



KWR 2015.015 | April 2014

# Uitwerking concepten ZLD glastuinbouw

TKI-project Zero liquid discharge (ZLD) for  
agriculture, fase 1



# Rapport

## Uitwerking concepten ZLD glastuinbouw

TKI-project Zero liquid discharge (ZLD) for  
agriculture fase 1

KWR 2015.015 | April 2014

Deze activiteit is mede gefinancierd uit de Toeslag  
voor Topconsortia voor Kennis en Innovatie (TKI's)  
van het ministerie van Economische Zaken



### Opdrachtnummer

400528

### Projectmanager

Erwin Beerendonk

### Opdrachtgever

TOM

### Kwaliteitsborger(s)

Arjen van Nieuwenhuijzen (Witteveen+Bos)

### Auteur(s)

Leden projectgroep TKI-ZLD fase 1:

Bart Scholten (TOM),

Hans Huiting (KWR),

Sytze Terwisscha van Scheltinga (Witteveen+Bos),

Raymond Creuzen (TNO),

Perry van der Marel (WLN)

### Verzonden aan



Jaar van publicatie  
2014

### Meer informatie

Hans Huiting

T 030 - 60 69 574

E [hans.huiting@kwrwater.nl](mailto:hans.huiting@kwrwater.nl)

PO Box 1072  
3430 BB Nieuwegein  
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511

F +31 (0)30 60 61 165

E [info@kwrwater.nl](mailto:info@kwrwater.nl)

I [www.kwrwater.nl](http://www.kwrwater.nl)



KWR 2015.015 | April 2014 © KWR

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd,  
opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand,  
of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze,  
hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën,  
opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande  
schriftelijke toestemming van de uitgever.

# Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>3</b>
1.1	Aanleiding	3
1.2	Hoofddoel	3
1.3	Subdoelen	3
1.4	Plan van aanpak	4
1.5	Leeswijzer	4
<b>2</b>	<b>Uitgangspunten</b>	<b>5</b>
2.1	Samenstelling spuiwater	5
2.2	Debiet spuiwater	5
<b>3</b>	<b>Technologie selectie</b>	<b>6</b>
3.1	Algemeen	6
3.2	Voorzuivering	6
3.3	Op-concentratie	8
<b>4</b>	<b>Conclusie en aanbevelingen</b>	<b>13</b>
<b>5</b>	<b>Referenties</b>	<b>14</b>
	<b>Bijlage I Uitgangspunten kostenraming op-concentratie concepten</b>	<b>15</b>

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

In 2013 is door TOM, TNO, KWR, WLN en Witteveen+Bos een 'Topconsortium Kennis en Innovatie' (TKI) gevormd rond hergebruik van reststromen in de tuinbouw. De focus van het TKI-project 'Zero liquid discharge (ZLD) for agriculture' ligt op nieuw te ontwikkelen glastuinbouwgebieden.

Eén van de grote drijfveren voor het hergebruiken van reststromen is de toenemende (restrictieve) regelgeving en substantiële verhoging van de kosten van lozing en/of afzet van reststromen. Op het moment dat de overheid zijn regelgeving aanscherpt wordt de noodzaak voor tuinder(s), ontwikkelingsmaatschappijen (en op den duur de gehele bedrijfstak) hoog om reststromen te hergebruiken of verdergaand te behandelen. Op dit moment is met name de toekomstige stringente regelgeving een economisch probleem voor de individuele tuinder en de bedrijfstak glastuinbouw. Immers, enerzijds wordt de glastuinbouw beschouwd als een economische motor van de tuinbouwsector in Nederland met forse marktpotentie in het buitenland maar anderzijds is het financieel rendement van de glastuinbouwsector binnen de huidige economische ontwikkelingen, marginaal. Nieuwe regelgeving zal leiden tot teruggang in economische activiteit in plaats van de gewenste groei. Kortom, een integrale technologische oplossing van de waterproblematiek is cruciaal.

In Nederland is c.q. wordt al relatief veel onderzoek uitgevoerd naar het verwijderen en/of valoriseren van nutriënten, verwijderen van gewasbeschermingsmiddelen en zouten uit waterstromen en minimalisatie of nuttig hergebruik van reststromen van de glastuinbouw. Dit onderzoek is tot nu toe zeer fragmentarisch op individuele deelprocessen uitgevoerd waardoor een integraal zuiveringsconcept, dat een oplossing biedt in het licht van de regelgeving omtrent 0-emissie per 2027, vooralsnog ontbreekt. Met name als het gaat om brijn- en concentraatopwerking of -verwaarding.

## 1.2 Hoofddoel

Het doel van TKI-ZLD is het ontwikkelen van een concept om zero liquid discharge (ZLD) te realiseren in de glastuinbouw. Met het oog op de in de toekomst strenger wordende lozingsnormen en milieueisen, is het van belang een concept te ontwikkelen voor het hergebruiken en/of onschadelijk maken van reststromen in de glastuinbouw. Hierbij kunnen reststromen nog steeds 'vloeibaar' zijn, ondanks dat ze kunnen worden hergebruikt of zonder probleem kunnen worden geloosd. Voor deze studie wordt daarom het ZLD principe breder getrokken en wordt zero pollution discharge nagestreefd.

## 1.3 Subdoelen

Om zero pollution discharge in de glastuinbouw te kunnen realiseren moet een concept worden ontwikkeld die zich richt op het zuiveren van het spuiwater en het hergebruik van de reststromen die daarbij ontstaan. Het concept zal bestaan uit meerdere zuiveringstechnieken. Voor het selecteren van het juiste concept zijn de technieken onderverdeeld in de groepen voorzuivering en op-concentratie. Met opconcentreren wordt het vergaand indikken van spuiwater bedoeld, waarvoor ontzoutingstechnieken benodigd zullen zijn.

De voorzuivering heeft als doel het verwijderen van (I) gewasbeschermingsmiddelen (GBM's) en (II) het beschermen van de op-concentratietechnieken door het verwijderen van zwevende stof en organisch materiaal.

De doelen voor de op-concentratiestap zijn:

- het behalen van een zo hoog mogelijke indikkinggraad zodat het concentraat kan worden hergebruikt als nutriëntenstroom;
- in het geval van lozing op oppervlaktewater, een effectieve nitraatverwijdering uit spuiwater;
- in het geval van hergebruik van het permeaat, een effectieve natriumverwijdering uit spuiwater.

Deze criteria zijn nader uitgewerkt in paragraaf 3.3. Wanneer behandeld water weer hergebruikt wordt in de glastuinbouw is vergaande desinfectie van belang. Ook dit wordt in paragraaf 3.3 behandeld.

#### 1.4 Plan van aanpak

Er zijn veel verschillende zuiveringstechnieken beschikbaar voor behandeling van spuiwater om zero pollution discharge te bereiken. Aan de hand van de bovengenoemde subdoelen en de uitgangspunten voor dit project (benoemd in hoofdstuk 2) is een selectie gemaakt van zuiveringstechnieken. Het zuiveringsconcept met de meeste potentie is globaal uitgewerkt, waarbij de indicatieve productiekosten (EUR/m<sup>3</sup>) zijn geraamd.

#### 1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 zijn de gehanteerde uitgangspunten benoemd. In hoofdstuk 3 is de selectie van het zuiveringsconcept uiteengezet. De conclusies en aanbevelingen zijn opgenomen in hoofdstuk 4.

#### Afkortingen

AKF	Actief-koolfiltratie
AOP	Geavanceerde oxidatie processen
EFC	Eutectic freeze crystallisation
FO	Forward Osmosis
GBM	Gewasbeschermingsmiddel
IX	Ion exchange, ionenwisseling
MD	Membraandestillatie
NF	Nanofiltratie
PO	Pellet ontharding
RO	Reverse Osmosis, omgekeerde osmose
UF	Ultrafiltratie
UV	Ultraviolet
ZLD	Zero liquid discharge

## 2 Uitgangspunten

### 2.1 Samenstelling spuiwater

Voor het ontwikkelen van een zero pollution discharge concept voor de glastuinbouw zijn de spuiwaterconcentraties van tomaat als uitgangspunt genomen (zie tabel 2.1). Uit tabel 2.1 blijkt dat de concentraties van de verschillende componenten in spuiwater hoog zijn bij de tomatenteelt. Het ontwikkelde concept zal daardoor ook voor de teelt van andere gewassen toe te passen zijn.

Naast de componenten benoemd in tabel 2.1 bevat spuiwater onder andere GBM's, organisch materiaal, zwevende stof en micro-organismen. Om te voldoen aan zero pollution discharge zullen de GBM's verwijderd moeten worden en mogen ze ook niet aanwezig zijn in de reststroom.

TABEL 2.1. SPUIWATER CONCENTRATIES IN MMOL/L (TNO-GEGEVENS)

component	roos	paprika	gerbera	tomaat	gemiddeld
EC (ms/cm)	2,86	3,51	2,86	4,8	3,5
NH <sub>4</sub>	0,65	0,13	0,65	0,13	0,4
N-NO <sub>3</sub>	16,23	22,07	16,23	29,86	21,1
K	6,49	6,49	7,79	10,39	7,8
Na	4	6,00	4	8	5,5
Cl	2,6	1,95	2,6	7,79	3,7
P-PO <sub>4</sub>	1,17	1,30	1,3	1,3	1,3
Ca	6,49	11,03	6,49	12,98	9,2
Mg	3,25	3,89	3,25	5,84	4,1
SO <sub>4</sub>	3,25	3,89	3,89	8,83	5,0
HCO <sub>3</sub>	1,3	1,30	1,3	1,3	1,3

### 2.2 Debiet spuiwater

Voor deze notitie wordt uitgegaan van een centrale zuivering die het spuiwater behandeld van meerdere grote kassen. Als casus is de glastuinbouw van Nieuw-Prinsenland genomen. De WUR Glastuinbouw heeft samen met Witteveen+Bos, op basis van een kassenoppervlak van 220 m<sup>2</sup>, vastgesteld dat de kassen een maximale spuiwaterstroom van 15 m<sup>3</sup>/h produceren. Dit is circa 5 % van de totale waterinname van tuinders. Dit debiet wordt aangehouden als voedingsstroom van de zuivering.

## 3 Technologie selectie

### 3.1 Algemeen

De technologie selectie is onderverdeeld in technieken voor de voorzuivering en de op-concentratie. De selectie voor de voorzuivering en op-concentratie beïnvloeden elkaar niet en kunnen daarom onafhankelijk van elkaar worden gemaakt.

### 3.2 Voorzuivering

#### 3.2.1 Criteria technologie selectie voorzuivering

De gehanteerde criteria voor de technologie selectie van de voorzuivering zijn:

- complete verwijdering van GBM's, ook uit de reststromen;
- vergaande verwijdering van organisch materiaal en zwevende stof, in verband met het beschermen van de op-concentratietechnieken;
- een zeer beperkte reststroomproductie, aangezien deze stroom (mogelijk) weer behandeld moet worden om te voldoen aan zero pollution discharge.

De kosten van de voorzuiveringstechnieken zijn buiten beschouwing gelaten, aangezien de kosten ondergeschikt zijn in de selectie criteria.

#### 3.2.2 Technieken voor de voorzuivering

De meest in aanmerking komende voorzuiveringstechnieken voor het behandelen van spuiwater (bevat relatief weinig organisch materiaal) staan in tabel 3.1, waarin ook de voor- en nadelen per techniek opgenomen zijn.

Voor alle technieken benoemd in tabel 3.1 geldt dat het water eerst door een fijnzeef geleid zal worden. Dit is een grof filter, bijvoorbeeld een trommelzeef of een schermfilter, die grote zwevende deeltjes uit het water zal verwijderen zonder reststroom.

TABEL 3.1. VOOR- EN NADELEN VAN ZUIVERINGSTECHNIEKEN VOOR DE VOORBEHANDELING VAN SPUIWATER

techniek/concept	voordelen	nadelen
Ultrafiltratie (UF)	Vergaande verwijdering van zwevende stof, organisch materiaal en gedeeltelijke verwijdering GBM's en micro-organismen	Produceert reststroom van circa 10 % Reststroom bevat GBM's
Nanofiltratie (NF)	Volledige verwijdering van organische stof en vergaande verwijdering GBM's en micro-organismen Vergaande verwijdering meerwaardige ionen zoals Ca en Mg	Produceert reststroom van circa 15 % Slecht bestand tegen zwevende stof
Zandfiltratie	Gedeeltelijke verwijdering zwevende stof en organisch materiaal (deels door biologie)	Produceert reststroom van circa 5 % Geen verwijdering GBM
Fijnzeef	Verwijdering van zwevende stof Simpele en robuuste techniek Produceert nauwelijks een reststroom	Nauwelijks verwijdering organisch materiaal Geen verwijdering GBM's
Actief-koolfiltratie (AKF)	Vergaande verwijdering organisch materiaal en GBM's Gedeeltelijke verwijdering zwevende stof	Produceert reststroom van circa 5 % Actief-kool (met GBM's) moet vervangen/geregenereerd worden

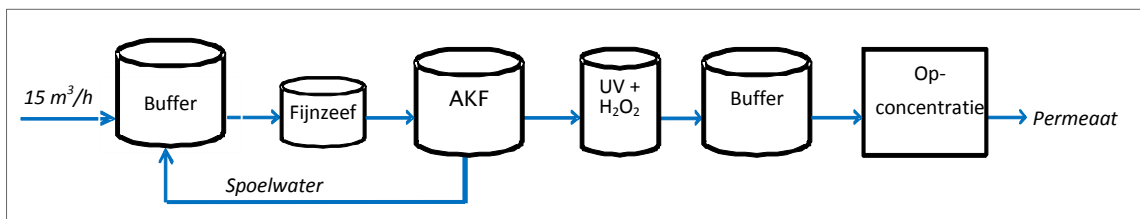


techniek/concept	voordelen	nadelen
UV + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Vergaande afbraak GBM's	Niet geschikt voor water met veel zwevende stof en organisch materiaal (water met lage transmissie)
Ozonisatie (optioneel + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	Vergaande afbraak GBM's Kan beter tegen water met veel zwevende stof en organisch materiaal (water met lage transmissie) dan UV + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	GBM's worden afgebroken tot (schadelijke) halfproducten Ozon brengt veiligheidsaspecten met zich mee

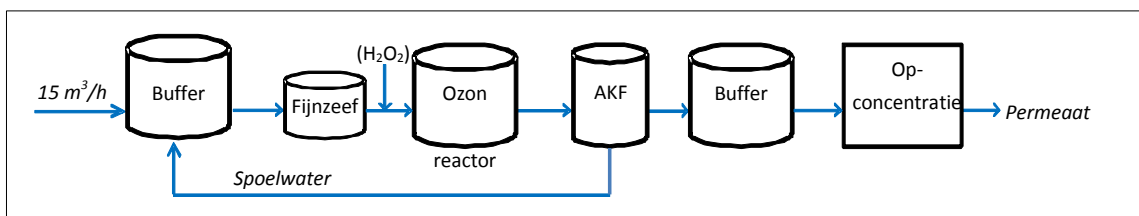
### 3.2.3 Selectie van voorzuiveringsconcepten

Gezien de gestelde criteria zijn er twee concepten die geschikt worden geacht. Het betreft de volgende voorzuivering:

- fijnzeef, actief-koolfiltratie (AKF) en geavanceerde oxidatie, bestaande uit de dosering van waterstofperoxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) in combinatie met UV-behandeling. Dit concept wordt ook al veelvuldig toegepast in de glastuinbouw en is schematisch weergegeven in afbeelding 3.1;
- fijnzeef, ozonisatie (eventueel met H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, indien de verwijdering van GBM's onvoldoende blijkt te zijn) en AKF. Dit concept is te zien in afbeelding 3.2.



AFBEELDING 3.1. VOORZUIVERINGSCONCEPT 1, ONDER ANDERE MET AKF EN UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>



AFBEELDING 3.2. VOORZUIVERINGSCONCEPT 2, ONDER ANDERE MET OZON (+H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) EN AKF

De toelichting op de twee gekozen concepten is als volgt:

- afbraak van GBM's is een kritische stap voor de voorzuivering. Alleen het verwijderen van GBM's uit spuiwater, zoals met nanofiltratie (NF) gebeurt, is niet voldoende. GBM's moeten ook uit de reststroom verwijderd worden, wat erg lastig is in verband met de hoge vervuilinggraad van de reststroom. Met zowel ozonisatie als met de combinatie H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en UV worden GBM's afgebroken en speelt dit probleem niet;
- voor H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en UV geldt dat dit proces efficiënter wordt wanneer er een AKF vóór geplaatst wordt voor de verwijdering van zwevende deeltjes en organisch materiaal. Organisch materiaal absorbeert UV-licht wat verhindert dat het licht door de vloeistof kan schijnen om het H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> te activeren, wat kritisch is om GBM's af te breken;
- het voordeel van ozonisatie ten opzichte van H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en UV is dat de techniek beduidend minder gevoelig is voor zwevende stof en (opgelost) organisch materiaal. GBM's worden door ozonisatie afgebroken tot halfproducten. De halfproducten kunnen goed

- worden verwijderd door AKF. Doordat AKF organisch materiaal adsorbeert is het ook een geschikte techniek voor de voorbehandeling van op-concentratietechnieken;
- voor beide geselecteerde concepten wordt het aanbevolen om in de eerste processtap zwevende stof zo veel mogelijk te verwijderen. De gewenste verwijdering kan vrij eenvoudig worden behaald met een fijnzeef (scherfilter of trommelzeef). UF of NF zijn hiervoor niet geschikt omdat ze een deel van de GBM's wegvangen, die daardoor vervolgens niet kunnen worden afgebroken (dus geen zero pollution discharge). Daarnaast zijn UF en NF duurdere technieken;
  - met een fijnzeef is het mogelijk om het spoelwater van de AKF (is nodig in beide concepten) terug te voeren naar het begin van het proces (zie afbeelding 3.1 en 3.2). Het uitgespoelde zwevende stof uit de AKF wordt grotendeels verwijderd door de fijnzeef. Accumulatie van kleine zwevende deeltjes is hierbij wel een aandachtspunt en zal moeten worden voorkomen. De enige reststroom van de voorzuivering is afkomstig van de fijnzeef en bedraagt slechts een aantal procenten van de hoofdstroom. Doordat deze stroom klein is, is het ook gemakkelijk te behandelen, bijvoorbeeld door middel van een bezinkvijver.

### 3.2.4 Discussie geselecteerde voorzuiveringsconcepten

Het zuiveren van spuiwater met AKF en vervolgens  $H_2O_2$  met UV wordt veelvuldig toegepast in de glastuinbouw. De techniek is relatief simpel en robuust en is bekend bij de tuinders. Een ander voordeel is dat, naast afbraak van GMB's, ook desinfectie plaatsvindt. In verband met de bekendheid van tuinders met de techniek, wordt voor bestaande bouw dit concept aanbevolen. Nadeel van het concept is dat ook door  $H_2O_2$  met UV bijproducten worden gevormd, die een negatieve werking kunnen hebben op de nageschakelde technieken/systemen.

Een voorzuivering met ozonisatie (optioneel met  $H_2O_2$ ) is concurrerend met AKF en  $H_2O_2$  met UV. Beide systemen zijn in staat om GBM's vergaand te verwijderen, maar de geschiktheid van de concepten kan per situatie verschillend zijn. Doorgaans verbruikt ozonisatie minder energie, maar vereist het wel extra veiligheidsmaatregelen en vereist daarmee een operator met verstand van zaken. Het voorzuiveringsconcept met ozonisatie is hierdoor vooral interessant voor nieuwbouwlocaties, waarbij de utilities worden uitbesteed. Aandachtspunten bij het toepassen van ozonisatie zijn bromaatvorming (indien het spuiwater bromide bevat) en mogelijk is aanvullende desinfectie nodig.

## 3.3 Op-concentratie

### 3.3.1 Criteria technologieselectie op-concentratie

De gehanteerde criteria voor de technologieselectie voor het opconcentreren van spuiwater zijn:

- de indikkinggraad (recovery) zal zo hoog mogelijk moeten zijn voor een maximaal hergebruik van water, waarbij de kosten per  $m^3$  spuiwater acceptabel moeten zijn;
- een sterk geconcentreerde reststroom (concentraat) is gewenst, zodat het hergebruikt kan worden als een nutriëntenstroom. De landbouw is gebaat bij een hoog stikstofgehalte. Leveranciers van kunstmest stellen dat de nutriëntenstroom minimaal  $40 \text{ kg N/m}^3$  zal moeten bevatten (dat is gelijk aan  $2,9 \text{ mol N/l}$ ). Daarnaast is een sterk geconcentreerde nutriëntenstroom voordelig in verband met het beperken van de kosten voor het uitrijden van de reststroom (kosten zijn circa  $8 \text{ EUR/m}^3$ ). Bij het maximaliseren van de stikstofconcentratie in de reststroom moet wel worden opgemerkt dat de concentratie van de andere ionen ook hoog zal zijn en mogelijk een groei remmende werking kunnen hebben;
- bij lozing van gezuiverd spuiwater op het oppervlaktewater zullen nitraat en fosfaat de kritische componenten zijn doordat stikstof en fosfaat maatgevend zijn in

lozingsrichtlijnen. Naar verwachting zullen de concentraties stikstof en fosfaat in het geloosde water lager moeten zijn dan respectievelijk 2,2 mg/l N-totaal en 0,15 mg/l P-totaal. Het verwijderen van nitraat uit spuiwater door middel van membraantechnieken is lastiger dan de fosfaatverwijdering. Alleen de nitraatverwijdering is daarom als criterium uitgewerkt per op-concentratieconcept. Indien op-geconcentreerd spuiwater wordt hergebruikt als gietwater, is de concentratie nitraat (en ook fosfaat) minder kritisch, al zal dit wel nader met de glastuinbouw moeten worden afgestemd;

- natrium zal vergaand uit het spuiwater verwijderd moeten worden in het geval dat het behandelde spuiwater wordt hergebruikt in de glastuinbouw. De natriumconcentratie moet na alle waarschijnlijkheid lager zijn dan 2,3 mg/l. Dit is de huidige norm die geldt voor de gietwaterzuivering te Dinteloord.

### 3.3.2 Selectie op-concentratietechnieken en -concepten

Er zijn verscheidene technieken en concepten voor op-concentratie beschikbaar. De meest interessante concepten zijn opgesomd in tabel 3.2. De in de tabel gebruikte afkorting van PO staat voor pelletontharding. Elke concept is getoetst op de hierboven benoemde criteria voor op-concentratie concepten. Daarnaast is in tabel 3.2 weergegeven of de techniek op praktijkschaal (full scale) wordt toegepast en zijn de productiekosten geraamd in EUR/m<sup>3</sup>, gebaseerd op prijsopgaven van leveranciers. De gehanteerde uitgangspunten voor de kostenraming zijn beschreven in bijlage I. De recoveries en concentraties stikstof, nitraat en natrium komen voort uit RO berekeningen met IMSdesign van Hydranautics [1]. De kengetallen van de overige technologieën zijn gebaseerd op informatie van leveranciers en gegevens uit literatuur (zie paragraaf 3.3.4).

TABEL 3.2. BEOORDELING OP-CONCENTRATIECONCEPTEN VOOR TOEPASSING VAN ZERO POLLUTION DISCHARGE

Techniek / concept	Recovery	Stikstof concentratie in concentraat	Nitraat concentratie in permeaat	Natrium concentratie in permeaat	Toegepast op full scale	Productie kosten - ontzouting
	%	kg N/m <sup>3</sup>	mg/L	mg/L	(j/n)	EUR/m <sup>3</sup>
Single-stage RO	50%	0,8	230	40	j	0,54
Double-stage RO	70%	1,2	460	50	j	0,61
PO + Double-stage RO	75%	1,4	400	120	j	0,92
PO + Triple-stage RO	80%	1,7	480	150	j	0,95
Double-stage RO + PO + double-stage RO	91%	3,1	670	440	j	1,00
Double-stage RO + PO + triple-stage RO	94%	4,2	780	550	j	1,01
Ionenwisseling	nvt*					
NH <sub>4</sub> -ionenwisseling + triple-stage RO	80%	4,9 **	640	20	n	
Kalium-ionenwisseling + triple-stage RO	80%	2,0 ***	640	20	n	
Double-stage RO + EFC	100%	nvt ****	330 *****	40 *****	n	
Verdamping	98%	28	20 *****	2 *****	j	12
Double-stage RO + verdamping	98%	28	330 *****	40	j	5,0
MemStill	>80%				n	

(\*) Ionenwisseling (met kanion en anionwisseling) is ongeschikt voor de concentraties in spuiwater (bron: Dow)

(\*\*) Deze waarde is verhoogt door de toevoeging van ammonium.

(\*\*\*) Nutriëntenstroom bevat Kalium, een gewenst nutriënt voor de glastuinbouw.

(\*\*\*\*) EFC levert zoutkristallen als product, daarom is de stikstofconcentratie niet van toepassing.

(\*\*\*\*\*) Aangenomen dat 1% nitraat mee zal gaan tijdens verdamping of bevriezing.

### 3.3.3 Discussie criteria op-concentratie

Om de reststroom te kunnen hergebruiken als nutriëntenstroom is het van belang dat de indikkingsgraad zo hoog mogelijk is. Het kost ongeveer 8 EUR/m<sup>3</sup> om de reststroom uit te rijden over het land. Ervan uitgaande dat de volledige reststroom hergebruikt gaat worden, kunnen de uitrijd kosten grofweg berekend worden. Wanneer double-stage RO toegepast wordt met een recovery van 75 % (zie tabel 3.1) en een spuiwateraanvoer van 15 m<sup>3</sup>/uur

gedurende 18 uur per dag en 365 dagen per jaar, zullen de uitrijd kosten ongeveer 197.000 EUR/jaar bedragen. Dit lijkt financieel niet haalbaar te zijn. Wanneer een recovery van 95 % behaald kan worden zullen de uitrijd kosten echter afnemen tot 49.000 EUR/jaar zijn, waardoor een zuivering wel haalbaar zou kunnen zijn.

De nitraat- en natriumconcentratie in het permeaat van de geselecteerde op-concentratie concepten voldoen niet aan de normen voor lozing of hergebruik, zie tabel 3.1. Dit betekent dat het behandelde water niet geloosd mag worden of teveel natrium bevat voor hergebruik. Verdere opwerking van het permeaat is daardoor benodigd, bijvoorbeeld door het toepassen van RO. Met het toepassen van ´hoog retentie´ RO membranen kan er in de buurt gekomen worden van de nitraat- en natriumnorm. Aanvullende berekeningen zijn echter wel nodig om hier duidelijkheid over te scheppen. Dit zal in fase 2 van het TKI-ZLD traject worden opgepakt. Het concentraat van zo'n aanvullende RO stap zal niet resulteren in een afname van totale recovery van het systeem. Het concentraat zal teruggedleid kunnen worden naar de voeding van de op-concentratie. De consequentie hiervan is wel dat de capaciteit van de 'op-concentratie' zuivering zal toenemen.

Voordeel van een verdere permeaatbehandeling met RO is dat het spuiwater nogmaals gedesinfecteerd wordt, waardoor aanvullende desinfectie in het geval van permeaathergebruik in de glastuinbouw niet nodig zal zijn.

### 3.3.4 Discussie op-concentratieconcepten

#### RO in combinatie met PO (pelletontharding)

Met behulp van single- en double-stage RO kunnen de subdoelen van op-concentratie niet behaald worden, zie tabel 3.1. De recovery en de concentratie stikstof in de reststroom zijn te laag. De beperkende factor van deze techniek is scaling in de membranen. Voor de berekening van RO zijn Hydranautics ESPA2-LD (low-fouling) membranen gekozen.

Pellet ontharding (PO) kan voor RO membranen geplaatst worden om de scaling in de membranen te verminderen. Het voordeel van PO ten opzichte van ontharding met ionenwisseling is dat vaste pellets geproduceerd worden. Daarnaast is ionenwisseling niet mogelijk met de hoge concentraties van zouten in spuiwater, volgens de harsleverancier Dow.

PO gevolgd door triple-stage RO levert een recovery van 80 % op. Voor het berekenen van de recovery van RO (met IMSdesign) met als voorzuivering PO, is aangenomen dat tijdens PO 90 % van het calcium en 10 % van het aanwezige magnesium verwijderd worden. Magnesium slaat slecht neer bij een pH lager dan 10 [2,3]. Een recovery van 80 % komt nog niet in de buurt van de gewenste recovery van circa 95 %. Wanneer PO tussen twee double-stage RO stappen geplaatst wordt, is de recovery een stuk hoger (91 %). Het concept double-stage RO gevolgd door PO en triple-stage RO levert een nog hogere recovery (94 %) en stikstofconcentratie (4,2 kg N/m<sup>3</sup>) op. De kosten voor al deze concepten bedragen ongeveer 1,0 EUR/m<sup>3</sup>.

PO wordt niet toegepast op kleine schaal (circa 5 m<sup>3</sup>/uur). De procesbeheersing (chemicaliëndosering, voldoende suspensie van pellets) op kleine schaal is namelijk erg lastig. Om deze techniek op kleine schaal toch toe te kunnen passen moet onderzoek gedaan worden. Deze techniek is echter wel veel belovend en is in sterke mate bepalend voor het behalen van zero pollution discharge met een niet al te dure waterzuivering.

### **Ionenwisseling**

De concentraties zouten in het spuiwater zijn te hoog om ionenwisseling toe te kunnen passen. Dit is doorgerekend met het modelprogramma Cadix van Dow en is besproken met een Dow specialist: Er moet dusdanig veel hars gebruikt worden dat de filterbedhoogte in geen verhouding staat met de voedingsstroom en waardoor het chemicaliëngebruik extreem hoog zal zijn.

### **Eutectic freeze crystallisation**

Eutectic freeze crystallisation (EFC) is een veelbelovende nieuwe techniek die momenteel alleen nog op proefschaal onderzocht is. EFC scheidt met behulp van bevriezing de zouten van het water, waarbij er zoutkristallen ontstaan en afgetapt kunnen worden [4,5,6]. Deze techniek is in staat de doelen van op-concentratie te halen. Kosten van deze techniek zijn nog niet te bepalen. Hiervoor moet het eerst op grotere schaal worden getest.

### **Verdamping**

Het grote voordeel van verdamping is de hoge recovery (98 % is maximaal haalbaar volgens een leverancier, tot een zoutgehalte van circa 300 g/l). Dit proces is echter niet interessant om verder te beschouwen, aangezien het proces zeer duur is met circa 12 EUR/m<sup>3</sup>. Het toepassen van verdamping van een double-stage RO concentraatstroom is een goedkopere optie, maar is nog steeds duur (circa 5 EUR/m<sup>3</sup>) in vergelijking met de andere concepten.

Verdampingstechnieken verbruiken met circa 8 - 16 kWh/m<sup>3</sup> veel energie, ook al zijn zo ontworpen dat energieoverdracht optimaal kan plaatsvinden [7]. Hergebruik van warmte (afkomstig van het verdampingsproces) in de kassen zou een energiebesparing opleveren voor de tuinder, maar zullen de toch al extreem hoge investeringskosten alleen maar verhogen doordat extra leidingwerk nodig zal zijn.

### **Membrandestillatie**

In het onderzoeksproject van het Innovatieprogramma Water, Glastuinbouwwaterproof – substraatteelt (2010-2012) is onderzoek verricht naar het sluiten van de waterkringloop binnen de glastuinbouwbedrijven door o.a. behandeling van de spuistroom om daarmee emissies naar het oppervlaktewater en grondwater te voorkomen. TNO, WUR Glastuinbouw en Hellebrekers Technieken hebben middels pilotonderzoek een membrandestillatie (MD) - pilotinstallatie bij een glastuinbouwbedrijf van maart tot en met juni 2012 gedemonstreerd. 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 vervuilingsgedrag van de membraaninstallatie. De verkregen resultaten uit het pilotonderzoek zijn in overeenstemming met de verwachtingen uit het in eerdere fasen 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 distillaat 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.

**Forward Osmosis**

Met Forward Osmosis (FO) zijn succesvolle proeven gedaan voor het ontzouten van water [8,9], maar het is als op-concentratieconcept niet meegenomen in de beoordeling. FO biedt namelijk voor de 'zero pollution discharge' toepassing geen duidelijke voordelen ten opzichte van RO. FO verbruikt theoretisch minder energie dan RO, maar een extra behandelingstap blijft echter wel benodigd om water uit de 'draw solution' te halen. De meest logische stap is om dit te doen met RO, al kan deze RO onder optimale omstandigheden worden bedreven omdat de ionen in de 'draw solution' niet scalen.

FO kan echter wel interessant zijn om spuiwater al in de kassen (decentraal) te concentreren. Dit zou kunnen worden toegepast door spuiwater langs een sterk geconcentreerde stroom te leiden, waarbij watermoleculen uit het spuiwater door het FO membraan gaan om de sterk geconcentreerde stroom te verdunnen. Aan deze decentrale optie wordt verder in deze notitie geen aandacht meer besteed.

## 4 Conclusie en aanbevelingen

Het hoofddoel van TKI-ZLD is het ontwikkelen van een zuiveringsconcept voor spuiwater uit de glastuinbouw dat voldoet aan zero pollution discharge. In deze notitie is de zuivering opgesplitst in een voorzuiverings- en op-concentratieconcept met eigen subdoelen.

Twee concepten voldoen aan de gestelde eisen voor de voorzuivering. Ze bestaan uit de volgende behandelingsstappen:

- fijnzeef, actief-koolfiltratie (AKF) en geavanceerde oxidatie, bestaande uit de dosering van waterstofperoxide ( $H_2O_2$ ) in combinatie met UV-behandeling. Dit concept wordt ook al veelvuldig toegepast in de glastuinbouw;
- fijnzeef, ozonisatie (eventueel met  $H_2O_2$ , indien de verwijdering van GBM's onvoldoende blijkt te zijn) en AKF.

Deze concepten zijn geselecteerd omdat ze in staat zijn om gewasbeschermingsmiddelen (GBM's) af te breken, ze de nageschakelde op-concentratietechnieken beschermd door zwevende stof en organisch materiaal te verwijderen en geen vervuilende en moeilijk behandelbare reststromen opleveren.

Gezien de gestelde criteria is het op-concentratieconcept double-stage RO + pelletontharding (PO) + triple-stage RO het meest interessant. Dit concept is in staat een recovery van rond de 94 % te behalen, waardoor de kosten beperkt blijven om het concentraat uit te rijden over landbouwgrond. Dit concept kent echter nog wel twee belangrijke aandachtspunten: PO moet nog ontwikkeld worden voor toepassing op kleine schaal en de concentraties nitraat en natrium in het permeaat zijn dusdanig hoog dat respectievelijk directe lozing op het oppervlaktewater en hergebruik van permeaat in de glastuinbouw niet mogelijk is zonder aanvullende ontzouting van het permeaat.

Deze notitie geeft inzicht in de potentie van zuiveringsconcepten voor het behalen van zero pollution discharge. Voor de ontzouting geldt dat de conceptselectie afhangt van de gestelde criteria met betrekking tot zero pollution discharge. Het wordt aanbevolen om de criteria met de projectgroep TKI-ZLD te bespreken en vast te stellen, alvorens er een definitieve keuze gemaakt kan worden over de conceptselectie.

Deze notitie bevat geen kostenraming van de benodigde 'zero pollution discharge' installatie. Deze raming zal worden opgesteld na vaststelling van het zuiveringsconcept.

## 5 Referenties

1. membranes.com - Hydranautics - Nitto Group Company - 2013 - IMS design.
2. Twenty years of experience with central softening in The Netherlands, Water quality – Costs – Environmental benefits, Jan Hofman, Onno Kramer, Jan Peter van der Hoek, Maarten Nederlof, Martijn Groenendijk, Baltimore, Conference paper, pp. 1-8. 2006.
3. Drinking water - Principles and Practices, P.J. de Moel, J.Q.J.C. Verberk, J.C. van Dijk, World Scientific Publishing Co. Ptc. Ltd. 2006.
4. efc.nl - EFC separations BV - Dec 2013.
5. Eutectic Freeze Crystallization: Separation of Salt and Ice - Master Thesis TU Delft - W. van der Tempel - Jun 2012.
6. Waterwinning zonder verspilling - Geert-Jan Witkamp, Bas Hofs, Sara Salvador - 66ste Vakantiecursus Drinkwater en Afvalwater TU Delft boek - 10 jan 2014.
7. Performance analyses of a MSF desalination unit, Al-Hengari, S., El-Bosiffi, M., El-Mudir, W. - Desalination and the Environment - Volume 182, issue 1-3, p 73-85 - Nov 2005.
8. A novel ammonia-carbon dioxide forward (direct) osmosis desalination process - Jeffrey R. McCutcheon e.a. - 1 November 2004.
9. High Performance Thin-Film Composite Forward Osmosis Membrane - Ngai Yin Yip e.a. - April 6 2010.



# Bijlage I   Uitgangspunten kostenraming op-concentratie concepten

De gehanteerde uitgangspunten voor het berekenen van de productiekosten van de op-concentratieconcepten zijn:

- alleen de werktuigbouwkundige bouwkosten van de op-concentratie-installaties zijn meegenomen, inclusief een containeropstelling. De bouwkosten zijn gebaseerd op prijsopgaven van leveranciers. De kosten van de voorzuivering, wateropslag, bijkomende civiele en elektrotechnische componenten en een post 'onvoorzien' zijn niet meegenomen;
- de gehanteerde investeringsfactor, voor het omzetten van de bouwkosten van de op-concentratieconcepten naar investeringskosten, is 1,40;
- voor het berekenen van de operationele kosten is een energieprijis van 0,12 EUR/kWh gehanteerd. De jaarlijkse verbruiks- en beheerskosten (inclusief chemicaliën en personeel) en de kosten voor onderhoud (inclusief (membraan)vervangingen) zijn respectievelijk een 12 % en 10 % van de bouwkosten van de op-concentratieconcepten;
- een afschrijftermijn van 10 jaar is aangehouden, waarbij voor de productiekosten met de annuïteit is gerekend. De annuïteit is vermenigvuldigd met de investeringskosten;
- de waterbehandelingsinstallatie is 75 % van de tijd in bedrijf.