

TNO-rapport**TNO-060-UT-2012-01534****Glastuinbouw Waterproof, substraatteelt –
WP5, Fase 3: pilotonderzoek
membraandestillatie**

Datum November 2012

Auteur(s) Wilfred Appelman
Raymond Creusen
René Jurgens
Jolanda van Medevoort
Martin Zijlstra
Erik van Os (Wageningen UR Glastuinbouw)

Exemplaarnummer

Oplage

Aantal pagina's 29 (incl. bijlagen)

Aantal bijlagen

Opdrachtgever Productschap Tuinbouw
Zoetermeer

Projectnaam Glastuinbouw Waterproof

Projectnummer 034.21876

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belang-hebbenden is toegestaan.

© 2012 TNO

Subsidieregeling KRW
Ministerie van Infrastructuur en MilieuProductschap  Tuinbouw

Interpolis



Voorwoord

Deze studie (fase 3 pilotonderzoek membraandestillatie) is uitgevoerd als Werkpakket 5 (Zuivering van afvalwater) in het kader van het KRW-project “Glastuinbouw Waterproof – substraatteelten”, in opdracht van AgentschapNL, en onder verantwoordelijkheid van het Productschap Tuinbouw (Zoetermeer).

Bij het gehele onderzoeksproject “Glastuinbouw Waterproof-substraatteelten” zijn een groot aantal partijen betrokken. Deze zijn: Wageningen UR Glastuinbouw, TNO, Groen Agro Control, Fytagoras, LTO Groeiservice, Bruine de Bruin BV, Priva BV, Stolze BV, Hellebrekers Technieken, Waterschap Peel en Maasvallei, Hoogheemraadschap van Delfland, Hoogheemraadschap Schieland en de Krimpenerwaard, Bayer CS, Syngenta, BASF.

Binnen dit specifieke onderzoek gaat onze dank uit naar alle bedrijven en personen die door middel van adviezen en commentaren hun input aan dit onderzoek hebben meegewerkt.

Aan het onderzoek hebben financieel bijgedragen de subsidieregeling KRW van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu, de verzekeringsmaatschappij Interpolis en het Productschap Tuinbouw.



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 groeiremming (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. WP 5. TNO rapport TNO-034-UT-2010-02389
- Jurgens, R; Appelman, W; Zijlstra, M; Creusen, R; Os, E. van; Glastuinbouw Waterproof- WP5-onderzoek fase 2 (laboratorium onderzoek), TNO rapport TNO-060-UT-2012-01532
- Appelman, W; Creusen, R; Jurgens, R; Medevoort, J. van; Zijlstra, M; Os, E. van; Glastuinbouw Waterproof, substraatteelt – WP5, Fase 3: pilotonderzoek membraandestillatie, TNO rapport TNO-060-UT-2012-01534
- 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; Meeuwsen, B & Beerling, E. (2012). Technische en economische mogelijkheden voor het zuiveren van spuiwater. Wageningen UR Rapport GTB-1205

Overige financiers / partners:



Overige uitvoerenden:



Inhoudsopgave

	Voorwoord	2
	Samenvatting	5
1	Inleiding	6
1.1	Achtergrond	6
1.2	Leeswijzer.....	6
2	Projectopbouw	7
2.1	Project Glastuinbouw Waterproof- substraatteelt.....	7
2.2	Werkpakket 5 Zuiveringstechnieken: Projectfasen en scope.....	8
2.3	Kennisvragen en doelstellingen.....	8
3	Ontwerp en bouw Membraandestillatie Pilotinstallatie	10
3.1	Principe membraandestillatie	10
3.2	Ontwerpkeuzes membraandestillatie	10
3.3	Bouw pilotinstallatie	13
3.4	Membraanmodules	13
3.5	Plaatsing en bedrijf van de Pilotinstallatie	14
3.6	Onderzoekslocatie	16
4	Resultaten en discussie MD Pilot	18
4.1	Geproduceerde waterkwaliteit: retentie zouten en nutriënten.....	18
4.2	Geproduceerde waterkwaliteit: retentie gewasbeschermingsmiddelen	19
4.3	Specifieke flux en concentratiefactor	20
4.4	Effect T, dT	22
4.5	Vervuiling	23
4.6	Overzicht.....	24
5	Conclusies pilotonderzoek membraandestillatie	26
6	Ondertekening	27
	Bijlage(n)	
	A Reinigingsprocedure (CIP)	
	B Analyse gewasbeschermingsmiddelen	

Samenvatting

De Nederlandse glastuinbouw heeft in het kader van de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) met de overheid doelstellingen afgesproken om de emissie van gewasbeschermingsmiddelen en nutriënten terug te brengen naar nagenoeg nul in 2027.

Het onderzoeksproject Glastuinbouwwaterproof – substraatteelt is opgezet om bij te dragen aan het mogelijk maken van deze doelstelling. Werkpakket 5 Zuivering in dit project doet daarom onderzoek naar het kunnen sluiten van de waterkringloop binnen de glastuinbouwbedrijven door o.a. behandeling van de spuistroom om daarmee emissies naar het oppervlaktewater en grondwater te voorkomen. Fase 3 van dit werkpakket betreft pilotonderzoek met een membraandestillatie (MD) - pilotinstallatie bij een glastuinbouwbedrijf van maart tot en met juni 2012. In deze periode is nagegaan of de resultaten op laboratoriumschaal uit fase 2, vertaalbaar zijn naar praktijkschaal. Hierbij is met name gekeken naar de verwijderingsgraad van componenten in de spuistroom, de hoeveelheid water die teruggewonnen kan worden uit de spuistroom en het vervuiligingsgedrag van de membraaninstallatie. De verkregen resultaten uit het pilotonderzoek zijn in overeenstemming met de verwachtingen uit het in fase 1 en 2 uitgevoerde literatuur- en laboratoriumonderzoek. Periodieke dosering van zuur is nodig gebleken om achteruitgang van prestaties zoals afnemende flux en oplopende drukval te voorkomen. Er treedt scaling op in de installatie, maar waarschijnlijk niet in de membraanmodules. De MD pilotinstallatie is in staat gebleken met het aangeboden drainwater een concentratiefactor van 7-8 te bereiken wat betekent dat meer dan 80% procent van het water terug kan worden gewonnen. De pilot laat daarbij met een geproduceerde waterkwaliteit ($EC < 0,1$ mS/cm) een goede retentie zien voor zouten en nutriënten. De retentie voor gewasbeschermingsmiddelen is niet voor alle middelen even hoog, maar is voor het gebruik van het destillaat als gietwater in de reguliere glastuinbouw geen knelpunt.

De MD pilotinstallatie produceert water dat geschikt is voor toepassing als gietwater in de kas waarbij het concentraat kan worden afgevoerd om te worden hergebruikt in andere toepassingen. Hergebruik van het concentraat is onderzocht in Werkpakket 6 van het project, valorisatie van afvalstromen.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

De geldende waterkwaliteitsnormen voor gewasbeschermingsmiddelen en nutriënten in glastuinbouwgebieden worden regelmatig overschreden, zo blijkt uit metingen van de waterschappen (www.bestrijdingsmiddelenatlas.nl). Door puntlozingen van waterstromen bij substraatteelten (ruim 60-80% van het areaal) wordt in jaren met een normale regenval tussen de 4 en 7% van het drainwater geloosd op het riool of het oppervlaktewater. In droge jaren kan de lozing toenemen tot circa 50% van het drainwater aangezien er dan vaker alternatieve waterbronnen ingezet worden die een hoger natriumgehalte kennen. Het drainwater bedraagt circa 20-50% van de watergift. Drainwater wordt in grote mate hergebruikt maar een deel wordt uiteindelijk alsnog geloosd (spuiwater genoemd). Redenen hiervoor zijn het voorkomen van gewasschade en groeiremming als gevolg van accumulatie van ongewenste zouten (natrium), nutriënten en/of een -nog onbekende- groeiremmende factor in het recirculatiewater, en daarnaast vanwege het risico op het verspreiden van ziekten in het wortelmilieu. Zie voor meer achtergrond over de overwegingen voor spuien ook de rapportage over de business case [Van Os et. al., GTB 1205, 2012].

Om oplossingen te vinden voor deze problematiek hebben TNO en WUR Glastuinbouw het project Glastuinbouwwaterproof, substraatteelt opgezet. In dit project is één van de doelen het sluiten van de waterkringloop binnen glastuinbouwbedrijven en daarmee het voorkomen van emissies naar het oppervlakte- en grondwater.

1.2 Leeswijzer

Dit rapport beschrijft de resultaten van Werkpakket 5 voor het praktijkonderzoek met de MD-pilotinstallatie (fase 3). Hoofdstuk 1 geeft de inleiding en achtergrond van het project weer. In Hoofdstuk 2 wordt de projectopzet toegelicht en worden de kennisvragen besproken. In hoofdstuk 3 worden de belangrijkste kenmerken van de MD installatie beschreven. Het document wordt afgesloten met een beschrijving van de resultaten in hoofdstuk 4 en conclusies in hoofdstuk 5.

De economische evaluatie/business-case is, omdat het gehele project omvat, in een apart rapport opgenomen [Van Os et. al., GTB 1205, 2012].

2 Projectopbouw

2.1 Project Glastuinbouw Waterproof- substraatteelt

In het tweejarig onderzoeksproject Glastuinbouw Waterproof- substraatteelt is in een aantal werkpakketten onderzocht hoe op bedrijfsniveau de emissies van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen van glastuinbouwbedrijven naar grond- en oppervlaktewater kunnen worden voorkomen.

Technologieën en technieken voor het maximaliseren van het hergebruik van water zijn ontwikkeld in werkpakket 1 (Groeiremming voorkomen), pakket 2 (Detectie groeiremming), pakket 3 (Nieuwe meet en regeltechniek bemesting) en pakket 4 (Optimalisatie bemesting).

Technologieën en technieken voor het zuiveren en valoriseren van het restant te lozen water zijn onderzocht en ontwikkeld in werkpakket 5 (Zuiveringstechnieken), en pakket 6 (Valorisatie van reststroom, het concentraat dat na zuivering overblijft).

Als rode draad door alle werkpakketten heen heeft werkpakket 7 gelopen (communicatie), waarbij de ontwikkelde emissiebeperkende technologieën en maatregelen naar toekomstige gebruikers (telers en installateurs) in Nederland (en Europa) zijn gecommuniceerd.



Figuur 1 Opzet project Glastuinbouw Waterproof – substraatteelt: waterkringloopsluiting bij substraatteelt glastuinbouw bedrijven door onderzoek naar waterkringloopsluiting door optimaliseren van nutriënten dosering, opheffen van groeiremming en waterzuivering

Het project is uitgevoerd door de researchgroep Water Treatment van TNO, Wageningen UR Glastuinbouw, Hellebrekers Technieken B.V., Groen Agro Control, Fytogoras, Bruine de Bruin B.V., Priva B.V. en LTO Groeiservice in samenwerking met projectpartners en financiers Productschap Tuinbouw, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Interpolis en waterschappen Delfland, Hollands Noorderkwartier, Rivierenland, Peel en Maasvallei, Hollandse Delta, Hortimax b.v., Stolze B.V., Bayer, Syngenta en Basf.

2.2 Werkpakket 5 Zuiveringstechnieken: Projectfasen en scope

Werkpakket 5 (WP5) van het project Glastuinbouw Waterproof - Substraatteelt onderzoekt o.a. met pilotonderzoek de mogelijkheden van het op bedrijfsniveau kunnen zuiveren van het spuiwater om zo de waterkringloop te kunnen sluiten. Het doel van waterkringloopsluiting is om de emissies van met name nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen te voorkomen zodat glastuinbouwbedrijven kunnen voldoen aan de eisen die volgen uit de Kaderrichtlijn water¹.

In de eerdere fasen 1 (literatuuronderzoek) en 2 (laboratoriumonderzoek) van WP5 is de haalbaarheid onderzocht van verschillende technieken die inzetbaar zijn voor de zuivering van het afvalwater. Op basis van dit onderzoek zijn dat omgekeerde osmose (RO) en membraandestillatie (MD) het meeste perspectief bieden voor verder onderzoek en ontwikkeling.

Dit rapport beschrijft de resultaten van het praktijkonderzoek bij een glastuinbouwbedrijf door TNO en WUR Glastuinbouw met een Membraandestillatie pilotinstallatie die is ontworpen en gebouwd door Hellebrekers Technieken bv.

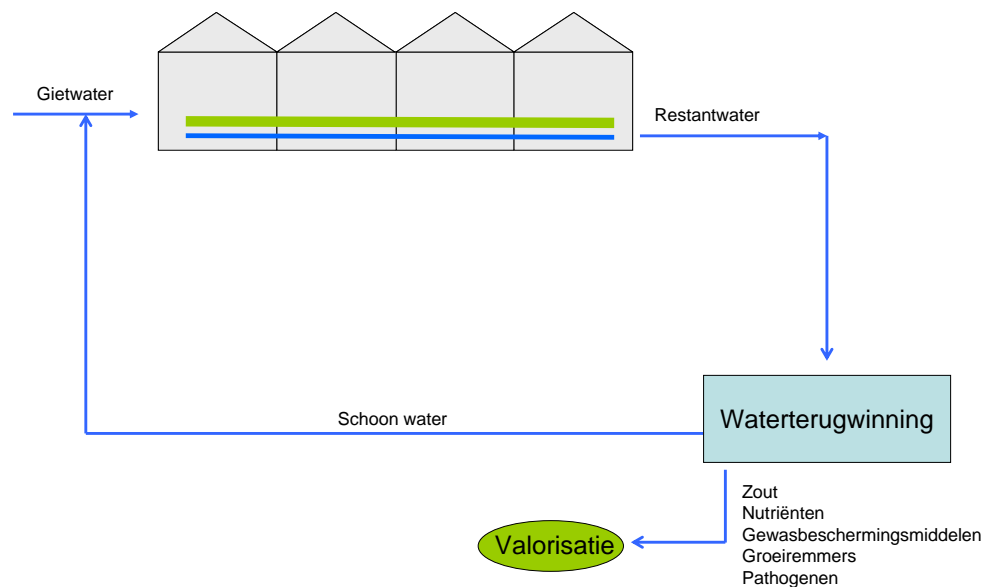
Parallel aan dit onderzoek is in WP5 fase 3 bij het zelfde glastuinbouwbedrijf door het bedrijf Bruine de Bruin met een UF/RO pilot-installatie onderzoek gedaan op dezelfde drainwaterstroom. Dit onderzoek wordt apart en niet door TNO gerapporteerd.

Opmerking: Werkpakket 5, zuivering van afvalwater, is in nauwe samenhang met Werkpakket 6, valorisatie van reststromen, uitgevoerd. In Werkpakket 6 is onderzocht of de reststromen van zuiveringstechnologie uit Werkpakket 5 kunnen worden opgewerkt tot herbruikbare grondstoffen. Ook dit onderzoek is apart gerapporteerd.

2.3 Kennisvragen en doelstellingen

Fase 3 van WP5 heeft tot doel om door op basis van praktijkonderzoek met membraandestillatie de mogelijkheid van zuivering van het spuiwater te onderzoeken. In Figuur 2 is schematisch de opzet van het concept van waterterugwinning uit afvalwaterstromen weergegeven waarmee de waterkringloop vergaand te sluiten is.

¹ KRW, 2000 Richtlijn 2000/60/EG van het Europees Parlement en de Raad van 23 oktober 2000 tot vaststelling van een kader voor communautaire maatregelen betreffende het waterbeleid / EU Water Framework Directive, Water Framework Directive 2000/60/EC.
http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/index_en.html



Figuur 2 Schematische weergave concept "waterterugwinning"

Het concentraat uit de zuiveringstechniek zal naast zout en nutriënten ook organische microverontreinigingen (OMV) zoals groeiremmende factoren en gewasbeschermingsmiddelen (GBM) kunnen bevatten.

De belangrijkste onderzoeksvragen in het praktijkonderzoek met membraandestillatie toegepast voor waterkringloopsluiting bij glastuinbouwbedrijven zijn:

- Wat is de kwaliteit van het geproduceerde water?
- Welke retentie kent de techniek voor zouten, nutriënten en GBM?
- Hoe robuust is de techniek?

Het onderzoek moet door het beantwoorden van deze vragen inzicht geven in de prestaties, de mogelijke inpassing in de glastuinbouwpraktijk en tegelijk ook uitspraken doen over het lange termijn gedrag (zoals performance afname door vervuiling)

Het project wordt afgesloten met een opschalingsstudie, waarin een zogenaamde business case wordt uitgewerkt. Aandachtspunten bij deze technische en economische evaluatie zijn de vertaling van de resultaten naar grootschalige toepassing op bedrijfsschaal en de haalbaarheid hiervan. Omdat deze business case ook de resultaten van de eerdere werkpakketten als wel werkpakket 6 integreert is dit apart in één overkoepelend rapport opgenomen [Van Os et. al., GTB 1205, 2012].

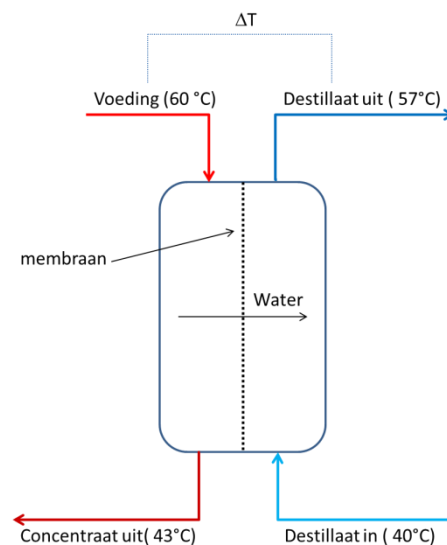
3 Ontwerp en bouw Membraandestillatie Pilotinstallatie

3.1 Principe membraandestillatie

Membraandestillatie combineert membraanfiltratie met distillatie. Met behulp van warmte kan zout of verontreinigd water worden opgewerkt tot schoon gedestilleerd water. Het schone water verdampt door het membraan en wordt op die manier van het vuile en zoute restvocht gescheiden. Dit water is vervolgens in te zetten in de industrie of geschikt te maken als drinkwater. Membraandestillatie is oorspronkelijk ontwikkeld voor zeewaterontzouting ten behoeve van drink- en proceswaterbereiding.

In een module stroomt langs een membraan opgewarmd zout- of vervuild water. Het membraan laat enkel de vrijkomende waterdamp door. De waterdamp condenseert vervolgens aan de andere kant van het membraan, waarvandaan het wordt afgevoerd. Daarbij staat de waterdamp de warmte af aan het zoute water dat door de membraan stroomt. Dankzij het tegenstroomprincipe is de warmtebenutting maximaal. Omdat dit werkingsprincipe daarbij wordt toegepast in een compacte module is maar een klein temperatuurverschil en weinig energietoevoer nodig.

Figuur 3 geeft schematisch het proces van membraandestillatie weer.



Figuur 3 Schematische weergave proces Membraandestillatie

3.2 Ontwerpkeuzes membraandestillatie

Met de resultaten uit fase 1 literatuuronderzoek en fase 2 laboratoriumonderzoek is samen met TNO en Wageningen UR Glastuinbouw door Hellebrekers Technieken bv een ontwerp voor de membraandestillatie-pilot gemaakt. De belangrijkste uitgangspunten en keuzes bij het ontwerp van de membraandestillatiepilot, zijn beschreven in Tabel 1.

Tabel 1 belangrijkste ontwerp-kenmerken MD pilotinstallatie

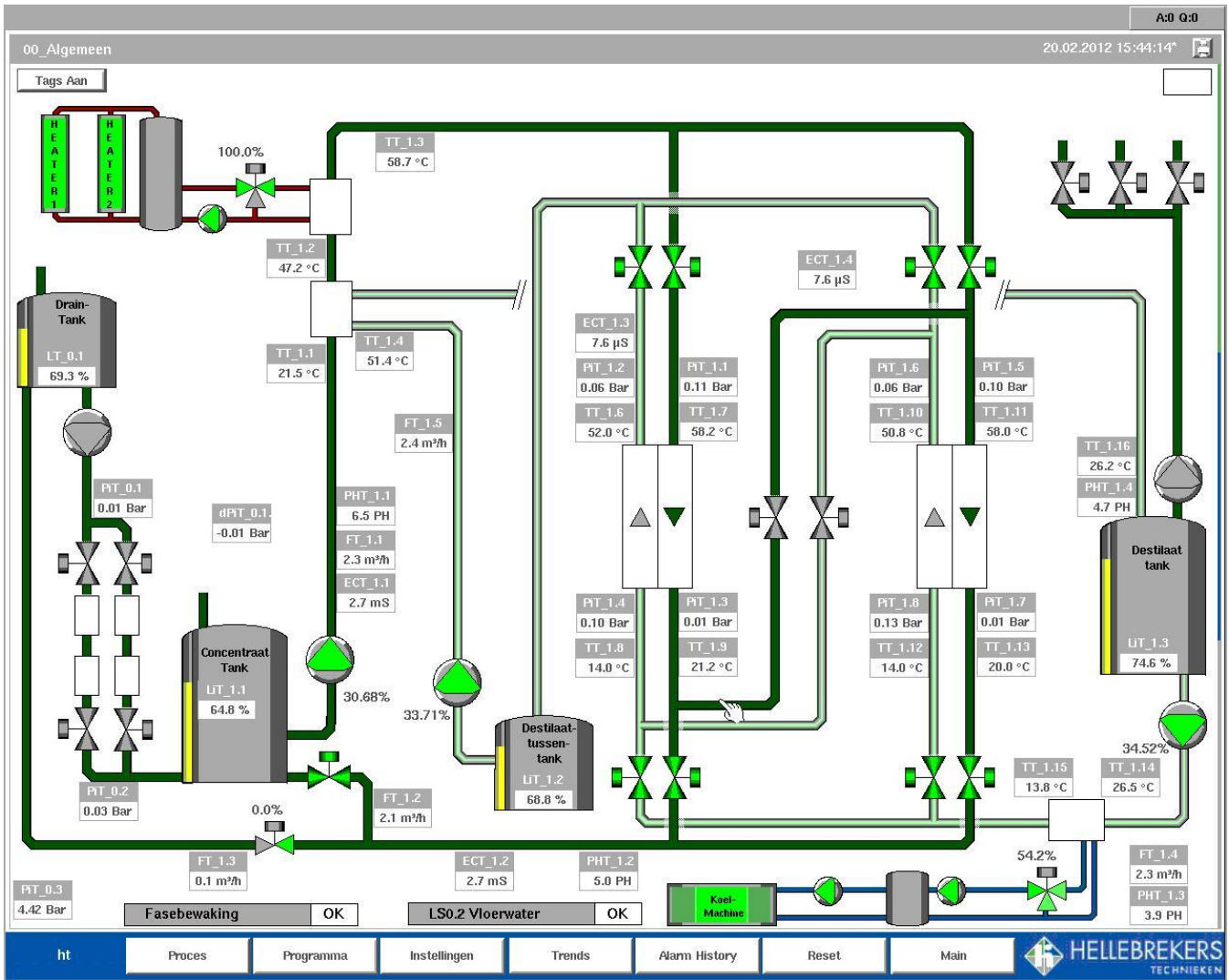
Aspect	Ontwerpkeuze
Capaciteit installatie (product)	1-2m ³ /hr
Capaciteit installatie (min/max feed)	min 1m ³ /h max 10 m ³ /h
Operatiedruk	1 bar, atmosferisch
Operatie-temperatuur	Max 70-80 °C
Dimensies installatie	20 voets Container (mobiel) (6 m x 2,44 m x 2,6m)
Energie (ontwerp max)	Warmte: 60 kW Koude: 60 kW Elektrisch: ca. 0,5 kW
Buffering ingebouwd	1m ³
Bediening en monitoring	Bediening on site (evt. online*), monitoring on-site en online
Te behalen recovery	>80%
Afvoer concentraat	Intern hergebruik of afzet/afvoer extern
Afvoer schoon water	Interne terugvoer of lozing extern

Figuur 4 geeft het gedetailleerde Proces Flow Diagram (PFD) van de pilotinstallatie weer.

Tabel 2 geeft een korte beschrijving van de belangrijkste componenten uit het PFD van de pilot installatie.

Het water wordt vanuit de drainwatersilo gepompt en opgevangen in een drainwatertank (LT_0.1). Vanuit de drainwatertank wordt het water naar de concentraattank geleid (LiT_1.1). Het water uit de concentraattank wordt dan rondgepompt langs de membraanmodules. Het betreft hier 4 spiraalgewonden modules met elk circa 7 m² membraanoppervlak. De modules zijn in 2 parallelle straten met elk 2 modules in serie opgesteld in de installatie. Het voedingswater wordt hierbij opgewarmd via warmte-uitwisseling met het destillaat en een elektrische heater tot temperaturen van 50 – 80 graden Celcius. Het destillaat wordt in een separaat circuit rondgepompt van de destillaattank (LiT_1.3) naar de membraanmodules, gekoeld via warmteuitwisseling met de concentraatstroom en vervolgens weer naar de destillaattank teruggeleid.

Het hele systeem wordt aangestuurd met behulp van besturingstechniek ontwikkeld door Hellebrekers Technieken bv. Op cruciale punten zoals druk, temperatuur en geleidbaarheid voor en na de modules in het proces worden variabelen zoals temperaturen, niveaus, geleidbaarheid, drukken en debieten gemeten en opgeslagen en daar waar nodig wordt het proces bijgestuurd op basis van de gemeten waarden. Voorbeelden hiervan zijn de temperaturen en drukken voor en na de membraanmodules.



Figuur 4 Processchema membraandestillatie pilotinstallatie

Tabel 2 Belangrijkste componenten uit het processchema voor de membraandestillatiepilot installatie

Codering	Omschrijving	Eenheid
LT	Niveaubewaking (level control tank)	%
FT	Debiet	m ³ /h
TT	Temperatuur	°C
dPiT	Drukverschilbewaking	Bar
PiT	Drukbeewaking	Bar
ECT	Geleidbaarheidsindicatie (EC)	mS

3.3 Bouw pilotinstallatie

De MD (Membraandestillatie) pilot is door Hellebrekers Technieken in een container ingebouwd om een gemakkelijke verplaatsing naar andere locaties mogelijk te maken. De container is uitgerust met een eigen warmte- en koelvoorziening en persluchtvoorziening (aansturing kleppen) om een onafhankelijke bedrijfsvoering mogelijk te maken. Zie Figuur 5.



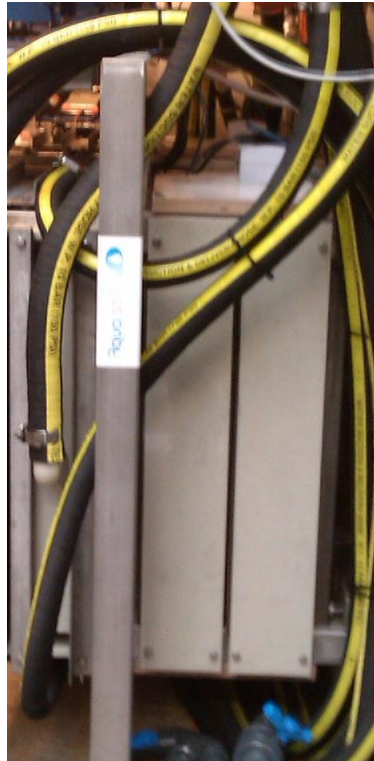
Figuur 5 Pilotinstallatie membraandestillatie tijdens installeren bij het glastuinbouwbedrijf

3.4 Membraanmodules

De Memstill© membraandestillatie technologie van TNO is in licentie gegeven aan de bedrijven Aquastill en Keppel Seghers. Beide bedrijven zijn benaderd om membraanmodules te leveren voor de pilot waarna uiteindelijk Aquastill de in het onderzoek gebruikte modules heeft geleverd.

Het oorspronkelijke ontwerp van de pilot is gebaseerd op het gebruik van vlakkeplaat modules. Deze zijn ingebouwd in de installatie (Figuur 6) maar bij de ingebruikname van de installatie bleken de membraanmodules niet de verwachte specificaties te leveren voor lekdichtheid en retentie.

De oorspronkelijke plaatmodules zijn daarom vervangen door een ander type, membraanmodules, gebaseerd op een zogenaamde spiral-wound configuratie (Figuur 7). Deze modules zijn gedurende het gehele onderzoek gebruikt.



Figuur 6 oorspronkelijk geplaatste vlakke plaat membraandestillatie modules

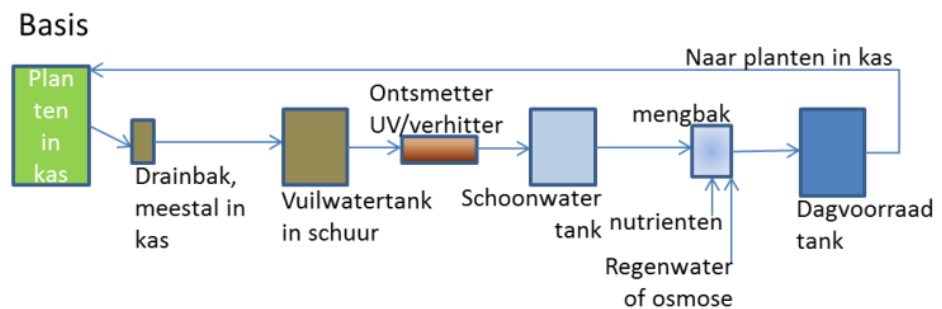


Figuur 7 spiral wond membraandestillatie modules gebruikt in het pilot-onderzoek

3.5 Plaatsing en bedrijf van de Pilotinstallatie

3.5.1 Plaatsing in het watersysteem

Samen met WUR Glastuinbouw, Hellebrekers Technieken en het expertpanel verbonden aan WP5 van het Glastuinbouw Waterproof project is de plaatsing van de pilot-installatie in het watersysteem besproken. Onderstaand schema in Figuur 8 geeft een standaard bedrijfsvoering van een glastuinbedrijf weer:



Figuur 8 Standaard bedrijfsvoering in een glastuinbouwbedrijf

Alternatieve bedrijfsvoeringen op basis van de plaatsing van de MD pilot zijn:

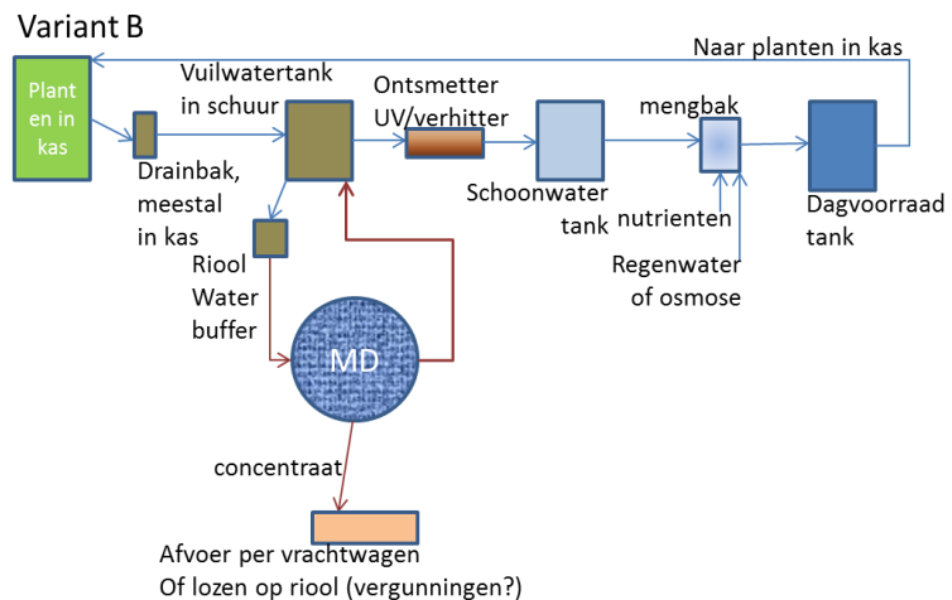
- Steady state operatie (invoer gelijk aan afvoer); variant A
- concentreren over de vuilwatertank met doorlopende drainwaterstroom variant B

Gekozen is om voor het onderzoek de pilotinstallatie aan te sluiten op de retour komende drainwaterstroom (variant B). Dit creëert een veilige testsituatie. Het water van de pilotinstallatie blijft als geheel in vuilwatersysteem en is representatief voor praktijk bij implementatie van zuiveringstechnieken en heeft niet de risico's voor de teelt van variant A waarbij het water ook wordt hergebruikt.

In de voorgestelde toepassing zal uiteindelijk niet de drainwaterstroom maar de spuiwaterstroom behandeld moeten worden. Voor het onderzoek is gekozen om de drainwaterstroom te behandelen omdat de spuiwaterstroom qua hoeveelheid en voorspelbaarheid veel geringer is terwijl de samenstelling over het algemeen vergelijkbaar zal zijn.

Tussen de vuilwatertank en de pilotinstallatie is een extra buffertank geplaatst. Hierdoor kan de pilotinstallatie onafhankelijk van het watersysteem van het glastuinbouwbedrijf worden bedreven.

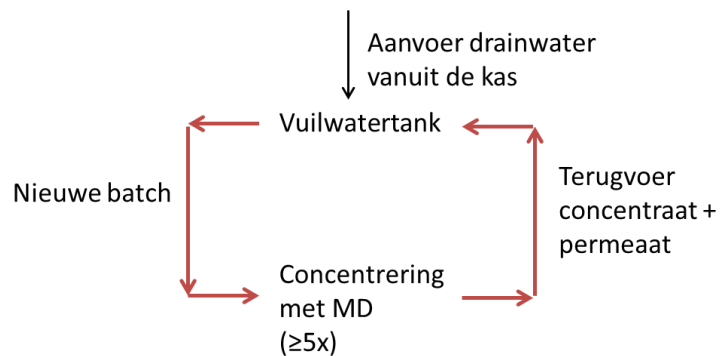
In het pilotonderzoek komt het destillaat niet direct in de schoonwatertank of mengbak.



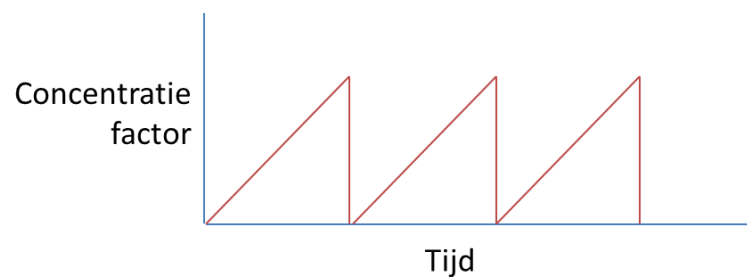
Figuur 9 Plaatsing MD pilotinstallatie (tijdens het pilot-onderzoek is concentraat en destillaat afgevoerd en niet naar het bedrijf teruggeleid)

3.5.2 Bedrijfsvoering

Uit de vuilwatertank wordt een batch vuil water onttrokken welke vervolgens wordt geconcentreerd tot een bepaalde concentratiefactor (CF, in het voorbeeld is een concentratiefactor van 5 aangenomen). Het concentraat en destillaat wordt vervolgens afgevoerd. Vervolgens wordt een nieuwe batch onttrokken (CF = 1) en wordt opnieuw geconcentreerd. Figuur 10. Dit levert een zaagtandgrafiek op in de tijd, zie Figuur 11.



Figuur 10 Bedrijfsvoering MD pilotinstallatie



Figuur 11 Bedrijfsvoering, concentreren (concentratiefactor) in de tijd

Om de prestatie van de installatie te bepalen zijn er gedurende de operatie van de pilotinstallatie een groot scala aan parameters geregistreerd; hieronder vallen onder andere flux, EC (elektrische geleidbaarheid), pH, temperatuur, debieten en onttrokken vermogen. Hiernaast zijn er ook regelmatig monsters genomen van de verschillende waterstromen.

De volgende aspecten zijn met name van belang geweest:

- vervuiling (op korte, middellange en lange termijn; omvat ook biofouling)
- benodigde reinigingsfrequentie en intensiteit
- neerslag van componenten (o.a. tot welke concentratiefactor kan geconcentreerd worden zonder hulpstoffen?)
- output vs input (energie input/m³ product afhankelijk van instellingen)
- afscheiding van componenten (retentie)
- Capaciteit van de installatie (flux)

3.6 Onderzoekslocatie

Aan de hand van een programma van eisen en een inventarisatie van de interesse in de sector zijn geschikte locaties voor de demonstratie van beide pilots vastgesteld. De MD installatie is geplaatst in december 2011 en is in de periode vanaf januari tot en met eind juni 2012 ruim 5 maanden in bedrijf geweest.

Het bedrijf is een rozenkwekerij met een totaal oppervlak van circa 5 ha. De rozenteelt vind plaats op steenwol in 5 kraanvakken van elk 1 ha. Er zijn 5 retourleidingen voor het drainwater. Circa 50% van het water wordt als drainwater afgevoerd. De totale watergift bedraagt circa 35-70 m³/ha.

Het bedrijf is een modern glastuinbouw bedrijf en wordt gezien als een representatief bedrijf voor de gehele sector. Er wordt aangenomen dat de gevonden resultaten daarom een goede indicatie geven voor de te verwachten resultaten bij andere tuinders ondanks de variaties in teelt en samenstelling van gietwater of spuiwater.

4 Resultaten en discussie MD Pilot

Dit hoofdstuk beschrijft de belangrijkste resultaten die behaald zijn tijdens de praktijkproeven met de Membraandestillatie pilotplant op locatie.

De uitgevoerde werkzaamheden in deze fase zijn:

- het onderzoeken van de samenhang tussen de verschillende parameters en de prestatie van de installatie onder praktijkomstandigheden en op praktijkschaal;
- nagaan in welke mate proeven op laboratorium schaal representatief zijn voor een praktijksituatie;

De belangrijkste prestatiekenmerken van de Membraandestillatie pilotinstallatie worden bepaald door de hoeveelheid en kwaliteit van het geproduceerde productwater, concreet de flux en retentie voor zouten, nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen.

4.1 Geproduceerde waterkwaliteit: retentie zouten en nutriënten

In Tabel 3 is voor de belangrijkste zouten en nutriënten de gemiddelde samenstelling van het te behandelen spuiwater, product en concentraat weergegeven alsook de criteria hiervoor. Deze criteria, vastgesteld in fase 1 van WP 5, geven de geschiktheid voor gebruik als gietwater [TNO, 2010]. Deze criteria zijn te beschouwen als een indicatie van de strengste waarden uit de literatuur. Water wat aan deze criteria voldoet kan voor alle gewassen als gietwater worden gebruikt.

Tabel 3: Gemiddelde waterkwaliteit pilotinstallatie Membraandestillatie – concentratie en retentie (destillaat/concentraat) voor de belangrijkste zouten en nutriënten in spuiwater, concentraat en distillaat.

Parameter	eenheid	Spuiwater	Concentraat	Distillaat	Retentie	Criterium voor gietwater ²
pH	-	6	5.6	5,1	-	
EC	mS/cm	2,5	8.5	0,08	-	
Na ⁺	[mmol/l]	0,7	8.0	<0,1	>99%	< 0,3
Cl ⁻	[mmol/l]	0,5	5.6	<0,1	>98%	< 0,5
Ca ²⁺	[mmol/l]	5,8	47.7	<0,1	>99%	< 1,0
Mg ²⁺	[mmol/l]	3,6	42.6	<0,1	>99%	< 0,5
NO ³⁻	[mmol/l]	15,5	179	0,2	>99%	< 0,5
SO ₄ ²⁻	[mmol/l]	3,0	0.5	0,1	80%	< 0,5
HCO ³⁻	[mmol/l]	0,3	<0.1	<0,1		< 4
PO ₄ ²⁻	[mmol/l]	1,5	8.6	<0,05	>99%	< 0,5

(de overall retentie is betrokken op de concentratie in destillaat ten opzichte die van het concentraat omdat immers het spuiwater batchgewijs wordt behandeld).

De resultaten in Tabel 3 laten zien dat de MD pilot-installatie voor zouten een geschikte waterkwaliteit levert om te dienen als bron voor gietwater.

² 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

4.2 Geproduceerde waterkwaliteit: retentie gewasbeschermingsmiddelen

Gedurende het onderzoek zijn op zes verschillende data (12-apr, 26-apr, 10/11 mei, 24-mei, 7/8 juni en 22-jun) de concentraties van een zestal gewasbeschermingsmiddelen in voeding, spui en concentraat geanalyseerd, te weten:

- Kresoxim-methyl
- Pymetrozin
- Flonicamid
- Boscalid
- Imidacloprid
- Dodemorph-acetaat 1)

Zie Tabel 4 voor een overzicht van de gemiddelde concentraties in voeding, spui en concentraat. In bijlage 2 is een volledig overzicht per monsterdatum opgenomen.

Tabel 4: Gemiddelde waterkwaliteit pilotinstallatie Membraandestillatie – concentratie en retentie gewasbeschermingsmiddelen in het behandelde spuiwater, product en concentraat. Zie ook bijlage B.

Gewasbeschermingsmiddel 1) (microgram/liter)	Concentratie (microgram/liter, gemiddeld)			Retentie (gemiddeld)	
	Stroom	Spuiwater	Product		Concentraat
Boscalid		2,87	0,28	4,22	94%
Imidacloprid		0,04	< 0,02	0,03	> 33%
Kresoxym-methyl		0,32	0,28	0,49	43%
Pymetrozin		1,91	< 0,02	6,42	> 99.7%
Flonicamid		43,7	0,89	151	99.4%

- 1) Dodemorph wordt in product teruggevonden in hogere concentraties als in drainwater en is daarom buiten beschouwing gelaten, de oorzaak hiervan zal liggen in de lage concentraties dichtbij de detectiegrens.

Tabel 4 laat zien dat de MD pilot-installatie niet alle gewasbeschermingsmiddelen in dezelfde mate tegenhoudt. De retentie voor met name Imidacloprid (33%) en Kresoxym-methyl (43%) is lager dan de overige middelen (>90%). Deze verschillen zullen moeten worden verklaard op basis van de verschillende fysische eigenschappen van de middelen zelf. De oplosbaarheid van Imidacloprid en Kresoxym-methyl is lager dan de overige middelen, wat betekent dat er sprake zou kunnen zijn van adsorptie en diffusie over de wand van het membraan en wellicht opnieuw oplossen van stoffen in destillaat. De dampdruk van alle middelen is overigens laag zodat verdamping onwaarschijnlijk is.

4.3 Specifieke flux en concentratiefactor

De prestaties van de pilot-installatie zijn vergeleken met de behaalde resultaten zoals vastgesteld in de laboratoriumfase op basis van de specifieke flux en de behaalde concentratiefactor.

De specifieke flux ($l/m^2/Pa/s$) is de flux genormaliseerd op basis van het dampdrukverschil over het MD membraan. Hiermee worden temperatureffecten geëlimineerd. Het dampdrukverschil is hierbij berekend op basis van de top en bodem temperatuur bij de voedings- en destillaatstroom m.b.v. de aangepaste Antoine vergelijking voor puur water, zie hieronder.

$$P = 10^{A + \left(\frac{B}{C+T}\right) + D \cdot T + E \cdot T^F} \quad [1]$$

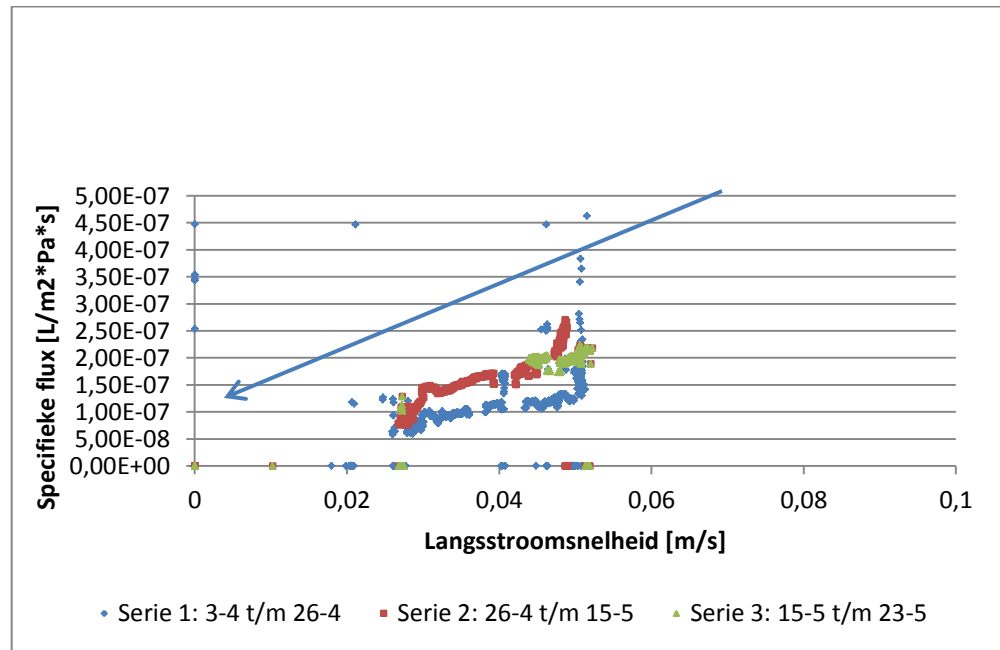
De concentratie factor (Cf) is gedefinieerd als de verhouding tussen de geleidbaarheid (EC) van de voeding op een bepaalde tijd (t) en de geleidbaarheid van de initiële voeding:

$$CF_{t=\dots} (EC_{t=\dots} / EC_{t=0}) \quad [2]$$

De superficiële snelheid, of tangentiële snelheid door de membraanmodules kan een beperkende factor zijn in de prestaties. Bij een (te) lage superficiële snelheid kunnen grenslaag-effecten een rol gaan spelen. Voor de weergave van de snelheid in het kanaal is gerekend met de zogenaamde superficiële snelheid. Hierbij wordt rekening gehouden met een leeg uniform kanaal. In werkelijkheid is het kanaal gevuld met een spacer die bijdraagt aan een betere openging van de vloeistof aan de wand van het kanaal, wat de stof- en warmteoverdracht ten goede komt.

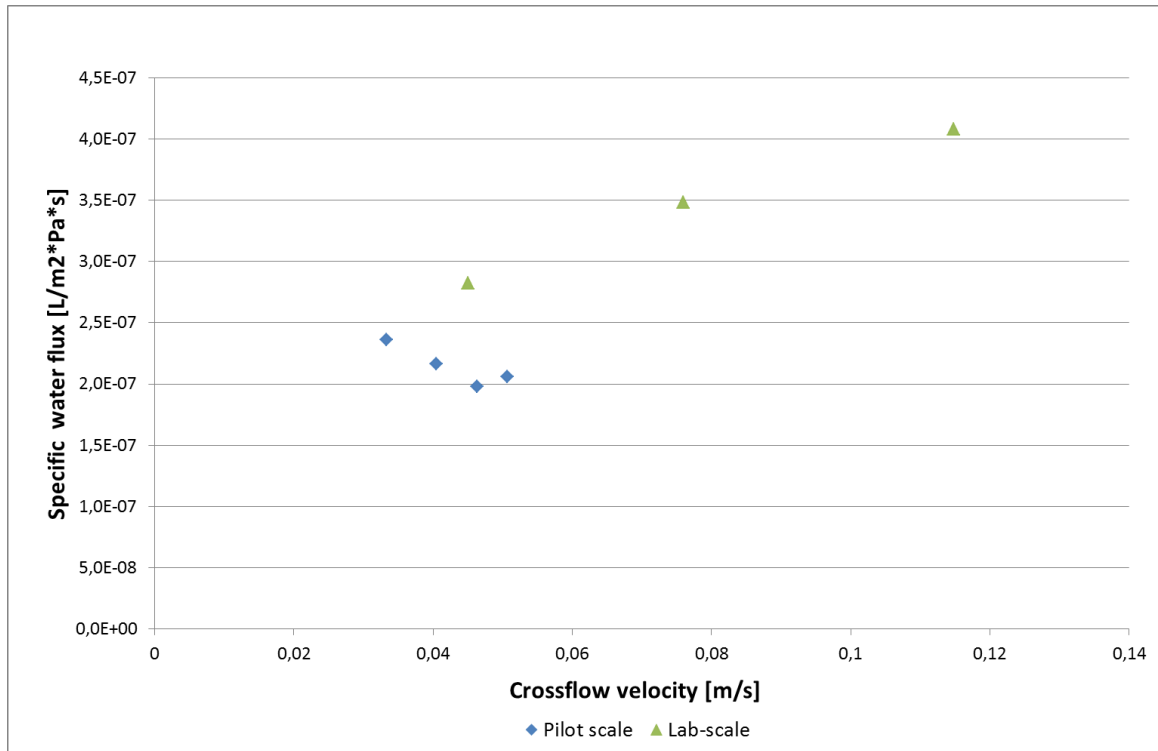
Figuur 12 geeft voor een drietal opeenvolgende proefseries de specifieke flux vs de superficiële snelheid.

Zichtbaar is dat de snelheid langs het membraan (superficiële snelheid) niet constant is en gedurende het experiment in de tijd afneemt. Tegelijk met het afnemen van de superficiële snelheid is te zien dat de prestaties van de pilot, gekenmerkt door de specifieke flux, ook afnemen. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door het optreden van vermindering van de flow langs de membranen waardoor grensvlakeffecten kunnen optreden en daardoor de dampspanning kunnen beïnvloeden. Vanwege beperkingen op de maximaal toelaatbare drukval in membraanmodules is deze superficiële snelheid beperkt tot ca. 0,05 m/s.



Figuur 12 Specifieke flux van MD pilot-installatie en laboratoriumexperimenten vs superficiële snelheid (3 pilot experiment reeksen, de pijl geeft het verloop in de tijd weer)

Van vier uitgevoerde praktijkseries zijn de initiële superficiële snelheden vergeleken met de eerder gevonden laboratoriumresultaten. Deze zijn weergegeven in Figuur 13. Hierbij kan verwacht worden dat verhoging van superficiële snelheden in de pilot-installatie zullen leiden tot een hogere, specifieke flux, zoals die ook gevonden is in de laboratoriumexperimenten. Dat er een neerwaartse trend lijkt te worden gesuggereerd is niet volgens de verwachtingen en waarschijnlijk niet significant. Het is niet mogelijk gebleken om ook de pilot bij hogere superficiële snelheden te bedienen. De pilot-installatie is begrensd door een maximale toelaatbare drukval van de membraanmodules (opgegeven door de leverancier) waardoor de superficiële snelheid niet door de pompen constant gehouden worden. Scaling in het systeem leidde tot een oplopende drukval in de tijd waardoor de flow moest worden verlaagd om aan deze eisen voor maximale druk- en drukval te kunnen blijven voldoen. Figuur 13 toont aan dat reductie in flux naar verwachting volledig te verklaren is aan de hand van de afname van snelheid, en dat de flux dus niet afneemt door eventuele vervuiling van membraan.

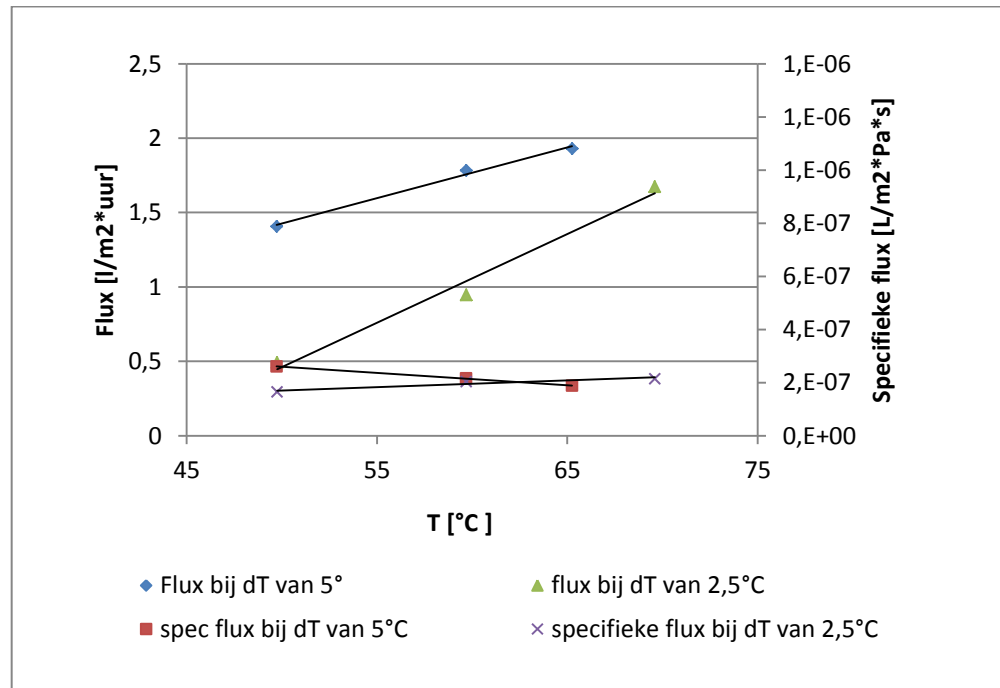


Figuur 13 Specifieke flux van MD pilot-installatie en laboratoriumexperimenten vs superficiële snelheid in de membraanmodules

4.4 Effect T, dT

De drijvende kracht voor membraandestillatie wordt bepaald door het verschil in waterdampspanning over het membraan. Deze waterdampspanning wordt bepaald door de temperatuur en het effect van eventuele dampdrukverlagende componenten zoals zouten. Een groter verschil betekent een hogere drijvende kracht en zal leiden tot een hogere flux. Daarbij neemt de dampspanning bij hogere temperaturen meer dan evenredig toe waardoor ook een hogere toptemperatuur zal leiden tot een grotere flux.

Figuur 14 geeft dit weer. Hierbij is ook te zien dat de specifieke flux, gelijk blijft. Dit is ook te verwachten omdat deze is genormaliseerd op dampspanning.



Figuur 14 Flux en specifieke flux van MD pilot-installatie vs toptemperatuur

4.5 Vervuiling

Tijdens de bedrijfsvoering van de pilot-installatie werd er een toename gezien van de drukval over het systeem waardoor het debiet automatisch naar beneden wordt bijgesteld en daarmee de superfiële snelheid in de modules afneemt. Na periodes van gemiddeld zo'n 2 tot 3 weken is de installatie gereinigd met zuur (HCl dosering tot pH =2, ca. 1,5l 30% HCl, systeemvolume ca. 500l). Dit komt neer op circa 1,2-1,8 ml HCl/m³ behandeld water.

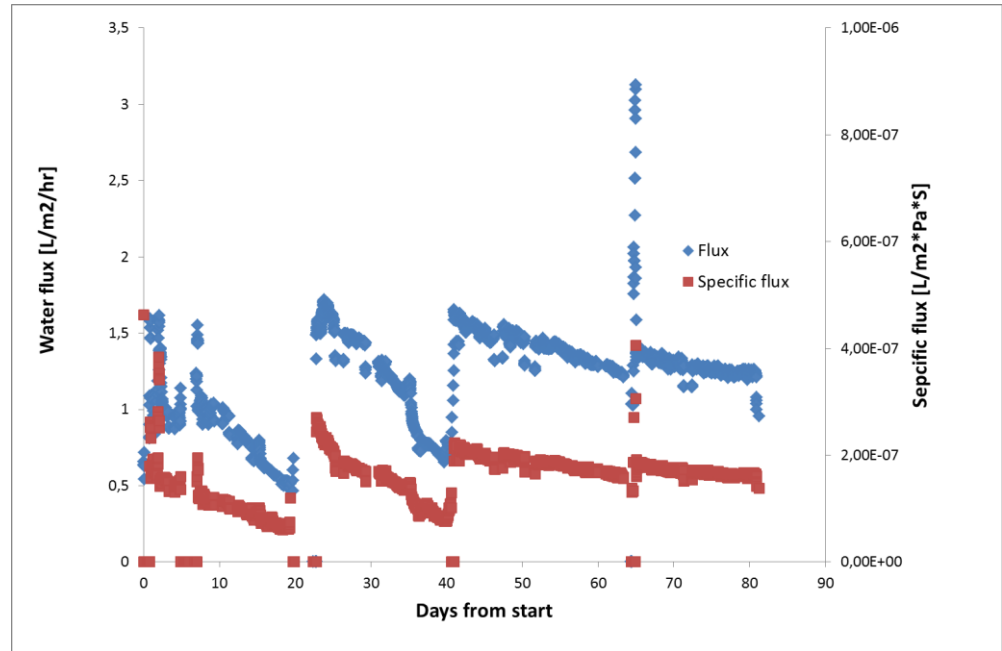
Na een reinigingsbeurt vindt herstel van de prestatie van de membranen tot een flux van ten minste 1.5 l/m²/hr plaats en is de drukval terug op de waarde bij de start van het experiment. Zie bijlage A.

De vervuiling treedt waarschijnlijk niet direct in de membraanmodules op maar elders in het systeem. Een verbeterd systeemontwerp kan wellicht voor verlaging van de benodigde dosering zorgen.

Een eerste poging om bij de waargenomen toename van de drukval een basische reiniging uit te voeren had weinig tot geen effect. Blijkbaar is biologische vervuiling niet de oorzaak van de toename in drukval.

Een vergelijking van de samenstelling van het drainwater en synthetisch drainwater leverde vergelijkbare concentraties van Ca²⁺ and Mg²⁺ op (respectievelijk 5.5 / 3.6 and 7.0/3.0). Er vindt er scaling plaats door CaSO₄ en/of CaCO₃ tijdens het concentreren.

In Figuur 15 is de productie en specifieke flux van de membraandestillatie pilotinstallatie weergegeven. Het effect van reiniging is zichtbaar bij de tijdstippen waarna de productie en specifieke flux sterk toegenomen zijn.



Figuur 15 Productie en specifieke flux in de tijd (3 pilot reeksen, Ttop = 60°C, dT = 5°C, 10 mS/cm)

4.6 Overzicht

In onderstaande tabellen worden de belangrijkste resultaten van de MD-pilotinstallatie samengevat.

Tabel 5: Belangrijkste resultaten pilotinstallatie Membraandestillatie gedurende vier opeenvolgende meetseries

Periode	1	2	3	4
Dagen (bij 10 mS/cm)	12,5	11	20	13
EC (mS/cm)	10	10	10	10
Flux (l/m2*hr)	1-0,4	1,6 – 0,6	1,6 – 1,2	1,4 – 1,2
Specifieke flux (l/m2*Pa*s)	1,5 - 1	2,5 - 1	2 – 1,5	1,8 – 1,6
Debiet (m3/hr)	3,5 - 2	3,5 - 2	3,5 – 2	3
Productie (l/hr)	30 - 15	45 – 20	45 – 34	40 - 34

Tabel 6 laat een overzicht zien van de resultaten die behaald zijn in de laboratorium fase en geeft de resultaten van de pilotfase.

Tabel 6: Behaalde resultaten in labfase en resultaten voor pilotfase

Aspect/Techniek	Resultaten labfase	Resultaten met pilot
Waterterugwinning (%)	80-90% is haalbaar	Tot ca. 80%
Opbrengst (l/m ² /h) (*)	6-8 (*)	1.6 (*)
Retentie obv praktijkwater (%)	≈ 100 %	≈ 100 (**) >99% voor alle nutriënten, behalve SO ₄ ²⁻ (80%)
Specific flux (l/m ² /Pa/s)		Max 2.5*10 ⁻⁷ (**)
Effect op gewasbeschermingsmiddelen	Retentie GBM > 95%	Retentie wisselend voor diverse GBM's
Vervuiling	MD is in sterke mate ongevoelig voor vervuiling	Vergelijkbaar met labfase, biofouling is nog onbekend (***) 50% flux loss after 2-3 weeks (worst case pilot proef) 1500 ml 30% HCL (every 2-3 weeks) -> 1.2-1.8 ml/m ³ feed treated
Neerslag	Zonder voorbehandeling zal neerslag van CaSO ₄ (gips) al snel optreden tijdens concentreren (= verlies in opbrengst)	Sterk afhankelijk van bedrijfssituatie.
Water kwaliteit (nutriënten en zouten)		All nutrients and salts below detection limit (****) (NO ₃ at 0.2 mmol/l)

(*) Tvoeding = 60 °C, ΔT = 5 °C

(**) neemt toe bij een hogere superficiële snelheid

(***) biofouling treedt doorgaans pas na langere tijd draaien (meerdere maanden) op, deze duur is tijdens deze pilot nog niet bereikt.

(****) <0.01 mmol/l voor alle nutriënten

5 Conclusies pilotonderzoek membraandestillatie

In Werkpakket 5 Zuivering, fase 3 - pilotonderzoek van het project Glastuinbouw Waterproof – substraatteelt is een membraandestillatie (MD) -pilotinstallatie gebouwd en gedemonstreerd van januari tot en met juni 2012 bij een glastuinbouwbedrijf.

De keuze voor het demonstreren van membraandestillatie is gebaseerd op de resultaten van uitgevoerd literatuuronderzoek (fase 1) en laboratoriumonderzoek (fase 2) waaruit bleek dat membraandestillatie een geschikte technologie kan zijn voor het sluiten van de waterkringloop bij substraat glastuinbouwbedrijven.

De MD pilotinstallatie is in staat gebleken met het aangeboden drainwater een concentratiefactor van 7-8x te bereiken wat betekent dat meer dan 80% procent van het water terug kan worden gewonnen. De pilot laat een hoge retentie zien voor zouten en nutriënten. De retentie voor gewasbeschermingsmiddelen is niet voor alle middelen hoog. Bij toepassing van het destillaat als gietwater is het gehalte van deze middelen echter niet van belang.

De verkregen resultaten uit het pilotonderzoek zijn daarbij in overeenstemming met de verwachtingen uit het literatuur en laboratoriumonderzoek. De vastgestelde flux voor de pilot is in overeenstemming met de waarde op labschaal, rekening houdend met de lagere langsstroomsnelheden. De labresultaten laten zien dat er een hogere productie mogelijk is als de commerciële modules geschikt kunnen worden gemaakt voor een hogere superficiële snelheid. Hiervoor zijn naar verwachting met name aanpassingen nodig om de modules bestendig te maken tegen de hogere drukval die op zal treden bij de hogere langsstroomsnelheden. De resultaten laten zien dat periodieke dosering van zuur als reiniging benodigd is om achteruitgang van de prestaties door vervuiling tegen te gaan. De kwaliteit van het teruggewonnen water is geschikt voor toepassing als gietwater in de kas.

7 Ondertekening

Naam en adres van de opdrachtgever
Productschap Tuinbouw
T.a.v. Joke Klap
Postbus 280
2700 AG ZOETERMEER

Naam en functies van de medewerkers:
Wilfred Appelman
Raymond Creusen
Martin Zijlstra
René Jurgens
Jolanda van Medevoort
Erik van Os (WUR)

Datum waarop of tijdsbestek waarin het onderzoek heeft plaatsgehad:
2011-2012

Naam en paraaf tweede lezer:

Raymond Creusen



Ondertekening;



Wilfred Appelman
Projectleider

Autorisatie vrijgave:



Henk Buijtenhek
Research Manager

A Reinigingsprocedure (CIP)

De reiniging van de membraanmodules is door middel van de volgende procedure uitgevoerd:

- 1 Het gehele systeem wordt gespoeld met kraanwater (ca. 4 keer, EC +/- 1.5 mS/cm)
- 2 Het weekend door laten lopen (flow max 1.5 m³/h @ 0.35 bar)
- 3 Dinsdag bij aankomst systeem afkoelen naar 35 °C
- 4 Feedtank leeg laten lopen en opnieuw vullen met kraanwater
- 5 Systeem laten doorwarmen naar 60 °C (zowel aan feed als aan destillaatzijde) (bij een max flow @ 0.35 bar (m.a.w. drukregeling op 0.35 bar))
- 6 Monster nemen van feedwater
- 7 NaOH doseren tot een concentratie van 3% en laten circuleren voor 2 uur.
- 8 Drukverloop en flowverloop bijhouden in de tijd (systeem in drukregeling, flow mag oplopen indien druk dit toelaat (0.35 bar)
- 9 Indien de flow toeneemt in de tijd, ook nog na de 2 uur dan langer laten spoelen met loog.
- 10 Indien flow stabiliseert (of helemaal niet toeneemt in de 2 uur), dan monster nemen van feed
- 11 Koeling aan (dT 10°C), af laten koelen tot 35°C, stoppen, drainen, vullen met schoon water en spoelen (@ 35°C en geen dT)
- 12 Systeem herhaaldelijk drainen en spoelen tot EC < 0.5 mS/cm en pH < 7.5)
- 13 Systeem nogmaals drainen, vullen met schoon water en verwarming uit (geen dT).
- 14 Indien flow volledig hersteld is, geen zuur-CIP, indien niet volledig hersteld dan vervolgen met zuur-CIP
- 15 Voor Zuur doseren, eerst weer monster nemen van feed
- 16 HCl doseren tot een concentratie van 0.5 % en laten circuleren voor 2 uur.
- 17 Drukverloop en flowverloop bijhouden in de tijd (systeem in drukregeling, flow mag oplopen indien druk dit toelaat (0.35 bar)
- 18 Indien de flow toeneemt in de tijd, dan langer laten spoelen met zuur (max 3 uur).
- 19 Indien flow stabiliseert (of helemaal niet toeneemt in de 2 uur), dan monster nemen van feed
- 20 Systeem stoppen, drainen, vullen met schoon water en spoelen (verwarming uit, geen dT)
- 21 Systeem herhaaldelijk drainen en spoelen tot EC < 0.5 mS/cm en pH > 6.5)
- 22 Systeem nogmaals drainen, vullen met schoon water en opstarten.
- 23 Systeem instellingen opvoeren van min tot max flow (@ 0.35 bar en max 70°C)
- 24 meetcyclus uitvoeren (schoonwaterflux) en vergelijken met startmetingen (condities nog nader te bepalen bijv. 70°C en 5°C dT)

B Analyse gewasbeschermingsmiddelen

		Membraandesillatie			rapportage grens
		drainwater	destillaat	concentraat	
		nieuwe feed voeding	product		
		ug/l	ug/l	ug/l	
kresoxym-methyl	12-apr				<0.02
	26-apr	0,06	0,05	0,09	
	10/11 mei	0,4	0,27	1,1	
	24-mei	0,09	0,1	0,12	
	7/8 juni	1	0,91	1,1	
	22-jun	0,06	0,05	0,06	
pymetrozin	12-apr	6,2	0,05	24	<0.02
	26-apr	2,1	0,01	3,6	
	10/11 mei	1,3	0,01	3,7	
	24-mei	0,58	0,01	2,2	
	7/8 juni	0,73	0,01	3,8	
	22-jun	0,54	0,01	1,2	
flonicamid	12-apr	4	0,06	24	<0.02
	26-apr	120	0,6	150	
	10/11 mei	52	2,9	380	
	24-mei	17	0,29	85	
	7/8 juni	11	0,18	52	
	22-jun	58	1,3	215	
dodemorph	12-apr				<0.05
	26-apr				
	10/11 mei				
	24-mei				
	7/8 juni				
	22-jun				
boscalid	12-apr	4	0,33	8	<0.02
	26-apr	1,8	0,17	2,7	
	10/11 mei	4	0,27	3,3	
	24-mei	2,5	0,29	4,7	
	7/8 juni	3,5	0,38	3,5	
	22-jun	1,4	0,24	3,1	
imidacloprid	12-apr	0,01	0,01	0,01	<0.02
	26-apr	0,01	0,01	0,01	
	10/11 mei	0,01	0,01	0,01	
	24-mei	0,01	0,01	0,03	
	7/8 juni	0,01	0,01	0,02	
	22-jun	0,16	0,07	0,1	
alle waarnemingen		292,5	8,6 2,9%	972,5 3,3	