

VERTROUWELIJK

**Earth, Environmental and Life  
Sciences**Laan van Westenenk 501  
7334 DT Apeldoorn  
Postbus 342  
7300 AH Apeldoorn

www.tno.nl

T +31 88 866 22 12  
F +31 88 866 22 48  
infodesk@tno.nl**TNO-rapport****TNO-060-UT-2012-01532****Glastuinbouw Waterproof- WP5-onderzoek  
fase 2 (laboratorium onderzoek)**

Datum	November 2012
Auteur(s)	René Jurgens, Wilfred Appelman, Martin Zijlstra, Raymond Creusen, Erik van Os (WUR Glastuinbouw)
Exemplaarnummer	
Oplage	
Aantal pagina's	36 (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

*Subsidiereregeling KRW*  
Ministerie van Infrastructuur en Milieu

VERTROUWELIJK

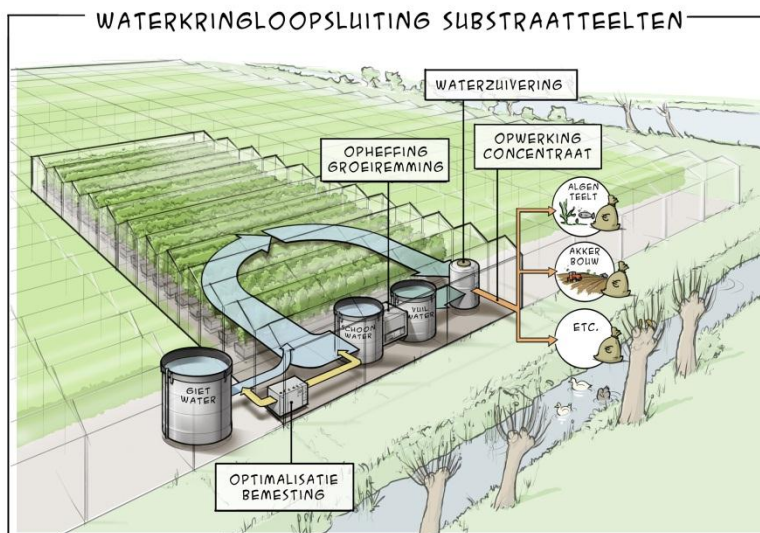
## Voorwoord

Deze studie (fase 2 laboratoriumonderzoek 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. Werkpakket 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; Meeuwse, B & Beerling, E. (2012). Technische en economische mogelijkheden voor het zuiveren van spuiwater. Wageningen UR Rapport GTB-1205

#### Overige financiers / partners:



#### Overige uitvoerenden:



## Samenvatting

Het KRW project glastuinbouw waterproof substraatteelt kent in de uitvoering van werkpakket 5, Zuivering, 3 fases. De eerste fase betreft een studie van mogelijkheden om het spuiwater uit de kas te zuiveren. Resultaat van deze eerste fase is de selectie van 2 technieken die vervolgens in fase 2 op laboratoriumschaal getest worden. Dit rapport beschrijft in hoofdlijnen de werkzaamheden in fase 2. Resultaat van fase 2 is de selectie van techniek(en) die in fase 3 op pilotschaal getest zullen worden.

Op laboratoriumschaal zijn de technieken omgekeerde osmose (RO) en membraandestillatie (MD) onderzocht. Bij beide technieken is naar de prestatie gekeken wat betreft scheidingsmogelijkheden en vervuilingsgedrag. Qua scheidingsgedrag ontlopen omgekeerde osmose en membraandestillatie elkaar niet veel. Beide technieken presteren voldoende om vanuit de spuistroom een goede kwaliteit gietwater te bereiken. Ook is het met beide technieken mogelijk om een concentreringsfactor van minimaal 5 (80% recovery) te behalen, d.w.z. dat er vanuit de spuistroom minimaal 80% gietwater wordt geproduceerd en dat maximaal 20% concentraat overblijft. Qua vervuiling zijn er wel verschillen tussen MD en RO. Bij toepassing van praktijk drainwater blijkt RO zonder voorbehandeling gevoelig te zijn voor vervuiling. Dit manifesteert zich in een snelle terugloop van de flux door het membraan (capaciteit productwater per m<sup>2</sup> membraan). MD is hier duidelijk minder gevoelig voor. Nagegaan is welke componenten, die mogelijk voorkomen in het spuiwater (drainwater) een rol kunnen spelen bij de vervuiling. Uit de experimenten blijkt dat humuszuur en bepaalde gewasbeschermingsmiddelen vervuiling veroorzaken bij toepassing van RO. Bij MD treedt dit verschijnsel niet op. Nagegaan is of de vervuiling van het RO membraan voorkomen kan worden door ultrafiltratie (UF) als voorbehandeling toe te passen. Er zijn UF membranen getest met verschillende poriegrootte (Molecular Weight Cut-off variërend van 5000 tot 100.000). Behandeling van praktijk drainwater met deze UF membranen levert productwater op waarmee vervolgens de RO membranen getest zijn. Ondanks deze voorbehandeling met UF blijkt er toch nog binnen korte tijd (uren) vervuiling van de membranen op te treden. Blijkbaar zijn componenten met een gering molecuulgewicht (zoals b.v. humuszuren en gewasbeschermingsmiddelen) verantwoordelijk voor de vervuiling. Deze worden door de UF membranen niet tegengehouden. Daarnaast blijkt dat met name de open UF membranen (membranen met hoge MWCO waarde) ook gevoelig zijn voor vervuiling. Bij toepassing van dit type membranen in de voorbehandeling van RO bestaat het risico dat het probleem van vervuiling van de RO membranen niet opgelost wordt, terwijl er een additioneel probleem van vervuiling van de UF membranen bij komt. Op grond van deze resultaten en eerste economische berekeningen is er voor gekozen om een MD pilot uit te voeren. In later stadium is besloten om daar ook een RO pilot aan toe te voegen.

# Inhoudsopgave

	<b>Voorwoord</b> .....	<b>2</b>
	<b>Samenvatting</b> .....	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b> .....	<b>6</b>
1.1	Project achtergrond .....	6
1.2	Doel onderzoek in fase 2 .....	7
1.3	Aanpak.....	7
<b>2</b>	<b>Theorie</b> .....	<b>8</b>
2.1	Membraantechnologie in waterzuivering en waterterugwinning .....	8
<b>3</b>	<b>Gebruikte opstellingen, middelen, materialen</b> .....	<b>10</b>
3.1	Beschrijving opstellingen .....	10
3.2	Toegepaste watertypes .....	11
3.3	Toegepaste membranen .....	13
<b>4</b>	<b>Experimenten en resultaten</b> .....	<b>14</b>
4.1	Scheidingsmogelijkheden van membraandestillatie en omgekeerde osmose.....	14
4.2	Vervuilingsgedrag van RO en MD. ....	19
4.3	Voorbehandeling van omgekeerde osmose (RO) met ultrafiltratie (UF) .....	30
<b>5</b>	<b>Conclusie</b> .....	<b>35</b>
<b>6</b>	<b>Ondertekening</b> .....	<b>36</b>

# 1 Inleiding

In het haalbaarheidsonderzoek (Fase 1) van het project Glastuinbouw Waterproof – substraatteelt is vastgesteld dat omgekeerde osmose en membraandestillatie de meest perspectiefrijke technieken zijn voor waterterugwinning uit het spuiwater van de glastuinbouw. Voor beide technieken zijn op basis van de uitkomsten van Fase 1 onderzoeksvragen geformuleerd. In het laboratoriumonderzoek (Fase 2) zijn verschillende proevenseries uitgevoerd gericht op het beantwoorden van deze onderzoeksvragen. Belangrijke thema's hierbij waren flux, scheidingspotentie, vervuiling, neerslag en het effect van gewasbeschermingsmiddelen. Ook is gekeken naar voorschakeling van UF (als voorbehandeling voor RO) en de voorschakeling van NF (voor nutriënten terugwinning).

In het onderliggende rapport worden de resultaten van het laboratoriumonderzoek met omgekeerde osmose (+ UF) en membraandestillatie gepresenteerd en besproken. De resultaten van het NF onderzoek worden beschreven en besproken in het rapport "Valorisatie van concentraatstromen. Fase 2 – Laboratoriumonderzoek" (Feenstra, 2012)

Het onderliggende rapport gaat ook in op de gebruikte middelen en het gebruikte meetprogramma en licht de gemaakte keuzes toe.

## 1.1 Project achtergrond

Aanleiding voor het project Glastuinbouw Waterproof- substraatteelt zijn de op basis van de Kader Richtlijn Water door het Platform Duurzame Glastuinbouw opgestelde normen, die in 2015 zullen gaan gelden voor de lozing van spuiwater en die stapsgewijs richting 2027 stringenter worden. Op dit moment worden in veel tuingebouwgebieden de normen voor nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen overschreden als gevolg van de lozing van spuiwater uit de kas. Het water wordt gespuid vanwege accumulatie van natriumzout (wordt niet/nauwelijks opgenomen door de plant) en vanwege de (vermeende) aanwezigheid van groei-remmende stoffen. Door de lozing gaan ook de nog in het water aanwezige nutriënten verloren.

Het doel van werkpakket 5, zuivering afvalwater, is het vaststellen op welke wijze de waterkringloop gesloten kan worden om zo de emissies van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen te voorkomen. Werkpakket 5 heeft een samenhang met werkpakket 6, valorisatie van afvalstromen, waarin wordt gekeken naar opwerking van het concentraat.

Het onderzoek van werkpakket 5 is opgebouwd in drie fasen:

Fase 1: Haalbaarheidsstudie; gereed dec. 2010:

- meest perspectiefrijke waterzuiveringstechnieken voor sluiting van de waterkringloop in de substraatteelt geïdentificeerd (gericht op demonstratie binnen het project)

#### Fase 2: Laboratoriumonderzoek (2011)

- Experimenteel onderzoek zuivering afvalwater d.m.v membraandestillatie en omgekeerde osmose (incl. UF voorbehandeling) (\*)

(\*) Het onderzoek naar voorschakeling van NF voor behoud/terugwinning van nutriënten wordt beschreven in het rapport "Valorisatie van concentraatstromen. Fase 2 – Laboratoriumonderzoek" (Feenstra, 2012)

#### Fase 3: Demonstratieonderzoek (2011-2012)

- Pilot voor praktijk onderzoek op minimaal 2 bedrijven, installatie gereed sept/okt 2011
- Partner: installatiebouwer Hellebrekers Technieken (Nunspeet)

### 1.2 Doel onderzoek in fase 2

Het doel van het laboratoriumonderzoek in fase 2 is het door middel van laboratoriumonderzoek vaststellen of de in fase 1 geselecteerde technieken membraan destillatie en omgekeerde osmose in principe geschikt zijn om een groot deel van het spuiwater uit de kas terug te kunnen winnen. Hierbij zal zowel naar de technische haalbaarheid als de economische haalbaarheid van de 2 technieken worden gekeken. Op basis van deze evaluatie zal een keuze gemaakt worden voor de technologie, waarmee fase 3 (pilot onderzoek) uitgevoerd zal worden.

### 1.3 Aanpak

Om de technisch-economische haalbaarheid van de geselecteerde technieken op laboratoriumschaal te verifiëren, moeten een aantal deelvragen beantwoord worden:

- Wat is de selectiviteit van RO en MD voor de componenten aanwezig in de spuiwater?
- Wat is de flux (capaciteit per m<sup>2</sup> membraan) van RO en MD voor het spuiwater bij verschillende concentreringsfactoren?
- Wat is de maximale concentreringsfactor van de spuiwater?
- Wat is het vervuilingsgedrag van de twee technieken bij toepassing op de spuiwater?

De parameters (flux, selectiviteit en concentreringsfactor) van de technieken zijn in eerste instantie bepaald aan de hand van een synthetisch samengesteld spuiwater. De samenstelling is gebaseerd op een realistische worst-case samenstelling van het drainwater van een tomatenteelt (water met van alle gewassen de hoogste EC). Deze parameters zijn vervolgens ook bepaald met drainwater afkomstig van een rozenteelt uit de kas van WUR Glastuinbouw in Bleiswijk. Bij deze experimenten is ook het vervuilingsgedrag bepaald.

## 2 Theorie

### 2.1 Membraantechnologie in waterzuivering en waterterugwinning

#### 2.1.1 Omgekeerde osmose

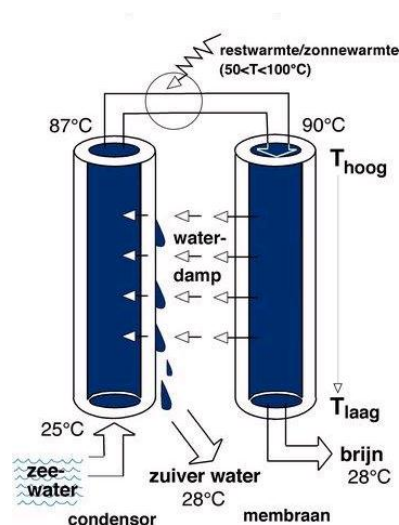
Bij omgekeerde osmose wordt het membraan gebruikt als een extreem fijn filter welke vele opgeloste stoffen uit het water filtert. Omgekeerde osmose is dan ook een uitstekende en relatief goedkope methode om water te zuiveren. Het proces van osmose wordt omgedraaid door water onder druk door een halfdoorlaatbaar membraan (ook wel semi doorlaatbaar membraan genoemd) te persen waarbij de natuurlijke osmotische druk wordt omgekeerd. Het membraan is zo ontworpen dat kleine watermoleculen van zuiver water er snel doorheen kunnen, terwijl opgeloste componenten heel langzaam gaan. Hierdoor ontstaat een zuivere fractie met weinig opgeloste stoffen en een fractie met veel opgeloste stoffen (concentraat). De zuivere fractie die door het membraan is geperst wordt osmosewater genoemd.

#### 2.1.2 Membraandestillatie

Membraandistillatie is sinds de jaren 70 van de 20e eeuw bekend als technologie om water te ontzilten. De technologie is een vorm van destillatie, waarbij een dampdoorlatend membraan zorgt voor een fysieke scheiding tussen het zoute water en de dampstroom en/of de condensaatstroom. Hierdoor kan compact worden gebouwd en speelt entrainment (het meenemen van waterdruppeltjes met de dampstroom) geen rol. Membraandistillatie is door diverse researchgroepen onderzocht en ontwikkeld maar de beperkte prestaties t.a.v. het energiegebruik en de relatief hoge investeringskosten hebben een succesvolle commercialisering tot op heden in de weg gestaan (ref.).

In het midden van de jaren 90 heeft TNO een verbeterd membraandistillatie-concept bedacht, met als geregistreerde merknaam 'Memstill'.

In figuur 1 is het werkingsprincipe van Memstill weergegeven:



Figuur 1. Principe Memstill



Membrandestillatie maakt gebruik van microporeuze hydrofobe membranen. Dit betekent dat het membraan zeer kleine poriën bevat en dat het membraanmateriaal water afstoot waardoor het water niet door de poriën kan stromen. De porie zelf bevat hierdoor geen vloeistof en zal puur met lucht/gas gevuld zijn.

Door een temperatuurverschil aan te brengen tussen de voedingszijde en destillaatzijde van het membraan zal een verschil in dampdruk ontstaan. Dit betekent dat het water aan de warme zijde meer geneigd is om te verdampen. Als gevolg van het dampdruk verschil zal water (en eventuele andere vluchtige componenten) aan de voedingszijde verdampen en vervolgens door de poriën naar de destillaatzijde bewegen. Afhankelijk van de gekozen uitvoeringsvorm zal het water (en andere vluchtige componenten) aan de koudere destillaatzijde condenseren op een condensor of in een condensatievloeistof.

### 3 Gebruikte opstellingen, middelen, materialen

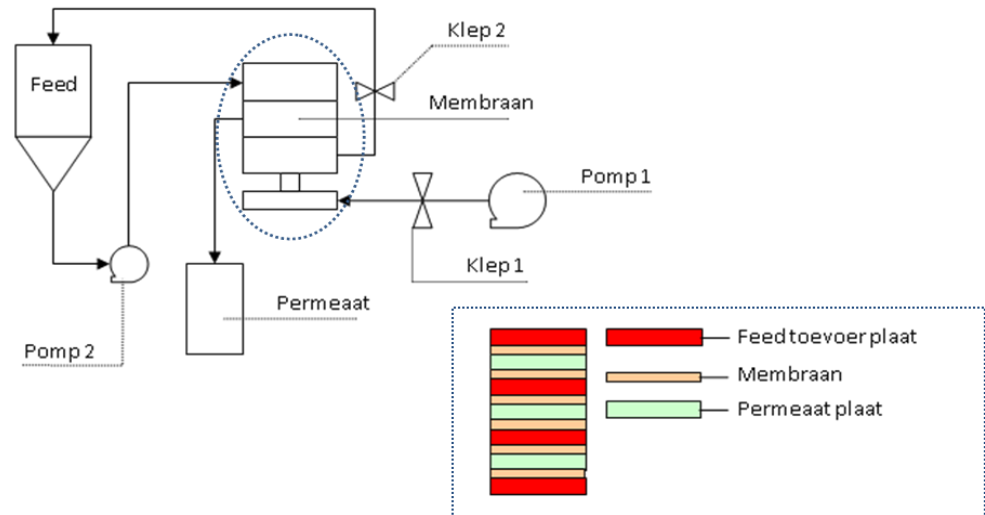
#### 3.1 Beschrijving opstellingen

In de onderstaande paragrafen worden de gebruikte opstellingen voor omgekeerde osmose (RO) en membraandestillatie (MD) beschreven

De opstellingen zijn op twee wijzen bedreven, steady state en concentrering:

- Steady state: het permeaat wordt teruggevoerd naar het voedingsvat; hierdoor blijft de voedingssamenstelling gelijk.
- Concentrering: het permeaat wordt afgevangen en niet teruggevoerd. Hierdoor wordt water aan de voeding onttrokken waardoor de concentratie van de componenten oploopt. Deze bedrijfsvoering zal doorgaans in de praktijk worden toegepast.

##### 3.1.1 Omgekeerde osmose opstelling

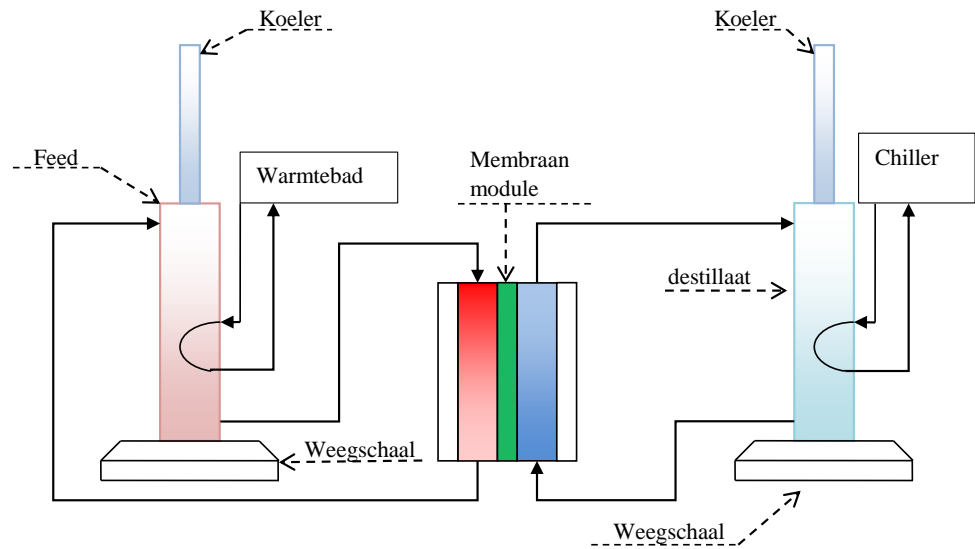


Figuur 2: Omgekeerde osmose opstelling

In de RO-opstelling wordt gebruik gemaakt van vlakke membranen waarvan het permeaat per membraan afzonderlijk kan worden afgevangen. Het membraanoppervlak per plaat bedraagt 360 cm<sup>2</sup>.

De voeding wordt aangevoerd vanuit een voorraadvat. Door middel van keuze om het permeaat wel of niet terug te voeren naar het voorraadvat kan de wijze van bedrijfsvoering (steady state of concentrering) worden ingesteld. De systeemdruk en het debiet door het systeem zijn regelbaar.

### 3.1.2 Membraandestillatie opstelling



Figuur 3: Membraan destillatie opstelling

De membraandestillatie opstelling bestaat uit een membraanmodule waarin een vlak membraan aan twee zijden wordt langs gestroomd.

Op beide opslagvaten (voeding en destillaat) zijn koelers geplaatst om eventuele waterdamp te condenseren. Hierdoor wordt verlies van water uit het systeem door verdamping voorkomen. Beide opslagvaten zijn dubbelwandig. Door de dubbele wand wordt water uit warmtebaden geleid om zo de temperatuur te regelen. Het destillaatvat wordt ondersteund door een koelmachine ("chiller") om zo voldoende koeling beschikbaar te hebben.

Door middel van weegschalen wordt de verandering van massa in de voorraadvaten bepaald. Hieruit kan vervolgens de flux worden bepaald.

## 3.2 Toegepaste watertypes

In het laboratoriumonderzoek is zowel met drainwater uit een praktijksituatie gewerkt als ook met een referentiemodel, synthetisch drainwater.

### 3.2.1 Praktijk drainwater

Het praktijk drainwater is afkomstig van de proeflocatie van WUR-Glastuinbouw in Bleiswijk. Er wordt drainwater in plaats van spuiwater gebruikt, omdat spuiwater niet altijd voorradig is en drainwater een vergelijkbare samenstelling heeft als spuiwater.

Tabel 1: Voorbeeld van samenstelling praktijk drainwater

Voeding	Elektrische geleidbaarheid (EC)	pH	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Si	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
	[mS/cm]	[-]	[mmol/l]										
WUR drainwater	2.11	6.16	0.45	5.94	0.76	3.05	2.28	1.12	10.32	0.85	1.85	0.98	1.11

Het praktijk drainwater bevat hiernaast ook organische verontreinigingen.

### 3.2.2 Synthetisch drainwater

Het nadeel bij het uitvoeren van experimenten met drainwater afkomstig uit een praktijksituatie is dat de samenstelling van dit water sterk kan variëren per monstername, teelt en ook gedurende een teelt. Om de resultaten van experimenten onderling vergelijkbaar en representatief te maken is door WUR Glastuinbouw een standaard samenstelling voor spuiwater ontwikkeld. Dit standaard water, in dit onderzoek synthetisch drainwater genoemd, is gebaseerd op gedemineraliseerd water waaraan meststoffen (zoals gebruikt in de praktijk) zijn toegevoegd om tot een samenstelling te komen die een realistische worst-case vormt van wat je inde snijbloemen en groenteteelt kan aantreffen.

Het synthetische drainwater bevat dus geen verontreinigingen en ook geen gewasbeschermingsmiddelen.

Tabel 2 geeft de samenstelling weer van het synthetisch drainwater.

Tabel 2: Samenstelling synthetisch drainwater

Voeding	Elektrische geleidbaarheid (EC)	pH	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Si	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
	[mS/cm]	[-]	[mmol/l]										
Synthetisch drainwater	3,2	5,6	0,5	5,5	5,5	7	3	0,5	15,5	5,5	4,5	0,5	1.15

De belangrijkste verschillen ten opzichte van het in de experimenten gebruikte praktijk drainwater zijn:

- Het synthetische drainwater is rijker aan Ca en SO<sub>4</sub> waardoor neerslag van o.a. CaSO<sub>4</sub> eerder zal optreden bij concentrerings-experimenten
- Het synthetische drainwater bevat ook meer chloride.

### 3.3 Toegepaste membranen

#### 3.3.1 Omgekeerde osmose membranen

Een belangrijk criterium bij de keuze van de te gebruiken typen membranen voor de experimenten met omgekeerde osmose zijn is dat de membranen representatief zijn voor gangbare commerciële RO membranen.

Bij de keuze voor een geschikt membraan zal gekeken moeten worden naar de kwaliteit van het permeaat (bepaald door de retentie) en naar de kwantiteit (bepaald door de flux door het membraan). Hierbij zijn er twee belangrijke typen: zogenaamde brakwater RO membranen en zoutwater RO membranen.

De concentraties van zouten in het glastuinbouw spuiwater komen overeen met brak water (0,5-35 mg/l). Om deze reden zullen naar verwachting de minder dichte brakwatermembranen geschikt kunnen zijn.

Zoutwater membranen zijn dichter dan brakwater membranen omdat ze ontworpen zijn om bij hogere concentraties zouten te moeten werken. Om de gewenste retentie te behalen op basis van zeewater moet het membraan vrij dicht zijn maar daarmee zal de flux daarom ook lager zijn (bij vergelijkbare druk). Omdat zoutwater membranen mogelijk op bepaalde vlakken een betere prestatie zouden kunnen laten zien (bijv. qua retentie) zijn deze ook getest.

Daarnaast zijn er nog optimalisaties in membraanmaterialen naar opbrengst en laag energieverbruik (type XLE) of geoptimaliseerd op retentie (type HR). Onderstaande tabel 3 geeft een overzicht van de gebruikte RO membranen

Tabel 3: Overzicht toegepaste RO membranen

Soort membraan	Membraantype (Filmtec)	Beschrijving
Brak water	BW30 HR	gericht op hoge retentie
	BW30 XLE	ontworpen voor laag energieverbruik
Zout water	SW30 HR	gericht op hoge retentie
	SW30 XLE	ontworpen voor laag energieverbruik

#### 3.3.2 Membraandestillatie membranen

Voor de experimenten met membraandestillatie is gebruik gemaakt van vlakke hydrofobe PTFE membranen.

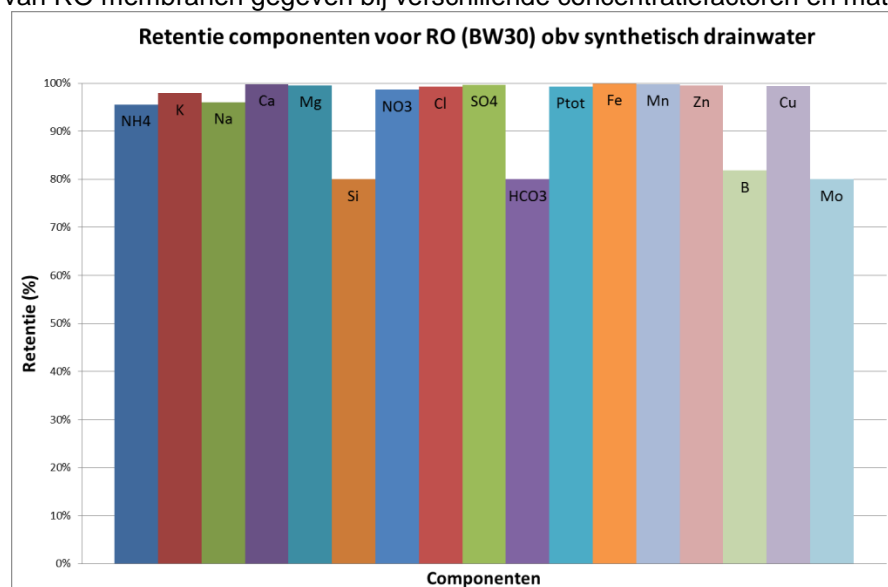
## 4 Experimenten en resultaten

### 4.1 Scheidingsmogelijkheden van membrandestillatie en omgekeerde osmose.

De intrinsieke scheidingsmogelijkheden van MD en RO voor de behandeling van gietwater zijn bepaald aan de hand van de retentie en flux. Retentie en flux zijn bepaald met synthetisch drainwater om de invloed van vervuiling van de membranen te minimaliseren.

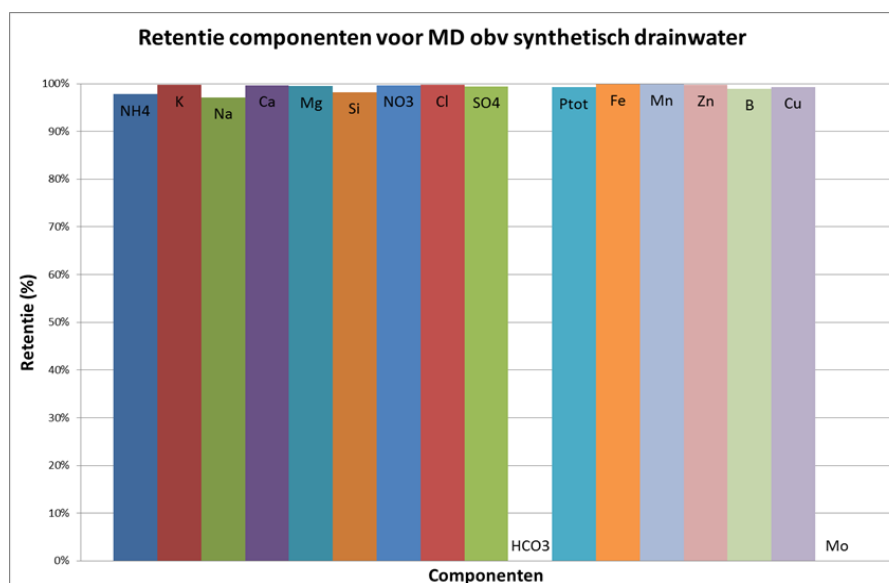
#### 4.1.1 Retentie

In Figuur 4 is de retentie voor diverse componenten in het drainwater bij toepassing van RO membranen gegeven bij verschillende concentratiefactoren en materialen.



Figuur 4. Retentie voor diverse componenten in drainwater bij toepassing van RO.

In figuur 5 is deze retentie bepaald bij de toepassing van MD met PTFE membranen.



Figuur 5. Retentie voor diverse componenten in drainwater bij toepassing van MD.

Uit de resultaten blijkt dat het retentieniveau bij MD in het synthetisch drainwater voor alle componenten hoog is. Dit is te verwachten gegeven het principe van MD. Alleen relatief vluchtige componenten (t.o.v. water) zullen aanwezig zijn in het destillaat.

Het retentieniveau bij RO is voor de meeste componenten ook hoog. Uitzondering hierop vormen echter Si,  $\text{HCO}_3^-$ , Mo en B. Het scheidingsmechanisme van RO is gebaseerd op interactie van de componenten met het membraanmateriaal. Wanneer deze interactie groter is, zal de retentie van de betreffende componenten lager zijn. De concentratiefactor en verschil in type membraan blijken weinig effect te hebben op het retentieniveau bij RO. De bepaling van  $\text{HCO}_3^-$  kan, behalve de beperkte nauwkeurigheid gezien de lage concentratie, ook beïnvloed zijn door opname van  $\text{CO}_2$  uit de lucht in zowel permeaat als retentaat (concentraat).

#### 4.1.2 Flux

De flux door het membraan is een maat voor de capaciteit van het membraan. In tabel 4 zijn fluxwaarden voor MD en RO bij het gebruik van synthetisch drainwater weergegeven. MD is uitgevoerd bij ongeveer 353 K bij 2 verschillende temperatuurverschillen over het membraan. RO is uitgevoerd met zowel zeewater als brakwater membranen.

Tabel 4. Fluxoverzicht MD en RO (synthetisch drainwater)

Soort membraan	Membraan-type	Druk (bar)	Flux (l/m <sup>2</sup> /h)
MD (T= 353 K) PTFE	MD	1	6 (bij $\Delta T = 2$ K) 21 (bij $\Delta T = 12$ K)
RO (Brak water membranen) Filmtec	BW30 HR	30	60
	BW30 XLE	30	135
RO (Zout water membranen) Filmtec	SW30 HR	40	42
	SW30 XLE	40	65

Aangezien het transportmechanisme bij MD anders is dan bij RO zijn de fluxen tussen MD en RO onderling lastig te vergelijken. Aangezien MD waarschijnlijk bij een laag temperatuurverschil over het membraan toegepast wordt om het energieverbruik te beperken, zal er in veel gevallen meer oppervlak aan MD membraan nodig zijn dan aan RO membraan. Uit tabel 4 blijkt wel dat de brakwater membranen een aanzienlijk hogere specifieke flux hebben dan de zeewater membranen. Dit is ook te verwachten, aangezien de brakwatermembranen een minder dichte structuur hebben dan de zeewater membranen. Gezien het te verwachten concentratieniveau aan zouten in het drainwater en bovengenoemde resultaten zijn de brakwater membranen gebruikt bij de overige RO experimenten.

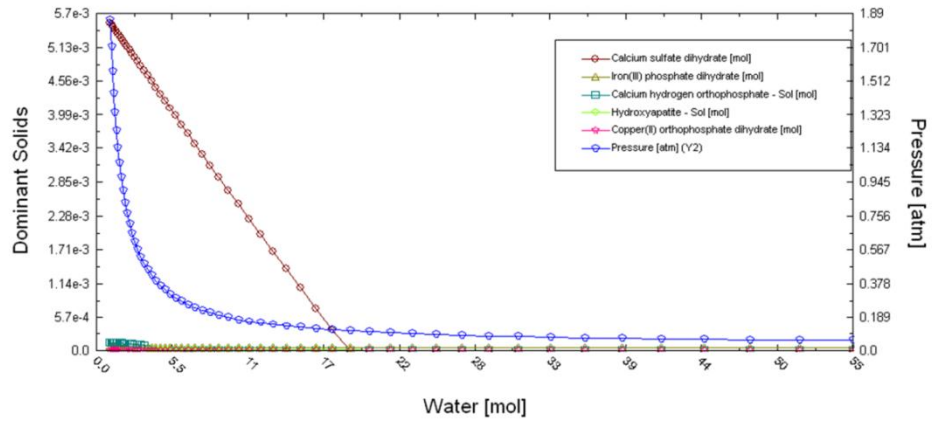
#### 4.1.3 Concentrerings met RO en MD.

Beide technieken (RO en MD) zijn concentreringstechnieken waarbij schoon water wordt gewonnen uit een stroom restantwater. Drainwater, en daarmee ook spuiwater, in de glastuinbouw bevat een aantal nutriënten (voornamelijk  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$  en  $SO_4^{2-}$ ) die kunnen neerslaan wanneer het restantwater wordt geconcentreerd tijdens waterterugwinning en het oplosbaarheidsproduct voor deze componenten wordt overschreden. Deze neerslag kan leiden tot procesverstoringen zoals vermindering van warmte- en of stofoverdracht.

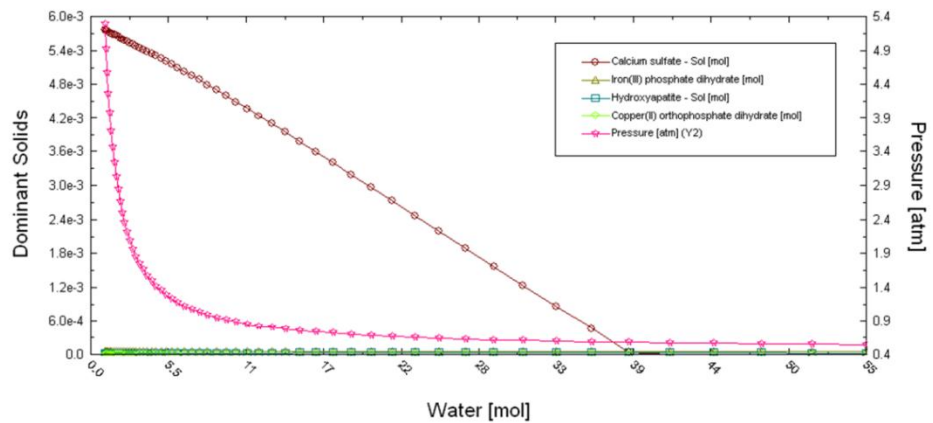
Met behulp van een thermodynamisch simulatie-pakket (OLI) zijn berekeningen uitgevoerd om vast te stellen wanneer en welke componenten zullen neerslaan tijdens concentrering.



Tevens is de osmotische druk van de oplossing berekend bij concentrering. De resultaten van deze berekeningen bij 298K en 353K zijn weergegeven in resp. figuur 6 en figuur 7.



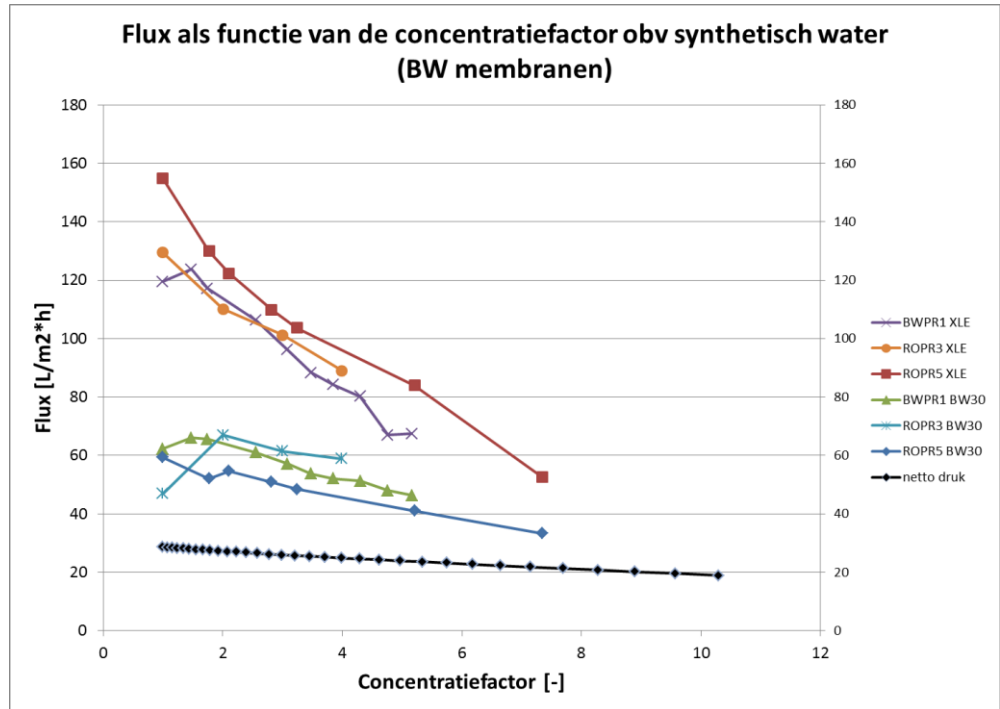
Figuur 6: Voorspelling neerslag van componenten en osmotische druk bij 298 K (neerslag van CaSO<sub>4</sub> treedt naar verwachting op bij een concentratiefactor van circa 3)



Figuur 7: Voorspelling neerslag van componenten en osmotische druk bij 353 K (neerslag van CaSO<sub>4</sub> treedt naar verwachting op bij een concentratiefactor van 1.4)

Uit de simulatie blijkt dat er zeker bij hogere temperatuur al snel precipitatie kan plaatsvinden tijdens concentrering. In praktijkexperimenten wordt nagegaan welke invloed dit heeft op het RO en MD proces. Uit de simulatie blijkt ook dat de osmotische druk van de oplossing toeneemt bij concentrering, maar dat de osmotische druk bij 5 keer concentrering nog steeds laag is (circa 1 bar) t.o.v. de aangelegde druk (minimaal 20 bar).

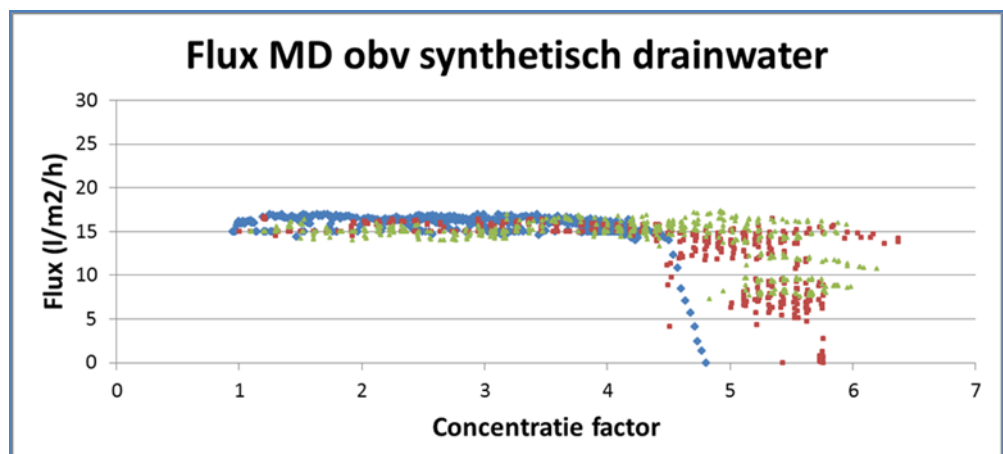
De RO concentreringsexperimenten met synthetisch drainwater zijn weergegeven in figuur 8.



Figuur 8: RO flux als functie van concentratie factor voor synthetisch drainwater bij 3 vergelijkbare experimenten (PR1, PR3 en PR5)

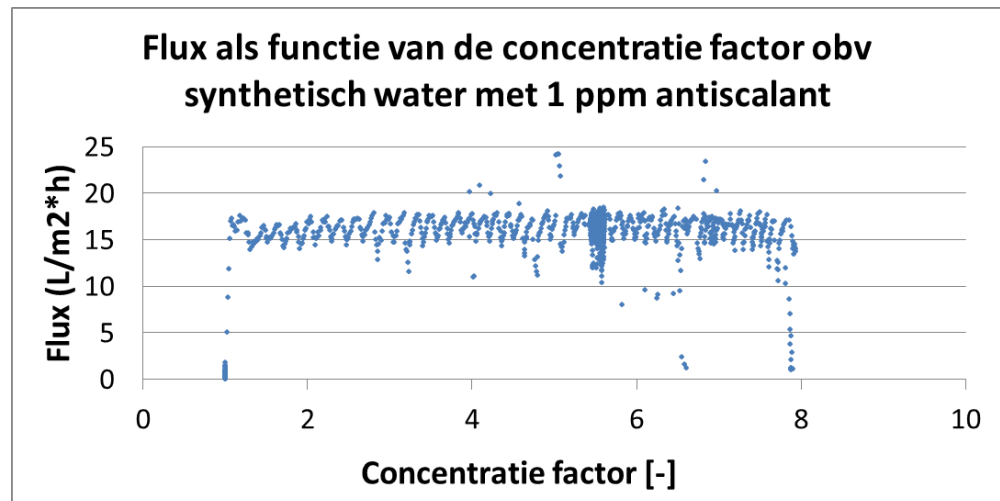
De RO experimenten zijn uitgevoerd bij een temperatuur van circa 298 K. Uit de resultaten blijkt dat de flux in alle gevallen afneemt met de concentratiefactor. Dit is niet te verklaren uit de toename in osmotische druk. Compactie (samendrukking) van het membraan is een mogelijke oorzaak. Neerslagvorming lijkt niet de oorzaak, aangezien de fluxverlaging al optreedt bij een concentratieniveau, waar volgens de simulatie nog geen neerslagvorming verwacht wordt.

De MD concentreringsexperimenten met synthetisch drainwater zijn weergegeven in figuur 9.



Figuur 9. MD flux als functie van concentratie factor voor synthetisch drainwater bij 3 vergelijkbare experimenten. Condities:  $T_{feed}$ : 348 K; temperatuurverschil over membraan is 7-8 K.

Uit de resultaten in figuur 9 blijkt dat de flux tot een concentratiefactor van circa 4 constant blijft. Afhankelijk van het experiment treedt een flux daling op tussen concentratiefactor 4,5 en 6. In de opstelling is dan ook neerslag zichtbaar. Op basis van de simulatie wordt bij deze temperatuur al eerder neerslagvorming verwacht ( $\text{CaSO}_4$ ). Blijkbaar vindt er eerst oververzadiging plaats en vervolgens neerslagvorming. Deze neerslagvorming lijkt een fluxdaling tot gevolg te hebben. Deze hypothese wordt bevestigd door een antiscalant aan het synthetische drainwater toe te voegen en een vergelijkbare MD concentreringsproef uit te voeren.



Figuur 10: Fluxverloop MD obv synthetisch drainwater met 1 ppm antiscalant (Flocon 135)

Uit figuur 10 blijkt dat in dat geval een concentratiefactor van circa 8 kan worden bereikt zonder fluxdaling.

## 4.2 Vervuilingsgedrag van RO en MD.

### 4.2.1 Vervuiling bij toepassing van praktijk drainwater.

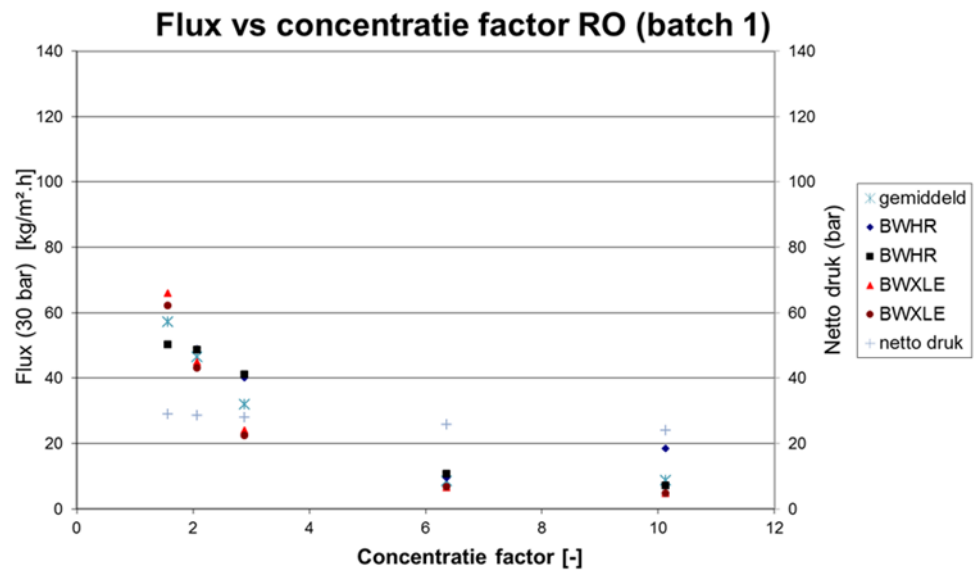
De vervuiling van membranen kan het best vastgesteld worden aan de hand van experimenten met drainwater uit de praktijk. Het praktijkwater is afkomstig uit de rozenteelt in de proefkas bij WUR Glastuinbouw in Bleiswijk.

Voor RO zijn bij de experimenten de condities gekozen, zoals weergegeven in tabel 5.

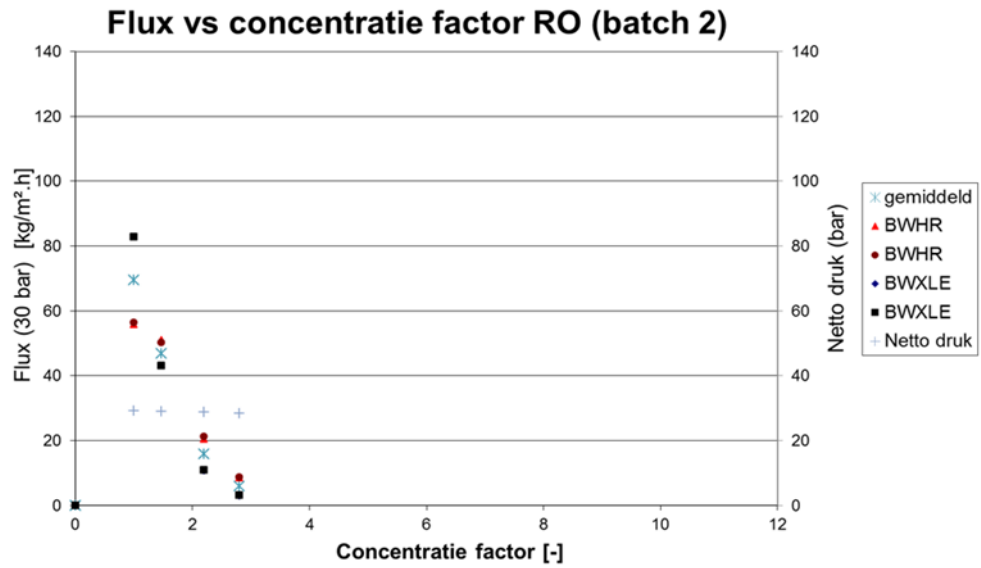
Tabel 5. Conditioes RO experimenten met praktijk drainwater.

Parameter	Beschrijving	Waarden	Onderbouwing keuze
Operatiedruk		30 bar	Maximale druk voor BW membranen (geeft hoogste flux)
Gebruikte membranen		BW30 HR BW30 XLE	
Temperatuur		25 °C	Koeling tot kamer temperatuur
Frequentie pomp	Bepaald debiet en daarmee stroomsnelheid langs membraan	44 Hz	Standaard waarde
Wijze van bedrijven		Concentreren	
Gebruikte water		Praktijk drainwater	

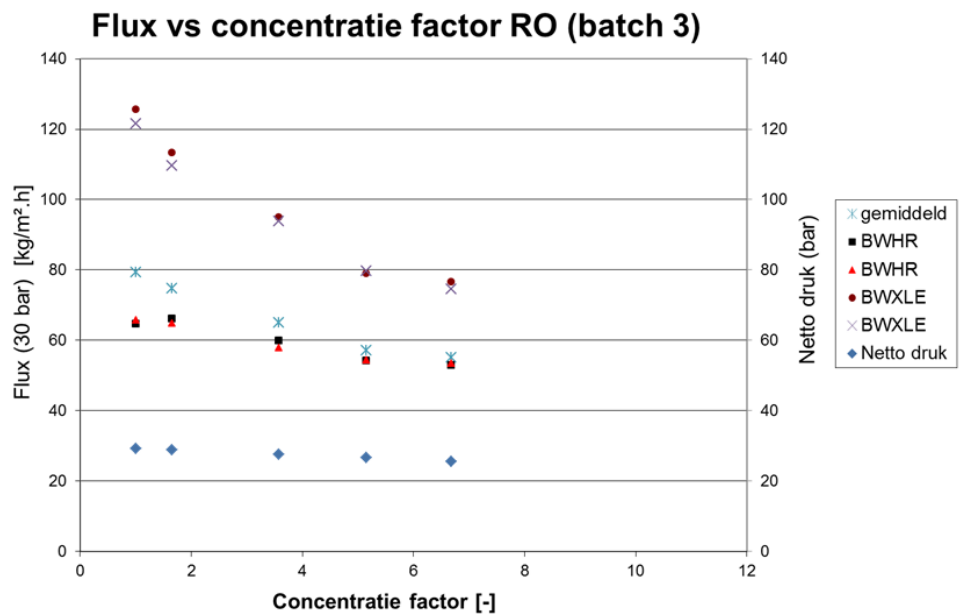
Op verschillende tijdstippen zijn monsters van het drainwater genomen en daar zijn vervolgens RO concentreringsexperimenten mee uitgevoerd. De resultaten hiervan zijn weergegeven in de figuren 11, 12 en 13.



Figuur 11. RO Concentreringsexperiment met praktijk drainwater batch 1.



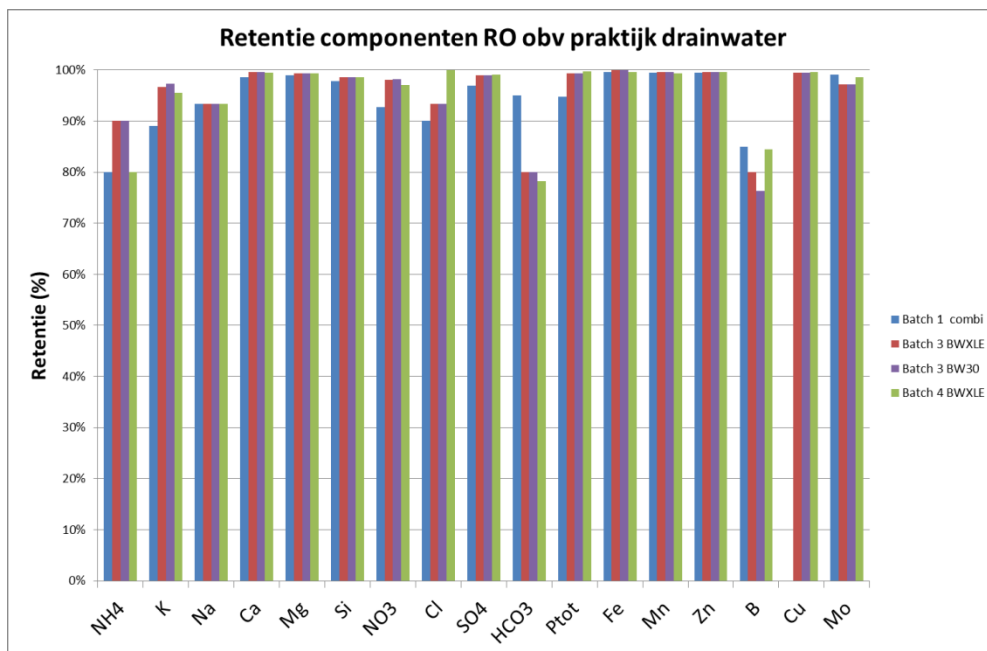
Figuur 12. RO Concentreringsexperiment met praktijk drainwater batch 2.



Figuur 13. RO Concentreringsexperiment met praktijk drainwater batch 3.

Uit de resultaten blijkt dat het fluxverloop als functie van de concentratie sterk afhankelijk is van de batch. De samenstelling van het drainwater verandert blijkbaar tijdens de teelt hetgeen leidt tot een veranderend vervuilingsgedrag van de RO membranen.

Uit de RO retentiewaarden (zie figuur 14) voor diverse componenten in het praktijk drainwater blijkt dat de verschillende batches onderling weinig significante verschillen laten zien. De vervuiling heeft dus weinig invloed op het tegenhoudend vermogen van het RO membraan.



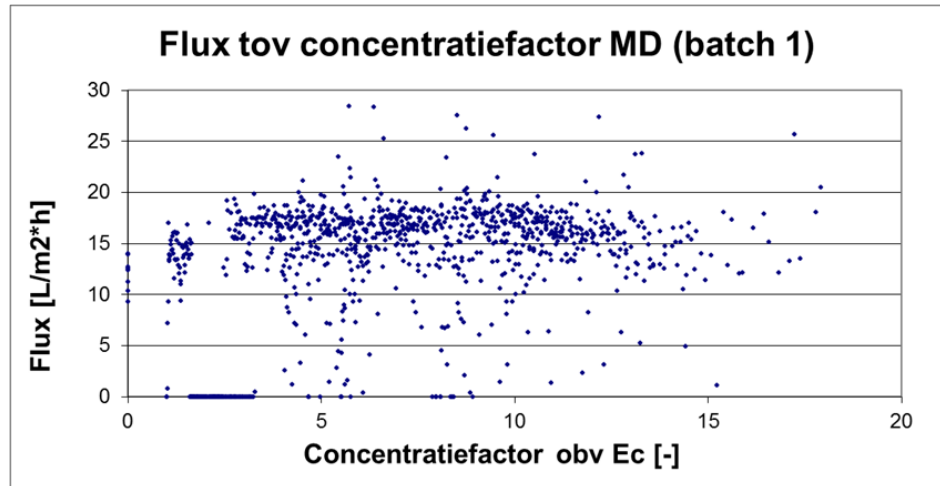
Figuur 14. Retentie van componenten in het praktijk drainwater van verschillende batches.

Ook bij MD is het vervuiligingsgedrag bepaald van de drainwater batches 1 t/m 3. De condities waarbij de MD experimenten uitgevoerd zijn, staan vermeld in tabel 6.

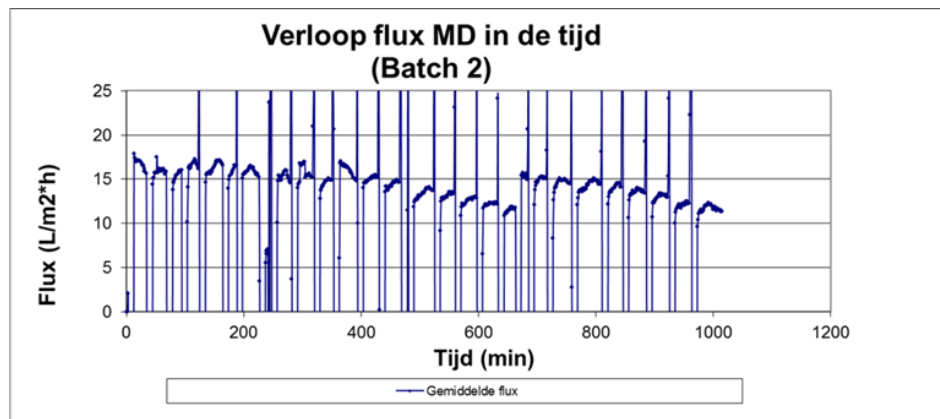
Tabel 6. Condities MD experimenten met praktijk drainwater.

Parameter	Waarden	Onderbouwing keuze
Operatiedruk	1 bar	Atmosferisch
Voedings-temperatuur	348 K	
Temperatuurs-verschil	7-8 K	Gebruikelijke waarde
Gebruikte water	Praktijk drainwater	
Wijze van bedrijven	Concentreren tot CF 8-10 + daarna steady state  (’s-nachts ook in steady state)	

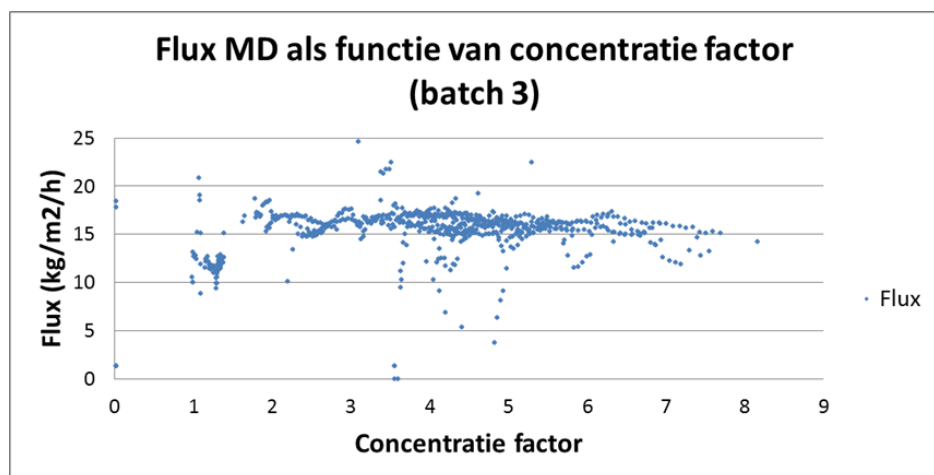
De resultaten van het fluxverloop als functie van de concentrering van de batches is weergegeven in de figuren 15,16 en 17.



Figuur 15. MD concentreringsexperiment met praktisch drainwater batch 1.



Figuur 16. MD concentreringsexperiment met praktisch drainwater batch 2. De bereikte eindconcentratiefactor is 7-8.



Figuur 17. MD concentreringsexperiment met praktisch drainwater batch 3.

Uit de resultaten van de MD experimenten met batch 1 en batch 3 blijkt dat de flux gedurende het gehele concentreringsexperiment ongeveer constant blijft, dit in tegenstelling tot het fluxverloop bij de RO experimenten. Bij batch 2 (de sterk vervuilde batch bij de RO experimenten) is een afname van de flux waarneembaar, maar in veel geringere mate dan bij RO. Mogelijke verklaring hiervoor is de wijze van procesvoering en de aard van het membraanmateriaal. RO wordt onder druk uitgevoerd terwijl MD nagenoeg drukloos wordt uitgevoerd. Daarnaast wordt MD uitgevoerd met relatief inert membraanmateriaal (PTFE) t.o.v. het materiaal van RO membranen (Polyamide). Deze combinatie van procesomstandigheden en membraanmateriaal maken het MD proces minder gevoelig voor vervuiling.

Uit de MD retentiewaarden (>99,5% op basis van geleidbaarheid, nutriënten in destillaat liggen beneden detectiegrens) voor diverse componenten in het praktijk drainwater blijkt dat de verschillende batches onderling weinig significante verschillen laten zien. De vervuiling heeft dus weinig invloed op het tegenhoudend vermogen van het MD membraan.

In onderstaande tabel 7 worden de belangrijkste resultaten met praktijk drainwater voor beide technieken samengevat.

Tabel 7. Overzicht prestaties RO en MD bij toepassing van praktijk drainwater.

Parameter	Eenheid	RO		MD
		BW30	BWXLE	PTFE
Flux	L/m <sup>2</sup> /h	56-75; afnemend naar 10-15	90-150; afnemend naar 3-5	15- 20
Overall Retentie	%	97 -> 90	97 -> 81	>99,5% op basis van de EC van het destillaat
Concentratiefactor mogelijk	-	2,8 – 10	2,8 -10	>10 x concentreren
Retentie componenten	%	>90% voor alle componenten, behalve NH <sub>4</sub> , HCO <sub>3</sub> en B	>90% voor alle componenten, behalve NH <sub>4</sub> , HCO <sub>3</sub> en B	>99,5% op basis van de EC van het destillaat
EC waarden permeaat/destillaat	μS/cm	50 -> 250	50 -> 450	circa 5-10 μS/cm

#### 4.2.2 Invloed van specifieke componenten op vervuilingsgedrag

Uit de voorgaande proevenserie (m.b.t. vervuiling) is gebleken dat vervuiling een sterk effect heeft op de flux, met name bij omgekeerde osmose.

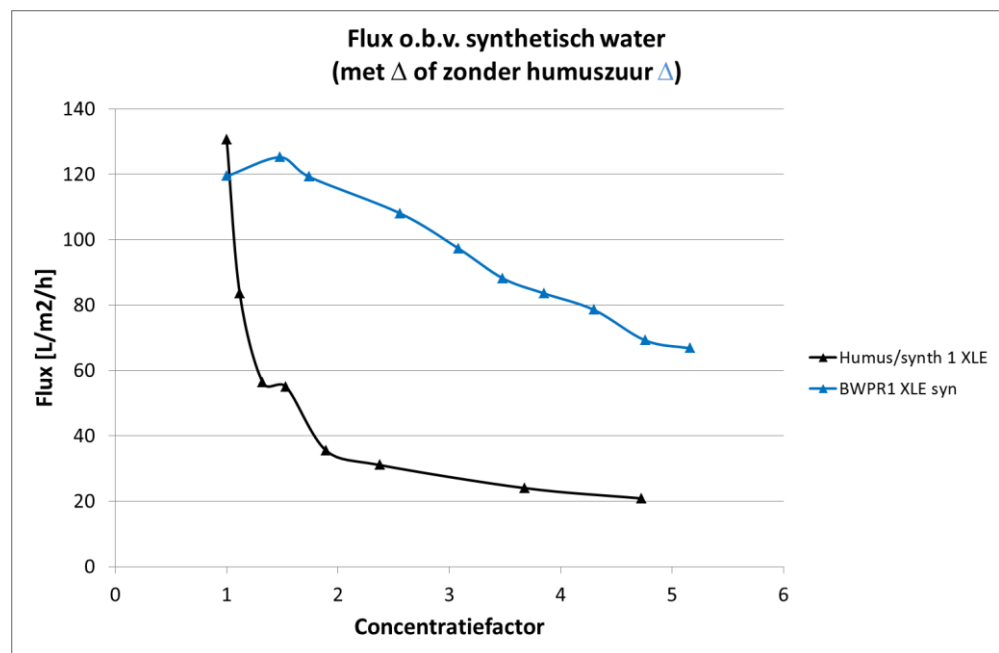
Met oog op een zo efficiënt mogelijk proces (lange standtijden van de membraanmodules tussen reiniging en zo kort mogelijke downtime) is het erg belangrijk om na te gaan welke componenten hoofdzakelijk verantwoordelijk zijn voor de vervuiling en hoe deze vervuiling tegengegaan en/of verwijderd kan worden.

De onderstaande proevenserie richt zich op het experimenteel bepalen van het effect op de flux van componenten waarvan verwacht wordt dat deze vervuiling kunnen veroorzaken en de mate waarin verschillende reinigingsmiddelen en reinigingsprogramma's de flux weer tot de originele waarde kunnen herstellen.



4.2.2.1 Effect humuszuur

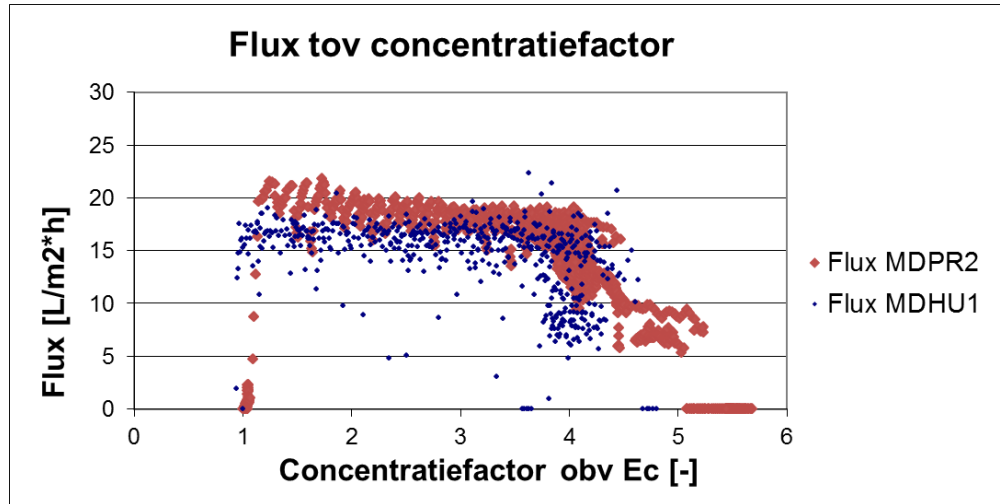
Gestart is met experimenten waarbij humuszuur wordt ingezet. Hierbij is gebruik gemaakt van 100 mg/l humic acid sodium salt. Dit is toegevoegd aan het synthetisch drainwater. In figuur 18 zijn de resultaten van de uitgevoerde experimenten met RO weergegeven. In deze figuur is het resultaat bij een aantal RO membranen weergegeven in vergelijking met praktisch drainwater (batch 2) en synthetisch drainwater zonder toevoeging van humus zuur.



Figuur 18. Invloed humuszuur op het fluxverloop bij RO experimenten (blauwe lijn geeft fluxverloop aan met XLE membraan bij toepassing synthetisch drainwater. Zwarte lijn fluxverloop na toevoeging van 100 mg/l humic acid sodium salt). P = 30 bar.

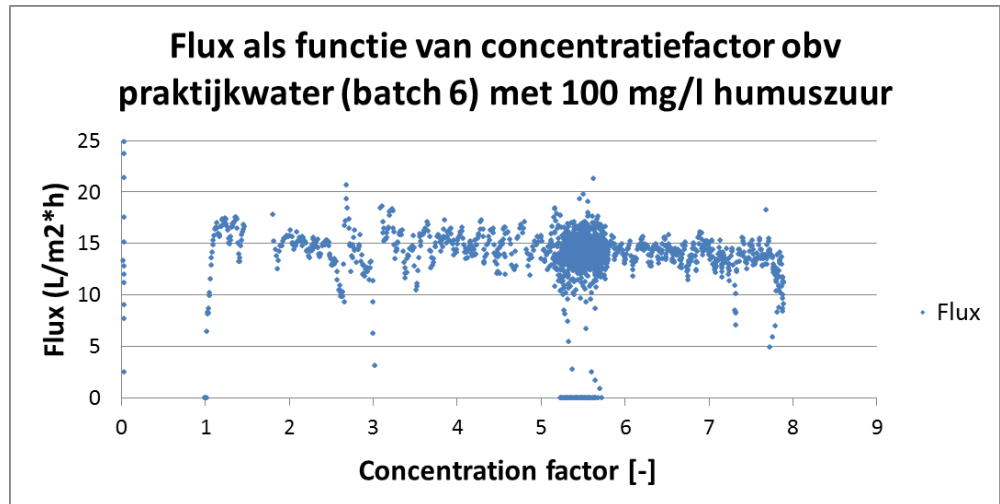
Uit de resultaten in figuur 18 blijkt duidelijk dat humuszuur een vervuילend effect heeft op de membranen. Eventuele aanwezigheid van humuszuren in het drainwater heeft dus waarschijnlijk grote gevolgen voor de vervuiling van de membranen.

Vergelijkbare experimenten zijn uitgevoerd met membraandestillatie, waarbij in eerste instantie een vergelijking is gemaakt tussen het fluxverloop van synthetisch drainwater met en zonder toevoeging van humuszuur. Deze resultaten zijn weergegeven in figuur 20.



Figuur 20. Fluxverloop MD bij toevoeging van humuszuur (100 mg/l) aan synthetisch drainwater (MDHU1) t.o.v. synthetisch drainwater zonder toevoeging van humuszuur (MDPR2).

In figuur 21 is humuszuur toegevoegd aan een batch met praktijkwater.

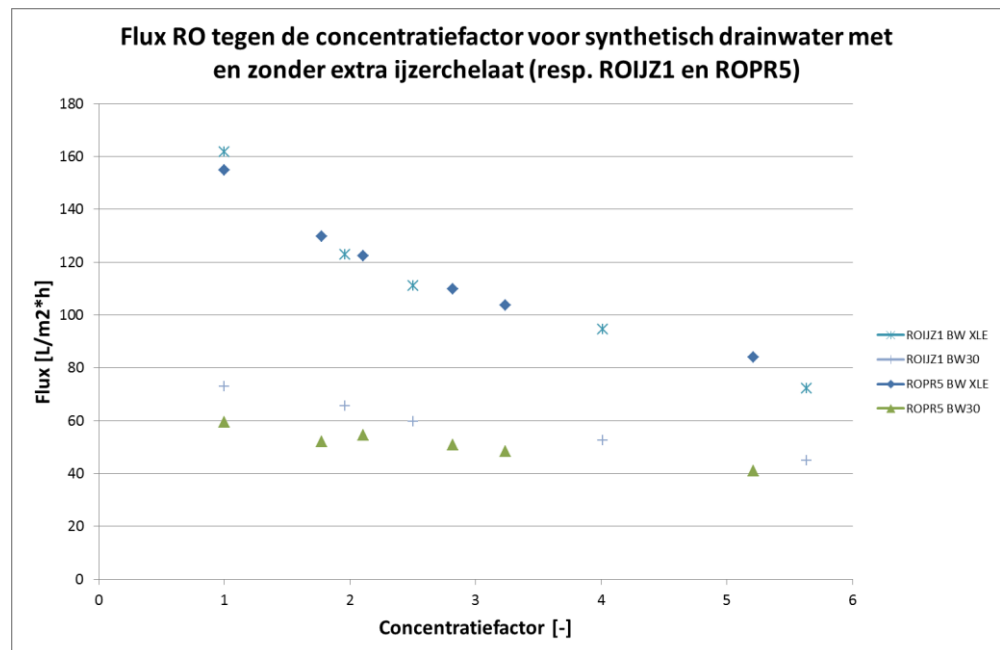


Figuur 21. Effect van humuszuurtoevoeging aan praktijk drainwater op de flux bij MD.

Uit zowel figuur 20 als 21 blijkt dat dat de toevoeging van humuszuur geen effect heeft op het fluxverloop bij MD.

4.2.2.2 Effect ijzerchelaat

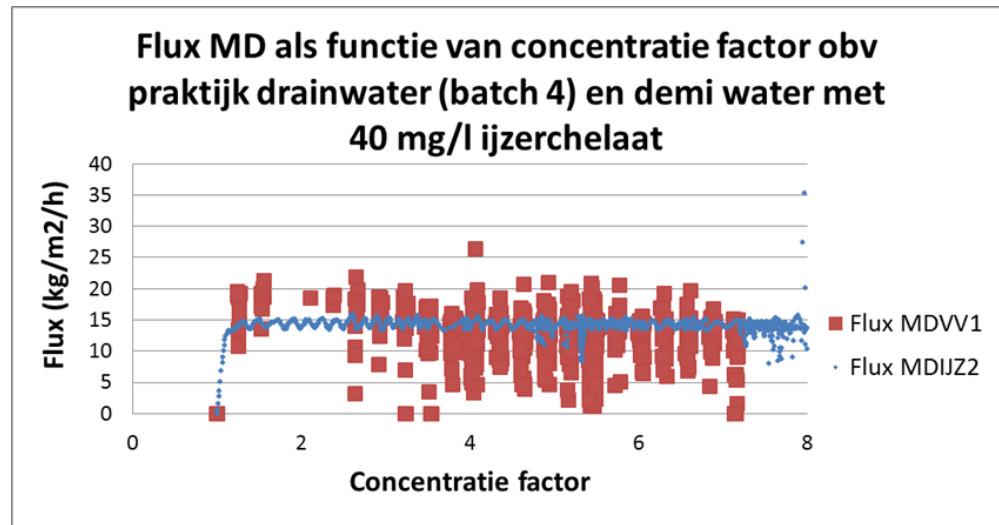
Vervolgens zijn experimenten uitgevoerd met ijzerchelaat. Ijzer dosering aan de voedingsoplossing vindt plaats in de vorm van chelaten. Het testen van ijzerchelaat was gebaseerd op het feit dat de sterkst vervuilende batch praktijkwater een oranje kleur had wat er op kan wijzen dat er veel ijzerchelaat aanwezig is. De invloed van de toevoeging van ijzerchelaat op de flux door RO membranen is weergegeven in figuur 22.



Figuur 22. Invloed van de toevoeging van ijzerchelaat (40 mg/l) aan synthetisch drainwater op de flux door RO membranen.

Uit figuur 22 blijkt dat de toevoeging van ijzerchelaat weinig invloed heeft op het fluxverloop bij RO membranen.

De invloed van ijzerchelaat bij toepassing van membraandestillatie is ook onderzocht met behulp van praktijk drainwater. Dit is weergegeven in figuur 23.



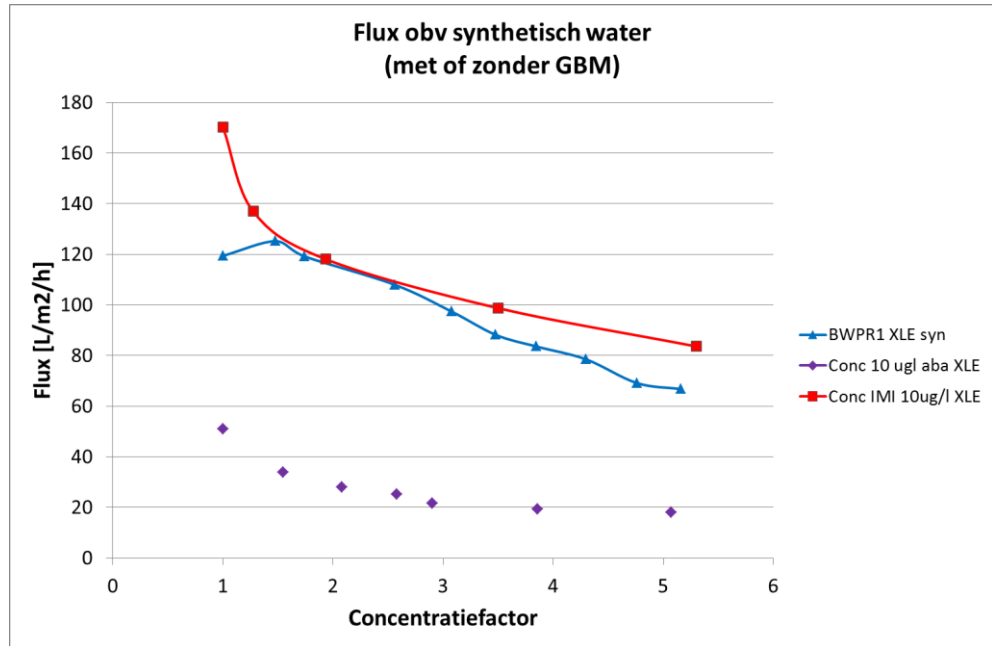
Figuur 23. Invloed ijzerchelaat op het fluxverloop in MD.

Uit de resultaten blijkt dat de toevoeging van ijzerchelaat geen invloed heeft op het fluxverloop van MD tijdens concentrering.

#### 4.2.2.3 *Effect gewasbeschermingsmiddelen.*

Aangezien er in de teelten gewasbeschermingsmiddelen worden toegepast, die voor eventuele lozing verwijderd moeten worden is voor 2 typen middelen (Imidacloprid en Abamectine) nagegaan hoe deze zich gedragen in RO en MD toepassingen. Naast vervuilingsgedrag is hierbij ook de retentie voor de middelen bij toepassing van deze methoden van belang.

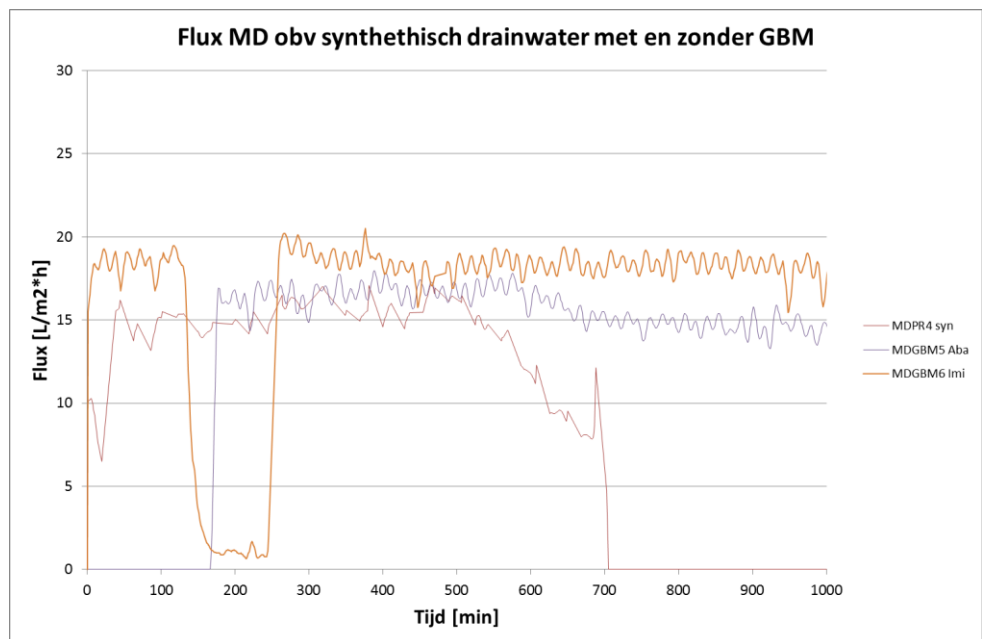
In figuur 24 is de invloed van deze middelen op de flux weergegeven tijdens concentringsexperimenten van synthetisch drainwater. Met RO.



Figuur 24 . Effect van gewasbeschermingsmiddelen (10 µg/l) op flux van RO bij gebruik van synthetisch drainwater. BWPR1 is een experiment met XLE membraan zonder gewasbeschermingsmiddelen. De andere 2 experimenten zijn met IMI en aba met XLE membraan. IMI=imidacloprid en aba= abamectine.

Uit figuur 24 blijkt dat met name bij toevoeging van abamectine de flux op een significant lager niveau ligt dan bij een vergelijkbaar experiment zonder toevoeging van abamectine.. Mogelijk hecht abamectine aan het membraan.

Een vergelijkbaar experiment met MD wordt weergegeven in figuur 25.



Figuur 25. MD experimenten met synthetisch drainwater zonder toevoeging (MDPR4), met abamectine toevoeging (MDGBM5 Aba) en met imidacloprid toevoeging (MDGBM6

Uit de resultaten van figuur 25 lijkt de toevoeging van imidacloprid en abamectine weinig invloed te hebben op het fluxverloop. Het wegvallen van de flux (bij ongeveer 200 minuten in de data van synthetisch drainwater met imidacloprid en bij ongeveer 500 minuten in de data voor puur synthetisch drainwater) in figuur 25 is te wijten aan storingen in de meetapparatuur.

De retentiewaarden voor imidacloprid zijn zowel bij RO als MD > 98%. Voor abamectine is geen retentiewaarde verkregen, doordat de stabiliteit van abamectine gering blijkt te zijn.

### **4.3 Voorbehandeling van omgekeerde osmose (RO) met ultrafiltratie (UF)**

#### **4.3.1 Inleiding**

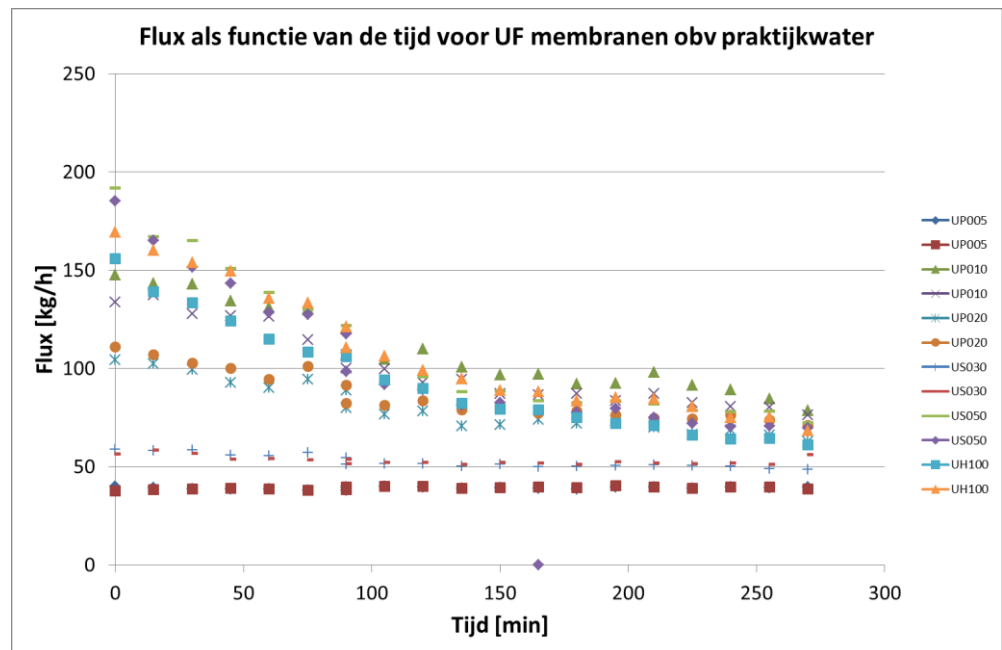
Uit de resultaten in paragraaf 4.2.1 blijkt dat RO membranen sterk kunnen vervuilen wanneer deze toegepast worden voor praktisch drainwater. Dit kan mogelijk voorkomen worden door een voorbehandeling met ultrafiltratie (UF) toe te passen. Om het effect te bekijken zijn UF membranen geselecteerd van hetzelfde materiaal, maar met een verschillende poriegrootte (uitgedrukt in MWCO). De MWCO waarde van een membraan betekent dat een molecuul met de betreffende MWCO waarde voor minimaal 90% tegengehouden wordt door dat membraan. Praktisch betekent dit dat membranen met een hoge MWCO waarde een grotere poriediameter hebben dan membranen met een lage MWCO waarde. De geselecteerde membranen staan vermeld in tabel 8.

Tabel 8. Overzicht geteste membraan t.b.v. voorbehandeling RO.

Parameter	Beschrijving	Waarden	Toelichting
Operatiedruk		10 bar	
Gebruikte UF membranen	Nadir	UP005 UP010 UP020 UH030 UH050 US100	MWCO=5000 MWCO=10000 MWCO=20000 MWCO=30000 MWCO=50000 MWCO=100000
Temperatuur		25 °C	Koeling tot kamer temperatuur
Gebruikte water		Praktijk drainwater	

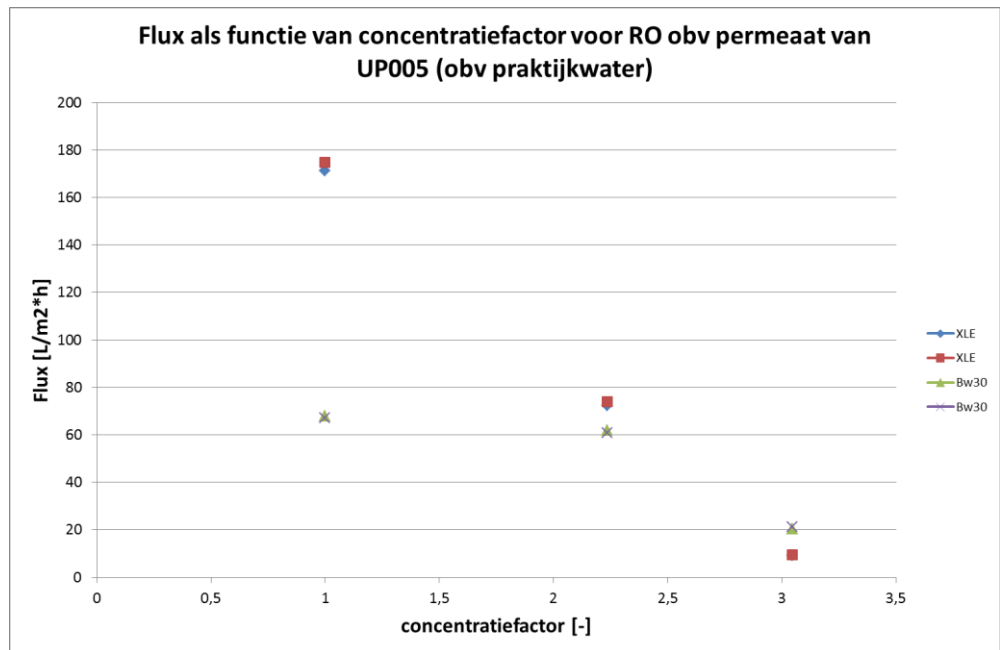
4.3.2 Experimenten en resultaten UF membranen

In eerste instantie is het vervuilingsgedrag van de verschillende UF membranen vastgesteld door praktijkwater (batch 8) te filtreren in steady state toestand en het fluxverloop in de tijd te volgen. Dit is weergegeven in figuur 27.

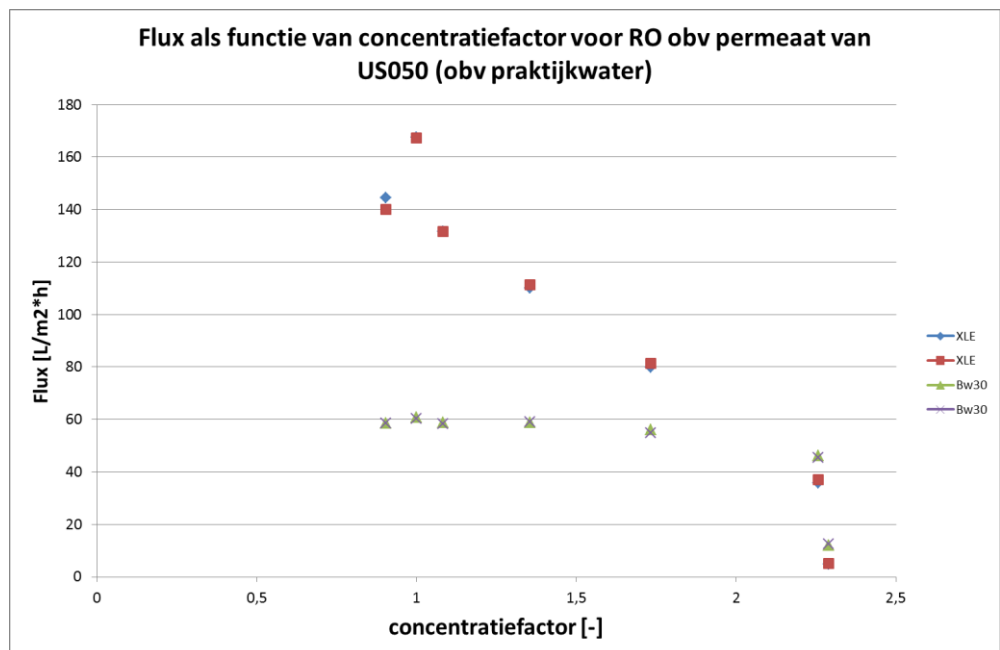


Figuur 27. Fluxverloop in de tijd van verschillende UF membranen bij filtratie van praktijk drainwater (batch 8).

Uit deze figuur blijkt dat de open membranen (d.w.z. de membranen met de hoogste MWCO waarde) het sterkst in flux afnemen, d.w.z. het sterkst vervuilen. Vervolgens is het permeaat (filtraat) van de UF membranen met een MWCO van resp. 5000, 50000 en 100000 opgevangen en als voeding gebruikt voor de omgekeerde osmose experimenten. De resultaten van de flux als functie van de concentreringsfactor zijn weergegeven in de figuren 28 t/m 30.

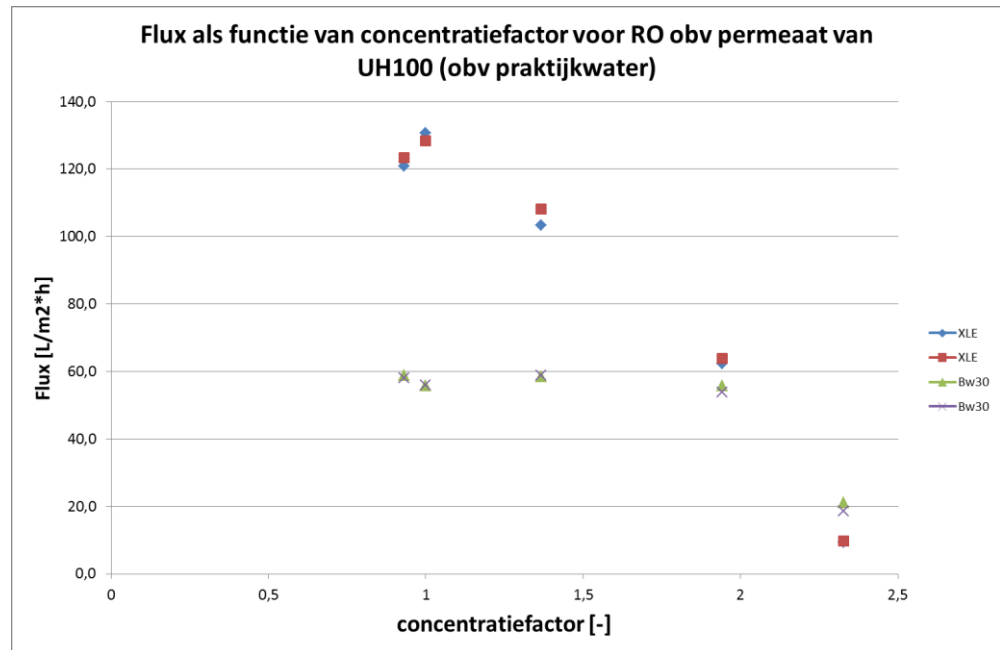


Figuur 28. RO experiment met UF (MWCO=5000) voorbehandeld praktijk drainwater.



Figuur 29. RO experiment met UF (MWCO=50000) voorbehandeld praktijk drainwater.

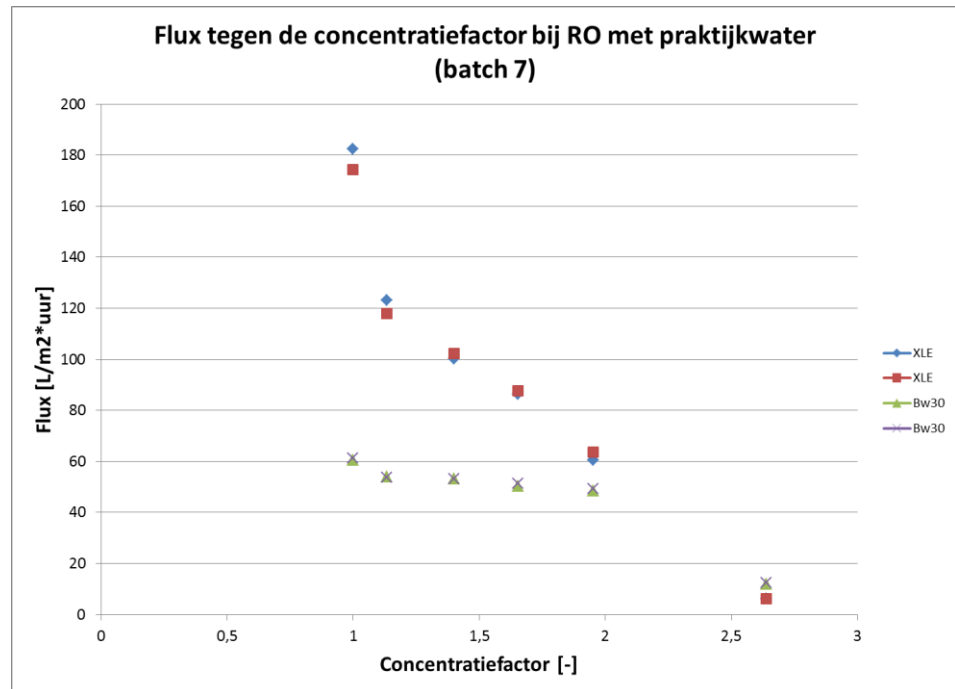




Figuur 30. RO experiment met UF (MWCO=100000) voorbehandeld praktijk drainwater.

Uit de resultaten van de figuren 28 t/m 30 blijkt geen significant verschil in fluxverloop, ondanks het verschil in type UF voorbehandeling.

Figuur 31 laat het fluxverloop zijn voor RO zonder UF voorbehandeling. Uit de resultaten blijkt dat de fluxafname sterk vergelijkbaar is met en zonder UF voorbehandeling. De UF is dus niet in staat om de componenten te verwijderen die voor de fluxafname zorgen. Deze componenten zijn blijkbaar laagmoleculaire stoffen.



Figuur 31. RO experiment met praktijk drainwater (batch 7) zonder UF-voorbehandeling.

## 5 Conclusie

De laboratoriumexperimenten tonen aan dat het zowel met RO als MD technisch goed mogelijk is om de spuistroom (drainwaterstroom) te behandelen, zodat een concentraat en een gezuiverde waterstroom verkregen wordt die herbruikbaar is als gietwater. Op basis van synthetisch samengesteld drainwater blijkt dat met MD een concentratiefactor 5 mogelijk blijkt (zonder toevoeging van antiscalant) zonder noemenswaardige fluxverlaging. Op basis van OLI simulaties wordt  $\text{CaSO}_4$  neerslagvorming al verwacht bij een concentreringsfactor 1,5. Dit komt niet tot uiting in het fluxverloop bij de experimenten. Bij RO wordt ook een concentratiefactor van 5 bereikt, maar daar is bij de membranen met een lage vervuilingspotentie (XLE) een duidelijke fluxafname waarneembaar bij concentrering. Dit kan niet alleen toe te schrijven zijn aan neerslagvorming van  $\text{CaSO}_4$  (pas te verwachten bij een concentreringsfactor 3), maar waarschijnlijk ook aan compactie (samendrukking van het membraan door langdurige blootstelling aan druk).

Bij toepassing van praktijkdrainwater uit een rozenteelt uit een proefkas van WUR Bleiswijk wordt wel een duidelijk verschil waargenomen bij de toepassing van RO en MD. Dit verschil komt niet tot uiting in de verwijdering van componenten uit het water (beide methoden werken daar goed), maar met name in de vervuiling van de membranen. Afhankelijk van het type drainwater laat RO (zonder voorbehandeling) een behoorlijke vervuiling zien, die zich manifesteert in een snelle fluxafname. Dit is bij toepassing van MD niet het geval.

Nagegaan is of door voorschakeling van UF de vervuiling bij RO beperkt zou kunnen worden. Daartoe zijn UF membranen met verschillende poriegroote toegepast. Uit de resultaten blijkt dat deze voorbehandeling (ongeacht de toegepaste poriegroote) niet leidt tot een beter vervuilingsgedrag van de nageschakelde RO membranen. Geconcludeerd moet worden dat de vervuilende stoffen laagmoleculaire stoffen (met een molecuulgewicht < 1000) moeten zijn. In laboratoriumexperimenten is vastgesteld dat humuszuren en sommige gewasbeschermingsmiddelen (beide laagmoleculaire componenten) tot vervuiling van RO membranen kunnen leiden. Deze stoffen zijn mogelijk aanwezig in het praktijk drainwater.

Op basis van het laboratoriumonderzoek is besloten een MD pilot uit te voeren. In later stadium is besloten naast de MD pilot ook een RO pilot uit te voeren.

## 6 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:  
Raymond Creusen  
Wilfred Appelman  
Martin Zijlstra  
René Jurgens  
Erik van Os (WUR Glastuinbouw)

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

Naam en paraaf tweede lezer:

Wilfred Appelman



Ondertekening:



Raymond Creusen  
Projectleider

Autorisatie vrijgave:



Henk Buijtenhek  
Research Manager