoptimaliseerd, de waterstromen binnen het bedrijf nog beter kunnen worden beheerst en de output van overtollig drainwater naar het milieu worden beperkt.

Een voorbeeld van optimalisatie waarbij continue monitoring uitkomst zou kunnen bieden is de toename van de kaliumvraag in het voorjaar. Begin maart, wanneer de vruchten gaan kleuren loopt de groei iets terug. Het is niet duidelijk waar dat aan ligt. Binnen een week herstelt de groei zich. Dit heeft waarschijnlijk te maken met de ionenbalans. Vooral het kaliumgebruik is dan hoog. Het kaliumniveau van de voedingsoplossing zakt dan 6-7 eenheden. De streefwaarde is 8 mmol K per liter. Vanaf het moment dat het kaliumgehalte in de voedingsoplossing in het voorjaar terugloopt, is de streefwaarde moeilijk weer op dit niveau te brengen. Het BLGG adviseert dan 30% meer kalium toe te dienen. Van Leeuwen geeft vanaf dit moment 100% extra kalium, dus 18 mmol K per liter in het aanvuldeel van de voeding. Hoger durft hij niet te gaan. Het herstel van het kaliumgehalte in de voedingsoplossing treedt doorgaans pas in juli-augustus op. Tijdens de pluk wordt dan een streefwaarde gehanteerd van 12 mmol K per liter. De teler wil de sterke afname van het kaliumgehalte in de voedingsoplossing graag eerder opmerken. Door tijdige aanpassing van het recept kan worden voorkomen dat het kaliumgehalte te sterk terugloopt en kan beter worden ingespeeld op de extra kalium behoefte. Wanneer zou blijken dat de afname in groei in maart op het moment dat de vruchten gaan kleuren kan worden voorkomen door een betere controle over de samenstelling van de voedingsoplossing, kan spui in het voorjaar - als reactie op de ontstane groeiremming - achterwege worden gelaten.

Verskillende gewassen: Nunhems Netherlands BV

Er is soms geen goed beeld van de opname van voedingselementen bij de diverse gewassen mede doordat men door de vertraging van de analyseresultaten op de stand van zaken achter loopt. Men is geïnteresseerd of er verschillen zijn in opname tussen bijvoorbeeld de verschillende lijnen bij veredeling of zaadproductie. Daarnaast is er interesse in de patronen van opname van voedingselementen gedurende de dag. Door continue controle van de hoeveelheid per voedingselement in de dagvoorraadsilo zou men de hoeveelheid die de unit moet aanvullen direct kunnen aanpassen en kan de teelt beter worden gestuurd dan nu het geval is. Het kan nu voorkomen dat het gehalte van een bepaald voedingselement in de voedingsoplossing niet voldoende aanwezig is, omdat pas later bekend wordt dat het gehalte te laag was.

Men heeft 1.000 m² tomaat en heeft plannen om dit areaal in de toekomst uitbreiden naar 4.5 ha. Wanneer het oppervlakte tomaat wordt verhoogd, dienen er meer maatregelen te worden getroffen om spui te verminderen. Als eerder over de analyses kan worden beschikt, kan er sneller worden gestuurd en meer drainwater worden hergebruikt.

Paprika: E. van der Berg

De teler stelt dat de bemestingsadviesbasis niet meer van deze tijd is omdat er nu andere rassen zijn. Het komt er op neer dat iedere teler nu zijn eigen advies hanteert, waarbij de teler afhankelijk is van de teeltadviseur. De teler wil in de toekomst op de kosten van meststoffen besparen.

Daarnaast verdient het natriumgehalte in de voedingsoplossing specifieke aandacht. Natrium blijkt moeilijk uit de mat te krijgen. Op het bedrijf vindt tegenwoordig minder spui plaats dan in het verleden, omdat nu een hoger natriumgehalte in de voedingsoplossing wordt aangehouden. Dit jaar is drie keer een periode van ongeveer vier dagen gespuid in de maanden april-mei. Er wordt regenwater gebruikt, indien nodig aangevuld met bronwater. Wanneer er te weinig water is - wat in 2011 het geval was - wordt het bassin aangevuld met oppervlaktewater uit een nabijgelegen natuurgebied. Dit oppervlaktewater is eerst geanalyseerd. Het natriumgehalte was 2-3 mmol.l⁻¹. De teler zou graag meer duidelijkheid hebben over waar het natrium in de voedingsoplossing vandaan komt. Wat is het aandeel natrium in het oppervlaktewater, wat is de variatie in de tijd? Welke meststoffen dragen bij aan een hoog natriumgehalte? De teler vraagt zich af of hij opbrengstverlies heeft bij het hanteren van een hoger natriumgehalte van 8 mmol per liter in de voedingsoplossing in plaats van een gehalte van 3 mmol natrium per liter. Wat is de minimum- en maximumgrens van het natriumgehalte in de voedingsoplossing? Is er verschil in natriumopname gedurende het seizoen?

4 Resultaten

4.1 De Analyse

In de Bijlage 1 staat een voorbeeld van de gevolgde verwerking. Hierbij wordt per dag berekend wat het verschil is tussen gift- en drainhoeveelheid, voor water wordt dit uitgedrukt in liters per vierkante meter en voor de voedingselementen in mol per vierkante meter. Het water en voedingsdeel worden dus gescheiden berekend. De liters per vierkante meter zijn hierbij voor de telers een vertrouwde grootheid maar de eenheid mol per vierkante meter is nieuw. Mol per vierkante meter is een maat voor de mineralenvrucht die per vierkante meter aankomt (gift), opgenomen wordt (door de plant) of vertrekt (als drain). Door water en mineralenvrucht te splitsen kan gemakkelijk berekend worden hoeveel water en voeding rond de plant achterblijven. Voor het gemak wordt aangenomen dat alle water verdampt als gewastranspiratie en dat alle voedingselementen worden ingebouwd in de plant. Doordat de berekeningen aan het voedingsgedeelte per element worden uitgevoerd, wordt ook onderscheid gemaakt tussen afzonderlijke voedingselementen. Hierdoor wordt duidelijk wanneer onbalans ontstaat omdat de verhoudingen in de gift anders zijn dan de door de plant opgenomen verhouding.

Kolom A	Datum, de analyse loopt per dag
Kolom B	De gifthoeveelheid in $l.m^2$
Kolom C	De giftconcentratie van een element in $mmol l^{-1}$
Kolom D (=B*C)	Berekening van de hoeveelheid gegeven voeding in $mmol.m^2$
Kolom E	De drainhoeveelheid in $l.m^2$
Kolom F	De gemeten concentratie in het drainwater van een element in $mmol l^{-1}$
Kolom G (=E*F)	Berekening van de hoeveelheid voeding in de drain in $mmol.m^2$
Kolom H (=B-E)	De hoeveelheid water opgenomen door de plant in $l.m^2$
Kolom I (=D-G)	De hoeveelheid voeding opgenomen door de plant in $mmol.m^2$
Kolom J (= I/H)	De opnameconcentratie van de plant in $liter.m^2$

Op deze wijze zijn alle data van alle tuinen doorgenomen. In onderstaande alinea's is uitgelegd welke stappen zijn genomen om de samenstelling van het giftwater (kolom C) en de samenstelling van het drainwater (kolom F) per dag te kunnen inschatten. Bij het rozenbedrijf is de analyse uitgevoerd voor drie meetdagen waarop gift- en drainwater is opgevangen en geanalyseerd. Voor de analyse van de gegevens van dit bedrijf was het dus niet nodig alle onderstaande stappen te doorlopen.

Samenstelling van het giftwater

De giftconcentratie (kolom C) tijdens de komkommerteelt is bepaald aan de hand van het recept en de op het bedrijf gemeten EC gift. Wanneer de EC van de gift op een bepaalde datum 5% hoger was dan de recept EC, is aangenomen dat de concentratie voedingselementen op die dag ook 5% hoger was dan in het recept.

Bij de overige bedrijven is een schatting gemaakt van de giftconcentratie van de voedingselementen aan de hand van de concentratie in het aanvuldeel en de concentratie in het drainwater. Hierbij is ervan uitgegaan dat een vast percentage van de waterhoeveelheid in de gift bestaat uit hergebruikt drainwater. Voor deze percentages is het gemiddelde percentage drain gebruikt: 34% bij het cherrytomaatenbedrijf, 30% bij de grove tomaat (Improvement Centre) en 34% bij de herfstteelt grove tomaat (WUR Glastuinbouw). Voor de cherrytomaat en de grove tomaat (Improvement Centre) is de berekende giftconcentratie vervolgens aangepast aan de gemeten EC gift. Dus wanneer de gemeten EC gift 5% hoger was dan de berekende EC gift, is de berekende concentratie voedingselementen met 5% verhoogd.

Samenstelling van het drainwater

De samenstelling van het drainwater (kolom F) was niet per dag bekend, maar eens per 7-21 dagen, afhankelijk van het interval van monsternamen. Hierdoor was het nodig te interpoleren voor de samenstelling van het drainwater. Om een betere schatting te maken van de drainconcentratie van de voedingselementen is de gemeten drainconcentratie gecorrigeerd op basis van de op het bedrijf gemeten EC van het drainwater. Dus als de drain EC op een bepaalde datum

5% lager was dan die van het geanalyseerde drainwater op de monsternamedatum, is aangenomen dat de concentratie voedingselementen in de drain op die dag 5% lager was dan de analysewaarde.

Omdat het drainwater van de geanalyseerde komkommerteelt bij Nunhems niet regelmatig wordt bemonsterd, is bij de berekening van de gegevens van dit bedrijf uitgegaan van één drainwateranalyse. Bij de tomatenteelt bij het Improvement Centre is het water in de mat geanalyseerd. De concentratie voedingselementen is zoals hierboven is beschreven aangepast aan de gemeten EC van het drainwater. Aangenomen is dat de op deze manier berekende concentratie per element overeenkomt met de concentratie per element in het drainwater.

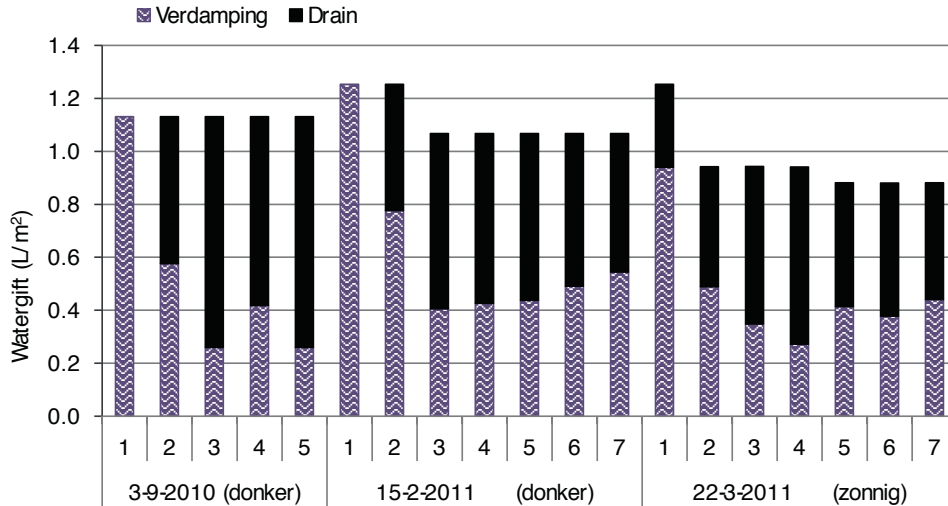
4.1.1 Relatie tussen opname en stralingssom

In een tweede analyse stap zijn de data uitgezet tegen de stralingssom per dag zoals bekend van het bedrijf of een naastgelegen weerstation. Hierdoor ontstaat een uniek inzicht in het verbruik per voedingselement voor het beschouwde bedrijf en het beschouwde ras. Dit is dus bedrijfsspecifieke informatie over de efficiëntie waarmee het gewas voeding opneemt bij verschillende klimaatomstandigheden. Dit is de informatie van de bemestingsadvies basis maar dan toegesneden op bedrijfsniveau (enkele nuances worden in de discussie besproken). Het is nu eenvoudig de informatie te splitsen naar teeltfase zodat recepten per teeltfase en per stralingssom te voorspellen zijn. Het belang van deze informatie is groot. Het is hiermee mogelijk de gewasopname te voorspellen voor bijna alle omstandigheden en daarmee kan rust in de voedingsregeling gebracht worden (denk aan de beschreven perioden met K/Ca perikelen in H3).

4.2 Detailmetingen op een rozenbedrijf

4.2.1 Waterstromen

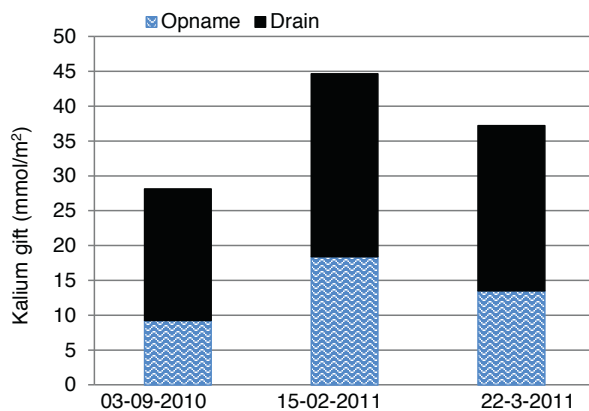
Figuur 6. laat het waterverbruik zien tijdens de drie meetdagen bij Meewisse Roses. Op 3 september 2010 zijn vijf giftbeurten gegeven, op 15 februari 2011 en 22 maart 2011 zijn zeven giftbeurten per dag gegeven. In de Figuur is de watergift opgedeeld in de hoeveelheid drainwater en de verdamping (het verschil tussen de gift- en drainhoeveelheid). Op de meetdagen in 2011 schommelde het percentage drain vanaf de derde giftbeurt zo rond de 50 à 60%. Op 3 september 2010 was het drainpercentage later in de middag hoger, met uitschieters naar 77%. Op de meetdagen in 2011 was de door de computer geregistreerde watergift tijdens de eerste beurt(en) hoger dan tijdens de daaropvolgende beurten. Dit komt omdat de apparatuur zo is ingesteld dat de eerste beurten groot zijn en pas afnemen in beurtlengte/grootte als er meer dan 25% drain gemeten wordt. Bij meer dan 70% drain neemt de beurtgrootte nog verder af.



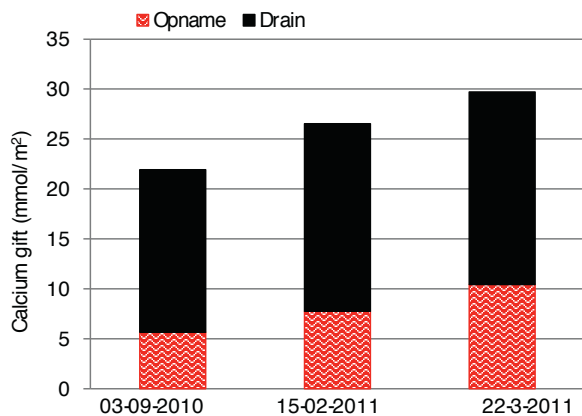
Figuur 6. Waterverbruik per giftbeurt op twee donkere en een zonnige dag, opgedeeld in verdamping en drain (verdamping = gift - drain). De zwarte balken geven de drainhoeveelheid weer, de paarse balken de opgenomen hoeveelheid water en de som van deze gestapelde balken is de watergift.

4.2.2 Voedingsstromen

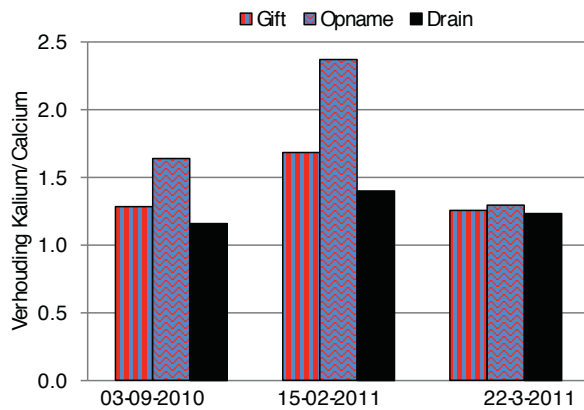
Figuur 7. en 8. laten de kalium en calcium hoeveelheid in gift- en drainwater zien. Van de kaliumgift kwam op de meetdagen respectievelijk gemiddeld 67%, 59% en 64% terug via het drainwater. Voor calcium bedroegen deze percentages respectievelijk 74%, 71% en 65%. Dit wijst erop dat de eerste twee meetdagen naar verhouding een groter deel van het kaliumaanbod werd opgenomen dan van het calcium aanbod. De verhouding tussen kalium en calcium in het gift-, opname- en drainwater is weergegeven in Figuur 9. Op de tweede meetdag was de opgenomen K/Ca verhouding 2.4, terwijl de K/Ca verhouding in het giftwater 1.7 bedroeg. Als gevolg hiervan werd de K/Ca verhouding in het drainwater lager dan die in het giftwater, namelijk 1.4.



Figuur 7. Kaliumgehalte in het giftwater per meetdag, opgedeeld in het kaliumgehalte in het drainwater en de opgenomen hoeveelheid kalium (opname = gift - drain). De zwarte balken geven het gehalte in het drainwater weer, de blauwe balken de opgenomen hoeveelheid en de som van deze gestapelde balken is het gehalte in het giftwater.



Figuur 8. Calciumgehalte in het giftwater per meetdag, opgedeeld in het calciumgehalte in het drainwater en de opgenomen hoeveelheid calcium (opname=gift - drain). De zwarte balken geven het gehalte in het drainwater weer, de blauwe balken de opgenomen hoeveelheid en de som van deze gestapelde balken is het gehalte in het giftwater.

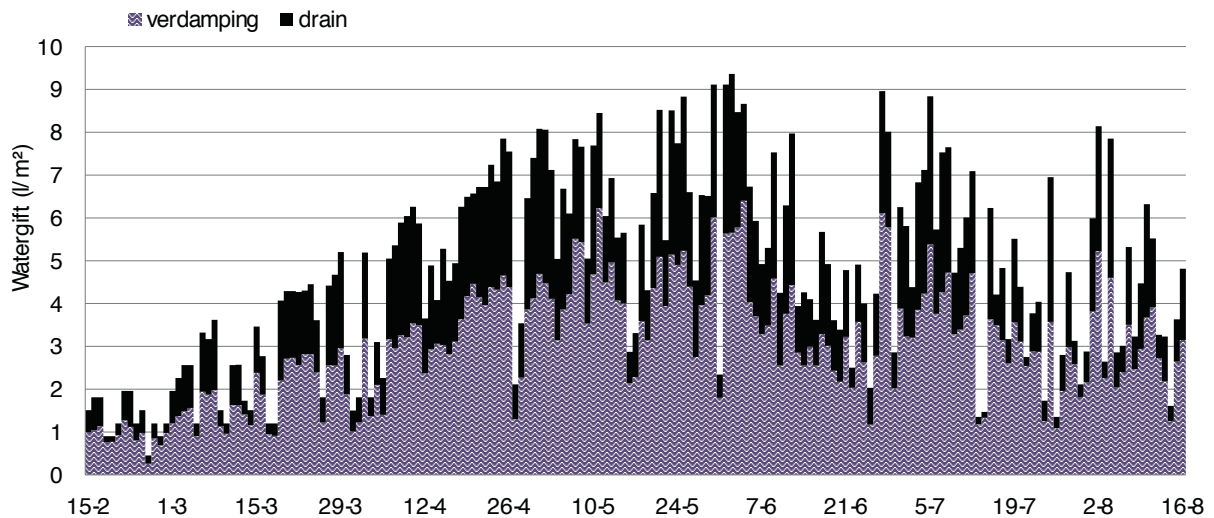


Figuur 9. Verhouding tussen kalium en calcium hoeveelheid in gift-, opname- en drainwater per meetdag.

4.3 Water- en voedingsstromen tijdens een cherrytomatenteelt

4.3.1 Waterstromen

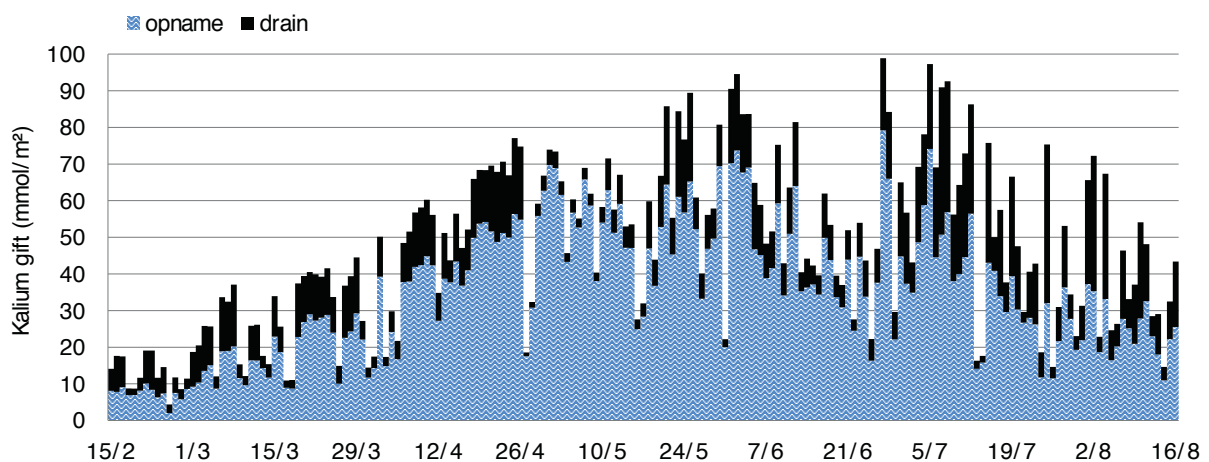
Figuur 10. laat de op het bedrijf geregistreerde watergift zien in de periode van 15 februari tot 16 augustus 2011, de zwarte balken in deze Figuur geven de drainwaterhoeveelheid aan. Het verschil tussen gift- en drainhoeveelheid is de verdamping. Het percentage drain in deze periode was gemiddeld 34%.



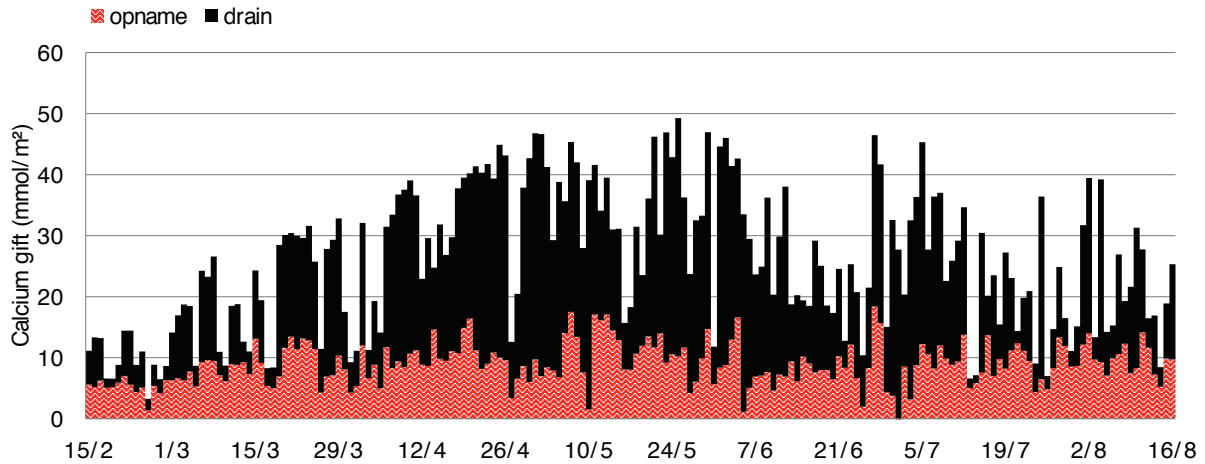
Figuur 10. Watergift per dag, opgedeeld in verdamping en drain (verdamping= gift - drain). De zwarte balken geven de drainhoeveelheid weer, de paarse balken de opgenomen hoeveelheid water en de som van deze gestapelde balken is de watergift.

4.3.2 Voedingsstromen

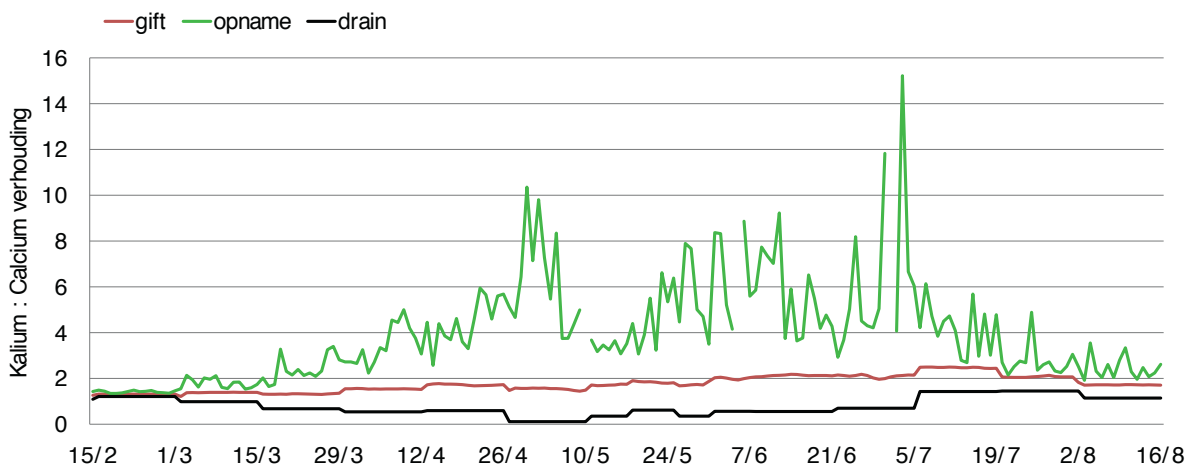
Figuur 11. laat zien dat gedurende de hele periode waarin de gegevens zijn verzameld, relatief weinig kalium via het drainwater terugkomt. Van de kaliumgift kwam per dag gemiddeld 26% via het drainwater retour. De resterende hoeveelheid (74%) zal (grotendeels) zijn opgenomen door het gewas. Van de calciumgift kwam wel een groter aandeel in het drainwater terecht (Figuur 12.), gemiddeld 60% per dag. In het voorjaar, vanaf begin april, werd meer kalium opgenomen dan in de zomerperiode. Bij calcium was er geen duidelijk seizoen effect. Vanaf het moment dat uit de analyses duidelijk wordt dat de hoeveelheid kalium in het drainwater afneemt wordt de kalium hoeveelheid in het aanvuldeel van de gift verhoogd. Dit leidt tot een toename van de K/Ca verhouding in de gift (Figuur 13.). De verhouding waarin kalium en calcium worden opgenomen neemt echter sterker toe dan de toename van de K/Ca verhouding in de gift. Vanuit de wateropname (in $l \cdot m^{-2}$) en de opgenomen hoeveelheid van afzonderlijke voedingselementen (in $mmol \cdot m^{-2}$) is de opname concentratie berekend. In Bijlage III is het verloop van de gift- en opnameconcentratie voor kalium en calcium weergegeven.



Figuur 11. Kaliumgehalte in het giftwater, opgedeeld in het kaliumgehalte in het drainwater en de opgenomen hoeveelheid kalium (opname=gift - drain). De zwarte balken geven het gehalte in het drainwater weer, de blauwe balken de opgenomen hoeveelheid en de som van deze gestapelde balken is het gehalte in het giftwater.



Figuur 12. Calciumgehalte in het giftwater, opgedeeld in het calciumgehalte in het drainwater en de opgenomen hoeveelheid calcium (opname=gift - drain). De zwarte balken geven het gehalte in het drainwater weer, de rode balken de opgenomen hoeveelheid en de som van deze gestapelde balken is het gehalte in het giftwater.

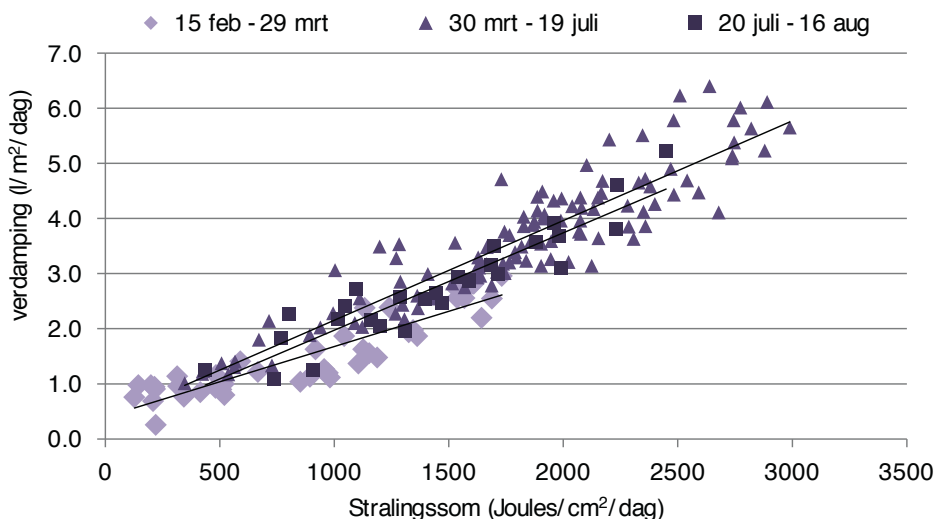


Figuur 13. Verhouding tussen kalium en calcium hoeveelheid in het giftwater en het drainwater en de verhouding waarin kalium en calcium zijn opgenomen. Op 10 mei, 5 juni en 1 juli was de berekende calciumopname ten opzichte van de calciumgift minimaal. Voor de leesbaarheid van de Figuur zijn de waarden behorende bij deze data niet weergegeven.

In Figuur 13. is het verloop van de K/Ca verhouding in het drainwater steeds gedurende een periode van één of twee weken gelijk, in werkelijkheid zal de verhouding tussen kalium en calcium in het drainwater dagelijks fluctueren. Voor deze Figuur is de verhouding tussen kalium en calcium in het drainwater berekend op basis van analyses. Omdat deze eens per 7-14 dagen plaatsvonden, was het nodig te interpoleren.

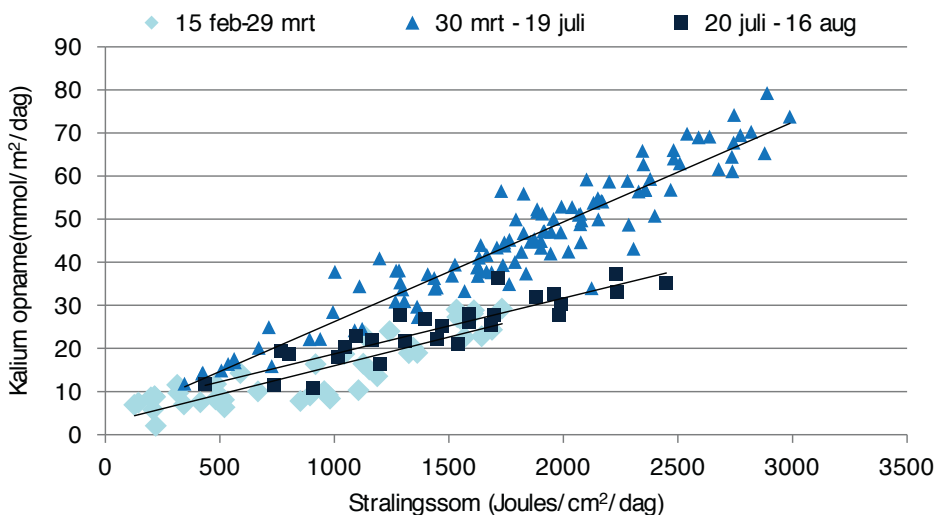
4.3.3 Relatie tussen stralingsom en water- en voedingsopname

Figuur 14. toont het verband tussen verdamping en straling. Omdat voor het verband tussen kaliumopname en stralingsom drie perioden kunnen worden onderscheiden (zie Figuur 15.), is deze Figuur in dezelfde drie perioden opgedeeld. In de beginperiode van de teelt - wanneer de hoeveelheid bladoppervlak nog niet maximaal is - werd bij gelijke stralingsom minder water opgenomen.



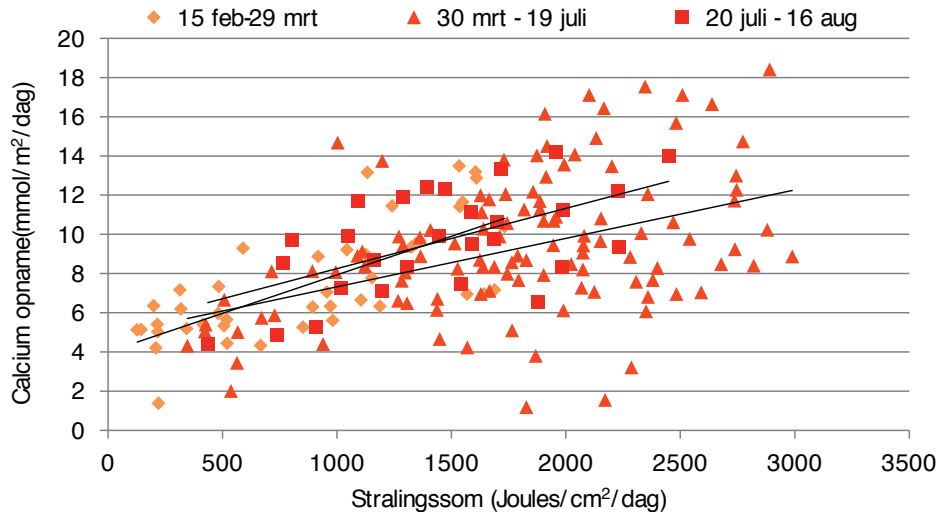
Figuur 14. Verband tussen stralingsom en wateropname in drie perioden. Per periode is een trendlijn (lineair) in de Figuur weergegeven ($R^2=0.83$ voor de periode van 15 februari tot 29 maart, $R^2=0.84$ voor 30 maart - 19 juli en $R^2=0.86$ voor 20 juli - 16 augustus).

Er was een lineair verband stralingsom en kaliumopname (Figuur 15.). In de Figuur zijn drie perioden te onderscheiden. De eerste periode tot 29 maart, waarin relatief weinig kalium werd gegeven. De periode vanaf eind maart, waarin het kaliumgehalte in het drainwater begon te dalen en het kaliumniveau in de voedingsoplossing geleidelijk werd verhoogd. Bij een gegeven stralingsom was de kaliumopname in de periode vanaf maart bijna twee maal zo hoog als in de voorgaande periode. Vanaf medio/eind juli werd de kaliumopname geleidelijk lager.



Figuur 15. Verband tussen stralingsom en kaliumopname in drie perioden. Per periode is een trendlijn (lineair) in de Figuur weergegeven ($R^2=0.77$ voor de periode van 15 februari tot 29 maart, $R^2=0.89$ voor 30 maart - 19 juli en $R^2=0.80$ voor 20 juli - 16 augustus).

Er was geen duidelijk verband tussen calcium opname en de straling (Figuur 16.). De calciumopname was lager dan de kaliumopname, mogelijk waren de gegevens niet nauwkeurig genoeg om deze lage opnamehoeveelheden juist te kunnen berekenen. Een andere factor die voor verstoring kan zorgen is het neerslaan van calcium in de vorm van calciumsulfaat in de mat. Wanneer op bepaalde momenten meer calcium neerslaat dan op andere momenten, zal leiden tot onregelmatigheden in het calciumverbruik.

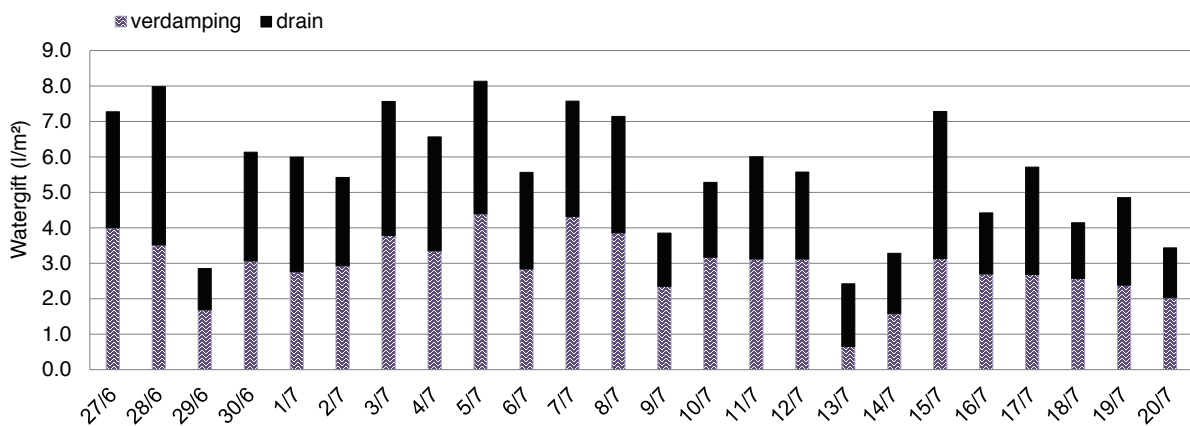


Figuur 16. Verband tussen stralingsom en calciumopname in drie perioden. Per periode is een trendlijn (lineair) in de Figuur weergegeven ($R^2=0.52$ voor de periode van 15 februari tot 29 maart, $R^2=0.17$ voor 30 maart - 19 juli en $R^2=0.34$ voor 20 juli - 16 augustus).

4.4 Water- en voedingsstromen tijdens een komkommerteelt

4.4.1 Waterstromen

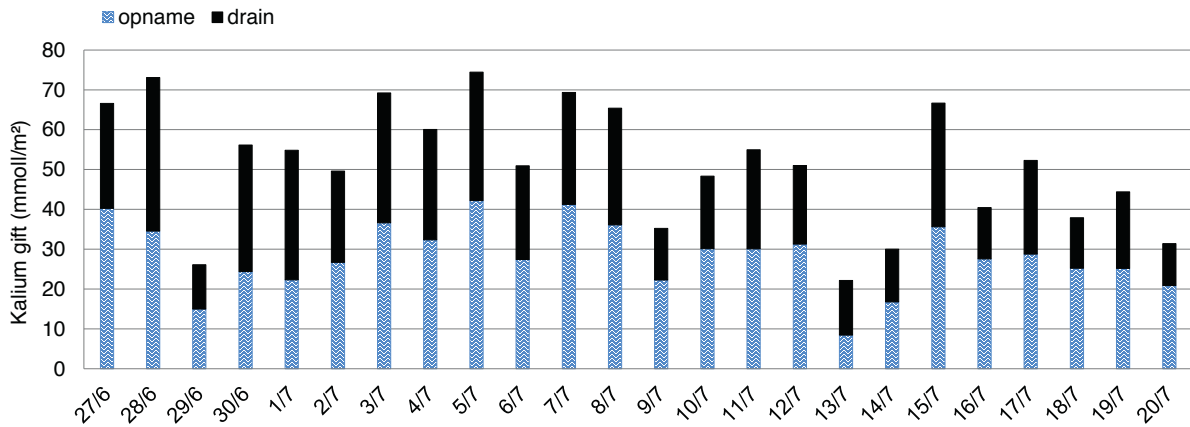
Figuur 17. laat de op het bedrijf geregistreerde watergift zien in de periode van 27 juni tot 20 juli 2011. Het percentage drain in deze periode was gemiddeld 48%.



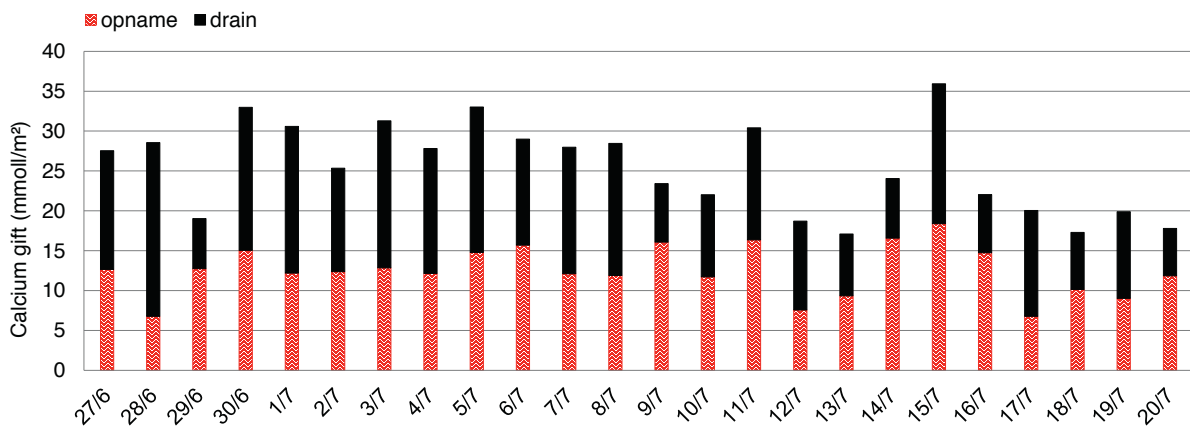
Figuur 17. Watergift per dag, opgedeeld in verdamping en drain (verdamping= gift - drain). De zwarte balken geven de drainhoeveelheid weer, de paarse balken de opgenomen hoeveelheid water en de som van deze gestapelde balken is de watergift.

4.4.2 Voedingsstromen

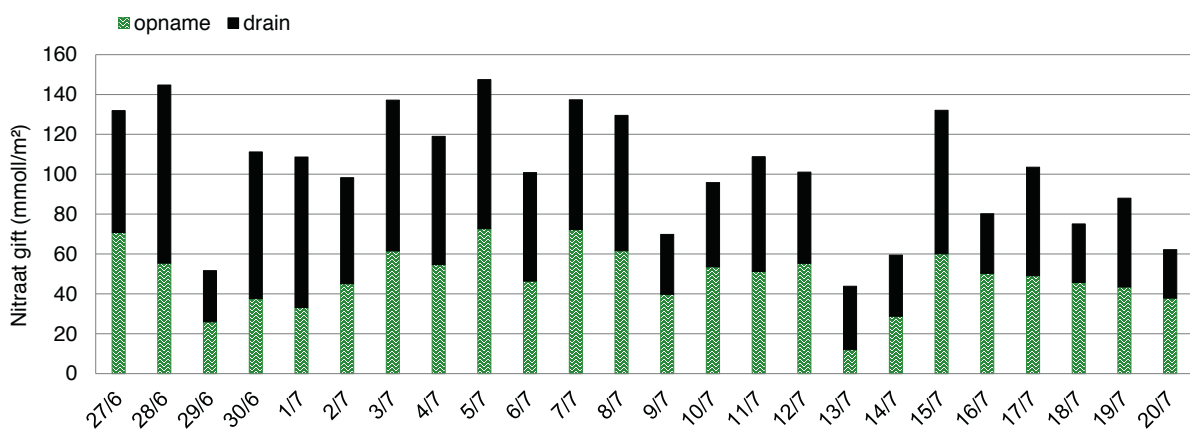
De resultaten van de uitgevoerde berekeningen met betrekking tot de voedingsstromen zijn weergegeven in Figuur 18. (kalium), Figuur 19. (calcium) en Figuur 20. (nitraat). Van de kaliumgift kwam per dag gemiddeld 44% via het drainwater retour. Voor calcium en nitraat bedroegen deze percentages respectievelijk 50 en 52%.



Figuur 18. Kaliumgehalte in het giftwater, opgedeeld in het kaliumgehalte in het drainwater en de opgenomen hoeveelheid kalium (opname=gift - drain). De zwarte balken geven het gehalte in het drainwater weer, de blauwe balken de opgenomen hoeveelheid en de som van deze gestapelde balken is het gehalte in het giftwater.



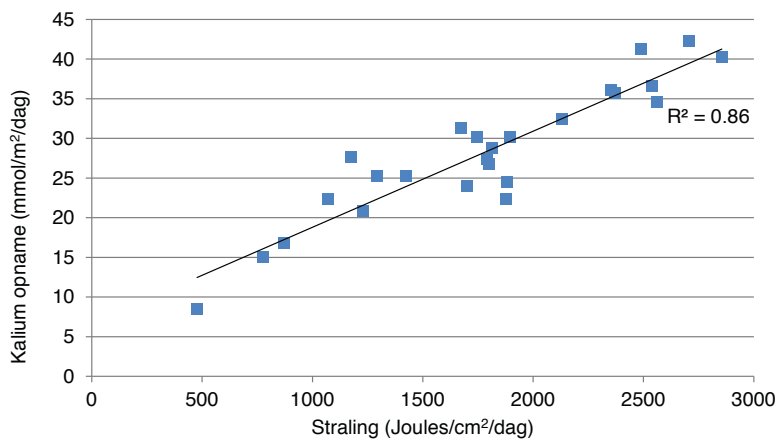
Figuur 19. Calciumgehalte in het giftwater, opgedeeld in het calciumgehalte in het drainwater en de opgenomen hoeveelheid calcium (opname=gift - drain). De zwarte balken geven het gehalte in het drainwater weer, de rode balken de opgenomen hoeveelheid en de som van deze gestapelde balken is het gehalte in het giftwater.



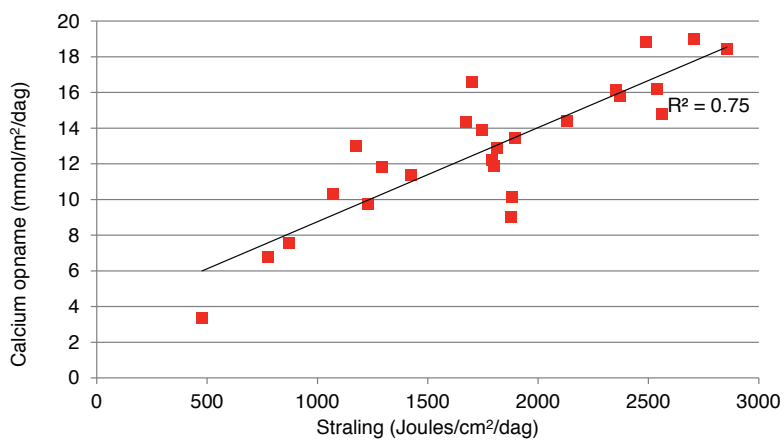
Figuur 20. Nitraatgehalte in het giftwater, opgedeeld in het nitraatgehalte in het drainwater en de opgenomen hoeveelheid nitraat (opname=gift - drain). De zwarte balken geven het gehalte in het drainwater weer, de groene balken de opgenomen hoeveelheid en de som van deze gestapelde balken is het gehalte in het giftwater.

4.4.3 Relatie tussen stralingsom en voedingsopname

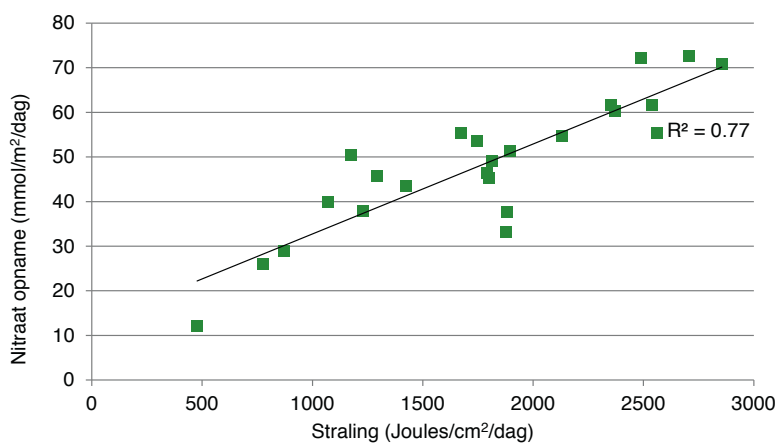
Het verband tussen stralingsom en kalium-, calcium- en nitraatopname is weergegeven in figuren 21-23.



Figuur 21. Verband tussen stralingsom en kaliumopname. In de Figuur is een trendlijn (lineair) weergegeven.



Figuur 22. Verband tussen stralingsom en calciumopname. In de Figuur is een trendlijn (lineair) weergegeven.

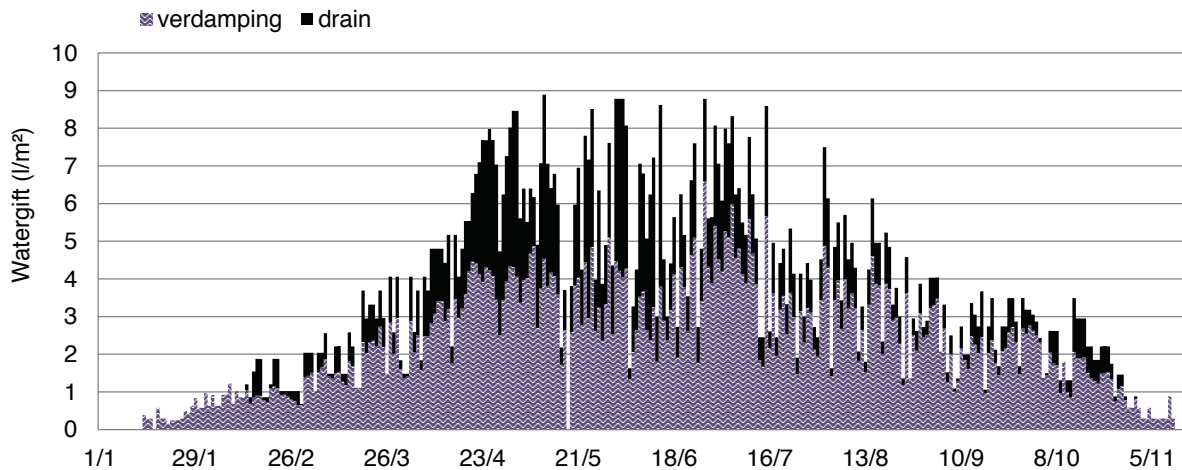


Figuur 23. Verband tussen stralingsom en nitraatopname. In de Figuur is een trendlijn (lineair) weergegeven.

4.5 Water- en voedingsstromen tijdens een tomatenteelt

4.5.1 Waterstromen

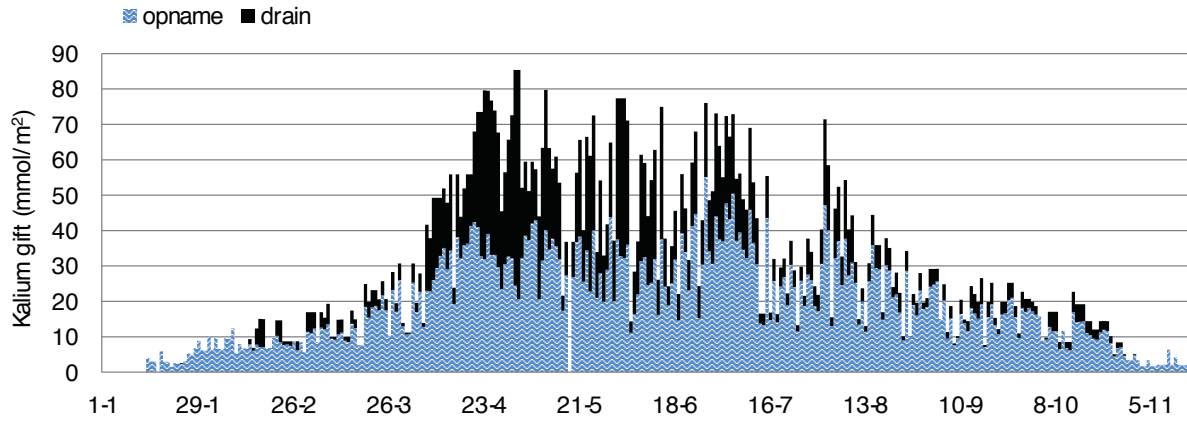
Het verloop van de watergift en drainhoeveelheid gedurende de teelt van de tomaat Komeett is weergegeven in Figuur 24. Aan het begin van de teelt zijn de planten direct op het plantgat geplaatst, waardoor de verzadigde mat leeg werd getrokken tot een watergehalte van 70%. Vanaf half februari tot half maart is een laag percentage drain aangehouden (gemiddeld 23%). Daarna is gestreefd naar een drainpercentage van 30-40%.



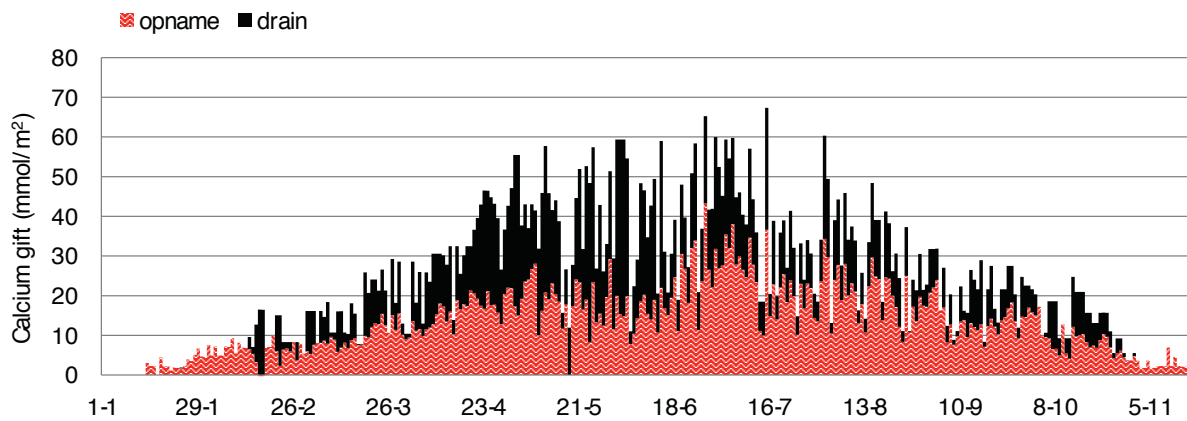
Figuur 24. Watergift per dag, opgedeeld in verdamping en drain (verdamping= gift - drain). De zwarte balken geven de drainhoeveelheid weer, de paarse balken de opgenomen hoeveelheid water en de som van deze gestapelde balken is de watergift.

4.5.2 Voedingsstromen

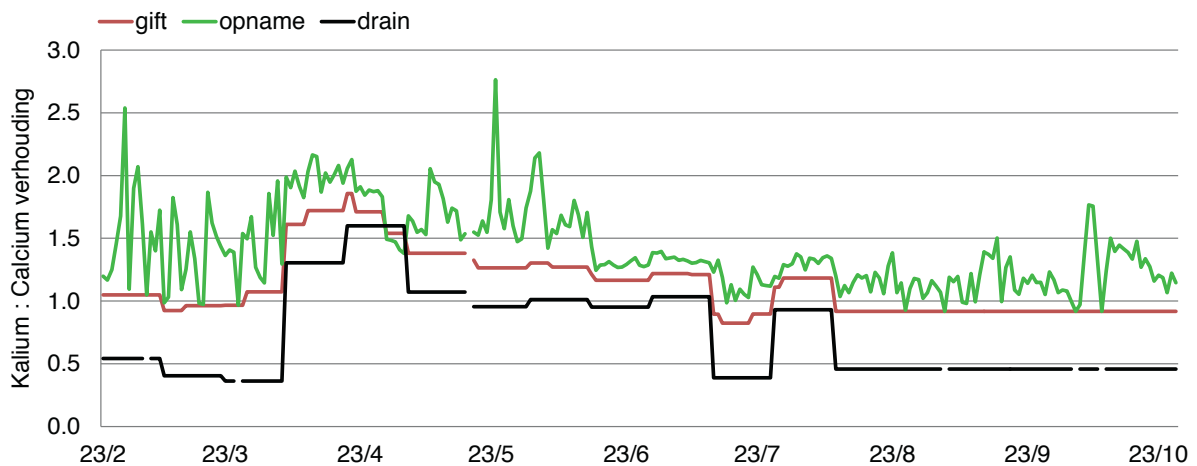
Het verloop van de kaliumgift en de hoeveelheid kalium in het drainwater is weergegeven in Figuur 25. In de periode van begin april tot half juli kwam per dag gemiddeld 38% van de kaliumgift via het drainwater retour. In de periode tussen half juli en eind september bedroeg dit percentage 18%. Voor calcium (Figuur 26.) kwam in de eerstgenoemde periode 48% van de calciumgift in het drainwater terecht, in de periode daarna was dit 33%. De verhouding tussen kalium en calcium in de gift kwam goed overeen met de verhouding tussen de opgenomen hoeveelheid kalium ten opzichte van de opgenomen hoeveelheid calcium (Figuur 27.).



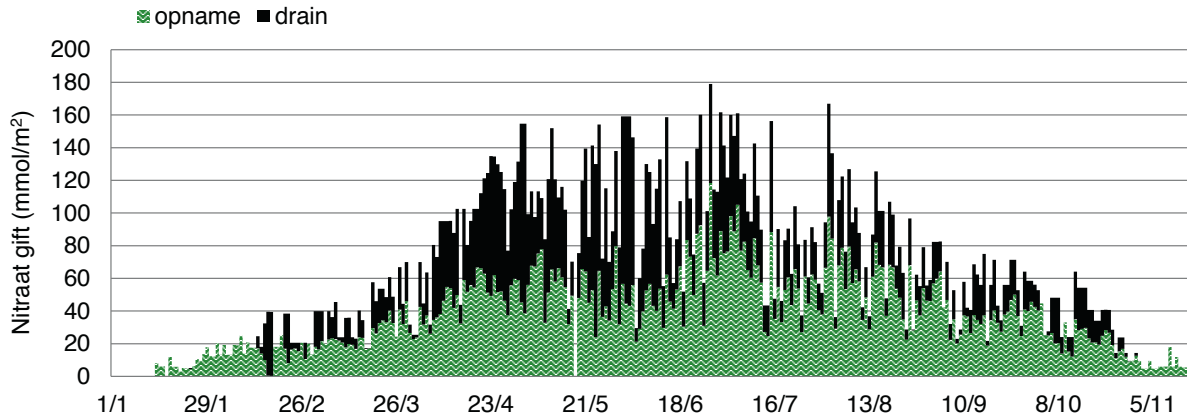
Figuur 25. Kaliumgehalte in het giftwater, opgedeeld in het kaliumgehalte in het drainwater en de opgenomen hoeveelheid kalium (opname=gift - drain). De zwarte balken geven het gehalte in het drainwater weer, de blauwe balken de opgenomen hoeveelheid en de som van deze gestapelde balken is het gehalte in het giftwater.



Figuur 26. Calciumgehalte in het giftwater, opgedeeld in het calciumgehalte in het drainwater en de opgenomen hoeveelheid calcium (opname=gift - drain). De zwarte balken geven het gehalte in het drainwater weer, de rode balken de opgenomen hoeveelheid en de som van deze gestapelde balken is het gehalte in het giftwater.



Figuur 27. Verhouding tussen kalium- en calciumhoeveelheid in het giftwater en het drainwater en de verhouding waarin kalium en calcium zijn opgenomen.



Figuur 28. Nitraatgehalte in het giftwater, opgedeeld in het nitraatgehalte in het drainwater en de opgenomen hoeveelheid nitraat (opname=gift - drain). De zwarte balken geven het gehalte in het drainwater weer, de groene balken de opgenomen hoeveelheid en de som van deze gestapelde balken is het gehalte in het giftwater.

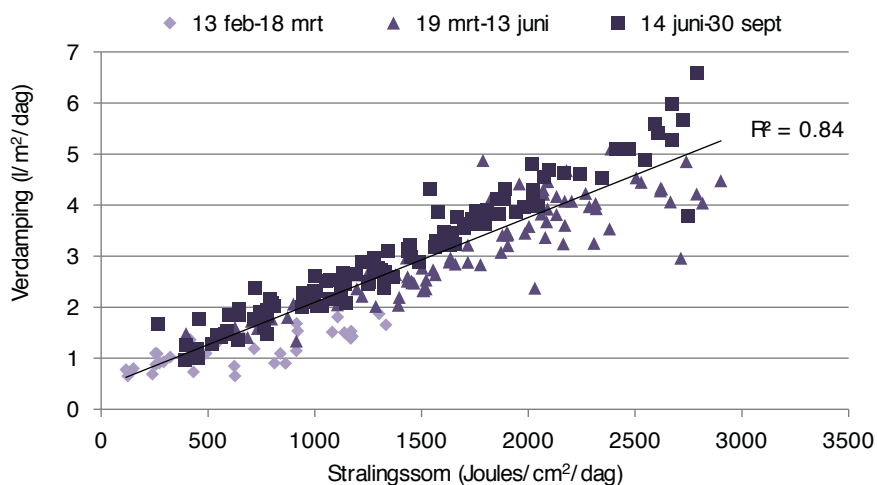
Figuur 28. toont het verloop van de nitraatgift en de nitraathoeveelheid in het drainwater. Van de nitraatgift kwam in de periode van begin maart tot eind september per dag gemiddeld 38% in het drainwater terecht.

Wat opvalt in Figuur 26. en 28. is dat volgens de berekeningen op 16 en 17 februari geen calcium- en nitraatopname was. Dit zal niet werkelijk het geval zijn geweest, maar is een gevolg van de gebruikte rekenmethode. Op 16 en 17 februari was de watergift hoger dan op de dagen ervoor en erna vanwege de hoge stralingssom deze dagen. Op deze dagen bedroeg het drainpercentage 52%, de extra hoeveelheid water werd dus niet voldoende opgenomen door het gewas.

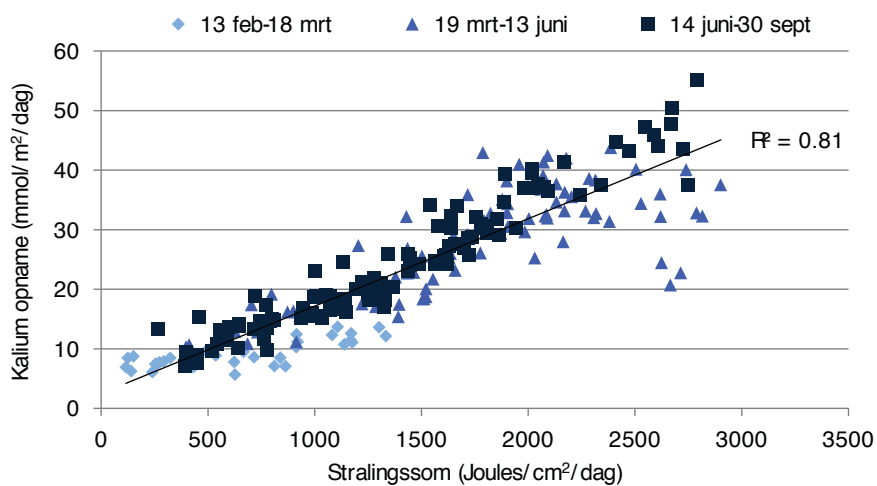
4.5.3 Relatie tussen stralingssom en water- en voedingsopname

Het verband tussen verdamping en straling is weergegeven in Figuur 29. Omdat voor het verband tussen calciumopname en stralingssom drie perioden kunnen worden onderscheiden (zie Figuur 31.), is Figuur 29. in dezelfde drie perioden opgedeeld. De verdamping per eenheid straling nam toe tijdens de teelt. In de beginperiode bedroeg de verdamping bij 1000 Joules.cm².dag⁻¹ zo'n 1.4 l.m⁻². Bij gelijke hoeveelheid straling in de periode na 14 juni werd gemiddeld 2.3 l.m⁻² verdampt.

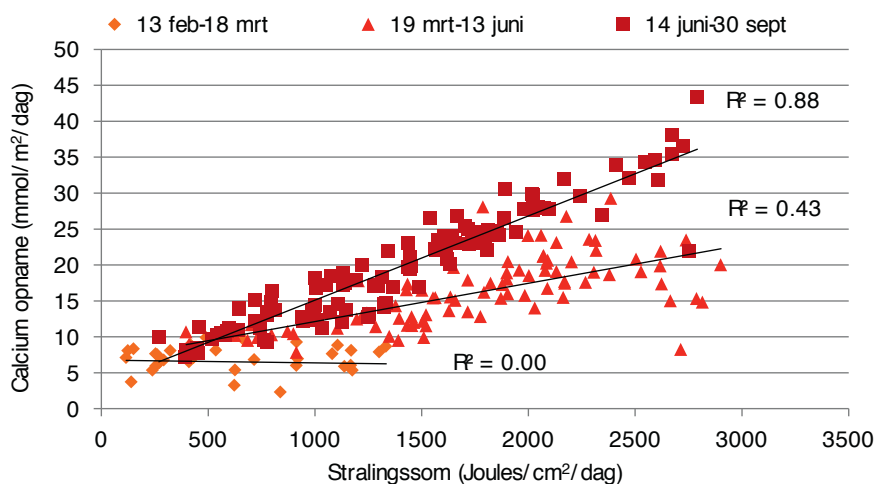
Er was een lineair verband stralingssom en kaliumopname (Figuur 30.). In tegenstelling tot bij het cherrytomatenbedrijf, was er geen groot effect van seizoen/gewasstadium op de kaliumopname. In de eerste periode tot 18 maart was er geen verband tussen stralingssom en calciumopname (Figuur 31.). Vanaf half maart was er een lineair verband tussen stralingssom en calciumopname. Na 14 juni werd per eenheid straling meer calcium opgenomen dan in de periode ervoor. Aangezien de calciumopname afhankelijk zal zijn van zowel de hoeveelheid water welke door de plant wordt opgenomen als de calciumgift, is in Figuur 32. weergegeven hoeveel calcium gegeven werd per eenheid stralingssom in de betreffende perioden. Figuur 32. laat zien, dat bij een gegeven hoeveelheid straling niet alleen meer verdampt werd (Figuur 29.), maar ook meer calcium gegeven werd in de periode na 14 juni. Het verband tussen nitraatopname en straling volgde hetzelfde patroon als het verband tussen calciumopname en straling (Figuur 33.).



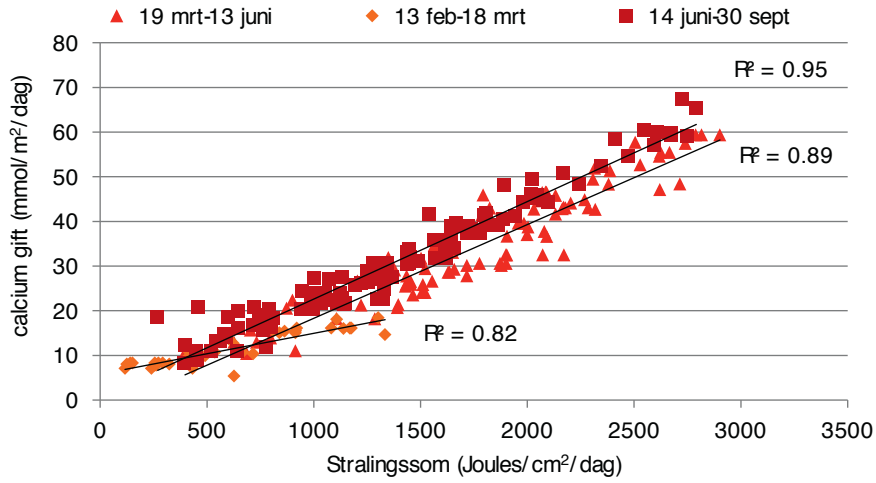
Figuur 29. Verband tussen stralingsom en wateropname in drie perioden. In de Figuur is een trendlijn (lineair) weergegeven, deze is berekend op basis van alle gegevens uit de drie genoemde perioden.



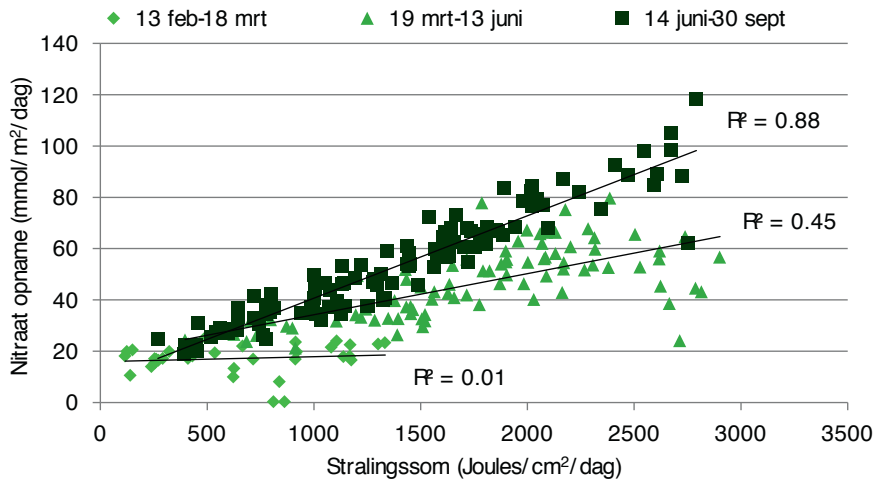
Figuur 30. Verband tussen stralingsom en kaliumopname in drie perioden. In de Figuur is een trendlijn (lineair) weergegeven, deze is berekend op basis van alle gegevens uit de drie genoemde perioden.



Figuur 31. Verband tussen stralingsom en calciumopname in drie perioden. Per periode is een trendlijn (lineair) weergegeven.



Figuur 32. Verband tussen stralingsom en calciumgift in drie perioden. Per periode is een trendlijn (lineair) weergegeven.

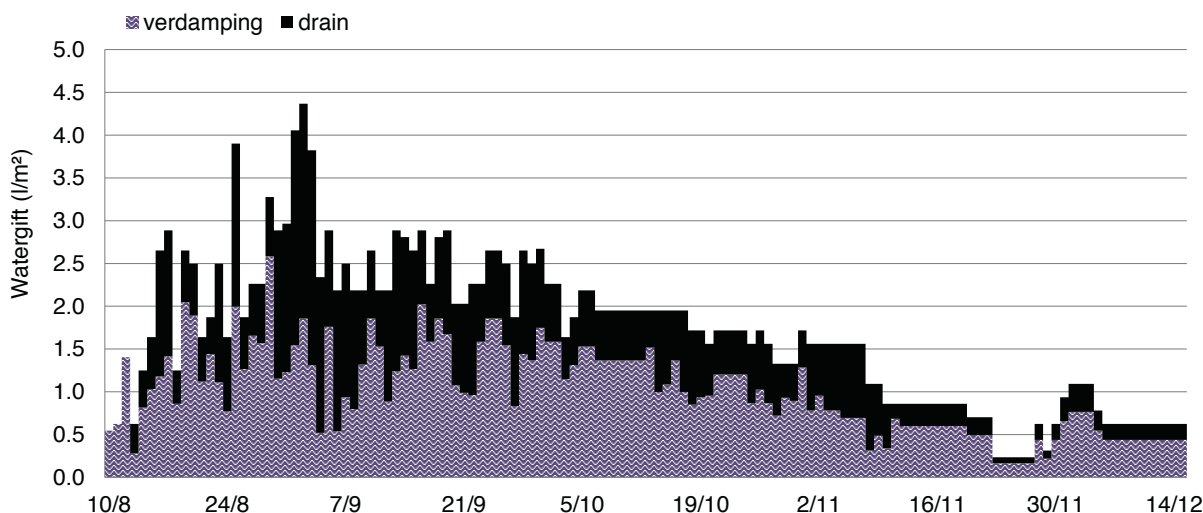


Figuur 33. Verband tussen stralingsom en nitraatopname in drie perioden. Per periode is een trendlijn (lineair) weergegeven.

4.6 Continue metingen tijdens een herfstteelt tomaat

4.6.1 Waterstromen

Figuur 34. toont de grootte van de watergift en de drainhoeveelheid gedurende een herfstteelt tomaat.



Figuur 34. Watergift per dag, opgedeeld in verdamping en drain (verdamping= gift - drain). De zwarte balken geven de drainhoeveelheid weer, de paarse balken de opgenomen hoeveelheid water en de som van deze gestapelde balken is de watergift.

4.6.2 Voedingsstromen

Tijdens deze herfstteelt zijn twee behandelingen vergeleken. De eerste behandeling is de standaard behandeling, waarbij het voedingsschema is aangepast aan het resultaat van de veertiendaagse bemonstering. Bij de tweede behandeling is het voedingsschema op basis van frequenter uitgevoerde metingen met behulp van de ion-specifieke meter direct aangepast. Voor het leesgemak wordt deze behandeling in onderstaande tekst de 'direct aanpassen' behandeling genoemd. Tijdens de teelt bleek dat het kaliumgehalte in het giftwater moest worden verhoogd om uitputting van kalium in het drainwater te voorkomen. Om deze reden wordt in deze paragraaf het verloop van de kaliumhoeveelheid in gift- en drainwater besproken.

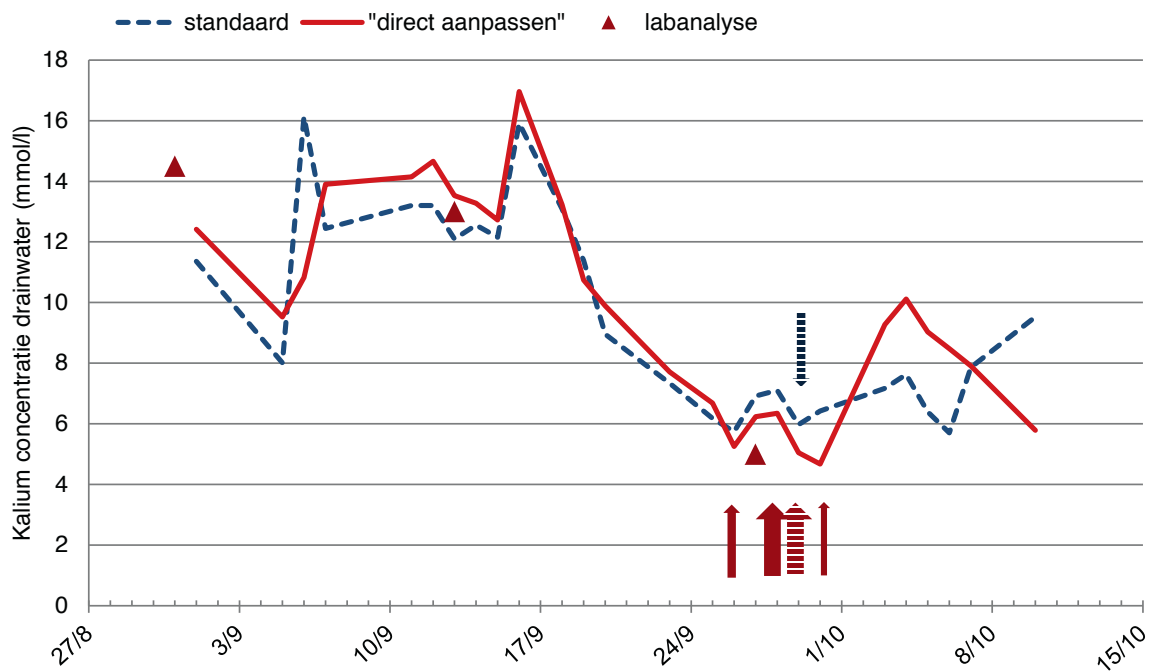
Figuur 35. toont het verloop van de kaliumconcentratie in het drainwater, gemeten met de ion-specifieke meter. Uit deze metingen blijkt dat de kaliumconcentratie op 16 september nog 16-17 mmol.l⁻¹ was. Gedurende de 10 dagen die hierop volgden nam de concentratie kalium in het drainwater sterk af, totdat deze op 26 september 5-6 mmol.l⁻¹ bedroeg. De eerstvolgende monsternamen voor laboratoriumanalyse was gepland op 27 september. Door meting met de ion-specifieke meter kon de afname in kaliumconcentratie in een eerder stadium worden opgemerkt.

Bij de 'direct aanpassen' behandeling was de grenswaarde voor de kaliumconcentratie volgens de bemestingsadviesbasis op 26 september bereikt. In de periode tussen 26 en 30 september is de kaliumconcentratie in de voorraadbak vier maal verhoogd met 1.5 tot 4 mol.l⁻¹. Bij de standaardbehandeling is de kaliumconcentratie naar aanleiding van de veertiendaagse analyse op 29 september met 2 mmol.l⁻¹ verhoogd.

Opvallend is dat de extra kaliumgift bij de 'direct aanpassen' behandeling niet direct resulteerde in herstel van het kaliumgehalte in het drainwater. Het lijkt erop dat de extra toegevoegde kalium grotendeels door de planten is opgebruikt.

De kaliumhoeveelheden in het gift- en drainwater zijn ook berekend met de analysemethode uit paragraaf 4.1. Uit de berekeningen kwam naar voren dat er in de periode tot medio september dagelijks gemiddeld 47% van de gifthoeveelheid in het drainwater terecht kwam, in de periode tussen medio september en medio oktober was dit 27%. De sterke afname

van de kaliumconcentratie van het drainwater had effect op de K/Ca verhouding in het drainwater. Deze was in de eerste periode tot half september gelijk aan 1.2, in daaropvolgende periode tot aan het einde van de teelt bedroeg de K/Ca verhouding 0.5. Dit was het geval bij beide behandelingen.



Figuur 35. Kalium concentratie in het drainwater. Bij de standaard behandeling is indien nodig* extra kalium toegevoegd op basis van de veertiendaagse analyses, bij de 'direct aanpassen' behandeling is indien nodig* extra kalium toegevoegd op basis van frequent uitgevoerde analyses met de ion-specifieke meter. De doorgetrokken lijnen geven het resultaat van de metingen met de ion-specifieke meter, de symbolen (driehoek) geven het resultaat van de veertiendaagse analyses weer. Met pijlen is aangegeven op welke momenten extra kalium is toegevoegd. De gestreepte pijlen zijn toevoegingen op basis van de veertiendaagse analyses. De andere pijlen zijn toevoegingen op basis van de metingen met de ion-specifieke meter.

* Voor toevoeging van extra kalium zijn de grenswaarden volgens de bemestingsadviesbasis aangehouden. Op 26 september is de kaliumconcentratie in de voedingsoplossing bij de 'direct aanpassen' behandeling met 2 mmol.l⁻¹ verhoogd. Op 28 september en 29 september is nogmaals 4 mmol.l⁻¹ toegevoegd. Op 30 september is opnieuw 1.5 mmol.l⁻¹ toegevoegd. Bij de standaardbehandeling is de kaliumconcentratie naar aanleiding van veertiendaagse analyse op 29 september met 2 mmol.l⁻¹ verhoogd.

4.7 Overzicht water- en voedingsopname per bedrijf

In de voorgaande paragrafen is het resultaat van de rekenmethode per bedrijf weergegeven. Om een indruk te krijgen van verschillen tussen bedrijven en gewassen geeft Tabel 4 een overzicht van de berekende waarden. Hierbij zijn de verschillen op het gebied van water- en kaliumstromen uitgelicht. De resultaten in de tabel illustreren dat bij roos wordt gewerkt met hogere gifthoeveelheden en een hoger percentage drain dan bij groentegewassen. Bij de tomatenbedrijven verdween het grootste deel van de kaliumgift in het systeem (gewas, leidingsysteem en mat).

Tabel 4. Overzicht van gemiddelde watergift, waterverbruik en percentage drain en gemiddelde kaliumgift, kaliumverbruik en percentage van de kalium gift wat retour is gekomen via het drainwater in de periode van 27 juni tot 20 juli 2011.

Gewas	Water			Kalium		
	gift (l.m ⁻²)	verbruik (l.m ⁻²)	drain (%)	gift (mmol.m ⁻²)	verbruik (mmol.m ⁻²)	retour (%)
Roos*	6.7	3.4	50	37	14	63
Cherrytomaat	5.6	3.6	32	63	43	30
Komkommer	5.6	2.9	48	51	28	44
Grove tomaat	5.8	4.2	28	49	34	28

* Om een vergelijking te kunnen maken, zijn per bedrijf de gemiddelde waarden in dezelfde periode weergegeven, van 27 juni tot 20 juli. Voor roos en de herfststeelt tomaat is de rekenmethode niet in deze periode uitgevoerd. Omdat het opnemen van roos in de tabel een vollediger beeld geeft van de verschillende gewassen, is gekozen de resultaten van de drie meetdagen (3-09-2010, 15-2-2011 en 22-3-2011 te middelen en in de tabel weer te geven.

5 Discussie

5.1 In kaart brengen water- en nutriënten stromen

Het doel van dit onderzoek is het beter beheersen van de water- en voedingsstromen binnen het bedrijf en beperken van de uitstoot van overtollig drainwater naar het milieu. Het uitgangspunt hierbij is dat de emissie kan verminderen door de samenstelling van de gift zo goed mogelijk aan te passen aan de behoefte van het gewas. Het is dus van belang inzicht te hebben in de opname van het gewas. Met andere woorden: welke hoeveelheden en verhoudingen aan voedingselementen zijn nodig op een bepaald moment tijdens de teelt van een bepaald gewas op een bepaald bedrijf. Om op de plantbehoefte in te spelen is het ook nodig een goed continu beeld te hebben van de samenstelling van het drainwater, zodat de hoeveelheid voeding in het aanvuldeel van het giftwater zó kan worden gekozen dat de resulterende gift weer optimaal is. Beide processen hangen bovendien samen: naarmate de samenstelling van de gift beter is afgestemd op het gewas, zullen fluctuaties in de samenstelling van het drainwater verminderen.

Voor een goed totaalbeeld is het nodig om de transpiratie los te koppelen van de opname van voedingselementen. Water en voedingselementen worden namelijk niet steeds in dezelfde verhouding door de plant opgenomen. De in dit rapport gebruikte analysemethode geeft inzicht in het verloop van de wateropname van de plant in $l.m^{-2}$ en van de voedingsopname van afzonderlijke voedingselementen in $mmol.m^{-2}$ op verschillende bedrijven. Als vervolgstap zijn de opnamedata per voedingselement uitgezet tegen de stralingsom. De relatie tussen opnamehoeveelheid in $mmol.m^{-2}$ en stralingsom bleek te variëren afhankelijk van de periode in het jaar en/of het gewasstadium. Deze methode kan worden gebruikt om inzicht te krijgen in het verloop van de opname van water en voedingselementen bij een specifiek bedrijf en een specifieke cultivar en kan de basis vormen voor het beter afstemmen van de samenstelling van de gift aan de behoefte van het gewas. Alle voor de berekeningen gebruikte gegevens zijn afkomstig van de registratie op het bedrijf zelf - alleen bij het rozenbedrijf zijn aanvullende metingen gedaan. Er zijn dus weinig of geen extra metingen nodig om de water- en voedingsstromen anders dan nu gebruikelijk is, in kaart te brengen. Dat betekent dat er sprake is van een andere manier van denken, niet in concentratie (EC, $mmol.l^{-1}$) maar in vracht ($mmol.m^{-2}$). Het is belangrijk dat hiermee bij een eventuele verdere introductie rekening wordt gehouden in de vorm van aandacht voor opleiding en voorlichting van telers en teeltvoorlichters.

5.2 De analysemethode

Om volgens de in dit rapport getoonde werkwijze een betrouwbare indicatie te kunnen geven van opname van water en voedingselementen is in de eerste plaats een goede registratie belangrijk. Voor de berekening van water- en voedingsopname zoals in dit rapport is uitgevoerd, moeten de gifthoeveelheid en EC, de samenstelling van de gift, de drainhoeveelheid en EC en de samenstelling van de drain worden geregistreerd. Daarom moeten de flowmeters en de EC en pH meters regelmatig geijkt worden en er mag geen lek optreden binnen het systeem.

Bij de teelt van Komeett op het Improvement Centre is de opname van de verschillende voedingselementen gedurende een hele teelt gevolgd. Hierdoor kon een vergelijking gemaakt worden tussen de volgens de analysemethode berekende gewasopname en de gewasopname volgens de bemestingsrichtlijn (Bijlage II). Voor kalium, chloor en fosfaat week de berekende opnamehoeveelheid minder dan 10% af van de hoeveelheid volgens de bemestingsrichtlijn. Voor sulfaat, magnesium en calcium was de berekende opnamehoeveelheid respectievelijk 57, 62 en 80% hoger volgens de berekeningen dan volgens de bemestingsrichtlijn. Bij de in dit rapport toegepaste analysemethode wordt aangenomen dat de opname van water en voedingselementen gelijk is aan de gifthoeveelheid min de hoeveelheid in het drainwater. Hierbij wordt de aanname gemaakt dat alle voedingselementen worden ingebouwd in de plant. Verschil tussen berekende en werkelijke opname kan veroorzaakt worden door accumulatie van voedingselementen in de mat, in de rest van het watergeefstelsel of op de wortels. Het verschil tussen de berekende hoeveelheid en de bemestingsrichtlijn is dusdanig groot, dat het aannemelijk lijkt dat er een verschil was in voedingsgehalte tussen de drain van de tomatenproef en de verzamelrain (van meerdere compartimenten) die wordt gebruikt voor recirculatie. Voor stikstof was de berekende opnamehoeveelheid 27% hoger dan volgens de bemestingsrichtlijn. Hierbij zal 10-20% nitraatverlies door denitrificatie -

naast eventueel de hierboven genoemde factoren - een rol hebben gespeeld (Pronk ea, 2007). Denitrificatie is het proces waarbij nitraat door bacteriën wordt omgezet in stikstofgas. Hierdoor is dit nitraat niet meer beschikbaar voor de plant. Onafhankelijk van wat er precies met het aanbod aan voedingselementen gebeurt, geeft de gebruikte analysemethode - gebruik makend van de gegevens welke al op het bedrijf aanwezig zijn - inzicht in het verloop van absolute hoeveelheden voedingselementen in het giftwater en het drainwater. In dit rapport zijn kalium, calcium en nitraat als voorbeeld uitgelicht, maar de rekenmethode kan bij alle voedingselementen worden toegepast. Dit geeft enkele interessante nieuwe mogelijkheden:

- Ten eerste komt actuele bedrijfsspecifieke informatie beschikbaar. Wanneer er op een bepaald moment te weinig van een bepaald voedingselement wordt aangeboden, zal de hoeveelheid in het drainwater dalen en zal door hergebruik van drainwater een onbalans in de voedingsgift ontstaan.
- Door de loskoppeling van water- en voedingsstromen wordt het voor telers gemakkelijker opbrengst gerelateerde voedingsgegevens onderling met elkaar of met gegevens van voorgaande teeltjaren te vergelijken.
- Bovendien kunnen afwijkende uitkomsten erop wijzen dat het systeem niet in orde is, omdat er bijvoorbeeld lekverliezen optreden.

5.3 Waterstromen

Wanneer de gift- en drainhoeveelheden constant zijn, zal al het drainwater kunnen worden hergebruikt. Wanneer de gift- en dus ook de drainhoeveelheden sterk wisselen is het lastiger. Bijvoorbeeld wanneer een zonnige dag met hoge watergift wordt opgevolgd door meerdere donkere dagen. De zonnige dag zal resulteren in een grote hoeveelheid drainwater, welke in de drainsilo wordt opgeslagen en verspreid over de donkere dagen worden hergebruikt. Wanneer de drainsilo onvoldoende groot is voor de hoeveelheid drainwater en niet voldoende drainwater kan worden hergebruikt vanwege de lage watergift op de donkere dagen, zal spui plaatsvinden.

Om de emissie door overloop te verminderen zou de EC van de gift kunnen worden verlaagd of kleinere beurten worden gegeven met een lager drainpercentage. De eerste optie kan een lager droge stofgehalte tot gevolg hebben, de tweede optie kan ertoe leiden dat sommige planten te weinig water hebben. Een derde optie is het verlagen van het drainpercentage aan het einde van de dag. De metingen op het rozenbedrijf laten zien dat op 3 september 2010 de drainpercentages van de derde, vierde en vijfde giftbeurten respectievelijk 77%, 63% en 77% waren. Er wordt verondersteld dat er minimaal één drainbeurt van meer dan 60% nodig is om de mat volledig te verversen. In dit geval hebben de vierde en vijfde giftbeurt onnodig veel drain opgeleverd. Het lijkt erop dat op alle drie de meetdagen de mat na drie giftbeurten voldoende gespoeld was, waardoor er geen reden is om daarna nog meer water en voeding te geven dan de plant kan opnemen.

Als vierde optie kan ook optimalisatie van de bijmengregeling van drainwater aan de gift leiden tot afname van emissie. In een eerder rapport is aan de hand van een rekenmodel bekeken wat het effect zou zijn van bijmengen van een vaste EC waarde aan drainwater in de gift versus een dynamische bijmenging van 50% van de EC waarde van de gift (Blok ea, 2010). Deze eerste oriënterende berekeningen wijzen erop dat de dynamische bijmengregeling kan leiden tot 50% minder spui bij gelijke of betere elementenverhoudingen in de aanvoer. Door veel meer dan 50% van het drainwater te hergebruiken, kan onbalans in de voeding ontstaan. Extra kennis over de opname van de verschillende voedingselementen (door bijvoorbeeld de in dit rapport getoonde berekeningsmethode of ion-specifiek meten en regelen) kan de veiligheid hierbij verder vergroten zodat uiteindelijk alle drainwater kan worden hergebruikt. Een bewijs dat deze verkenningen haalbaar zijn, is dat enkele praktijkbedrijven los van dit project nu al claimen emissievrij te telen.

5.4 Voedingsstromen

Kaliumopname

Aan de hand van de gebruikte analysemethode is per bedrijf inzichtelijk gemaakt hoeveel mol.m⁻² wordt gegeven en hoeveel hiervan weer terugkomt via het drainwater. Bij het cherrytomatenbedrijf bleek gemiddeld per dag 26% van de kaliumgift via het drainwater retour te komen. Bij de gevolgde komkommerteelt bedroeg dit percentage 44%. Bij de teelt van Komeett op het Improvement Centre kwam afhankelijk van de periode gemiddeld 33% of 18% van de kaliumgift via het drainwater retour. Bij de herfstteelt van Komeett bedroegen deze percentages 47% en 27%. Vooral

bij de tomatenbedrijven verdween in sommige perioden dus een groot deel van de kaliumgift in het systeem (gewas, leidingsysteem en mat). Ervan uitgaande dat deze hoeveelheid grotendeels door het gewas is opgenomen, rijst de vraag of het kaliumaanbod op dat moment voldoende was voor de vraag. Aangezien deze gegevens gebaseerd zijn op metingen van de drainwaterconcentratie in een (verzamel)bassin, valt te verwachten dat de schommelingen op uurbasis en per plant heviger zijn dan uit deze gegevens blijkt.

Tijdens de teelt van de cherrytomaat Sassari nam de kaliumconcentratie in het drainwater vanaf eind maart/begin april sterk af. Op het moment dat uit de analyses blijkt dat de concentratie te laag is, wordt de kaliumhoeveelheid in het aanvuldeel van de gift aangepast. Door de kaliumconcentratie in het aanvuldeel te verhogen van 9 mmol.l⁻¹ naar maximaal 20 mmol.l⁻¹, kon de streefwaarde in de gift van 8 mmol.l⁻¹ worden gehandhaafd. De kaliumconcentratie in het drainwater bleef lange tijd laag, eind april/begin mei kwam minder dan 10% van de kaliumgift retour in het drainwater. Aangezien in deze periode het grootste deel van de kaliumgift in het systeem verdwijnt, rijst de vraag of de kaliumgift wel aansluit bij de behoefte. Door de streefwaarde voor de kaliumconcentratie in de gift op het moment dat de hoeveelheid in het drainwater terugloopt te verhogen, kan worden voorkomen dat het kaliumgehalte in het drainwater te sterk terugloopt en wordt beter ingespeeld op de verhoogde kaliumbehoefte. De focus lag dus ten onrechte op de concentratie in het aanvuldeel in plaats van op de concentratie in de gift.

Ook tijdens de herfstteelt van Komeett bij WUR glastomaat is een dergelijke afname van het kaliumniveau in het drainwater geconstateerd omstreeks de zetting van de 5^e tros. Ook hier bleek toevoeging van extra kalium niet direct tot herstel van het kaliumgehalte in het drainwater te leiden. Het lijkt erop dat de extra gift direct grotendeels door de plant is opgenomen. Hier blijkt dat behalve meten en sturen ook ervaring nodig is om de gift op de meest optimale manier te sturen (in dit geval eerder ingrijpen en de hoeveelheid kalium in de gift sterker verhogen).

Kalium/calcium verhouding.

Kalium kan actief door het wortelsysteem worden opgenomen. Calcium daarentegen wordt moeilijk opgenomen door de plant en daarom in een overmaat aangeboden. Wanneer in perioden waarin de kaliumbehoefte van de plant groter is en relatief meer kalium dan calcium wordt opgenomen, kan dit tot een verschuiving van de K/Ca verhouding in het drainwater leiden. Wanneer dit niet (tijdig) wordt opgemerkt, zal hergebruik van dit drainwater de K/Ca verhouding in het giftwater beïnvloeden. Uit de metingen op het rozenbedrijf bleek dat de opgenomen K/Ca verhouding op de eerste twee meetdagen niet altijd gelijk was aan de K/Ca verhouding in de gift. Op de tweede meetdag bedroeg de K/Ca verhouding in de gift 1.7. Omdat naar verhouding meer kalium dan calcium werd opgenomen, was de K/Ca verhouding in het drainwater 1.4. Wanneer de giftconcentratie niet of niet voldoende wordt aangepast op de samenstelling van dit drainwater, zal de K/Ca verhouding in de volgende giftbeurten lager worden dan gewenst.

Bij het cherrytomaatbedrijf kwam in de periode waarin de kaliumopname hoog was, gemiddeld 20% van de kaliumgift via het drainwater retour, terwijl dit percentage voor calcium in deze periode 67% bedroeg. Dit resulteerde in een ongewenste verhouding tussen kalium en calcium in het drainwater. In maart wordt bewust gespuid wanneer op het moment dat de vruchten gaan kleuren groeiremming in het gewas zichtbaar wordt. Wanneer zou blijken dat deze afname in groei kan worden voorkomen door een betere controle over de samenstelling van de voedingsoplossing kan deze spui achterwege worden gelaten.

Nitraat

Het verloop van de nitraatgift en drainhoeveelheid is berekend voor de komkommerteelt en de teelt van de grove tomaat. De nitraatopname bedroeg steeds ongeveer 40 tot 50% van de gift. De nitraatopname varieerde tussen 10 en 100 mmol.m⁻², afhankelijk van de gifthoeveelheid en het stralingsniveau.

Stikstof (gegeven in de vorm van ammonium of nitraat) is een essentiële voedingsstof voor planten, veel organische stoffen zoals eiwitten, enzymen en DNA bevatten veel stikstofatomen. Voldoende stikstofaanbod is dus noodzakelijk voor goed functionerende planten. Stikstof stimuleert echter vooral de vegetatieve groei. Wanneer er behoefte is aan een generatieve impuls, kan dit bereikt worden door het stikstofaanbod te verlagen. Dit is wellicht efficiënter dan sturing door middel van temperatuurverandering of aanpassen van de watergift of de EC. Maar om te voorkomen dat schade door stikstofgebrek optreedt, is het nodig goed inzicht te hebben in het dagelijkse verloop van de gewasbehoefte aan stikstof. Het gebruik van de hier getoonde analyses en de verbanden tussen opname en stralingsniveau kan hiervoor de basis zijn. Ook kan de in eerder onderzoek aanbevolen methode om nitraat en fosfaat op het einde van de teelt door het gewas te laten "wegeten" beter worden toegepast (Voogt ea, 2006; Blok ea, 2009).

Natrium

Problemen als gevolg van ophoping van natrium in het drainwater kunnen niet worden voorkomen met behulp van in dit rapport gebruikte rekenmethode. Tijdens de gesprekken met telers kwamen echter een aantal interessante vragen naar voren met betrekking tot de hoeveelheid natrium in de voedingsoplossing (H3). Om deze reden wordt in deze paragraaf ingegaan op een aantal vragen betreffende het natriumgehalte. De teler vraagt zich af welke meststoffen bijdragen aan een hoog natriumgehalte. In recent onderzoek bij vijftig verschillende meststoffen kwam naar voren dat het aandeel natrium in deze meststoffen zeer gering is (Voogt, 2012). Voor een standaard recept was de natriumconcentratie in de verdunde oplossing gemiddeld slechts 0.05 mmol.l⁻¹. Organische toevoegingen kunnen overigens wel hoge hoeveelheden natrium bevatten. Een andere vraag van de paprikateler is of hij opbrengstverlies kan verwachten bij het hanteren van een hoger natriumgehalte van 8 mmol.l⁻¹ in plaats van 3 mmol.l⁻¹. Voor tomaat geldt een kritische bovengrens van 8 mmol.l⁻¹. Mondeling commentaar van Wageningen UR Glastuinbouw bemestingsspecialist Wim Voogt geeft aan dat het vermoeden van de teler juist is en veel rassen een hogere bovengrens verdragen zonder opbrengstderving. De indertijd opgegeven kritische grenzen zijn gericht op een laag teeltrisico, niet op het beperken van spui.

5.5 Relatie tussen stralingssom en voedingsopname

Bij alle bedrijven was er een lineair verband tussen kaliumopname en straling. Hierbij bleken er grote verschillen tussen de bedrijven. Per 1000 Joule was het dagelijks verbruik bij cherrytomaat in de zomerperiode 24 mmol.m⁻², bij komkommer en een grove tomaat zijn waarden van respectievelijk 12 en 15 mmol.m⁻² gevonden. Op het cherrytomatenbedrijf was duidelijk verschil in helling van de trendlijn in verschillende perioden. In de periode van eind maart tot half juli was de kaliumopname ruim anderhalf maal zo hoog als in de voorafgaande periode. Ook voor calcium en nitraat zijn lineaire verbanden gevonden tussen opname en straling. Bij de teelt van de grove tomaat op het IC bleek dat er een verschil in helling van de trendlijn was in verschillende perioden. Aan het einde van de teelt werd per eenheid straling meer calcium en nitraat opgenomen dan aan het begin van de teelt. Dit valt te relateren aan een verschil in wateropname, gecombineerd met verschillen in absolute hoeveelheden (mmol.m⁻²) calcium en nitraat in de gift. Opvallend bij deze dataset is ook de wisselende calcium- en nitraatopname per eenheid straling in het voorjaar (grotere spreiding in de data). Het is niet duidelijk waarom de opname op sommige dagen achterblijft bij de straling. Mogelijk blijft hier groeivermogen onbenut.

Ook hier is sprake van interessante nieuwe teeltinformatie:

- Weer is sprake van actuele bedrijfsspecifieke informatie. Er is een ras/variëteit afhankelijke relatie tussen opname en straling die verder gaat dan de bemestingsadviesbasis.
- Voor telers wordt het veel gemakkelijker voedingsopname onderling met elkaar, met gegevens van zaadhuizen of met voorgaande teeltjaren te vergelijken.
- Afwijkende uitkomsten kunnen wijzen op meet- of systeemfouten.

5.6 Mogelijke vervolgstappen

De gebruikte analysemethode geeft inzicht in het verloop van de opname van water en voedingselementen, specifiek voor het betreffende bedrijf en de betreffende cultivar. Op deze manier wordt informatie, zoals die uit de bemestingsadviesbasis verkregen is, toegespitst op een specifieke situatie. Een volgende stap kan zijn om actief gebruik te gaan maken van de relatie tussen stralingssom en water- en voedingsopname. Door per dag aan de hand van de te verwachten stralingssom te berekenen in welke verhoudingen water en afzonderlijke voedingselementen zullen worden opgenomen, kan de samenstelling van de gift beter worden afgestemd aan de behoefte van het gewas. Door de voedingsgift via deze stap verder te automatiseren kan onbalans in de regeling, en emissie als gevolg hiervan, worden voorkomen.

5.7 Toegevoegde waarde van gebruik van ion-specifieke meters

In perioden dat geen sterke veranderingen in de relatie tussen opname en stralingssom plaatsvinden, kan op basis van de gebruikte analysemethode een juiste inschatting gemaakt worden van de gewenste hoeveelheid van een bepaald voedingselement in de gift. De analysemethode voldoet niet wanneer snel moet worden ingesprongen omdat de gewasbehoefte aan een bepaald element, zoals bijvoorbeeld tijdens de teelt van tomaat bij kalium kan voorkomen, plotseling toeneemt. In de analysemethode wordt voor het vaststellen van de hoeveelheid voedingselementen in het drainwater gebruik gemaakt van de drainwateranalyses. Aangezien deze niet dagelijks worden gedaan, zijn de analysegegevens geïnterpoleerd om toch een beeld te kunnen krijgen van het dagelijkse verloop van de opname van voedingselementen. Bij een sterke toename van de opname van een bepaald voedingselement, wordt dit hierdoor soms pas na 1 of 2 weken opgemerkt. Een meer gedetailleerde indruk van het opname verloop kan verkregen worden door het gebruik van ion-specifieke meters.

5.8 Conclusie en aanbevelingen

Het doel van werkpakket 4 (optimalisatie bemesting) was: het beter beheersen van de waterstromen binnen het bedrijf en beperken van de uitstoot van overtollig drainwater naar het milieu.

De voor dit rapport uitgewerkte rekenmethode laat zien dat je - op basis van op bedrijven geregistreerde gegevens aangaande gift en drain- hoeveelheden en samenstelling - een goed beeld kunt krijgen van het verloop van de gewasbehoefte aan water en voedingselementen. Omdat water en voedingselementen niet in dezelfde verhouding worden opgenomen door de plant, was het nodig de transpiratie los te koppelen van de nutriënten opname. Om een indruk te krijgen van het absolute voedingsaanbod en -verbruik is de eenheid mol per vierkante meter geïntroduceerd als alternatief voor mol per liter. Doordat de berekeningen aan het voedingsgedeelte per element kunnen worden uitgevoerd, wordt onderscheid gemaakt tussen afzonderlijke voedingselementen. Dit geeft de volgende mogelijkheden voor het beperken van de uitstoot van overtollig drainwater:

- Het wordt duidelijk wanneer onbalans ontstaat omdat de verhoudingen in de gift anders zijn dan de door de plant opgenomen verhouding. Door betere afstemming van de samenstelling van de gift op de behoefte van het gewas, zullen fluctuaties in de samenstelling van het drainwater verminderen. Dit kan spui als gevolg van onbalans in alle doorgemeten bedrijven geheel voorkomen.
- Door fluctuaties in de samenstelling van het drainwater te minimaliseren, kan een groter deel van de gift uit hergebruikt drainwater bestaan zonder dat onbalans ontstaat. Dit maakt het veiliger om een hoger totaal hergebruik in de gift te accepteren in perioden dat de opvangcapaciteit voor retourwater onvoldoende is.
- Bij geen van de bedrijven was sprake van het bereiken van een kritische hoeveelheid natrium of een optredende groeiremming. Natrium en groeiremming zijn problemen die niet met de hier beschreven methodiek opgelost kan worden.
- 0% spui slaat hier op spui op basis van voedingsonbalans. Kleine maar niet helemaal te veronachtzamen spui stromen blijven lekken en materiaalbreuk ed.

De gevolgde methode biedt een aantal bijkomende voordelen:

- Het inzicht in het verloop van de gewasbehoefte aan voedingselementen kan een aanvulling bieden op de informatie uit de bemestingsadviesbasis, maar dan toegespitst op de specifieke omstandigheden (zoals het geteelde ras) op het bedrijf.
- Door loskoppeling van water- en voedingsstromen wordt het voor telers gemakkelijker voedingsgegevens onderling met elkaar te vergelijken.
- Het systeem wordt gecheckt: afwijkende uitkomsten kunnen aanleiding zijn om het systeem te controleren op bijvoorbeeld lekverliezen.
- De rekenmethode maakt het mogelijk om bedrijfsspecifieke verbanden aan te geven tussen de opname van de

afzonderlijke voedingselementen en de stralingssom. Telers met hetzelfde ras moeten voor ieder voedingselement vrijwel dezelfde opname per eenheid straling vinden. Een lagere opname betekent minder productie. Bovendien wordt het mogelijk om het verwachte voedingsgebruik te voorspellen. Wanneer op sommige dagen de opname achterblijft bij de groei, wijst dit erop dat er groeivermogen onbenut blijft.

- De opname van water en afzonderlijke nutriënten varieert van dag tot dag vanwege de wisselende stralingssom. Omdat je weet in welke verhoudingen water en afzonderlijke voedingselementen bij een bepaalde stralingssom worden opgenomen, kun je uitrekenen wat je moet doen om deze fluctuaties weg te werken. Een vervolgstap kan zijn de voedingsgift automatisch aan te passen aan de hand van de verwachte stralingssom. Hierdoor kan onbalans in de regeling, en emissie als gevolg hiervan, worden voorkomen.

Een blauwdruk waarin de te volgen stappen bij de in dit rapport beschreven denk- en rekenwijze in beknopte vorm zijn beschreven is weergegeven in Bijlage IV. Als illustratie bij het gebruik van deze blauwdruk is kort aangegeven wat de belangrijkste verbeterpunten zijn voor de bedrijven die aan dit onderzoek hebben meegewerkt (Bijlage V).

Het wordt aanbevolen in een vervolgproject:

- De rekenmethode op praktijkbedrijven te gebruiken als aanvulling op de bemestingsadviesbasis, als bedrijfsvergelijking tussen telers en als voorspeller en controle op te verwachten voedingsverbruik en groei. Vervolgens kunnen er andere telers bij worden betrokken.
- De automatisering van deze regeling op praktijkbedrijven te realiseren en van hieruit andere telers erbij te betrekken.
- De toepassing van de rekenmethode en automatisering van de regeling te laten begeleiden door teeltadviseurs met ervaring met het nieuwe voedingsadvies.

6 Literatuur

- Beerling, E., 2010.
Sleutel tot emissiereductie middelen is in handen telers. Vakblad voor de Bloemisterij 30, 6-7.
- Blok, C., Van Der Maas, B., Gieling, T., Beerling, E., 2011.
Verkenning ion-specifieke technieken. Werkpakket 1 van het project Nieuwe Tuinbouw Systemen, In: B. Wageningen UR Greenhouse Horticulture, the Netherlands, (ed.).
- Blok, C., Van Os, E., Beerling, E., 2010.
Recirculatie efficiëntie. Recirculatieregelingen en rangorde van effect. Rapport Wageningen UR Glastuinbouw.
- Blok, C., Voogt, W., Khodabaks, R., Warmenhoven, M., 2009.
Demonstratie N-reductie. Praktijkproef met roos. Rapport Wageningen UR Glastuinbouw (612).
- EU, 2000:
Water Directive. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000. Establishing a framework for Community action in the field of water policy. Official Journal of the European Communities, 1-327.
- Gelder, A. de, Warmenhoven, M., Kromdijk, W., Meinen, E., De Zwart, F., Stolker, H., Grootcholten, M., 2012.
Gelimiteerd CO₂ en het nieuwe telen tomaat. Rapport Wageningen UR Glastuinbouw (1159).
- Ijdo, M., Van Winkel, A., Eveleens, B., Van den Bos C., Blok, C., 2011.
Ion-specifieke metingen op drie dagen op een rozenbedrijf. Rapport Wageningen UR Glastuinbouw.
- KRW (Kaderrichtlijn Water), 2000.
Richtlijn 2000/60/EG. Brussel, 72p. www.kaderrichtlijnwater.nl
- Klap, J., Beerling, E., 2010.
De emissie-arme kas kan niet wachten. Groenten en Fruit Magazine 9, 46-47.
- LTO-Glaskracht (2011).
"Blauwdruk Waterstromen Glastuinbouw. Versie 1."
- Marcelis, L.F.M., De Groot, C.C., Del Amor, F.M., Elings, A., Heinen, M., De Visser, P.H.B., 2003.
Crop nutrient requirements and management in protected cultivation. Int. Fert. Soc. for presentation at the Dahlia Greidinger Symposium in Izmir, Turkey.
- Pronk, A.A., Voogt, W., de Kreij, C., Smit, A.L., van der Lugt, G.G., Marcelis, L.F.M., 2007.
Bouwstenen voor het opstellen van gebruiksnormen voor nutriënten bij teelten onder glas. Rapport Wageningen UR Glastuinbouw (141).
- Sleegers, J., Gieling, T., Blok, C., 2010.
Ionensensor maakt nutriëntenregeling af. Vakblad voor de Bloemisterij 40, 32-33.
- Sleegers, J., 2011.
Recirculeren ging boven verwachting. Vakblad voor de bloemisterij 47, 30-31.
- Tolman, Y., 2010.
Waterkwaliteit Glastuinbouwgebied Delfland 2005-2009. Hoogheemraadschap van Delfland, Delft. Sector Beleid & Onderzoek / Team Watersysteemkwaliteit.
- Van Staalduinen, J., 2009.
Kaderrichtlijn water maakt tuinbouwgebieden schoner en mooier. Onder Glas 1, 22-23.
- Voogt, W., Garcia, N., Straver, N., Van der Burg, N., 2006.
Verlaging N niveau bij Roos. Onderzoek naar de mogelijkheden om rozen te telen met een permanent dan wel tijdelijk lagere N concentratie in het wortelmilieu om de N emissie te verminderen. Rapport Wageningen UR Glastuinbouw.
- Voogt, W., 2012.
Nieuw onderzoek naar natrium in meststoffen. Onderzoekspagina WUR Glastuinbouw, Onder Glas 4, 53.

Bijlage I Analysemethode

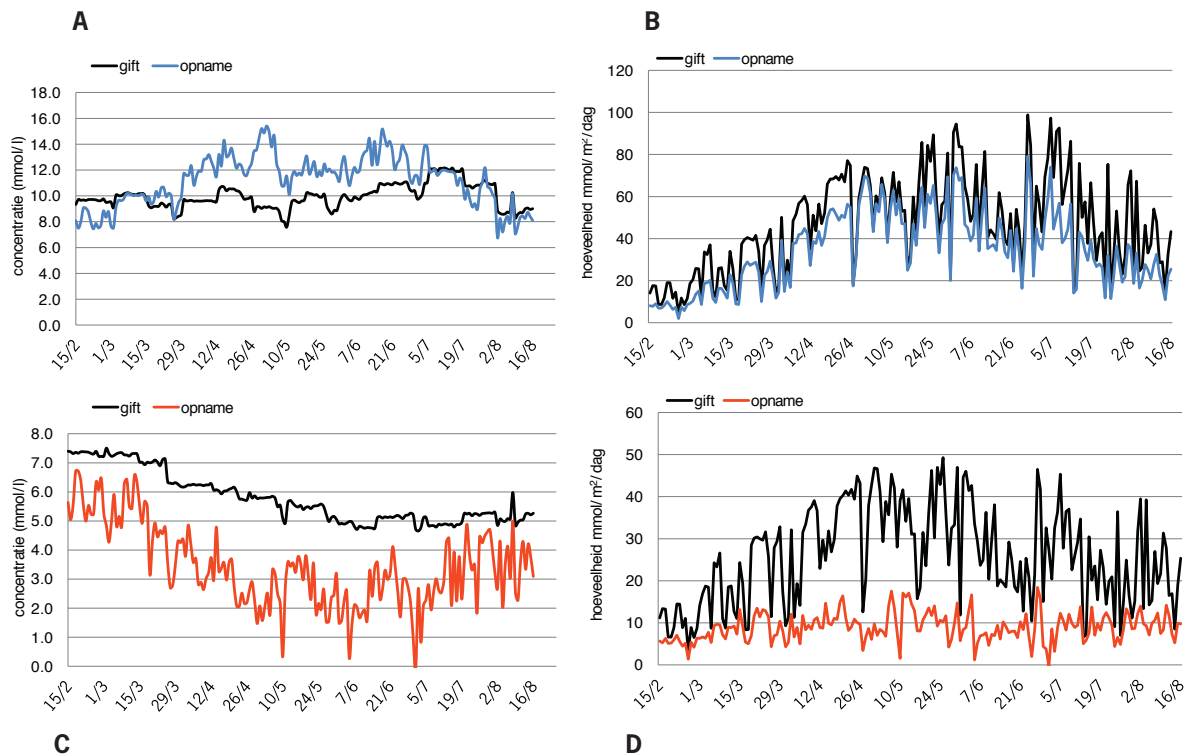
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
per dag	gift	gift voeding	gift voeding berekend	drain water	drain voeding	drain voeding berekend	opname water berekend	opname voeding berekend	opname concentratie berekend
		KALIUM	KALIUM		KALIUM	KALIUM			KALIUM
		B*C	B*C		E*F	B-E	D-G	I/H	
datum	l/m2	mmol/l	mmol/m2	l/m2	mmol/l	mmol/m2	l/m2	mmol/m2	mmol/l
1-4-2011	1.81	14.6	26.5	0.6	4.4	2.6	1.2	24.0	19.5
2-4-2011	5.19	14.7	76.3	2.0	4.4	8.9	3.2	67.4	21.2
3-4-2011	1.81	14.8	26.7	0.4	4.7	2.1	1.4	24.7	18.0
4-4-2011	3.10	14.8	45.8	1.0	4.6	4.6	2.1	41.1	19.6
5-4-2011	2.26	14.8	33.5	0.9	4.7	4.1	1.4	29.4	21.0
6-4-2011	5.05	14.8	74.5	1.9	4.6	8.7	3.2	65.8	20.8
7-4-2011	5.36	14.8	79.2	2.4	4.6	11.1	3.0	68.1	23.0
8-4-2011	5.89	14.8	87.1	2.6	4.6	12.1	3.3	75.0	23.0
9-4-2011	6.04	14.7	89.0	2.8	4.5	12.9	3.2	76.2	23.7
10-4-2011	6.26	14.8	92.6	2.7	4.6	12.6	3.5	80.0	22.6
11-4-2011	5.87	14.8	86.6	2.4	4.7	11.2	3.5	75.4	21.6
12-4-2011	3.65	14.8	54.1	1.3	4.9	6.2	2.4	47.9	20.2
13-4-2011	4.89	16.8	82.3	2.0	4.3	8.5	2.9	73.8	25.2
14-4-2011	4.08	17.0	69.2	1.0	4.0	4.1	3.1	65.1	21.3

Bijlage II Vergelijk met bemestingsrichtlijn

Tabel 5. Totale opname van voedingselementen (kg per hectare) tijdens een tomatenteelt volgens de bemestingsrichtlijn en volgens de in dit rapport gebruikte analysemethode voor de teelt van Komeett op het IC, berekend op basis van een productie van 65 kg tomaat per m².

	K	Na	Ca	Mg	Cl	SO ₄	P	N totaal
Bemestingsrichtlijn	2195	0	936	226	657	311	366	1313
Komeett (IC)	2312	-4	1687	365	664	489	398	1667

Bijlage III Voorbeeld van verloop gift en opname op het cherrytomatenbedrijf

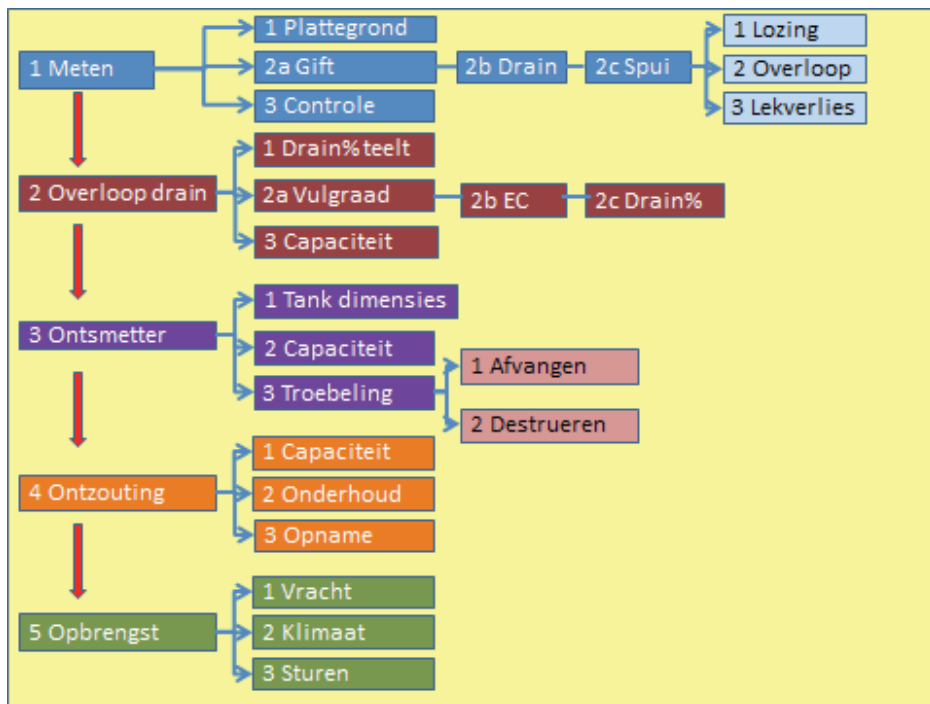


Figuur 36. Verloop van de kalium (A-B) en calcium (C-D) gift en opname gedurende de tijd op het cherrytomatenbedrijf. In de figuren links (A-C) is de concentratie in de voedingsoplossing en de opnameconcentratie weergegeven. In de figuren rechts (B-D) is de gift- en opname hoeveelheid weergegeven.

Bijlage IV Blauwdruk

Figuur 37. toont mogelijkheden om spui terug te dringen. Het overzicht is verwant aan de eerdere Blauwdruk Waterstromen Glastuinbouw van LTO-Glaskracht Nederland (LTO-Glaskracht ea, 2011). Het overzicht begint met manieren om water- en voedingsstromen in kaart te brengen en te meten (punt 1 in de figuur). Dan volgen mogelijkheden om spui direct te beperken (punt 2, 3 en 4 in de figuur). Tenslotte worden mogelijkheden aangereikt om meer inzicht te krijgen in wat een specifiek gewas op een bepaald moment nodig heeft aan water/elementen (punt 5 in de figuur). Hierbij is de gedachte dat een juiste voedingsbalans niet alleen leidt tot minder spui maar ook tot meer opbrengst en of kwaliteit.

1. Meten.
 - 1.1 Plattegrond. Meten begint met het maken van een plattegrond waarin alle waterstromen staan, uitgedrukt in $m^3 \cdot ha^{-1}$ per jaar. Figuur 4. toont een voorbeeld. Bij elk onderdeel wordt bedrijfsspecifiek ingevuld wat de omvang van de stroom is. Er moet goed aangegeven worden wat een harde meting is en wat een minder harde meting of schatting. De gewasverdamping is vaak de grootste minder betrouwbare post. Het is nuttig deze plattegrond vervolgens met een spreadsheet te (laten) koppelen. Hierdoor kunnen de waarden deels berekend worden en worden de aanvoer en afvoer met elkaar in evenwicht gebracht. Er wordt dus een **eerste balans**, de waterbalans, gemaakt. Als dit goed gebeurt wordt duidelijk hoeveel spui (bewust en onbewust) een bedrijf creëert.
 - 1.2 Meten. Met de gift en de drain in liter en in $mmol \cdot l^{-1}$ per element kan een groot inzicht gekregen worden in de groei en de spui van een bedrijf. Dit zijn al zo'n 40 metingen per tijdstip namelijk liters, EC, pH en 15-20 elementen. Gelukkig bepalen de labs routinematig het hele pakket behalve de liters. Hier is het van belang voldoende vaak gegevens te verzamelen om fluctuaties te ondervangen (eens per week, soms per 14 dagen). Bij de gift is het belangrijk niet uit te gaan van het recept maar van de gemeten waarden in de gift. Tenslotte worden de gegevens omgerekend naar $liter \cdot m^{-2}$ water en $mol \cdot m^{-2}$ voedingselementen om te kunnen berekenen wat de plant en de mat verbruiken (niet alles hoeft door de plant opgenomen te worden, sommige voedingselementen kunnen deels neerslaan). Dit is de **tweede balans**, n.l. tussen aanvoer enerzijds en opname en afvoer anderzijds. Vervolgens is met de drainanalyse en het aantal liter spui uit Figuur 4. te berekenen hoeveel mineralen een bedrijf loost.
 - 1.3 Controle. Het verbruik aan meststoffen (omgerekend in mol per bedrijf moet nu ongeveer overeenkomen met de berekende opname door gewas (en soms mat) in $mol \cdot m^{-2}$ maal het aantal m^2 . Dit is een **derde balans**, op bedrijfsniveau; ingekochte meststoffen = spui plus opgenomen door plant/mat. Alles wat in de balansen niet klopt wijst op onvoldoende kennis van het proces.
2. Overloop drain.
 - 2.1 Voorkomen is beter dan genezen. Daarom is het nuttig te overwegen of het drain% in de teelt terug gebracht kan worden. Een vaak reële mogelijkheid is om het drain percentage van de beurten later in de dag te verlagen. Vaak zijn 2 beurten met een gewenst drainpercentage genoeg om ongelijkheden in het systeem op heffen. Latere beurten kunnen gerust met een veel lager percentage gegeven worden.
 - 2.2 Meer drainwater gaan hergebruiken. Hier zijn drie methoden genoemd: A) de voorregel EC laten oplopen met de vulgraad in de tank (commercieel systeem van o.a. Priva). B) De voorregel EC laten meelopen met de EC van de gift; een hogere EC gift, dan ook een hogere voorregel EC. Dat kan met de hand maar uiteraard veel consequenter via een regeling. C) Geen regeling maar een hogere voorregel EC. Dit vereist weer kennis van de schommelingen in het systeem (voldoende metingen). Omdat indertijd de regelingen aan de veilige kant gekozen zijn, zit hier vaak nog aanzienlijke ruimte.
 - 2.3 Een grotere silo is soms de enige logische oplossing. Dit kan afhankelijk van de plek wel vragen om veel creativiteit (ingraven, tweede silo op afstand, e.d.).
3. Ontsmetter. Een enkele keer loopt de drainsilo over omdat de ontsmetter niet snel genoeg is.
 - 3.1 Zoals eerder gezegd; soms is een grotere drain silo de meest logische oplossing. Dat geldt een enkele keer ook voor de schone drain tank als die vol raakt en de ontsmetter moet stoppen.
 - 3.2 De capaciteit van de ontsmetter is soms niet aangepast aan de situatie. Vergroten is dan logisch.
 - 3.3 Als er troebeling in het te ontsmetten water voorkomt neemt de verwerkingssnelheid via de ontsmetter af. Afhankelijk van de aard van de troebeling kan het de moeite zijn. deze af te vangen door filteren, neerslaan of destructie.



Figuur 37. Overzicht met te overwegen mogelijkheden om drain terug te dringen.

4. Ontzouting. Een te hoog natriumgehalte kan leiden tot lozen.
 - 4.1 De capaciteit van een ontzouter (meestal een OO, Omgekeerde Osmose apparaat) bepaalt of er in de zomer leidingwater buiten de OO om moet worden ingezet. Onbehandeld leidingwater is bijna altijd een reden tot frequent lozen omdat het natriumgehalte snel oploopt tot boven de kritische grens. De capaciteit moet dus voldoende zijn om in de zomer het verbruik bij te houden.
 - 4.2 Onderhoud zorgt ervoor dat de door de leverancier gegarandeerde concentratie natrium in ontzout water (vaak 0.1 mmol.l-1) ook wordt gehaald. Zekerheid is er alleen als er naast onderhoud ook een controleschema op de werking van het apparaat is (meten dus).
 - 4.3 Als er toch gemeten wordt kan ervoor gezorgd worden dat de hoeveelheid Na in de gift nooit boven die van de plantopname komt (plantopname bekend uit berekening en de handboeken).
5. Opbrengst. Bovenstaande verlaagt de kosten aan water en meststoffen. Met dezelfde gegevens kan geprobeerd worden meer greep te krijgen op de plantengroei. Dat zou tot opbrengstverbetering kunnen leiden, hetzij in kg product, hetzij in kwaliteit.
 - 5.1 Uit de liters.m-2 en mmol.m-2 kon worden berekend hoeveel mmol.m-2 (vrucht aan voedingselementen) de plant/ mat opneemt. Dit is een belangrijk gegeven omdat het direct feedback is over de groei (soms afgezien van enkele elementen die ook kunnen neerslaan).
 - 5.2 De opnamegegevens kunnen ook gekoppeld worden aan de klimaatgegevens. Straling ligt voor de hand. Het verband voedingsopname-opbrengst is door tijdsverschuivingen wat moeilijker.
 - 5.3 Uit de bovenstaande gegevens kunnen conclusies worden getrokken over de opnameverhoudingen en hoeveelheden. Hiermee kan de giftsamenstelling worden bijgestuurd.

Bijlage V Bedrijf en blauwdruk

Als illustratie bij het gebruik van deze blauwdruk wordt kort aangegeven wat de belangrijkste verbeterpunten zijn voor de betrokken bedrijven:

1. Roos
2. Cherrytomaat
3. Komkommer
4. Jaarrond tomaat
5. Herfstteelt tomaat

1. Bij de rozenteelt was de wens groeiremming te vermijden de hoofdoorzaak om te spuien. Toen door meten en maatregelen bleek dat groeiremming te beheersen/afwezig was, kon praktisch zonder spui worden geteeld. Wel bleken de tanks incidenteel over te lopen omdat de voorregel EC op 50% stond bij een hoge ingestelde drain (punt 2 in het schema). In beginsel kon de teler zijn hoge drainpercentages later op de dag terugbrengen (punt 2.1). Hij koos er echter voor een vulgraadmeter aan te leggen en de voorregel-EC te laten oplopen met de vulgraad van de tanks (punt 2.2.a). Dit werkte prima.
2. De cherrytomatenteler had geen probleem met spui. Alle drainwater kon worden hergebruikt. Wel waren er problemen met de K/Ca verhouding in het giftwater. Door de voor de plant benodigde vracht uit te rekenen (punt 5.1 in het schema) bleek de kaliumbehoefte van het gewas soms hoger te liggen dan de maximale dosering toeliet. Met een betere (hogere) aanpassing zou dus een betere kwaliteit teelt te realiseren moeten zijn.
3. In dit bedrijf vond vermenging plaats van drain uit verschillende compartimenten met verschillende gewassen. Er was geen spuistroom. Hier was men geïnteresseerd in het verband tussen opname van elementen en klimaat per ras (punt 5.2 in het schema).
4. In de jaarronde teelt tomaat was geen spui. Wel bleek de K/Ca verhouding in de drain aan het begin van de teelt laag te zijn. Een half punt verhoging in de gift gaf een vol punt verhoging in de drain. Nu is dit achteraf geconstateerd maar de informatie zou in beginsel gebruikt kunnen worden om actief in te grijpen, i.e. te sturen als bedoeld bij punt 5.3 in het schema.
5. In de herfstteelt is zonder spui geteeld. Hier is een ion-specifieke meter gebruikt om de verhouding K/Ca te sturen. De meter was in staat ruim 5 dagen voor de labanalyse aan te geven dat de K/Ca verhouding onderuit ging. Daarop werd ingegrepen door het K-gehalte in de gift enkele punten te verhogen (punt 5.3 in het schema). Dit bleek bijna geen invloed op het gehalte in de drain te hebben. Hier blijkt dat behalve meten en sturen ook ervaring nodig is om op de juiste snelheid (in dit geval met minstens verdubbeling van de kaliumgift) te sturen.

Overige financiers / partners:



Overige uitvoerenden:



