

TNO-rapport

TNO-034-UT-2010-02389

Glastuinbouw Waterproof ; WP5: Haalbaarheidstudie zuiveringstechnieken restant- water substraatteelt

www.tno.nl
wegwijzer@tno.nl



Datum	november 2010
Auteur(s)	TNO René Jurgens, Wilfred Appelman, Norbert Kuipers, Lourens Feenstra, Raymond Creusen WUR Glastuinbouw Erik van Os, Margreet Bruins, Jos Balendonck
Opdrachtgever	Productschap Tuinbouw T.a.v. Joke Klap Programmamanager water Postbus 280 2700 AG ZOETERMEER
Expertpanel	Freddy Dekkers (NWP), Henk Ottema (LTO Groeiservice), Jan Willem Mulder (Evides industriewater), Jules van Lier (TU Delft), Guus Meis (LTO Noord Glaskracht)
Projectnummer	034.21876
Aantal pagina's	147 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	9

Alle rechten voorbehouden. Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke 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 onderzoekopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

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

Samenvatting

De kwaliteitsnormen voor oppervlaktewater voor gewasbeschermingsmiddelen en nutriënten worden in een aantal glastuinbouwgebieden in Nederland overschreden. Hoewel glastuinbouwbedrijven met substraatteelt al recirculatie moeten toepassen, wordt er naast bedrijfsafvalwater ook spuiwater (drainwater) geloosd dat als gevolg van de accumulatie van zouten (natrium), groeiremmende factoren of vanwege het risico's op ziekten in het wortelmilieu niet meer kan worden hergebruikt.

Het project *Glastuinbouw Waterproof substraatteelt – waterkringloopsluiting op bedrijfsniveau* wil een oplossing voor het lozen van de glastuinbouw genereren door het ontwikkelen van een systeem van waterkringloopsluiting. Het doel is om de genoemde emissies van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen naar het oppervlaktewater of riool te voorkomen door hergebruik van drainwater te maximaliseren en het restantwater te zuiveren en valoriseren. Door de betrokkenheid van de sector in het project zal de te ontwikkelen oplossing een brede acceptatie en implementatie in de glastuinbouwsector moeten krijgen.

Het project is opgedeeld in een aantal werkpakketten waarbij *werkpakket 5 Zuivering restant water* zich richt op het onderzoeken van de wijze waarop het ingangswater, drainwater en andere proces(afval)waterstromen op het bedrijf kunnen worden gereinigd om zo de waterkringloop op bedrijfsschaal volledig te sluiten. Bij de zuivering van de waterstromen zullen in veel gevallen concentraten gevormd worden. *Werkpakket 5* heeft een nauwe samenhang met *werkpakket 6 Valorisatie* dat zich richt op de valorisatie van deze concentraat-stromen.

Dit rapport presenteert de uitkomsten van de haalbaarheidsstudie, Fase 1, dat tot doel heeft om technieken te selecteren en te evalueren die de kringloopsluiting voor substraatteelten kunnen realiseren en die in de volgende fasen van het project kunnen worden onderzocht en ontwikkeld. Uiteindelijk zal de meest belovende techniek in een demonstratieproject worden uitgetest op een praktijksituatie.

De haalbaarheidstudie is gebaseerd op een viertal modelgewassen: roos, paprika, gerbera en tomaat. Deze gewassen representeren een belangrijk deel van het areaal glastuinbouw én het areaal substraatteelt binnen Nederland. Op basis van het WATERSTROMEN model van WUR Glastuinbouw is gekeken is naar typische samenstellingen en omvang van de verscheidene waterstromen op deze glastuinbouwbedrijven. Door per type bedrijf de stromen onderling te vergelijken op hun omvang en samenstelling is bepaald hoeveel water en componenten er gemiddeld verloren gaan via de spui- en de afvalwaterstromen. Deze spui- en afvalwaterstromen worden samen restantwater genoemd. Voor elk van de vier gewassen is vastgesteld welke verwijdering/terugwinning van de verschillende componenten uit het restantwater benodigd is om te voldoen aan de criteria voor gietwater en vergeleken met het wettelijk kader, zoals geformuleerd in het Besluit Glastuinbouw.

Er zijn drie verschillende concepten voor het sluiten van de waterkringloop geformuleerd: ontzouting van gietwater, waterterugwinning en nutriëntenterugwinning gecombineerd met waterterugwinning. Het eerste concept richt zich op het zo ver mogelijk ontzouten van het ingenomen water om zo de accumulatie van natrium te voorkomen.

Door gebruik van goed gietwater kan in theorie het drainwater vrijwel onbeperkt hergebruikt worden en zal lozing op basis van een te hoog natriumgehalte niet nodig zijn.

Het tweede concept richt zich op waterterugwinning uit het restantwater. Alle ongewenste componenten, maar ook gewenste, worden hierbij afgescheiden naar het concentraat.

In het derde concept vindt zowel terugwinning van nutriënten plaats als ook waterterugwinning. Door vooraf de nutriënten terug te winnen kunnen problemen met neerslag van zouten, zoals bijvoorbeeld gips (CaSO_4) en kalk (CaCO_3) worden voorkomen.

Voor elk van de bovengenoemde concepten zijn de voor- en nadelen bepaald op het gebied van: verwijdering van zout en nutriënten, verwijdering van organische microverontreinigingen en gewasbeschermingsmiddelen, robuustheid en betrouwbaarheid.

De mogelijk inzetbare technieken voor deze concepten zijn vervolgens geïdentificeerd op basis van de literatuur en de aanwezige kennis. Voor het merendeel van deze technieken zijn factsheets opgesteld waarin de prestatiekenmerken op technisch en economisch vlak zijn opgenomen. Ook is bepaald welke kansen en knelpunten de technieken kennen. Op basis van voorafgestelde criteria zijn de factsheets en de informatie uit de literatuur vervolgens gebruikt om een eerste selectie te maken uit het totale aanbod van technieken. Hierbij is gekeken naar inzet termijn, ruimtebeslag, betrouwbaarheid, beheersbaarheid, toepasbaarheid op de gewenste schaal, herbruikbaarheid van de verkregen waterstroom en robuustheid.

De geselecteerde technieken zijn vervolgens beoordeeld. Hierbij is gebruik gemaakt van een multi-criteria waarderingssysteem. In dit systeem staat voor de verschillende aspecten van de technieken beschreven wanneer welke score toegekend wordt. Hierbij is gekeken naar prestatie, mate van voorbehandeling, energieverbruik en kosten.

Uit de beoordeling is naar voren gekomen dat de volgende technieken het meeste perspectief bieden voor verdere ontwikkeling:

Concept	Perspectiefrijke technieken
Ontzouting	Ionenwisseling (Carix), Electrodialyse, Omgekeerde osmose
Waterterugwinning	Omgekeerde osmose, Membraandestillatie
Nutriëntenterugwinning	Ionen-wisseling (Carix), Electrodialyse

Binnen deze haalbaarheidstudie is ook gekeken naar technieken voor de verwijdering/afbraak van organische microverontreinigingen en gewasbeschermingsmiddelen, gezien de toepassing binnen het concept ontzouting. Hieruit is gebleken dat de geavanceerde oxidatieprocessen, membraandestillatie en omgekeerde osmose de meest perspectiefrijke technieken zijn voor verwijdering/afbraak van deze stoffen.

De evaluatie van de concepten in relatie tot de technieken levert op dat in Fase 2 van werkpakket 5:

1. het concept waterterugwinning de basis zal vormen voor het experimentele onderzoek. Hierbij zullen zowel omgekeerde osmose als membraandestillatie worden onderzocht op de mogelijkheden voor het volledig scheiden van het spuiwater in een schoon water voor hergebruik en een concentraat van al het zout en nutriënten.
2. het concept van gecombineerde nutriënten en waterterugwinning verder zal worden uitgewerkt, waarbij niet alleen schoon water, maar ook een deel van de nuttige nutriënten zal kunnen worden hergebruikt.
3. het concept ontzouting niet verder zal worden bekeken, aangezien de perspectiefrijkste technieken voor dit concept reeds onderzocht worden binnen de concepten waterterugwinning/nutriëntenterugwinning

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
1 Inleiding	9
1.1 Probleemstelling	9
1.2 Doelstelling(en) en afbakening van het onderzoek (WP5)	10
1.3 Aanpak WP5	11
1.4 Leeswijzer	12
2 Watersysteem substraatteelt: situatiebeschrijving	13
2.1 Huidige situatie: onvolledige recirculatie van drainwater en lozing via spui	13
2.2 Gewenste situatie: gesloten waterkringloop	15
3 Samenstelling en omvang waterstromen	17
3.1 Inleiding	17
3.2 Wettelijk kader.....	18
3.3 Omvang watergift, drain en afvalwaterstromen.....	19
3.4 Samenstelling watergift en restantwaterstromen	21
3.5 Criteria voor reiniging spui: gietwater kwaliteit	24
4 Concepten voor sluiting waterkringloop	25
4.1 Vergaande ontzouting ingenomen water.....	26
4.2 Waterterugwinning uit afvalwaterstromen.....	27
4.3 Nutriëntenterugwinning en waterterugwinning uit het restantwater.....	29
4.4 Samenvattend overzicht concepten	31
5 Inventarisatie en beoordeling technieken	33
5.1 Inleiding	33
5.2 Voorbehandelingstechnieken.....	34
5.3 Resultaat voorselectie	35
5.4 Beschrijving waarderingssysteem.....	43
5.5 Beoordeling geselecteerde technieken voor ontzouting.....	45
5.6 Beoordeling geselecteerde technieken voor waterterugwinning.....	48
5.7 Beoordeling geselecteerde technieken voor nutriëntenterugwinning	52
5.8 Beoordeling geselecteerde technieken voor verwijdering/afbraak OMV en GBM	56
6 Voorstel techniek(en) voor doorontwikkeling in laboratoriumfase	63
7 Conclusies	67
8 Verantwoording	69
9 Referenties	71
10 Bijlagen	75

Bijlage A: Begrippen- en afkortingenlijst	77
Bijlage B: Technische beschrijvingen technieken	79
Bijlage C: Kansen en knelpunten inzetbare technieken	109
Bijlage D: Factsheets technieken	115
Bijlage E: Effect aanwezigheid natrium in meststoffen op mate van spuien	139
Bijlage F: Stikstofvracht in afvalwater	141
Bijlage G: Gevoeligheidsanalyse spuifactoren.....	143
Bijlage H: Effect membraandestillatie op temperatuurniveau restantwater	145
Bijlage I: Toelichting op wijze van bepalen kosten technieken.....	147

1 Inleiding

1.1 Probleemstelling

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 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.

In het geloosde drainwater bevinden zich nitraat, fosfaat en gewasbeschermingsmiddelen, die significant de maximale toelaatbare risicowaarde (MTR) kunnen overschrijden [55]. De aangetroffen gewasbeschermingsmiddelen zijn niet alleen stoffen die aan het wortelmilieu zijn toegediend (zogenaamde druppeltoepassingen), maar ook stoffen die als ruimte- of gewasbehandeling worden toegepast. De inspanningen die de sector heeft geleverd (en levert) om het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen terug te dringen heeft tot nu toe onvoldoende verbetering van de waterkwaliteit opgeleverd.

Om aan de verplichtingen van de Kaderrichtlijn Water [53] en de Nitraatrichtlijn [54], waaruit voor de glastuinbouw het Besluit Glastuinbouw [52] is voortgekomen, te kunnen voldoen zijn aanvullende maatregelen nodig om de emissie van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen verder terug te dringen. De meest kansrijke oplossingen liggen op het terrein van a) optimale dosering van meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen zodat het spuiwater nog maar weinig (onder de norm) van deze stoffen bevat, b) verminderen van hoeveelheid en frequentie van te lozen drainwater en c) het zuiveren van het te lozen drainwater zodat dit hergebruikt kan worden in het teeltproces. Indien dit niet (volledig) mogelijk is, zal het restant lozingswater zodanig worden bewerkt dat het vrij van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen op het riool of oppervlaktewater kan worden geloosd.

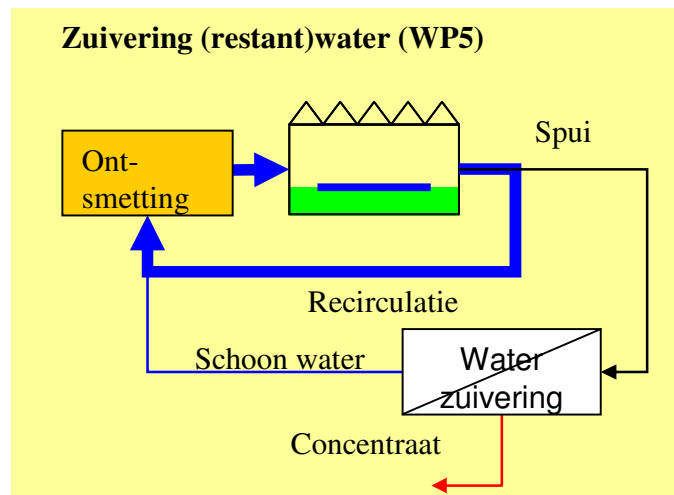
Alle drie de oplossingsrichtingen worden binnen het totale KRW project onderzocht. In dit werkpakket (WP 5) wordt naar oplossingsrichting b en c gekeken.

1.2 Doelstelling(en) en afbakening van het onderzoek (WP5)

Het project Glastuinbouw Waterproof - substraatteelten bestaat uit verschillende werkpakketten die zich specifiek richten op waterkringsluiting bij de substraatteelt. Het doel van werkpakket 5 (WP5) is om te onderzoeken op welke wijze het ingangswater, drainwater en andere proces(afval)waterstromen zoals filterspoelwater op het glastuinbouwbedrijf kunnen worden gereinigd om zo de waterkringloop op bedrijfsschaal volledig te sluiten.

In het werkpakket worden de ingaande en uitgaande waterstromen van de kas beschouwd als twee verschillende waterstromen: gietwater en een restantwater, ook wel spui genoemd. Het restantwater bestaat uit verschillende afvalwaterstromen waarvan het geloosde drainwater (spui) en het filterspoelwater de belangrijkste zijn.

De onderstaande figuur geeft schematisch het beoogde doel van WP5 weer.



Figuur 1: Schematische weergave doel WP5

De uitkomsten van WP5 dienen als basis voor WP6 waarin gekeken naar de mogelijkheden voor valorisatie van de concentraatstromen die volgen uit de te ontwikkelen waterbehandelingstechniek in WP5. WP 5 en WP 6 sluiten daarom nauw op elkaar aan.

1.3 Aanpak WP5

WP5 Zuivering van restant afvalwater omvat de volgende activiteiten:

- Haalbaarheidsonderzoek (fase 1):
- Laboratoriumonderzoek (fase 2):
- Praktijkschaal onderzoek (fase 3):

Haalbaarheidsonderzoek (fase 1)

Tijdens de haalbaarheidsstudie wordt de kwantiteit en chemische kwaliteit van bedrijfsgerelateerde (afval)waterstromen (met name de watergift en het drainwater) onder verscheidene condities (buitenklimaat, bassingrootte etc) voor verschillende gewassen bepaald. Aansluitend wordt onderzocht welke techniek(en) inzetbaar zijn voor het afscheiden/terugwinning/afbreken van de verschillende componenten in deze stromen. Op basis van vooraf gestelde criteria wordt vervolgens bepaald welke techniek(en) als meest geschikt beoordeeld worden. Op basis hiervan wordt een voorstel voor te onderzoeken technieken in fase 2 geformuleerd, welke door een expertpanel beoordeeld en bevestigd zal worden.

De haalbaarheidstudie van WP 5 levert de volgende resultaten:

- een technisch overzicht met kansen, knelpunten en onderzoeksvragen van de in aanmerking komende techniek(en) voor zuivering van de waterstromen (afzonderlijk en gezamenlijk);
- Evaluatie van de haalbaarheid en de implicaties van inzet van technieken voor waterzuivering
- Selectie van één of meerdere technieken voor experimentele verificatie/ontwikkeling in het laboratoriumonderzoek.

Laboratoriumonderzoek (fase 2)

De keuzes in fase 1 zijn gemaakt op basis van beschikbare informatie en veronderstelde performance. Door middel van laboratoriumonderzoek zal van de geselecteerde technieken nagegaan moeten worden of deze performance gerealiseerd wordt of gerealiseerd kan worden door verdere ontwikkeling.

Praktijkschaal onderzoek (fase 3)

Op basis van de bevindingen van fase 1 en 2 wordt een testinstallatie ontworpen en gebouwd op basis van de meest kansrijke techniek. Deze installatie zal door een industriële partner worden gebouwd. Vervolgens zal de installatie op locatie voor onderzoek worden ingezet. Dit onderzoek vindt plaats op 2-4 glastuinbouwbedrijven in twee betrokken regio's (Greenport Venlo en Greenport Westland/Oostland). Fase 3 wordt afgesloten met een opschalingsstudie, waarin een businesscase wordt uitgewerkt. Aandachtspunten hierbij zijn de vertaling van de resultaten naar grootschalige toepassing op de bedrijven en binnen het glastuinbouwgebied en aandacht voor de milieuaspecten en de economische en technische haalbaarheid.

Er is daarbij een sterke samenhang met werkpakket 6, valorisatie en er zal ook onderzocht worden of een geïntegreerde aanpak van zuivering en valorisering meerwaarde biedt.

1.4 Leeswijzer

Het voorliggende rapport start in hoofdstuk 1 met een inleiding waarin de probleemstelling, doelstellingen, afbakening en aanpak van het werkpakket worden beschreven.

In hoofdstuk 2 wordt de huidige praktijk binnen de substraatteelt in de glastuinbouw beschreven. Hoofdstuk 3 gaat vervolgens in op de samenstelling en omvang van de verschillende waterstromen voor de vier geselecteerde gewassen (roos, paprika, gerbera en tomaat). Hierbij wordt ook beschreven welke zuivering/terugwinning benodigd is om de stromen geschikt te maken voor (her)gebruik.

De verschillende concepten voor waterkringloopsluiting worden behandeld in hoofdstuk 4. Elk concept bestaat hierbij uit een aantal deelstappen die gezamenlijk voor de gewenste zuivering zorgen. Vervolgens worden in hoofdstuk 5 voor elk van de relevante waterstromen de verschillende technische mogelijkheden voor de gewenste zuivering gepresenteerd en beoordeeld. Aan de hand van de beoordelingsresultaten worden de meest belovende technieken voor de verschillende deelstappen geselecteerd.

Aan de hand van de resultaten uit de voorgaande hoofdstukken worden in hoofdstuk 6 technieken voor doorontwikkeling in de laboratorium onderzoeksfase geselecteerd.

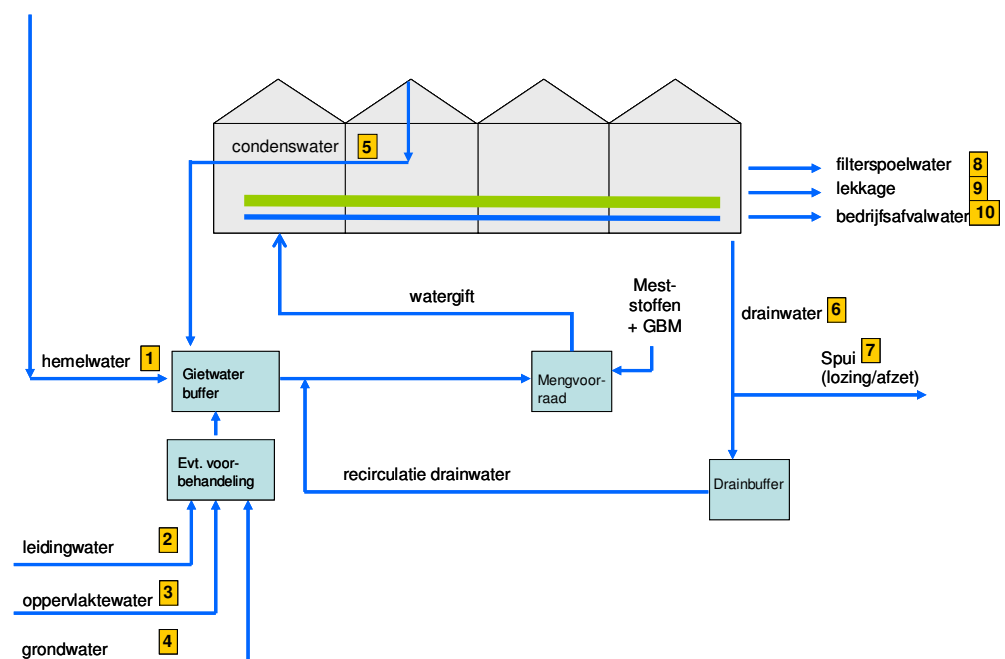
Het rapport wordt afgesloten in hoofdstuk 7 met de conclusies die geformuleerd zijn aan de hand van de uitkomsten van de haalbaarheidsstudie.

In de bijlagen is een begrippen en afkortingenlijst opgenomen (Bijlage A).

2 Watersysteem substraatteelt: situatiebeschrijving

2.1 Huidige situatie: onvolledige recirculatie van drainwater en lozing via spui

De onderstaande figuur laat een schematische weergave zien van de huidige waterstromen in en rondom een glastuinbouwbedrijf met substraatteelt. In de praktijk kunnen er nog verscheidene buffers aanwezig zijn en kan er bijvoorbeeld ook gebruik worden gemaakt van ondergrondse water berging of opslag (OWB of OWO). Condenswater wordt over het algemeen hergebruikt (wettelijke verplichting). Daarnaast zal het overgrote deel van het water via verdamping van het gewas en ventilatie verdwijnen, een klein deel wordt met het geogste product afgevoerd. Deze waterstromen zijn niet in de figuur weergegeven.



Figuur 2: Schematische weergave van de waterstromen in en rondom een substraatteelt glastuinbouwbedrijf (GBM = gewasbeschermingsmiddelen)

Zoals te zien is in Figuur 2 kunnen verschillende bronnen voor de watervoorziening worden ingezet:.

- hemelwater
- behandeld grondwater
- leidingwater
- oppervlaktewater

Hierbij wordt door de glastuinbouwbedrijven bij voorkeur hemelwater gebruikt omdat dit schoon is, lage concentraties of geen natrium bevat en weinig kosten met zich mee brengt. Het Besluit Glastuinbouw [52] verplicht recirculatie van drainwater en een minimale hoeveelheid regenwaterberging. Indien de hoeveelheid hemelwater niet toereikend is kunnen grondwater, leidingwater en/of oppervlaktewater worden ingezet. Deze additionele waterstromen worden in veel gevallen voorbehandeld (bijvoorbeeld middels omgekeerde osmose op grondwater) om zouten en pathogenen (oppervlaktewater) te verwijderen.

Na eventuele desinfectie worden de benodigde hoeveelheden nutriënten aan het gietwater toegevoegd om te komen tot de gewenste gehalten voor het specifieke gewas. Verder worden soms gewasbeschermingsmiddelen toegevoegd om de gewassen te beschermen tegen ziekten en plagen.

Vervolgens wordt het gietwater-nutriënten mengsel (de watergift) aan het gewas gegeven. Om zeker te zijn dat alle planten van genoeg water worden voorzien ligt de watergift doorgaans hoger dan de watervraag van het gewas. Dit kan oplopen van circa 20% bij tomaten tot 50% bij rozen. Door de overmaat wordt gegarandeerd dat er voor het gewas niet alleen voldoende water maar ook nutriënten beschikbaar zijn.

Het deel van de watergift dat overblijft wordt opgevangen en naar een centrale opvangvoorziening geleid. Deze restantstroom wordt drainwater genoemd. Het drainwater bevat ook alle elementen en nutriënten die niet opgenomen zijn door het gewas. Om deze reden wordt het drainwater zoveel mogelijk teruggevoerd naar de kas voor hergebruik. Hiermee wordt bespaard op het verbruik van meststoffen en wordt ook de watervraag verminderd. Sommige elementen zoals natrium worden echter niet of nauwelijks opgenomen door het gewas. Naast ballast-zouten als natrium en chloride zijn er (nog onbekende) groeiremmende factoren. De concentratie van deze stoffen zal bij herhaaldelijk hergebruik steeds verder oplopen. Om schade aan het gewas en/of groeiremming te voorkomen wordt daarom periodiek (een deel van) het drainwater gespuid om zo de concentratie van deze stoffen tot een acceptabel niveau te verlagen. Spuien is onder strikte voorwaarden toegestaan in het Besluit Glastuinbouw (zie paragraaf 3.2).

Met het lozen van het spuiwater gaan ook de nutriënten en het water in het spuiwater verloren. Deze kunnen niet meer hergebruikt worden in de kas. Hiernaast bevat het spuiwater in sommige gevallen nog een hoeveelheid gewasbeschermingsmiddelen. Deze vormen een mogelijk risico voor het watermilieu.

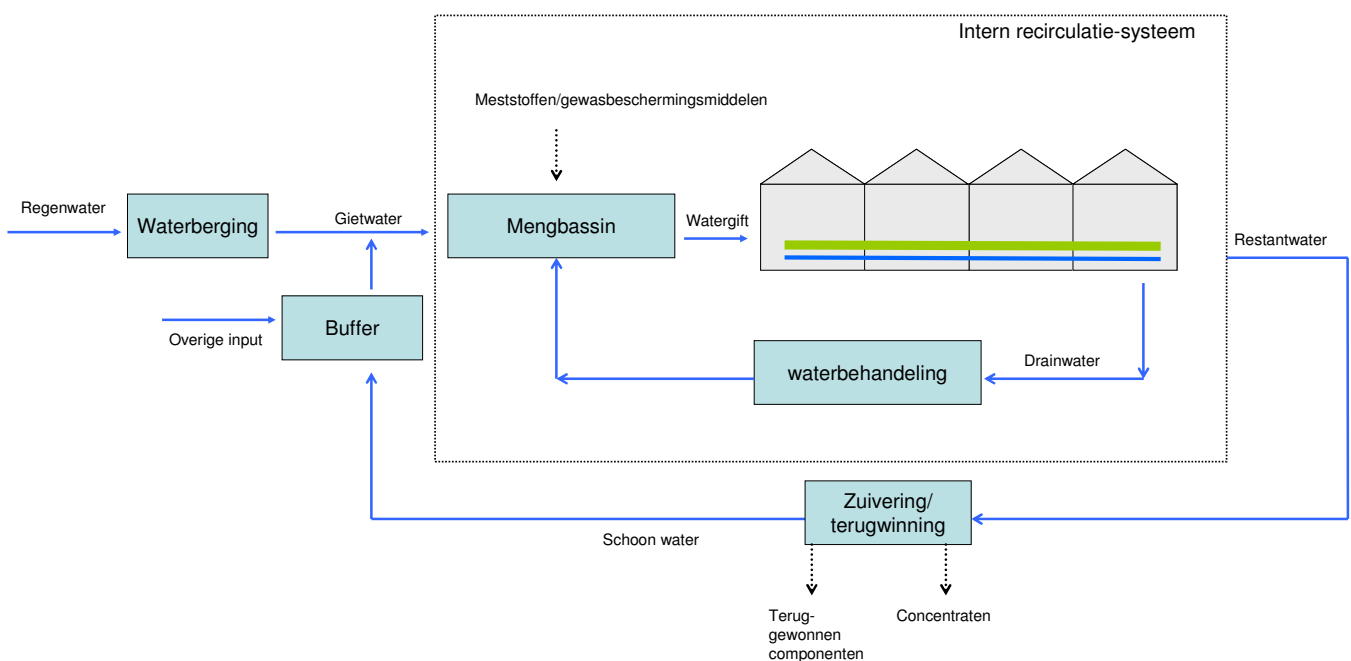
Naast het spuiwater komt ook afvalwater vrij uit de kas in de vorm van filterspoelwater, schoonmaakwater en ander bedrijfsafvalwater. Ook deze afvalwaterstromen worden momenteel geloosd en maken dus geen deel uit van de waterkringloop. Daarnaast vertonen systemen lekkage, dit is echter een diffuse bron die niet opgevangen kan worden, maar wel uit het systeem verdwijnt.

Door hergebruik van het drainwater wordt reeds een significant besparing gerealiseerd op het gebruik van water en meststoffen. Hergebruik wordt echter beperkt door de ophoping van met name zout (Na,Cl) en groeiremmende factoren in het drainwater. Ter voorkoming van gewasschade/groeiremming is momenteel periodiek spuien noodzakelijk. Groot nadeel van spuien is het verlies van meststoffen en de belasting van riool of oppervlaktewater met nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen.

2.2 Gewenste situatie: gesloten waterkringloop

De gewenste situatie is een volledige sluiting van de waterkringloop door hergebruik en zuivering van het restantwater. Eventueel kan dit gecombineerd worden met de terugwinning van de nutriënten. Op deze wijze worden alle waardevolle componenten, die anders verloren zouden gaan bij lozing van het restantwater, behouden voor hergebruik in de kas. In Figuur 3 is schematisch de gewenste situatie weergegeven.

In de gewenste situatie van waterkringloopsluiting wordt middels de inzet van zuiverings- en/of terugwinningstechnieken het restantwater gereinigd tot schoon water. Eventueel teruggewonnen componenten kunnen weer teruggevoerd worden naar de kas om opnieuw te worden gebruikt. De concentraten die als restproducten ontstaan bij de ingezette zuiveringstechnieken worden met verdere opwerking ("valorisatie") geschikt gemaakt voor afzet of lozing. In WP6 wordt verder ingegaan op de valorisatie van de concentraten.



Figuur 3: Schematische weergave gewenste situatie, een gesloten waterkringloop

3 Samenstelling en omvang waterstromen

3.1 Inleiding

Dit hoofdstuk richt zich op de samenstelling en omvang van de watergift en het restantwater voor de gewassen roos, paprika, gerbera en tomaat. Deze gewassen zijn gekozen omdat ze het merendeel van de teelt op substraat in de glastuinbouw representeren en een groot verschil in hoeveelheid spui vertonen. Dit laatste wordt enerzijds veroorzaakt door een verschillende zouttolerantie en anderzijds door het optreden van groeiremmende factoren waardoor spui noodzakelijk lijkt (zie tabel 1).

Tabel 1: Areal glastuinbouw in hectare (totaal 10.300) [58]

Gewas		Grond	Substraat
Groenten		1000	3800
	Waarvan tomaat		1600
	Waarvan paprika		1300
	Waarvan komkommer		600
Bloemen		3500	900
	Waarvan roos		500
	Waarvan gerbera		225
Pot en perkplanten		0	1500
	Waarvan phalaenopsis		200

Voor de geselecteerde gewassen (roos, gerbera, tomaat en paprika) zijn de typische waterstromen op het bedrijf bepaald. Hiermee kan in beeld worden gebracht welk deel van de verschillende componenten verloren gaat via de afvalwaterstromen. Hiermee kan dan bepaald worden welke componenten verwijderd of teruggewonnen dienen te worden uit het afvalwater om het geschikt te maken voor hergebruik.

De waterstromen zijn in kaart gebracht met behulp van een eerder door WUR Glastuinbouw ontwikkeld rekenmodel (WATERSTROMEN) voor waterstromen op glastuinbouwbedrijven. De waterstromen zijn gekwantificeerd (in m³/ha) op jaarbasis. Deze variëren sterk door enerzijds wisselende weersomstandigheden en anderzijds verschillende bedrijfssituaties (gewas, grootte regenwaterbassin, hoeveelheid natrium in gietwater, hoeveelheid filterspoelwater).

Tevens wordt in dit hoofdstuk aandacht besteed aan de criteria die gelden voor gietwater en het geldende wettelijke kader.

In de bijlagen wordt ook ingegaan op het effect van het natriumgehalte van de meststoffen op de mate van spuien, de stikstofvracht van het restantwater, en wordt een gevoeligheidsanalyse van factoren die de spui beïnvloeden besproken (respectievelijk Bijlage E, F en G).

3.2 Wettelijk kader

In het Besluit Glastuinbouw [52] zijn bepalingen voor de substraatteelt opgenomen welke onder andere aangeven onder welke voorwaarden lozing van spuiwater door de bedrijven is toegestaan. Voor deze studie is als uitgangspunt gebruikt dat de overige afvalwaterstromen niet geloosd mogen worden en als zodanig dus ook gezuiverd dienen te worden.

Lozing van spuiwater op het riool mag enkel plaatsvinden wanneer het natriumgehalte boven de bovengrens voor hergebruik voor het specifieke gewas ligt (Tabel 2)

- Indien één gewas geteeld wordt: hoger of gelijk aan de waarde opgenomen in lijst 3 van het besluit Glastuinbouw, of
- Indien verschillende gewassen geteeld worden: hoger of gelijk aan de laagste waarden van de in lijst 3 opgenomen waarden voor de verschillende gewassen.

Naast de eisen uit het Besluit Glastuinbouw kan een bevoegd gezag ook eisen stellen aan het lozen op het riool of oppervlaktewater.

Tabel 2: Bovengrens natriumgehalte waaronder hergebruik drainwater verplicht is en waarboven gespuid mag worden voor roos, paprika, gerbera en tomaat.

Gewas	Bovengrens natriumgehalte voor hergebruik drainwater (mmol/l)	Bovengrens natriumgehalte voor hergebruik drainwater (mg/l)
Roos	4	92
Paprika	6	138
Gerbera	4	92
Tomaat	8	184

Lozing op het oppervlaktewater is enkel toegestaan onder zeer strikte voorwaarden zoals geformuleerd in het Besluit Glastuinbouw. Lozing op oppervlaktewater is op dit moment alleen nog mogelijk voor bestaande situaties bij bedrijven.

Bij lozing op het oppervlaktewater dient het water de MTR-waarden voor totaal-stikstof (2,2 mg/l), totaal-fosfaat (0,15 g/l) en chloride (200 mg/l) niet te overschrijden (Nitraatrichtlijn, 1991).

Na overleg tussen de sector en de overheid wordt per 2010 overgegaan van gebruiksnormen voor nutriënten op emissienormen (wijziging Besluit Glastuinbouw, 2009). Hierbij wordt de emissie in een aantal deelstappen afgebouwd tot een nagenoeg nul-emissie in 2027. Er is daarbij ook geen directe relatie meer tussen het lozen op basis van natrium, zoals gebruikelijk, en de maximaal te lozen hoeveelheden stikstof en fosfaat. (zie ook bijlage F)

3.3 Omvang watergift, drain en afvalwaterstromen

In tabel 2 is de omvang van de watergift, de drainwaterstroom en het restantwater voor de vier geselecteerde gewassen op jaarbasis weergegeven. De waarden volgen uit het WATERSTROMEN-model en vormen een gemiddelde benadering van de waarden uit de praktijk. In de praktijk kunnen hogere maxima gevonden worden. De tabel laat zien dat in de referentiesituatie circa 4%-7% van het drainwater verloren gaat via het restantwater op basis van natriumgehalte van het gietwater of door filterspoelwater. In droge jaren loopt de hoeveelheid restantwater op tot circa 50% van het drainwater als gevolg van de inzet van alternatieve waterbronnen met een hoger natriumgehalte. In deze hoeveelheden zijn niet de incidentele lozingen inbegrepen welke optreden als gevolg van calamiteiten of de teeltwisseling. Uit de resultaten blijkt dat in de referentiesituatie circa 93-96% van het drainwater wordt teruggevoerd voor hergebruik in de kas. De waarden laten ook duidelijk het effect van het klimaat (met name mate van regenval) zien op de hoeveelheid spui.

De in Tabel 3 genoemde waarden voor de referentiesituatie zijn gebaseerd op:

- een bassingrootte van 1500 m³ (volledig gevuld aan het begin van het jaar),
- een normale regenval,
- geen inzet van omgekeerde osmose op grondwater
- regenwater met een natriumgehalte van 0,1 mmol/l
- additioneel (leiding)water met een natriumgehalte van 1,0 mmol/l

In Tabel 3 worden ook het minimum en maximum qua omvang van het restantwater genoemd. Het minimum volgt uit een bassingrootte van 3000 m³ en een neerslagrijk jaar. Het maximum is gebaseerd op een bassingrootte van 500 m³ en een droog jaar. Voor paprika en tomaat volgt een gemiddelde spui van 0 m³/ha/jr uit het model. Dit betekent dat er binnen de periode van 1 jaar volgens het model geen spui nodig was. Dit wil echter niet zeggen dat er in de praktijk geen spuilozingen zullen optreden. Vaak wordt er om andere redenen gespuid, zoals teeltmaatregelen of het optreden van groeiremming waarbij verversing van het circulerende water mogelijk een oplossing is. De grote variatie tussen minimum en maximum wordt voor een groot deel veroorzaakt doordat bij gebruik van een klein regenwaterbassin (500m³/ha) en additioneel water met een hoog zoutgehalte (leiding- of oppervlaktewater) in een droog jaar veel gespuid moet worden. Indien telers een groot bassin gebruiken in combinatie met bijvoorbeeld additioneel water als omgekeerde osmosewater met een laag natriumgehalte dan is de spui minimaal.

Tabel 3: Omvang waterstromen voor roos, paprika, gerbera en tomaat in m³/ha/jaar

Parameter	Eenheid	Roos	Paprika	Gerbera	Tomaat
Omvang watergift	m ³ /ha/jr	16.200	9.400	13.400	10.700
Omvang drain	m ³ /ha/jr	6.500	2.400	4.000	2.700
Omvang spuistroom	m ³ /ha/jr	160	0	150	0
Omvang overige afvalwaterstromen (*)	m ³ /ha/jr	180	100	140	120
Totaal restantwater referentie situatie (min – max)	m ³ /ha	340 (180-2600)	100 (100-910)	290 (140-2060)	120 (120-670)
Verlies via restantwater	m ³ totaal restantwater/m ³ drain	5% (3 – 40%)	4% (4 – 38%)	7,5% (3,5 – 52%)	4,5% (4,5 – 25%)

(*) Hierin is lekkage buiten beschouwing gelaten omdat deze stroom verloren gaat richting oppervlaktewater of grond.

3.4 Samenstelling watergift en restantwaterstromen

In de tabellen 4 t/m 7 is de gemiddelde samenstelling van de watergift en het restantwater op basis van de referentiesituatie voor de vier gewassen weergegeven. Naast de concentratie van de componenten is ook de vracht (in kg) opgenomen in de tabellen om een vergelijking tussen watergift en restantwater mogelijk te maken. Deze waarden zijn gebaseerd op de recepten die gebruikelijk in de glastuinbouw worden gegeven voor de betreffende gewassen en de gemiddelde waarde van drainwateroplossingen. Hierbij is het uitgangspunt dat de watergift weinig of geen natrium (Na^+) bevat en ook geen chloride (Cl^-) en beperkt waterstofbicarbonaat (HCO_3^- , 0,5 mmol/l). In de praktijk zullen echter zowel het ingenomen water als het drainwater deze componenten kunnen bevatten. Als gevolg van recirculatie zullen deze componenten in de praktijk ook in de watergift teruggevonden worden en bij continue recirculatie gaan accumuleren tot toxische waarden. In geval van waterkringloopsluiting zal bij een zuivering van restantwater daarom een zo volledige mogelijke verwijdering van natrium moeten worden nagestreefd.

Naast de in de tabellen genoemde componenten zal het restantwater ook pathogenen, verschillende organische (micro) verontreinigingen (OMV; groei-remmende factoren, wortel-exudaten, organische micro-verontreinigingen en bio-fouling) en gewasbeschermingsmiddelen (GBM) kunnen bevatten.

Er is aangenomen dat de overige afvalwaterstromen een samenstelling kennen die vergelijkbaar is met de samenstelling van het spuiwater. Wel moet nadrukkelijk rekening gehouden worden met de aanwezigheid van reinigingsmiddelen in de afvalwaterstromen. In de tabellen wordt ook ingegaan op de benodigde zuivering/terugwinning die nodig is om het restantwater geschikt te maken voor hergebruik. Hierbij wordt gekeken hoe de hoeveelheden van de componenten in het restantwater zich verhouden tot de hoeveelheden in de watergift (= verhouding kg in restantwater/kg in watergift).

De tabellen 4 t/m 7 laten zien dat de concentraties van de componenten in het restantwater bij roos en gerbera hoger liggen. Dit laat zien dat het drainwater minder vaak hergebruikt kan worden omdat al eerder de bovengrens qua natriumgehalte wordt bereikt. Hierdoor is er minder gelegenheid voor het gewas om de overige componenten op te nemen. Bij roos en gerbera gaat daarom ook een groter deel van de toegediende meststoffen verloren.

Het WATERSTROMEN rekenmodel is gebaseerd op spuien bij de bovengrens van het natriumgehalte. Om deze reden is het natriumgehalte van de afvalwaterstromen voor de vier gewassen gelijk aan de wettelijke bovengrens (zie 4.2).

Tabel 4: Samenstelling watergift en restantwater voor roos en de benodigde zuivering van het restantwater op basis van de referentiesituatie

Gewas:	Roos					
Parameter	Gift aan nutriënten obv recept		Nutriënten in restantwater		Verhouding nutriënten in restantwater/gift aan nutriënten	Benodigde verwijdering of terugwinning
	kg/ha/jr	mmol/l	kg/ha/jr	mmol/l		
Na	0	0,0	31	4,0	100%	verwijdering
Cl	0	0,0	31	2,6	100%	verwijdering
N-tot	1261	5,6	77	16,2	6%	terugwinning
P-tot	325	0,6	12	1,2	4%	
K	1802	2,9	85	6,5	5%	
Ca	673	1,0	88	6,5	13%	
Mg	306	0,8	27	3,2	9%	
SO4	1009	0,6	105	3,2	10%	verwijdering
HCO3	0	0,0	27	1,3	100%	

Tabel 5: Samenstelling watergift en afvalwater voor paprika en de benodigde zuivering van het restantwater op basis van de referentiesituatie

Gewas:	Paprika					
Parameter	Gift aan nutriënten obv recept		Nutriënten in restantwater		Verhouding nutriënten in restantwater/gift aan nutriënten	Benodigde verwijdering of terugwinning
	kg/ha/jr	mmol/l	kg/ha/jr	mmol/l		
Na	0	0,0	14	6,0	100%	verwijdering
Cl	435	1,3	7	1,9	2%	verwijdering
N-tot	2143	16,2	32	22,0	1%	terugwinning
P-tot	380	1,3	4	1,3	1%	
K	2744	7,5	26	6,5	1%	
Ca	1716	4,5	46	11,0	3%	
Mg	335	1,5	10	3,9	3%	
SO4	1178	1,3	39	3,9	3%	verwijdering
HCO3	0	0,0	8	1,3	100%	

Tabel 6: Samenstelling watergift en afvalwater voor gerbera en de benodigde zuivering van het restantwater op basis van de referentiesituatie

Gewas:		Gerbera				
Parameter	Gift aan nutriënten obv recept		Nutriënten in restantwater		Verhouding nutriënten in restantwater/gift aan nutriënten	Benodigde verwijdering of terugwinning
	kg/ha/jr	mmol/l	kg/ha/jr	mmol/l		
Na	0	0,0	27	4,0	100%	verwijdering
Cl	0	0,0	27	2,6	100%	verwijdering
N-tot	1759	9,4	66	16,2	4%	terugwinning
P-tot	323	0,8	12	1,3	4%	
K	1489	2,9	89	7,8	6%	
Ca	1113	2,1	76	6,5	7%	
Mg	169	0,5	23	3,2	14%	
SO4	1167	0,9	109	3,9	9%	
HCO3	0	0,0	23	1,3	100%	verwijdering

Tabel 7: Samenstelling watergift en afvalwater voor tomaat en de benodigde zuivering van het restantwater op basis van de referentiesituatie

Gewas:		Tomaat				
Parameter	Gift aan nutriënten obv recept		Nutriënten in restantwater		Verhouding nutriënten in restantwater/gift aan nutriënten	Benodigde verwijdering of terugwinning
	kg/ha/jr	mmol/l	kg/ha/jr	mmol/l		
Na	0	0,0	22	8,0	100%	verwijdering
Cl	369	1,0	32	7,8	9%	verwijdering
N-tot	2096	13,9	49	29,8	2%	terugwinning
P-tot	538	1,6	5	1,3	1%	
K	3531	8,4	47	10,4	1%	
Ca	1535	3,6	61	12,9	4%	
Mg	339	1,3	17	5,8	5%	
SO4	2009	1,9	99	8,8	5%	
HCO3	0	0,0	9	1,3	100%	verwijdering

3.5 Criteria voor reiniging spui: gietwater kwaliteit

Op basis van de beschikbare literatuur zijn de criteria voor reiniging van het spuiwater vastgesteld zodat dit voor het gebruik als gietwater kan worden ingezet (tabel 8). De opgenomen waarden zijn te beschouwen als een indicatie van de strengste waarden uit de literatuur [5]. Water wat aan deze criteria voldoet kan voor alle gewassen als gietwater gebruikt worden.

Tabel 8: Criteria voor gietwater [5]

Type component	Component	Maximale concentratie	Eenheid	Maximale concentratie	Eenheid
Zuurgraad	pH	5-8			
Geleidbaarheid	EC (elektrische geleidbaarheid)	<0,3	mS/cm		
Zout	Na ⁺	6,90	mg/l	0,3	mmol/l
	CL ⁻	17,80	mg/l	0,5	mmol/l
Hoofdelementen	Nitraat (NO ₃ ⁻)	7,00	mg/l	0,5	mmol/l
	Fosfaat (PO ₄ ³⁻)	15,50	mg/l	0,5	mmol/l
	K ⁺	78,20	mg/l	2,0	mmol/l
	Ca ²⁺	40,10	mg/l	1,0	mmol/l
	Mg ²⁺	12,20	mg/l	0,5	mmol/l
	SO ₄ ²⁻	48,10	mg/l	0,5	mmol/l
	HCO ₃ ⁻	244,00	mg/l	4	mmol/l
Pathogenen	Schimmels, virussen, bacteriën, evt. aaltjes	0,00	Kve/l		

4 Concepten voor sluiting waterkringloop

Zoals beschreven in hoofdstuk 2 en 3 wordt het hergebruik van het water binnen de kas met name beperkt door de accumulatie van zout en groeiremmende factoren. Om deze reden wordt periodiek (een deel van) het drainwater gespuid. Hiernaast komen ook een aantal andere afvalwaterstromen vrij uit de kas. Om te voldoen aan de Kader Richtlijn Water kan gekozen worden uit twee opties; waterkringloopsluiting en/of verantwoord lozen. In deze haalbaarheidsstudie wordt de optie waterkringloopsluiting verder uitgewerkt.

Om de waterkringloop te sluiten dienen alle afvalwaterstromen (het restantwater) gezuiverd te worden. Bij het zuiveren van het restantwater zullen ook één of meerdere concentraten geproduceerd worden. De mogelijkheden voor valorisatie van deze concentraatstromen worden behandeld in WP6 [57]. Een belangrijk aandachtspunt hierbij is de mogelijke aanwezigheid van gewasbeschermingsmiddelen in de concentraten, deze dienen vergaand verwijderd/afgebroken te worden voordat lozing op oppervlaktewater is toegestaan.

Het restantwater bevat naast zout (Na, Cl) en groeiremmende factoren ook een aantal waardevolle en gewenste componenten, namelijk het water en de nutriënten. Met betrekking tot de zuivering van de afvalwaterstromen en de terugwinning van water en nutriënten kunnen verschillende keuzes worden gemaakt. Deze keuzes zijn uitgewerkt in een drietal concepten welke in de onderstaande paragrafen worden uitgewerkt. De concepten worden gebruikt voor de evaluatie van zuiveringstechnieken of combinaties hiervan.

De volgende concepten zijn geformuleerd:

1. Vergaande ontzouting van het ingenomen water ter preventie van accumulatie van natrium;
2. Waterterugwinning en hergebruik uit de afvalwaterstromen;
3. Nutriëntenterugwinning en waterterugwinning uit de afvalwaterstromen.

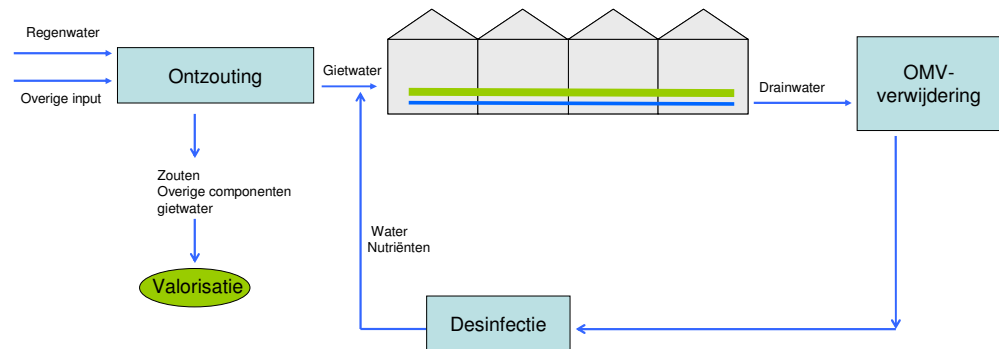
In de onderstaande paragrafen worden de concepten verder toegelicht. Hierbij wordt eerst een beschrijving van het concept gegeven. Hierin wordt aangegeven op welke zuivering/terugwinning het concept zich richt en hoe dit bewerkstelligd wordt. Ook wordt ingegaan op de voor- en nadelen van het concept.

In hoofdstuk 6 zal bepaald welke technieken het meest perspectiefrijk zijn voor toepassing binnen de concepten.

4.1 Vergaande ontzouting ingenomen water

4.1.1 Beschrijving

In Figuur 4 is schematisch het concept van een gesloten waterkringloop weergegeven die bereikt wordt door vergaande ontzouting van het ingenomen water.



Figuur 4: Schematische weergave concept waterkringloopsluiting door ontzouting ingenomen water

Door ontzouting van het ingenomen water kan voorkomen worden dat natrium accumuleert. De noodzaak tot spuien verdwijnt, indien er geen andere wegen zijn (b.v. meststoffen) waarop Na en Cl de waterkringloop binnen komen. Het drainwater wordt behandeld om groeiremmende factoren en eventueel GBM te verwijderen. Hierbij wordt aangesloten bij de aanpak van werkpakket 1 (groeiremming voorkomen) en werkpakket 2 (detectie groeiremming). Ook zal de gebruikelijke desinfectie worden toegepast om ziektekiemen, schimmels en dergelijke te doden.

Het verkregen concentraat uit de ontzouting (bestaande uit de een- en tweewaardige zouten en mogelijk overige afgevangen componenten) is vergelijkbaar met het brijn wat verkregen wordt uit omgekeerde osmose op grondwater. De inspanningen die reeds zijn gedaan op het gebied van de brijnproblematiek zijn daarmee ook van nut voor het vinden van een wijze voor valorisatie van het verkregen concentraat.

Dit concept kent overeenkomsten met de huidige gangbare situatie waarbij hemelwater en grondwater, ontzout door omgekeerde osmose, worden gebruikt om zo weinig mogelijk natrium in het watersysteem te introduceren. Echter, ontzouting vooraf en gelijktijdige verwijdering van OMV en GBM achteraf in de spuisroom is nog niet standaard in de substraatteelt.

4.1.2 Voor- en nadelen

Als accumulatie van natrium de enige reden is voor lozing van spuiwater dan heeft dit concept belangrijke voordelen doordat accumulatie preventief voorkomen wordt. Er zijn weinig aanpassingen en extra investeringen nodig. Er is enkel behandeling van het water nodig om groeiremmers en pathogenen te verwijderen.

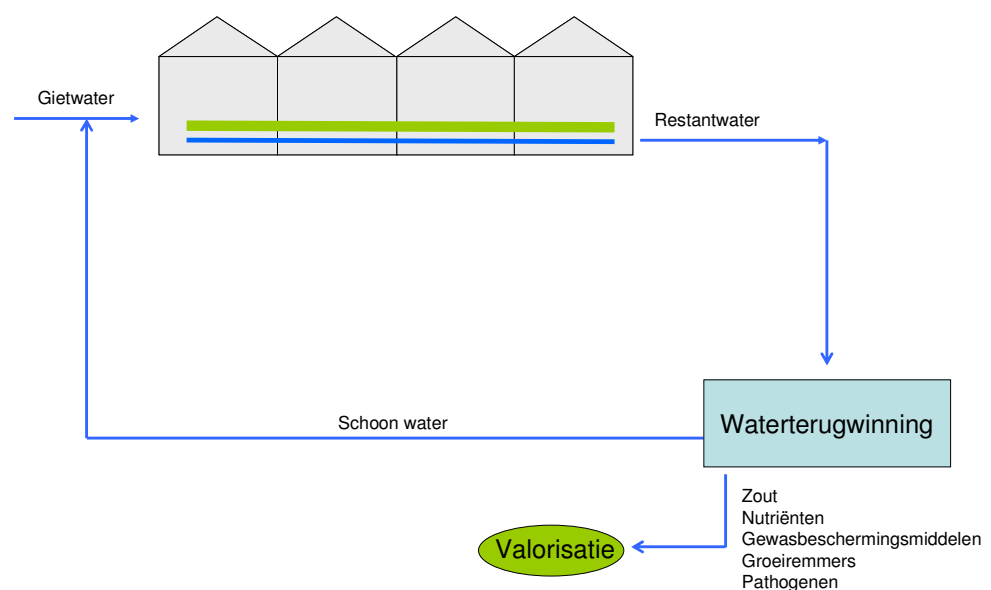
Een belangrijk nadeel van het bovenstaande concept is echter dat het gebaseerd is op de aanname dat natrium met name via het ingenomen water in het systeem terecht komt. Het is goed denkbaar dat er andere bronnen zijn zoals meststoffen en/of substraat die natrium kunnen bevatten. Er is verder binnen dit concept geen mogelijkheid om zouten te kunnen verwijderen uit het restantwater in geval van storing of calamiteit.

Ook zal in het geval van storingen of afwijkingen in de toediening van meststoffen/gewasbeschermingsmiddelen geen sturing mogelijk zijn door zuivering of verwijdering uit drainwater. Indien de verwijdering van groeiremmers niet volledig blijkt zal uiteindelijk toch lozing van het water nodig zijn.

4.2 Waterterugwinning uit afvalwaterstromen

4.2.1 Beschrijving

In Figuur 5 is schematisch de opzet van het concept van waterterugwinning uit afvalwaterstromen weergegeven. De drainwaterstroom en de watergiftstroom zijn niet apart weergegeven.



Figuur 5: Schematische weergave concept "waterterugwinning"

Het doel van dit concept is om zo veel mogelijk water terug te winnen uit de afvalwaterstromen. Hiermee kan de waterkringloop vergaand gesloten worden. Het concentraat uit de zuiveringstechniek zal naast zout en nutriënten ook groeiremmende factoren en gewasbeschermingsmiddelen kunnen bevatten die in het restantwater aanwezig waren. Terugwinning van de nutriënten en verwijdering/afbraak van de gewasbeschermingsmiddelen vindt plaats in een aparte valorisatie-stap (zie WP6). De valorisatie van het concentraat wordt in detail behandeld in het rapport van WP6 [57].

4.2.2 Voor- en nadelen

Een belangrijk voordeel van waterterugwinning is dat technieken ingezet kunnen worden die een absolute barrière vormen voor alle componenten behalve water. Hierdoor vormt een variatie in samenstelling van het restantwater (binnen bepaalde operationele grenzen) geen belemmering voor het verkrijgen van een constante kwaliteit water voor hergebruik. Het concept is hierdoor ook in sterke mate algemeen toepasbaar en ook kunnen storingen goed opgevangen worden (bijvoorbeeld een afwijkende dosering van meststoffen).

Door terugwinning van (een deel van) het water uit het restantwater hoeft minder water ingenomen te worden. Hierdoor zal een betere benutting van het beschikbare regenwater bereikt kunnen worden en wordt bespaard op het innemen van water uit andere bronnen en daarmee ook op de bijbehorende extra kosten.

Een ander voordeel is dat er reeds veel kennis en ervaring op het gebied van waterterugwinning is binnen en buiten de glastuinbouw. Een voorbeeld hiervan is de breed toegepaste inzet van ontzoutingstechnieken zoals omgekeerde osmose (RO) op grondwater voor de productie van gietwater.

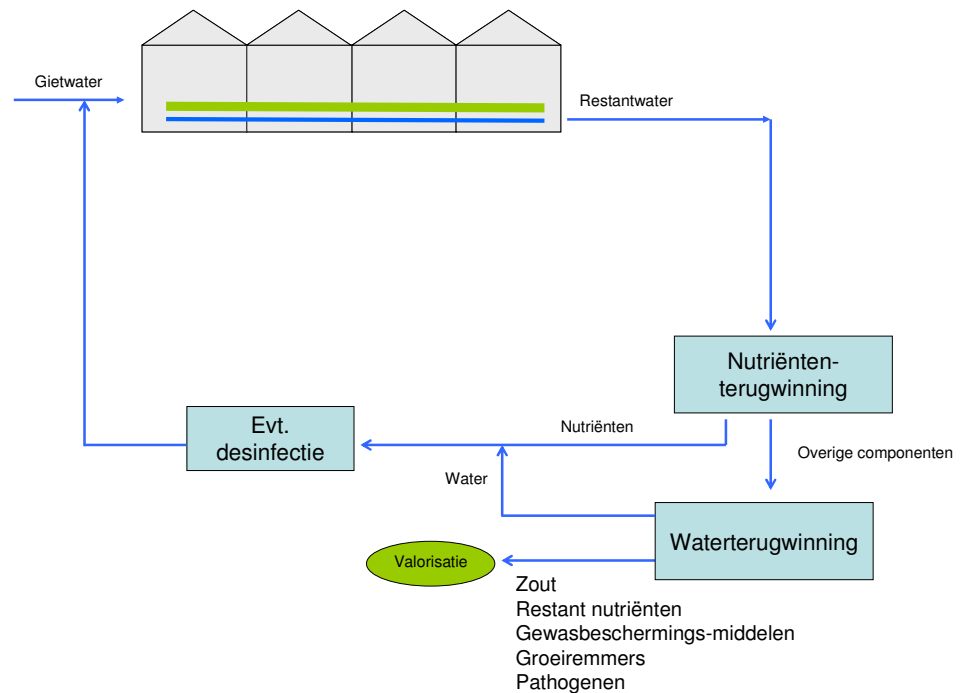
Inzet van RO of vergelijkbare alternatieve technieken op het drainwater sluit daarmee sterk aan op de huidige praktijk. Doordat drainwater echter significant verschilt in samenstelling ten opzichte van grondwater en er ook andere eisen ten aanzien van recovery en retentie zullen gelden, zijn bestaande technieken zoals RO echter niet zonder meer toepasbaar en zal onderzoek nodig zijn. De technische uitdaging hierbij ligt met name op het vlak van de preventie van scaling en fouling. Deze processen zullen eerder optreden aangezien het restantwater sterker “vervuild” is dan bijvoorbeeld grondwater dat wordt gebruikt als bron voor gietwater.

Een nadeel van de inzet van technieken voor waterterugwinning is het verlies van waardevolle nutriënten en daarbij het risico van neerslag (scaling) van slecht oplosbare zouten in de apparatuur. Tijdens het scheidingsproces zal er steeds meer water uit de restantwater worden onttrokken. Hierdoor loopt de concentratie van de verschillende opgeloste zouten steeds verder op. Op een gegeven moment zal de concentratie van een component zijn maximale oplosbaarheid overschrijden. Vanaf dit punt zal neerslag (precipitatie) gaan plaatsvinden. Dit geldt met name voor de vorming van CaSO_4 (gips) en CaCO_3 (kalk) uit calcium, carbonaat en sulfaat ionen vanwege de lage oplosbaarheid van deze producten. De concentraties van deze componenten in het restantwater zijn dus bepalend voor hoeveel water onttrokken kan worden aan het restantwater (totdat neerslag op gaat treden). Algemeen kan worden gesteld dat een hoger gehalte aan slecht oplosbare componenten zal leiden tot een lagere wateropbrengst. Hierbij geldt wel dat de gevoeligheid voor scaling per techniek kan verschillen. Hiernaast kan middels technische ingrepen, zoals bijvoorbeeld aanzuren, het neerslaan van een aantal zouten worden voorkomen/beperkt.

4.3 Nutriëntenterugwinning en waterterugwinning uit het restantwater

4.3.1 Beschrijving

In Figuur 6 is schematisch de opzet van het concept weergegeven. De drainwaterstroom en de watergiftstroom zijn niet apart weergegeven.



Figuur 6: Schematische weergave concept nutriëntenterugwinning

In aanvulling op het concept “Waterterugwinning” worden binnen dit concept technieken ingezet om selectief nutriënten terug te winnen uit het restantwater. Vervolgens wordt in een tweede stap water teruggewonnen uit het restantwater. Indien nodig wordt het verkregen water gedesinfecteerd.

Verwijdering/afbraak van de gewasbeschermingsmiddelen vindt plaats in een aparte valorisatie-stap (zie WP6). De valorisatie van het concentraat wordt in detail behandeld in het rapport van WP6 [57].

4.3.2 Voor- en nadelen

Een belangrijk voordeel van de inzet van nutriëntenterugwinning (naast waterterugwinning) is het (vergaand) voorkomen van precipitatie in de waterterugwinningstechnieken. Hierdoor kan er naar verwachting meer water uit het restantwater worden teruggewonnen. Dit reduceert de hoeveelheid concentraat waarvoor verdere verwerking (valorisatie) noodzakelijk is. Dit betekent dat de hiervoor benodigde apparatuur kleiner uitgevoerd kan worden en hiermee ook geringere investeringen zal vragen. Het beoogde doel van de terugwinning van de nutriënten is hergebruik in de kas. Hierdoor hoeven er minder extra meststoffen toegevoegd te worden en wordt er dus bespaard op de kosten van de inkoop. De mate waarin de nutriënten teruggewonnen kunnen worden en de bruikbaarheid hiervan binnen de kas is nog een punt van onderzoek.

Een belangrijk aandachtspunt is dat de nutriënten dienen te worden verkregen in hun originele vorm (zoals initieel toegevoegd aan het gietwater). Alleen op deze wijze zijn de nutriënten geschikt voor hergebruik in de glastuinbouw. Op dit moment is nog onbekend in welke mate de nutriënten afgescheiden kunnen worden en of deze prestatie de benodigde investeringen rechtvaardigt. Hieraan zal nadrukkelijk aandacht worden besteed binnen dit werkpakket.

Nadelen ten opzichte van enkel waterterugwinning zijn de extra investeringen voor de nutriëntenterugwinning en het extra ruimtebeslag. Verder zal de complexiteit van het waterzuiveringssysteem toenemen. Met betrekking tot kosten en beheersbaarheid zal dan ook altijd naar het totaaloverzicht gekeken moeten worden.

4.4 Samenvattend overzicht concepten

In tabel 9 wordt een samenvattend overzicht van de concepten gegeven.

Tabel 9: Overzicht concepten: doelen, zuiveringstappen en verkregen producten

Concept	Doel inzet technieken	Ingezette technieken	Verkregen product	Concentraat (voor WP 6)	Opmerkingen
Ontzouting ingenomen water	Maken van gietwater vrij van natrium en andere ongewenste stoffen	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ontzouting (vooraf) 2. Verwijdering/afbraak groeiremmers en GBM 3. Desinfectie 	Schoon gietwater	<ul style="list-style-type: none"> - Zout - Resterende componenten uit ingenomen water 	Sterk vergelijkbaar met huidige praktijk (*)
Water-terugwinning	Terugwinnen water uit het restantwater	<ol style="list-style-type: none"> 1. Afscheiding van alle componenten in het water 2. Desinfectie (van terugvoer) 	Schoon water voor hergebruik in kas	<ul style="list-style-type: none"> - Zout - Nutriënten - Groeiremmers - GBM 	
Nutriënten-terugwinning + Water-terugwinning	Terugwinnen nutriënten en water uit het restantwater	<ol style="list-style-type: none"> 1. Selectieve nutriënten terugwinning 2. Afscheiding van alle resterende componenten in het water 3. Desinfectie (van terugvoer) 	Nutrienten-concentraat Schoon water hergebruik in kas	<ul style="list-style-type: none"> - Zout - Restant nutriënten - Groeiremmers - GBM 	

(*) Er vindt vaak nog geen ontzouting van alle ingenomen waterstromen plaats. Ook afbraak van groeiremmende factoren en eventueel GBM is nog geen standaardpraktijk.

Tijdens het formuleren van de concepten is gebleken dat het (nog) niet mogelijk is om selectief de ongewenste stoffen (natrium, chloride en groeiremmers) uit het restantwater te verwijderen en de overige componenten te laten zitten. Deze optie is daarom niet verder uitgewerkt.

5 Inventarisatie en beoordeling technieken

5.1 Inleiding

Dit hoofdstuk geeft een invulling van technieken voor de in hoofdstuk 4 geformuleerde drie concepten voor de sluiting van de waterkringloop. De inventarisatie en beoordeling van technieken richt zich daarom op technieken voor ontzouting, waterterugwinning en nutriëntenterugwinning. Hiernaast is ook gekeken naar technieken die ingezet kunnen worden voor de verwijdering/afbraak van OMV en GBM, met oog op de inzet binnen het concept ontzouting (zie paragraaf 5.1).

De functie van desinfectie (middels UV/verhitting) van restantwater is meestal aanwezig binnen veel glastuinbouwbedrijven en wordt als beschikbare techniek beschouwd. Deze technieken zullen daarom niet verder beoordeeld worden. Eventuele voor- en/of nabehandeling wordt als een integraal onderdeel van de zuiveringstechniek beschouwd en is daarom niet apart beoordeeld. De veel toegepaste voorbehandelingstechnieken worden in paragraaf 5.2 beschreven.

Op basis van de literatuur en de aanwezige kennis binnen het consortium is een lijst van mogelijk inzetbare technieken vastgesteld. Voor deze technieken zijn technische beschrijvingen opgesteld (Bijlage B) en zijn de kansen en knelpunten bepaald (Bijlage C). Hiernaast zijn voor het merendeel van de technieken, aan de hand van de literatuur, de kenmerken op technisch en economisch vlak bepaald welke opgenomen zijn in factsheets (Bijlage D). De informatie in de factsheets fungeert als een indicatie van de potentie van de techniek. Praktijkwaarden kunnen om deze reden in sommige gevallen anders liggen.

Op basis van voorafgestelde criteria zijn de factsheets en de informatie uit de literatuur vervolgens gebruikt om een eerste selectie te maken uit het totale aanbod van technieken. Criteria zijn:

- Termijn van inzetbaarheid binnen de glastuinbouw (< 5 jaar)
- Verwacht ruimtebeslag voor de techniek (*)
- Geschiktheid voor kleine schaal (benodigd voor toepassing per glastuinbouwbedrijf (**))
- Herbruikbaarheid van producten uit het zuiveringsproces binnen glastuinbouwbedrijf (***)
- Robuustheid van de techniek (****)

(*) Bijvoorbeeld: technieken met een relatief lage reactiesnelheid of verwijderingsrendement zullen groter moeten zijn om dezelfde prestatie te behalen, hierdoor zal hun ruimtebeslag groter zijn.

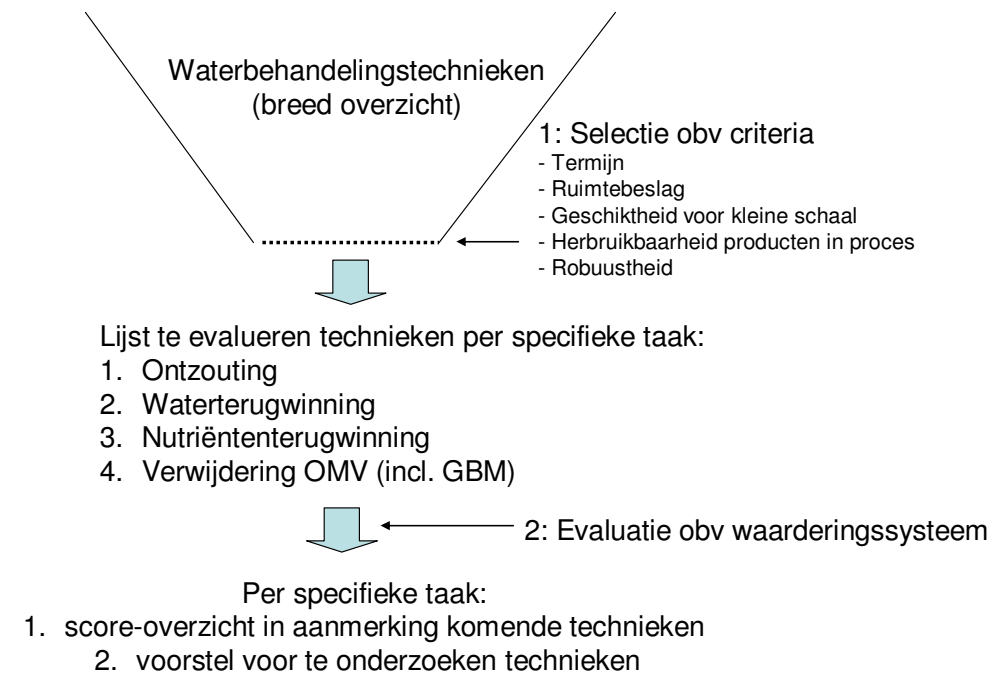
(**) De techniek dient geschikt te zijn voor toepassing op de geringe hoeveelheden te verwerken water (met name de hoeveelheid restantwater is erg gering vergeleken met de omvang van waterstromen in meer industriële processen).

(***) Belangrijk voor hergebruik is dat alle ongewenste componenten zo ver mogelijk zijn verwijderd (o.a zout en groeiremmers). Hiernaast dienen de nutriënten zo mogelijk in hun oorspronkelijke vorm te worden teruggewonnen om hergebruik mogelijk te maken.

(***) De volgende zaken worden meegenomen in de beoordeling van de robuustheid van een techniek: betrouwbaarheid, beheersbaarheid, onderhoudsgevoeligheid en gevoeligheid voor biofouling.

De geselecteerde technieken worden vervolgens beoordeeld. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een multi-criteria waarderingssysteem. In dit systeem staat voor de verschillende aspecten van de technieken beschreven wanneer welke score toegekend wordt. In Figuur 7 wordt het selectie- en evaluatie proces grafisch weergegeven.

Het resultaat van de beoordeling is een overzicht van de meest belovende technieken per specifieke taak.



Figuur 7: Schematische weergave selectie technieken per specifieke taak + waardering

5.2 Voorbehandelingstechnieken

De onderzochte technieken zijn beoordeeld op hun vermogen om zelfstandig een specifieke taak als ontzouting, ontwatering of verwijdering van organische microverontreinigen en GBM uit te voeren. Voor een goede werking zijn in de praktijk echter veelal nog voorbehandelingsstappen nodig. In de onderstaande tabel wordt een omschrijving gegeven van de meest toegepaste voorbehandelingstechnieken voor de technieken beschouwd in de selectie:

Tabel 10: Overzicht voorbehandelingstechnieken

Techniek	Omschrijving
Ultrafiltratie	Verwijdering van zwevende stoffen en micro-organismen (20 nm tot 0,1 μm)
Microfiltratie	Verwijdering van zwevende stoffen en micro-organismen (0,1 μm tot 5 μm)
Zandfilters (*)	Verwijdering van zwevende stoffen
Zeef(bocht)	Verwijdering van grove bestanddelen (2,5 mm tot 50 μm)

(*) Doorgaans wordt vaak gebruik gemaakt van snelle zand filtratie (rapid sand filtration, of te wel RSF)

Op basis van de literatuur is vastgesteld welke mate van voorbehandeling nodig is voor de verschillende technieken. Deze mate van voorbehandeling zal meegewogen worden als onderdeel van de beoordeling van de technieken

5.3 Resultaat voorselectie

Op basis van de factsheets (zie bijlage D) en de beschikbare informatie uit de literatuur zijn de technieken beoordeeld en is een voorselectie gemaakt van technieken die verder geëvalueerd zullen worden.

De selectie vindt plaats per specifiek taak (zie paragraaf 5.1). Per paragraaf zullen de onderstaande punten worden behandeld:

- Beschrijving van het te bereiken doel met de inzet van de technieken;
- Overzichtstabel van de technieken met hierin de toegekende scores per criterium, vermelding van wel/geen verdere beschouwing (inclusief toelichting)

Voor alle technieken is een inschatting gemaakt of zij aan de geformuleerde criteria voldoen. Indien een techniek voldoet aan een criterium wordt hiervoor in de tabellen een + genoteerd, bij niet voldoen wordt een – genoteerd. Enkel technieken die aan alle criteria voldoen zullen verder beschouwd worden. Indien meerdere uitvoeringsvormen van een type techniek aan alle criteria voldoen is een keuze gemaakt voor één van de uitvoeringsvormen.

In de toelichting wordt in het kort onderbouwd waarom er wel of niet voor verdere beschouwing is gekozen. Bij de technieken waarvoor een factsheet kon worden opgesteld wordt voor meer informatie verwezen naar de betreffende factsheet (zie Bijlage D). Indien geen factsheet beschikbaar is wordt middels een literatuur referentie een onderbouwing van de toelichting gegeven.

In de screening zijn de investerings- en operationele kosten van de technieken niet meegenomen, aangezien het hoofddoel is na te gaan welke technieken op (redelijk) korte termijn zelfstandig inzetbaar zijn. De afweging tussen de economische en technische aspecten zal plaats vinden in de techniekbeoordeling.

5.3.1 Technieken voor ontzouting

Concept 1, waterkringloopsluiting door vergaande ontzouting van gietwater berust voornamelijk op het in hoge mate vrijhouden van het water van natrium en chloride om accumulatie en daarmee de noodzaak tot lozing te voorkomen. Het gestelde doel van de onderstaande technieken voor ontzouting is daarom het verwijderen van vooral natrium en chloride uit het ingenomen water. Verwijdering van andere componenten mag hierbij ook plaatsvinden. Belangrijk hierbij is dat de retentie voor zouten hoog dient te zijn, bij voorkeur wordt ook een hoge waterrecovery behaald. In Tabel 11 zijn de resultaten van de voorselectie weergegeven.

Tabel 11: Overzicht technieken voor ontzouting

Type techniek	Uitvoeringsvormen							Toelichting (**)
		Termijn	Ruimte-beslag	Geschikt-heid voor kleine schaal	Herbruik-baarheid	Robuustheid	Beschouwd	
Membraan-filtratie	Voorwaartse osmose	-	+	+	+	+	Nee	Absolute barriere
	Omgekeerde osmose	+	+	+	+	+	Ja (*)	Absolute barriere
	Carbon nano-tube membrane	-	+	+	+	+	Nee (*)	Techniek is nog in fase van fundamentele ontwikkeling
Membraan-destillatie	Membraandestillatie	+	+	+	+	+	Ja	Absolute barriere
Electro-chemisch	Ionen-wisseling (carix)	+	+	+	+	+	Ja	Selectieve ontzouting
	Electrodialyse	+	+	+	+	+	Ja	Selectieve ontzouting
Electro-magnetische scheiding	Capacitieve deionisatie	+	+	+	+	+	Ja	Selectieve ontzouting
	Electrospray	-	+	+	+	+	Nee	Techniek is nog in ontwikkeling
Verdamping	Multiple effect evaporation, Multi stage flash	+	+	-	+	+/-	Nee	Met name voor grote schaal
	Mechanische dampcompressie (MDR)	+	+	+	+	+	Ja	Relatief laag energieverbruik

(*) Biofouling is een aandachtspunt voor deze technieken; echter worden betrouwbaarheid, beheersbaarheid en onderhoudsgevoeligheid positief ingeschat. Overall worden deze technieken daarom als robuust beoordeeld.

(**) Voor de technieken zonder referentievermelding wordt verwezen naar de factsheets

5.3.2 Technieken voor waterterugwinning

Doel van deze technieken is om schoon water te maken en tegelijk daarmee alle componenten te verwijderen uit het restantwater. Bij voorkeur vindt ook desinfectie plaats. Dit is echter niet als selectie criterium gebruikt aangezien voor de geringe restantwaterstroom ook gebruik gemaakt kan worden van de bestaande desinfectie apparatuur voor het drainwater. In Tabel 12 zijn de resultaten van de voorselectie weergegeven.

Tabel 12: Overzicht technieken voor waterterugwinning

Type techniek	Uitvoeringsvormen	Termijn	Ruimte-Beslag	Geschikt voor kleine schaal	Herbruikbaarheid	Robuustheid	Beschouwd	Toelichting (**)
Membraanfiltratie	Voorwaartse osmose	-	+	+	+	+(obv RO)	Nee	Techniek is nog in ontwikkelingsfase
	Omgekeerde osmose	+	+	+	+	+ (*)	Ja	Absolute barriere
	Carbon nano-tube membrane	-	+	+	+	+(obv RO)	Nee	Techniek is nog in fase van fundamentele ontwikkeling
Membraandestillatie	Membraandestillatie	+	+	+	+	+	Ja	Absolute barriere
Verdamping	Multiple effect evaporation, Multi stage flash	+	+	-	+	+/-	Nee	Hoog energieverbruik en met name voor grote schaal
	Mechanische damp recompressie	+	+	+	+	+	Ja	Relatief laag energieverbruik
	Vacuumdestillatie	+	+	-	+	On-bekend	Nee	Met name voor grote schaal [5]
	Zonnedestillatie	+	-	+	+	+	Nee	Groot oppervlakte beslag [5]
Membraandestillatie + kristallatie	Membraandestillatie en kristallatie (MDC)	-	+	+	+	On-bekend	Nee	Techniek is nog in ontwikkeling
Biologische omzetting	Helofytenfilter	+	-	+	-	+/-	Nee	Groot ruimtebeslag en werking seizoensafhankelijk [5]

(*) mits een toereikende voorbehandeling toegepast wordt die biofouling en scaling kan voorkomen/beperken of bij toepassing van periodieke reiniging. Een alternatieve uitvoeringsvorm, die momenteel onderzocht wordt, is verticale RO. Hierbij wordt gebruik gemaakt van luchtinjectie waardoor de gevoeligheid voor fouling mogelijk wordt verminderd.

(**) Voor de technieken zonder referentievermelding wordt verwezen naar de factsheets

De technieken omgekeerde osmose, membraandestillatie en MDR zullen verder beschouwd worden aangezien deze technieken aan alle criteria voldoen.

Voor alle genoemde technieken geldt dat zij ook de nutriënten onttrekken aan het restantwater. Er zal dus nog een aparte nutriënten-terugwinningsstap benodigd zijn.

5.3.3 Technieken voor nutriëntenterugwinning

Concept 3 voor waterkringloopsluiting heeft naast waterterugwinning ook het behouden van nutriënten tot doel. Technieken die hiervoor ingezet kunnen worden zullen in staat moeten zijn om selectief nutriënten terug te winnen uit het restantwater. Hierbij dienen de nutriënten in hun originele vorm teruggewonnen te worden om hergebruik in de kas mogelijk te maken. De overige componenten dienen doorgelaten te worden. In Tabel 13 zijn de resultaten van de voorselectie weergegeven.

Tabel 13: Overzicht technieken voor nutriëntenterugwinning

Type techniek	Uitvoeringsvormen	Termijn	Ruimte-Beslag	Geschiedheid voor kleine schaal	Herbruikbaarheid	Robuustheid	Beschouwd	Toelichting (*)
Electro-chemisch	Ionen-wisseling (carix)	+	+	+	+	+	Ja	Maakt selectieve terugwinning van nutriënten in hun originele vorm mogelijk
	Electrodialyse	+	+	+	+	+	Ja	Selectieve terugwinning van nutriënten in hun originele vorm
Membraanfiltratie	Nanofiltratie	+	+	+	+	+	Ja	Selectieve terugwinning van nutriënten in hun originele vorm
Membraanfiltratie + kristallisatie	Filter assisted crystallization technology (FACT)	+	+	+	-	Onbekend	Nee	Fosfaat wordt in gewijzigde vorm teruggewonnen (precipitaat)
Membraanfiltratie + biologische omzetting	Membraan bio-reactor (MBR/SBR)	+	+	+	-	+	Nee	Fosfaat wordt in gewijzigde vorm teruggewonnen (precipitaat)
Biologische omzetting	Biofiltratie (diverse types)	+	+	+	-	+	Nee	Nutrienten worden opgenomen in het slib van biomassa of gaan verloren via nitrificatie/denitrificatie [46]
Filtratie + adsorptie + biologische omzetting + precipitatie	1step filter	+	+	+	-	+	Nee	Fosfaat wordt in gewijzigde vorm teruggewonnen

Chemische binding	Coagulatie/flocculatie	+	+	+	-	On-bekend	Nee	Vastlegging van fosfaat in vlokken als metaalcomplex
	Electro-coagulatie	+	+	+	-	On-bekend	Nee	Vastlegging van fosfaat in vlokken als metaalcomplex
	Adsorptie	+/-	+	+	+/-	On-bekend	Nee	Inzetbaarheid naar verwachting sterk afhankelijk van type adsorbens

(*) Voor de technieken zonder referentievermelding wordt verwezen naar de factsheets

De technieken FACT, MBR, biofiltratie, 1-stepfilter, coagulatie-flocculatie en electrocoagulatie zullen niet verder beschouwd worden aangezien deze technieken het fosfaat aan andere componenten binden waardoor het fosfaat niet geschikt meer is voor hergebruik in de kas. Hiernaast geldt dat bij MBR, het 1-step filter en biofiltratie ook nitrificatie/denitrificatie plaatsvindt waardoor het nitraat omgezet wordt naar stikstofgas. Hierdoor gaat het nitraat verloren voor hergebruik in de kas. De techniek adsorptie wordt niet verder beschouwd omdat het nog onzeker is of een geschikt adsorbens voor fosfaat binnen 5 jaar inzetbaar zal zijn, in welke mate het fosfaat weer teruggewonnen kan worden uit de adsorbens en welke inspanning/techniek nodig is voor de terugwinning van het fosfaat. Voor de valorisatie (WP6) van de concentraten kunnen de bovengenoemde technieken wel interessant zijn.

Een van de opties is dan om het gebonden fosfaat af te zetten naar derden. Indien nodig kunnen de technieken ook worden ingezet om de nutriënten te verwijderen om zo lozing hiervan te voorkomen.

Vanwege de toepassing voor nutriëntenterugwinning binnen de glastuinbouw is gekozen voor de toepassing van het CARIX-proces. Door het gebruik van CO₂ als regenerant wordt het nutriënten-concentraat niet vervuild met ongewenste stoffen. Dit probleem treedt wel op bij standaard ionenwisseling waarbij bijvoorbeeld KCl als regenerant wordt toegepast, waardoor het nutriëntenconcentraat een te hoog gehalte aan chloride zullen bevatten.

Ionenwisseling (Carix), electrodialyse en nano-filtratie zullen wel verder beschouwd worden. Deze technieken bieden de potentie om selectief de nutriënten terug te winnen in hun originele vorm.

5.3.4 *Technieken voor verwijdering/afbraak OMV en GBM*

Doel van deze technieken is om polaire en apolaire organische componenten te verwijderen uit de waterstroom of deze af te breken. Onder de organische componenten vallen de gewasbeschermingsmiddelen, groeiremmende factoren, wortellexudaten, organische micro-verontreinigen en bio-fouling.

Deze componenten, en dan met name de groeiremmende factoren, vormen een risico voor de teelt van de gewassen en dienen daarom zo vergaand mogelijk verwijderd te worden uit het restantwater indien dit wordt hergebruikt. De effectiviteit voor het verwijderen/afbreken van deze componenten zal daarom een belangrijk criterium vormen voor het wel of niet verder beschouwen van een techniek.

Zandfilters zijn niet opgenomen in deze screening aangezien deze reeds aanwezig zijn binnen het drainwater-recirculatiesysteem. Het is dus mogelijk om het restantwater na zuivering door de zandfilters te leiden. In tabel 14 zijn de resultaten van de voorselectie weergegeven.

Tabel 14: Overzicht technieken voor verwijdering/afbraak organische verontreinigingen

Type techniek	Uitvoeringsvormen	Termijn	Ruimte-Beslag	Geschied-heid voor kleine schaal	Her-bruik-baarheid	Robuustheid	Beschouwd	Toelichting (****)
Oxidatie	Geavanceerde oxidatie processen (AOP) (o.a UV/H2O2 of UV/O3)	+	+	+	+	+	Ja	Vergaande afbraak groeiremmers + geen afvalstoffen; state of the art (*)
	photo-katalytische oxidatie	+	+	+	+	On-bekend	Nee	Minder praktijkervaring vergeleken met AOP
	chemische oxidatie, electrochemische oxidatie	+	+	+	+	On-bekend	Nee	Chemicalien + nabehandeling nodig
	Natte lucht oxidatie	+	+	+	+	On-bekend	Nee	Met name geschikt voor hogere concentraties
	Cavitatie technologie	-	+	+	+	On-bekend	Nee	Techniek is nog zeer experimenteel en in ontwikkeling
Extractie	Vloeistof extractie, pertractie	+	On-bekend	+	+	On-bekend	Nee	Proces dient specifiek voor te verwijderen middelen ontworpen te worden Scheidingsstap naderhand nodig [20]
Membraan-filtratie	Nanofiltratie, voorwaartse osmose, omgekeerde osmose	+	+	+	+	+	Ja	Gelijktijdige verwijdering van overige componenten + desinfectie
	Carbon nano-tube membrane	-	+	+	+	+	Nee	Techniek is nog in fase van fundamenteel onderzoek en ontwikkeling
Membraan-destillatie	Membraandestillatie	+	+	+	+	+	Ja	Mogelijk gelijktijdige verwijdering van overige componenten + desinfectie + mogelijke afbraak OMV
Degradatie met licht	Degradatie met zonlicht	-	-	+	+	+	Nee	Niet mogelijk binnen Nederland door geringe stralingsactiviteit
	UV	+	+	+	+	+	Nee	Minder effectief dan AOP en reeds gangbare techniek (*)
Filtratie + adsorptie	actiefkoolfiltratie, 1-step filter, MAAS, bewegend bed adsorptie	+	+	+	-	+	Nee	Geen significante adsorptie van polaire componenten (***)
Biologische omzetting	Biofiltratie (o.a biobed)	+	+	+	-/+	+	Nee	Onzekerheid over te behalen rendement
Chemische binding	Coagulatie/flocculatie (fysisch)	+	On-bekend	+	+	On-bekend	Nee	Onzekerheid over verwijderingsrendement + robuustheid (**)

(*) Met betrekking tot de oxidatie-technieken en degradatie met UV is besloten om enkel AOP verder te beschouwen aangezien deze techniek de state of the art vormt binnen de glastuinbouw (mede gezien het hier naar lopende onderzoek). Daarnaast beschikken veel glastuinbouwbedrijven over desinfectie met UV waarmee met de combinatie met peroxide dosering tegen relatief geringe kosten de bestaande UV desinfectie naar een AOP proces kan worden veranderd.

(**) Vanwege de onzekerheid over het verwijderingsrendement (en daarmee de benodigde ruimte) en de robuustheid van deze technologie is ervoor gekozen om deze technologie niet verder mee te nemen. Verder (literatuur)onderzoek is nodig om het perspectief van deze techniek in te kunnen schatten.

(***) Inzet van actief koolfiltratie of vergelijkbare technieken als laatste zuiveringstap kan zeer nuttig zijn. Een voorbeeld hiervan is inzet na AOP; de na-filtratie wordt dan ingezet om ook de nog achtergebleven componenten af te vangen.

(****) Voor de technieken zonder referentievermelding wordt verwezen naar de factsheets

Een deel van de gewasbeschermingsmiddelen bevindt zich na de behandeling van de gewassen in de lucht in de kas. Uit een studie door Riza [58] blijkt het volgende:

“Vlak na een ruimtebehandeling worden aan de lizijde van de kas hoge concentraties in de lucht gemeten (TNO, Duyzer *et al.*, 2004). De metingen en modelberekeningen laten zien dat in de directe omgeving van de kas na toepassing in de kas hoge concentraties gewasbeschermingsmiddelen in de lucht voorkomen. Deze kunnen aanleiding geven tot hoge concentraties in het oppervlaktewater in de directe omgeving (Arcadis, 1999).”

Een mogelijke oplossing voor deze problematiek kan liggen in het toepassen van technieken die water terugwinnen uit de waterdamp in de kas middels condensatie. Hierbij worden (mogelijk) ook de gewasbeschermingsmiddelen in de lucht afgevangen (deze worden dan opgenomen/meegenomen in het gecondenseerde water). Eén van de technieken die hiervoor ingezet kan worden is de Dutch Rainmaker [48].

5.4 Beschrijving waarderingssysteem

Zoals beschreven in paragraaf 5.1 zijn de technieken per deelactiviteit gewaardeerd op basis van hun technische aspecten en prestatiekenmerken. In onderstaande paragraaf worden aspecten die algemeen zijn, zoals kosten en voorbehandeling behandeld. De aspecten die specifiek gelden voor een bepaalde deelactiviteit worden in de betreffende paragraaf behandeld.

Algemene opmerking: in dit rapport worden de technieken beoordeeld op de criteria met behulp van kwalitatieve waardering in de vorm van de tekens (++/+0/-/-) en soms met percentages. Deze zijn gebaseerd op literatuur en expertopinie. Het kan zijn dat literatuurbronnen die ook deze methodiek gebruiken verschillend omgaan met de kwalitatieve invulling.

Voorbehandeling

Een belangrijk verschil tussen de verscheidene technieken is de mate van voorbehandeling die benodigd is. Een techniek waarbij een uitgebreide voorbehandeling nodig is leidt tot een groter ruimtebeslag en een complexer systeem.

De kosten voor de voorbehandeling zijn opgenomen in de totale operatiekosten en zijn dus niet meegenomen in de beoordeling van het aspect “voorbehandeling”.

De waardering voor de voorbehandeling vindt als volgt plaats:

Voorbehandeling nodig middels UF/RSF scoort -

Voorbehandeling nodig middels RSF scoort 0

Voorbehandeling nodig middels zeefbocht en vergelijkbaar scoort +

Kosten

De technieken worden ook beoordeeld op hun verwachte kosten. Deze kosten omvatten de volgende onderdelen:

- Operationele kosten (energie, chemicaliën, onderhoud hardware)
- Kapitaallasten (investeringskosten en afschrijvingstermijn)

In de kosten zijn ook de kosten van de bijbehorende voorbehandeling meegenomen. In bijlage I wordt beschreven op welke wijze de kosten bepaald zijn.

De kosten van de benodigde voorbehandeling worden per deelactiviteit beoordeeld. Hierbij worden de kosten van de in aanmerking komende technieken onderling en op relatieve basis vergeleken. Voor de waardering worden daartoe de kosten in categorieën van vergelijkbare waarden ingedeeld, zijnde:

- Categorie 1: laagste kosten (in €/m³ output), betreft dus het 0-niveau
- Categorie 2: kosten bedragen 0-0,20 €/m³ output meer dan categorie 1
- Categorie 3: kosten bedragen 0,20-0,40 €/m³ output meer dan categorie 1
- Categorie 4: kosten bedragen 0,40-0,60 €/m³ output meer dan categorie 1
- Categorie 5: Alle kosten hoger dan categorie 4

Op basis van de categorie worden de technieken van een score voorzien:

- Kosten in categorie 1 scoren ++
- Kosten in categorie 2 scoren +
- Kosten in categorie 3 scoren 0
- Kosten in categorie 4 scoren –
- Kosten in categorie 5 scoren --

5.5 Beoordeling geselecteerde technieken voor ontzouting

5.5.1 Beoordelingscriteria en waarderingsmethode

De beoordeling van de technieken voor ontzouting van de ingenomen waterstromen vindt plaats op basis van de onderstaande criteria:

- Recovery water
- Retentie zout (Na, Cl)
- Kosten

De kosten worden gewaardeerd zoals beschreven in paragraaf 5.4.

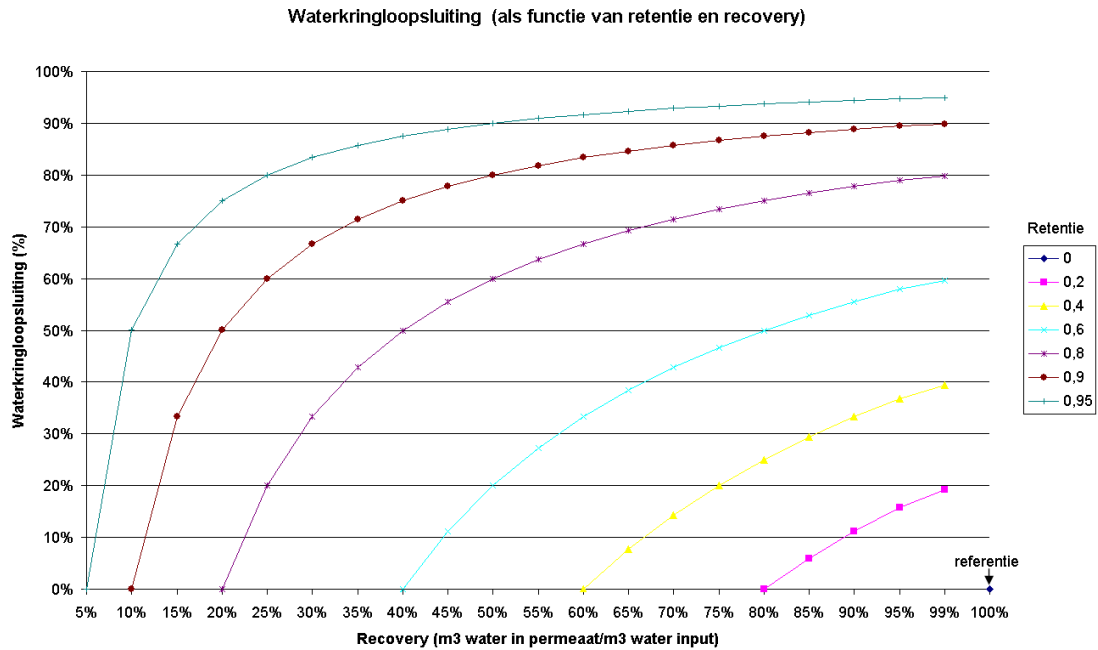
Het aspect voorbehandeling wordt niet gewaardeerd aangezien verwacht wordt dat geen voorbehandeling van het ingenomen water nodig is, gezien de lage concentratie aan verontreinigingen.

De retentie van de overige componenten (nutriënten, OMV, GBM) wordt niet gewaardeerd omdat verwacht wordt dat deze elementen niet aanwezig zijn in het ingenomen water.

Recovery en retentie en effect op waterkringloopsluiting

De recovery van een waterterugwinningstechniek wordt hier gedefinieerd als de hoeveelheid schoonwater die kan worden teruggewonnen uit een bepaalde hoeveel spuiwater. De retentie is de mate van het tegenhouden van stoffen door de techniek zodat ze achterblijven in het spuiwater. Recovery en retentie hebben in veel scheidingsprocessen een nauwe samenhang, maar zijn niet per definitie aan elkaar verbonden. Bijvoorbeeld bij destillatieprocessen is de recovery de mate van waterverwijdering door verdamping terwijl de opgeloste zouten niet vluchtig zijn en volledig achterblijven en daarmee dus de retentie 100% is.

De criteria voor recovery en retentie die hier worden gehanteerd zijn gebaseerd op het effect dat deze hebben op de vermindering van de noodzaak tot spuien. Figuur 8 geeft de mate van waterkringloopsluiting weer als functie van retentie en recovery. Hierbij is bij 100% een volledige waterkringloopsluiting bereikt en wordt er geen spuiwater meer geloosd. Hierbij is ook te zien dat in theorie een gesloten waterkringloop alleen bij zeer hoge recoveries van het water en retenties van de ongewenste stoffen kan worden bereikt.



Figuur 8: Mate van waterkringloopsluiting als functie van retentie (0-1) en recovery (0-100%)

De recovery van water en de (gelijktijdige) retentie van zouten bepalen samen de hoeveelheid water en natrium die aan het systeem worden toegevoegd. Dit bepaalt uiteindelijk de mate van waterkringloopsluiting. Voor de beoordeling van de technieken op hun potentieel voor waterkringloopsluiting worden de volgende criteria gebruikt:

- Een waterkringloopsluiting van 90% of hoger scoort ++ (1/10^e van normale spui)
- Een waterkringloopsluiting van 75-90% scoort + (1/4 tot 1/10^e van normale spui)
- Een waterkringloopsluiting van 50-75% scoort 0 (1/2 tot 1/4 van normale spui)
- Een waterkringloopsluiting van 25-50% scoort - (3/4 tot 1/2 van normale spui)
- Een waterkringloopsluiting van <25% scoort - (meer dan 3/4 van normale spui)

5.5.2 Kenmerken in aanmerking komende technieken

In Tabel 15 worden van de geselecteerde technieken de belangrijkste kenmerken vermeld.

Tabel 15: Kenmerken in aanmerking komende technieken voor ontzouting van gietwater

Techniek	E-verbruik (kWh/m ³)	Inschatting operatiekosten inclusief onderhoud en kapitaallasten (€/m ³) (*)	Recovery (%)	Retentie éénwaardige ionen (Na, K, Cl)
Omgekeerde osmose	1-3	0,5-0,6	50-80%	99%
Membraandestillatie	87-192 kWh thermisch/m ³)	0,55 -0,9 (90% recovery) (**)	10-90%	99,99%
Ionen-wisseling (Carix)	0,3-0,4	0,30	>95% (*)	++
Electrodialyse	0,1-2	0,5	95%	99%
Capacitieve de-ionisatie	zeewater (4,2-10,5) brak water (0,05-0,1)	Niet in detail bekend (***)	80-90%	++
Mechanische damp-recompressie	17,6 – 19,2	2,7 – 2,9	99%	++

(*) De kosten voor membraandestillatie (bij een recovery van 90%) en mechanische damprecompressie worden met name bepaald door de kosten voor energie. Bij ionen-wisseling liggen de kosten met name bij de chemicaliën en de harsen. Bij electrodialyse zijn de kapitaallasten dominant. Voor omgekeerde osmose geldt dat de kapitaallasten en overige operatiekosten vrijwel in evenwicht zijn. Voor capacitatieve deionisatie kon nog geen inschatting gemaakt worden.

(**) op basis van inzet van restwarmte van 0,8 €/GJ (zie paragraaf 5.6.3)

(***) Naar verwachting liggen de kosten van capacitieve de-ionisatie nu nog boven de kosten voor RO; op termijn zullen de kosten waarschijnlijk sterk dalen als gevolg van verder ontwikkeling en schaalvergroting.

5.5.3 *Vergelijking en selectie*

Van de geselecteerde technieken bieden met name ionen-wisseling en electrolyse goede perspectieven voor verder onderzoek en ontwikkeling om vergaande ontzouting van het ingenomen water te bereiken. (Tabel 16). Omgekeerde osmose wordt reeds toegepast op het ontzouten van grondwater, verder onderzoek naar de inzet hiervan op het ingenomen water is daarom niet benodigd.

Tabel 16: Waardering technieken voor ontzouting van gietwater

Techniek	Waterkringloop-sluiting	Kosten
Omgekeerde osmose	++	+
Membraandestillatie	++	0
Ionen-wisseling (Carix) (*)	++	++
Electrodialyse	++	+
Capacitieve de-ionisatie	++	>RO (-)
Mechanische damp-recompressie	++	--

(*) Naar verwachting is het mogelijk om met ionenwisseling ontzouting van het gietwater te bewerkstelligen, aangezien het gietwater (nog grotendeels) vrij zal zijn van nutriënten en tweewaardige zouten. Het natrium en chloride kan respectievelijk tegen H⁺ en OH⁻ worden uitgewisseld. Aanvullend onderzoek is nodig om te bepalen welke prestatie in de praktijk behaald kan worden en of hier eventueel nog aanpassingen in het systeem voor nodig zijn.

5.5.4 *Onderzoeksvragen*

De belangrijkste onderzoeksvragen voor ionen-wisseling, omgekeerde osmose en electrolyse zijn als volgt:

- Welke recovery en retentie kunnen in de praktijk behaald worden?
- Kan spui geheel worden voorkomen met alleen ontzouting van de ingaande waterstromen?
- Is eventueel ontzouting van drainwater noodzakelijk?
- Wat zijn de voornaamste bronnen van natrium accumulatie?
- Welke onderhoudsgevoeligheid kennen de technieken?

5.6 **Beoordeling geselecteerde technieken voor waterterugwinning**

5.6.1 *Beoordelingscriteria en waarderingmethode*

De beoordeling van de technieken voor waterterugwinning vindt plaats op basis van de onderstaande criteria:

- Recovery
- Retentie zouten en nutriënten
- Retentie van OMV (inclusief GBM)
- Voorbehandeling
- Kosten

Voorbehandeling en kosten worden gewaardeerd zoals beschreven in paragraaf 5.4.

De desinfecterende werking van de technieken is niet beoordeeld, omdat desinfectie middels de bestaande apparatuur mogelijk is gezien de geringe hoeveelheid restantwater.

Zoals beschreven in paragraaf 5.5.1 bepaalt de combinatie van de recovery en retentie de mate van waterkringloopsluiting. Voor waterterugwinning wordt daarom hetzelfde waarderingsysteem toegepast als voor ontzouting, zijnde:

- Een waterkringloopsluiting van 90% of hoger scoort ++
- Een waterkringloopsluiting van 75-90% scoort +
- Een waterkringloopsluiting van 50-75% scoort 0
- Een waterkringloopsluiting van 25-50% scoort –
- Een waterkringloopsluiting van <25% scoort –

Retentie van OMV en GBM

Het doel bij waterterugwinning is om alle componenten tegen te houden. De retentie van OMV en GBM is daarom ook meegenomen in de beoordeling. Er is daarom gekozen voor de onderstaande waarderingsmethode:

- Een techniek die OMV en GBM doorlaat scoort -
- Een techniek die OMV en GBM tegenhoudt scoort +

5.6.2 Kenmerken in aanmerking komende technieken

Uit de selectie komen voor waterverwijdering de volgende technieken; voorwaartse osmose, omgekeerde osmose, membraandestillatie en mechanische damprecompressie. De kenmerken van deze technieken zijn vermeld in de factsheets (bijlage D) en zijn in een overzicht ook in Tabel 17 weergegeven.

Tabel 17: Kenmerken in aanmerking komende technieken voor waterterugwinning uit drainwater

Techniek	E-verbruik (kWh/m ³)	Voor-behandeling	Recovery*	Retentie één-waardige ionen (Na, K, Cl)	Retentie twee-waardige ionen (2-3 waardig)	Retentie nitraat	Retentie fosfaat	Inschatting operationele kosten inclusief onderhoud en kapitaallasten (€/m ³)**
Omgekeerde osmose	1-3	UF/RSF	50-80%	99%	99%	95%	++	0,5-0,7
Membraan-destillatie	87-192 kWh thermisch/m ³)	RSF	10-90%	99,99%	99,99%	++	++	0,55 -0,90 (90% recovery) (***)
Mechanische damp-recompressie	17,6 – 19,2	RSF	50 - 99%	++	++	++	+	2,7 – 2,85

Techniek	Retentie OMV en GBM (polair)	Retentie OMV en GBM (apolair)
Omgekeerde osmose	++	++
Membraan-destillatie	++	++
Mechanische damp-recompressie	--	--

* de recovery die wordt vermeld betreft een bereik. Over het algemeen wordt gewerkt met lage recoveries. Verder staat de verwachte bovengrens vermeld.

** de vermelde kosten zijn betrokken op zowel de gangbare recoveries als de verwachte bovengrens en bedoeld om een indicatieve prijsrange aan te geven. Qua kosten geldt dat voor omgekeerde osmose de kapitaallasten en de overige operatiekosten vrijwel in evenwicht zijn. Bij membraandestillatie (bij een recovery van 90%) en mechanische damprecompressie zijn de kosten voor energie dominant. De recovery bij omgekeerde osmose is naar verwachting beperkt doordat bij concentrering de osmotische druk sterk zal oplopen en beperkend zal zijn voor de maximale recovery. Membraandestillatie en damprecompressie hebben geen last van osmotische effecten bij vergaande concentrering en zullen daarom naar verwachting in staat zijn hogere recoveries te halen. Wel dienen bij membraandestillatie effecten van kristallisatie op de werking te worden onderzocht. Indampingstechnieken kunnen voorzieningen hebben voor indampen tot geconcentreerde slurries.

(***) op basis van de inzet van restwarmte met een prijs van 0,8 €/GJ (zie paragraaf 5.6.3)

5.6.3 Vergelijking en selectie

De geselecteerde technieken voor waterterugwinning zijn beoordeeld op hun kenmerken voor de gekozen criteria aan de hand van het waarderingssysteem. In Tabel 18 zijn de resultaten van de beoordeling weergegeven.

Tabel 18: Waardering van technieken voor waterterugwinning uit restantwater

Techniek	Waterkringloop-sluiting (*)	Retentie OMV en GBM	Voorbe-handeling	Kosten
Omgekeerde osmose	++	++	-	++
Membraandestillatie	++	++	0	+
Mechanische damp-recompressie	++	0	0	--

* De waardering van de waterkringloopsluiting is gebaseerd op de verwachte bovengrens voor de recovery omdat waterterugwinning hoofdoel is van de inzet van de betreffende techniek en het onderzoek in het project zich zal richten op het maximaliseren hiervan.

Van de geselecteerde technieken bieden membraandestillatie en omgekeerde osmose goede perspectieven voor verder onderzoek en ontwikkeling om waterterugwinning uit restantwater te bereiken. Hierbij is aangenomen dat warmte uit warmtekrachtkoppeling met een prijs van 0,8 €/GJ beschikbaar is voor gebruik in de membraandestillatie. Deze kostprijs is gebaseerd op warmte die vrijkomt bij cogeneratie (= warmtekrachtkoppeling) [1] en is hiermee duurder dan restwarmte (van derden of warmte die anders weggekoeld zou moeten worden). Er is hier dus al met hogere kosten ten opzichte van de inzet van restwarmte rekening gehouden. Hiernaast kan de tuinder zijn WKK inzetten om zo naast warmte ook electriciteit te verkrijgen welke vervolgens verkocht kan worden. Hierdoor zullen de kosten voor warmte in sterke mate beperkt worden.

Op het moment is het nog onvoldoende duidelijk in welke mate restwarmte beschikbaar is binnen de glastuinbouw. Ook geldt dat de beschikbare restwarmte mogelijk op een andere wijze ingezet kan worden. Een voorbeeld hiervan zou de inzet van laagwaardere warmte voor ruimteverwarming zijn, waardoor de hoogwaardige warmte (eerst) voor andere doelen ingezet kan worden. Een separaat onderzoek naar de warmtebalans en de mogelijkheden voor optimalisatie van de inzet van restwarmte kan zeer nuttig zijn voor de branche.

Membraandestillatie wordt bedreven op hogere temperatuur. Door toepassing van warmteterugwinning bedraagt het temperatuurverschil tussen het ingaande water en het uitgaande water slechts enkele graden. In bijlage H wordt het effect van membraandestillatie op het temperatuurniveau van het restantwater in detail beschreven.

5.6.4 Onderzoeksvragen

De belangrijkste onderzoeksvragen voor omgekeerde osmose en membraandestillatie zijn als volgt:

- Welke recovery is in de praktijk haalbaar?
- Welke mate van concentrering is in de praktijk mogelijk met het restantwater van glastuinbouw bedrijven (gezien het risico op precipitatie van zouten)? Wat zouden mogelijkheden zijn om precipitatie tegen te gaan.
- Welke retentie wordt in de praktijk behaald?
- Welke onderhoudsgevoeligheid kennen de technieken?
- Wat zijn de kostenverwachtingen?

5.7 Beoordeling geselecteerde technieken voor nutriëntenterugwinning

5.7.1 Beoordelingscriteria en waarderingsmethode

De beoordeling van de technieken voor nutriëntenterugwinning vindt plaats op basis van de onderstaande criteria:

- Terugwinning nitraat
- Terugwinning fosfaat
- Terugwinning twee- en meerwaardige ionen
- Doorlaatbaarheid voor eenwaardige ionen (o.a. Na^+)
- Effect op OMV
- Voorbehandeling
- Kosten

Voorbehandeling en kosten worden gewaardeerd zoals beschreven in paragraaf 5.4

Terugwinning nitraat

De beoordeling van de terugwinning van nitraat is gebaseerd op de mate waarin nitraat wordt teruggewonnen.

De technieken met de hoogste waarde scoren ++

De technieken met de een-na hoogste waarde scoren +

De technieken met de twee-na hoogste waarde scoren 0

De technieken met de drie-na hoogste waarde scoren –

De technieken met een lagere waarde dan drie-na hoogste scoren –

Terugwinning fosfaat

De beoordeling van de terugwinning van fosfaat is gebaseerd op de mate waarin fosfaat wordt teruggewonnen.

De technieken met de hoogste waarde scoren ++

De technieken met de een-na hoogste waarde scoren +

De technieken met de twee-na hoogste waarde scoren 0

De technieken met de drie-na hoogste waarde scoren –

De technieken met een lagere waarde dan drie-na hoogste scoren –

Terugwinning twee- en meerwaardige zouten

De beoordeling van de terugwinning van de twee- en meerwaardige zouten is gebaseerd op de mate waarin deze worden teruggewonnen.

- De technieken met de hoogste waarde scoren ++
- De technieken met de een-na hoogste waarde scoren +
- De technieken met de twee-na hoogste waarde scoren 0
- De technieken met de drie-na hoogste waarde scoren –
- De technieken met een lagere waarde dan drie-na hoogste scoren –

Doorlaatbaarheid voor eenwaardige ionen

Naast de gewenste functie van terugwinning van nutriënten, meestal meerwaardige ionen, is het mogelijk dat de technieken ook een bepaalde retentie van eenwaardige ionen (Na, K, Cl) kennen. Deze retentie heeft als belangrijk nadeel dat hiermee natrium in het systeem wordt gehouden dan wel weer terug in het systeem wordt gebracht. Afhankelijk van het concept voor waterkringloopsluiting en op welke manier wordt omgegaan met de inpassing van nutriëntenterugwinning. Hiermee wordt de mate van waterkringloopsluiting die kan worden bereikt beperkt.

Voor de sierteeltgewassen roos en gerbera zal ook de retentie van chloride een belangrijk rol spelen aangezien de watergift voor deze gewassen bij voorkeur chloride vrij is. Voor de groentegewassen paprika en tomaat is chloride geen aandachtspunt.

Voor de waardering is gewerkt met een doorlaatbaarheid voor de eenwaardige zouten, wat gelijk staat aan 1 - retentie.

De doorlaatbaarheid voor natrium en chloride zullen beiden beoordeeld worden.

Aangezien voor alle vier gewassen natrium zo ver mogelijk verwijderd dient te worden uit het restantwater zullen hiervoor bij de waardering van technieken strengere criteria worden aangehouden. De waardering voor de doorlaatbaarheid voor chloride is relatief minder strikt.

Een doorlaatbaarheid voor natrium van 87,5-100% scoort ++

Een doorlaatbaarheid voor natrium van 75-87,5% scoort +

Een doorlaatbaarheid voor natrium van 62,5-75% scoort 0

Een doorlaatbaarheid voor natrium van 50-62,5% scoort -

Een doorlaatbaarheid voor natrium van <50% scoort --

Een doorlaatbaarheid voor chloride van 80-100% scoort ++

Een doorlaatbaarheid voor chloride van 60-80% scoort +

Een doorlaatbaarheid voor chloride van 40-60% scoort 0

Een doorlaatbaarheid voor chloride van 20-40% scoort -

Een doorlaatbaarheid voor chloride van <20% scoort --

Effect op OMV

Het doel van de technieken is om selectief nutriënten terug te winnen uit het restantwater. Hierbij moet voorkomen worden dat de groeiremmende factoren ook afgescheiden worden naar het nutriëntenconcentraat aangezien terugvoer hiervan leidt tot risico voor het gewas en dus de noodzaak voor frequenter spuien. Er is daarom gekozen voor de onderstaande waarderingsmethode.

Een techniek die OMV doorlaat scoort + (nutriëntconcentraat blijft vrij van groeiremmende factoren)

Een techniek die OMV tegenhoudt scoort - (concentraat bevat dan naast nutriënten ook groeiremmende factoren)

5.7.2 Kenmerken in aanmerking komende technieken

Tabel 19: Kenmerken in aanmerking komende technieken voor nutriëntenterugwinning uit drainwater

Techniek	Voor-behandeling	Verwijdering OMV benodigd	E-verbruik (kWh/m ³)	Inschatting operationele kosten inclusief onderhoud en kapitaallasten (€/m ³) (*)
Ionen-wisseling (Carix)	RSF	Nee	0,3-0,4	0,30
Electrodialyse	RSF	Nee	0,1-2	0,5
Nano-filtratie	UF/RSF	ja	1-3	0,5-0,7

Techniek	Doorlaatbaarheid voor natrium	Doorlaatbaarheid voor chloride	Terugwinning ionen (2-3 waardig)	Terugwinning nitraat	Terugwinning fosfaat	Opmerkingen
Ionen-wisseling (Carix)	Gemiddeld(**)	Relatief hoog (**)	76-90%	72%	+	
Electrodialyse	100%	51%	16-32%	69%	0%	Fosfaat-terugwinning enkel mogelijk met ijzerzout
Nano-filtratie	30-40%	40%	++	50%	++	

(*) Bij ionenwisseling komen de kosten met name voort uit de kosten voor chemicaliën en de harsen. Bij electro-dialyse zijn de kapitaallasten dominant. Bij nanofiltratie zijn de kapitaallasten en de overige operatiekosten vrijwel in evenwicht.

(**) De retentie van natrium en chloride door ionen-wisseling (waarbij de keuze qua harsen etc gericht is op nutriëntenterugwinning) is afhankelijk van het verschil in selectiviteit voor de eenwaardige zouten en voor de overige componenten. Hiernaast is ook de concentratie van de verschillende componenten bepalend. De selectiviteit van de veel toegepaste harsen ligt voor nitraat is circa 3 keer zo hoog als voor chloride. Gezien de hoge concentraties van nitraat en de lage concentratie van chloride in het restantwater wordt daarom verwacht dat de doorlaatbaarheid voor chloride hoog zal zijn. Voor natrium, calcium en magnesium geldt dat de selectiviteit en concentraties minder ver uiteen liggen. Naar verwachting zal daarom de doorlaatbaarheid voor natrium lager liggen dan voor chloride. Praktijkproeven zullen nodig zijn om de precieze waarde voor de retentie van de verschillende componenten vast te stellen.

5.7.3 Vergelijking en selectie

De geselecteerde technieken voor nutriëntenterugwinning zijn beoordeeld op hun kenmerken voor de gekozen criteria aan de hand van het waarderingssysteem. In Tabel 20 zijn de resultaten van de beoordeling weergegeven.

Tabel 20: Waardering technieken voor nutriëntenterugwinning uit drainwater

Techniek	Voor-behandeling	Terug-winning NO ₃	Terug-winning P	Terugwinning twee- en meerwaardige ionen	Doorlaat-baarheid voor natrium	Doorlaat-baarheid voor chloride	Effect op OMV	Kosten
Ionen-wisseling (Carix)	0	++	+	++	0	+ / ++	+	+
Electrodialyse	0	+	0	+	++	0	+	0/+
Nano-filtratie	-	0	++	++	--	0	-	-

Van de geselecteerde technieken bieden met name ionenwisseling en electrodialyse goede perspectieven voor verder onderzoek en ontwikkeling om waterterugwinning uit restantwater te bereiken. Nano-filtratie kent een slecht perspectief voor inzet voor nutriëntenterugwinning aangezien met name natrium en ook de groeiremmers ook worden tegengehouden.

5.7.4 Onderzoeksvragen

De belangrijkste onderzoeksvragen voor ionen-uitwisseling en electrodialyse zijn als volgt:

- Welke terugwinning van de nutriënten is in de praktijk haalbaar?
- Welke retentie kennen beide technieken voor natrium en chloride?
- Welke onderhoudsgevoeligheid kennen de technieken?

5.8 Beoordeling geselecteerde technieken voor verwijdering/afbraak OMV en GBM

5.8.1 Beoordelingscriteria en waarderingmethode

De criteria gebruikt voor beoordeling van de technieken voor de verwijdering/afbraak van OMV en GBM zijn:

- Selectiviteit (afbraak OMV/GBM versus afscheiding van alle componenten)
- Verwijderingsprestatie (polaire en/of apolaire OMV en GBM)
- Afhankelijkheid van voorbehandeling
- Kosten

Voorbehandeling en kosten worden gewaardeerd zoals beschreven in paragraaf 5.4.

Selectiviteit

Het overzicht van geselecteerde technieken (zie paragraaf 5.3.4) laat twee benaderingen voor het verwijderen van de OMV en GBM zien:

- selectieve afbraak van OMV en GBM
- verwijdering door het concentreren in het restantwater door middel van afscheiden van schoon water (ontwatering).

In Tabel 21 zijn de voor- en nadelen van deze twee benaderingen opgenomen:

Tabel 21: Voor- en nadelen van de benaderingen voor verwijdering/afbraak van OMV

Benadering	Voordelen	Nadelen
Selectieve afbraak van OMV en GBM	+ groeiremmende factoren en GBM worden in grote mate afgebroken + overige bestandsdelen in het restantwater worden niet beïnvloed + indien groeiremming enige reden voor spuien is kan hiermee snel en goedkoop hergebruik mogelijk worden gemaakt	- Afbraak OMV is mogelijk niet 100% (mogelijk nabehandeling nodig)
Verwijdering van OMV en GBM door waterafscheiding	+ door absolute barriere zal permeaat OMV-vrij zijn + voor groeiremmers is afscheiding ook toegestaan (deze kunnen zonder problemen geloosd worden)	- Verplaatsing probleem met betrekking tot GBM: tijdens de valorisatie zal alsnog afvoer of afbraak plaats moeten vinden om lozingen van gewasbeschermingsmiddelen te voorkomen (*)

(*) Afscheiding van de groeiremmende factoren vormt geen probleem. Deze stoffen mogen wel geloosd worden.

Tabel 21 laat zien dat selectieve afbraak meerdere voordelen kent ten opzichte van de verwijdering van OMV en GBM door waterafscheiding.

Een belangrijk nadeel van verwijdering van GBM door concentrering met behulp van waterafscheiding is dat alsnog afvoer van dit concentraat zal moeten plaatsvinden of dat afbraak plaats zal moeten vinden als er bijvoorbeeld een valorisatiestap gewenst is van de stroom waarin de GBM zich bevindt. Er zullen dan alsnog kosten gemaakt moeten worden voor de inzet van destructietechnieken.

Op basis van de bovenstaande afweging wordt de selectiviteit van de technieken als volgt beoordeeld:

Afbraak van OMV en GBM scoort +
Verwijdering van OMV en GBM scoort -

Verwijderingsprestatie

De beoordeling van de prestatie is gebaseerd op de mate waarin zowel polaire als ook apolaire OMV en GBM) worden verwijderd. De waardes voor de afbraak/verwijdering van polaire en apolaire OMV en GBM worden hierbij opgeteld. Op basis van deze totaalwaarde worden de technieken gewaardeerd en in een vijftal waarderingsklassen ondergebracht, zoals hieronder beschreven.

De technieken met de hoogste waarde scoren ++

De technieken met de een-na hoogste waarde scoren +

De technieken met de twee-na hoogste waarde scoren 0

De technieken met de drie-na hoogste waarde scoren –

De technieken met een lagere waarde dan drie-na hoogste scoren –

5.8.2 Kenmerken in aanmerking komende technieken

Uit de selectie zijn de volgende technieken voor verwijdering/afbraak van OMV en GBM naar voren gekomen: geavanceerde oxidatie-processen, nano-filtratie, voorwaartse osmose, omgekeerde osmose en membraandestillatie. De kenmerken van deze technieken zijn apart vermeld in de factsheets in bijlage D en zijn in een overzicht in Tabel 22 weergegeven.

Tabel 22: Kenmerken in aanmerking komende technieken voor verwijdering/afbraak polaire en apolaire organische micro-verontreinigingen

Techniek	E-verbruik (kwh/m ³)	Voor-behandeling	Inschatting operationele kosten inclusief onderhoud en kapitaallasten (€/m ³) (*)	Selectiviteit	Verwijdering OMV en GBM (polair)	Verwijdering OMV en GBM (apolair)
Geavanceerde oxidatie-processen (AOP)	1,5	UF/RSF	0,90 (**)	Specifiek gericht op oxideren groeiremmers (effect op GBM geringer)	++ (***)	++ (***)
Nano-filtratie	1-3	UF/RSF	0,4-0,5 (50% recovery)	Verwijdering OMV en GBM door afscheiding van water (geen afbraak)	+	+
Voorwaartse osmose	0,84	UF/RSF	0,6-0,9 (50-95% recovery)		++	++
Omgekeerde osmose	1-3	UF/RSF	0,4-0,5 (50% recovery)		++	++
Membraandestillatie	87-192 kWh thermisch/m ³ (90% recovery)	RSF	0,55 -0,90 (90% recovery)	Verwijdering OMV en GBM door afscheiding van water Mogelijke gedeeltelijke afbraak OMV en/of GBM door verhoogde temperatuur	++	++

(*) De kosten van AOP worden vrijwel in gelijke mate bepaald door de kapitaallasten en de overige operatiekosten. Bij membraandestillatie (bij een recovery van 90%) worden de kosten met name bepaald door de kosten voor energie. Bij nano-filtratie, omgekeerde osmose en voorwaartse osmose zijn de kapitaallasten en de overige operatiekosten vrijwel in evenwicht.

(**) Op basis van een geheel AOP systeem (incl. H₂O₂ dosering + UV-lampen). Indien reeds UV-ontsmetting aanwezig is enkel toevoeging van H₂O₂ dosering nodig en zullen de nog benodigde investeringskosten dalen. Wanneer ontsmetting plaats vindt middels verhitting is aankoop van het gehele AOP-systeem benodigd en kunnen meerkosten volgen in verband met het ontmantelen van de verhittingsinstallatie.

(**) Naar verwachting is AOP geschikt voor de afbraak van groeiremmende factoren. De mate van afbraak van gewasbeschermingsmiddelen is mogelijk geringer (andere noodzakelijke dosering), aanvullend onderzoek is noodzakelijk om de prestatie precies vast te stellen.

5.8.3 Vergelijking en selectie

De geselecteerde technieken voor de verwijdering/afbraak van OMV en GBM zijn aan de hand van het waarderingssysteem en de gekozen criteria beoordeeld. In Tabel 23 zijn de resultaten van de beoordeling weergegeven.

Tabel 23: Waardering technieken voor afbraak/verwijdering van polaire en apolaire organische microverontreinigingen

Techniek	Voor-behandeling	Selectiviteit	Prestatie	Kosten (*)
Geavanceerde oxidatie-Processen (AOP)	- (**)	+	++	0
Nano-filtratie	-	-	+	++
Voorwaartse osmose	-	-	++	0
Omgekeerde osmose	-	-	++	++
Membraandestillatie	0	0 (***)	++	0 (****)

(*) Bij de waardering van kosten moet worden opgemerkt dat de kosten van de technieken voor afbraak en verwijdering niet goed onderling vergeleken kunnen worden. Bij technieken die zorgen voor afscheiding van GBM vindt verplaatsing van het probleem plaats naar het concentraat. Deze stroom zal moeten worden opgewerkt of afgevoerd wat kosten met zich meebrengt terwijl technieken waarbij sprake is van afbraak dit niet kennen. Hierbij geldt wel dat afbraak/verwijdering van GBM uit het concentraat mogelijk efficiënter/goedkoper kan zijn vanwege de hogere concentratie die aanwezig is.

(**) Troebelheid als gevolg van gebruikt substraat of ijzerchelaat kan extra voorbehandeling vragen.

(***) Mogelijk vindt bij membraandestillatie (gedeeltelijke) afbraak plaats van de OMV/GBM als gevolg van de verhoogde temperatuur. Hierbij kunnen mogelijk vluchtige stoffen ontstaan die niet door het membraan tegengehouden worden. Experimenteel onderzoek is benodigd om vast te stellen of dit effect aanwezig is en zo ja, in welke mate dit optreedt. Afhankelijk van de mate van productie van vluchtige stoffen kan ook gekeken worden naar hoe deze productie verminderd kan worden.

(****) op basis van restwarmte met een prijs van 0,8 €/GJ. (zie paragraaf 5.6.3)

Uit Tabel 23 blijkt dat voor de verwijdering van OMV en GBM onderzoek naar de inzet van AOP, RO of membraandestillatie goede perspectieven biedt. Met betrekking tot AOP dient gekeken te worden naar de mate waarin gewasbeschermingsmiddelen en groeiremmende factoren afgebroken kunnen worden. Met betrekking tot RO en membraandestillatie dient gekeken te worden naar het totaal aan kosten wat gemaakt zal moeten worden voor de inzet van de techniek en de afbraak van GBM in een losse stap.

Binnen WP1 wordt reeds gekeken naar het effect van AOP op groeiremming. Hierbij wordt niet gekeken naar de mate waarin gewasbeschermingsmiddelen afgebroken kunnen worden. In een parallel project is de afbraak van GBM onderzocht. Uit de resultaten mag verwacht worden dat een doseringsadvies kan worden geleverd. Binnen WP6 zal nadrukkelijk worden gekeken naar de verwijdering van GBM/OMV uit het concentraat of te lozen afvalwater. In dit kader zal AOP dan ook uitvoerig worden onderzocht. Om deze reden wordt voorgesteld om onderzoek uit te voeren naar de mate waarin omgekeerde osmose en membraandestillatie OMV en GBM af kunnen scheiden uit het restantwater.

Membraandestillatie of omgekeerde osmose in combinatie met verwijdering van OMV past in de twee genoemde concepten van waterterugwinning en nutriëntenterugwinning..

5.8.4 Onderzoeksvragen

De belangrijkste onderzoeksvragen voor de inzet van membraandestillatie en omgekeerde osmose voor de verwijdering van OMV zijn:

- Welke retentie kennen beide technieken voor OMV en GBM en voor de mogelijke afbraakproducten hiervan?
- Welke effecten hebben OMV en GBM op de werking van membraandestillatie, is er sprake van bevochtiging¹ van het membraan?
- Welke mate van afbraak van OMV en GBM vindt plaats bij membraandestillatie als gevolg van de verhoogde temperatuur (ca. 80-90 °C)?
- Welke afbraakproducten ontstaan bij de (mogelijke) afbraak van OMV en GBM met membraandestillatie? (*)
- Welke onderhoudsgevoeligheid kennen de technieken bij inzet voor de afbraak/verwijdering van OMV en GBM?

(*) Bij de verhoogde temperatuur kan mogelijk ontleding van het OMV en de GBM plaatsvinden. Bij een volledige afbraak worden de organische moleculen afgebroken tot CO₂ en H₂O. Bij een onvolledige afbraak worden de organische moleculen in verschillende kleinere moleculen opgedeeld.

¹ Bij membraandestillatie wordt het water tegengehouden door de toplaag van het membraan. De poriën van het membraan zijn dus vrij van vocht en bevatten enkel de gasvormige waterdamp. Als gevolg van het water-gas grensvlak is er geen transport van componenten door het membraan mogelijk. Wanneer bevochtiging van het membraan plaats vindt (de poriën worden nat) is dit transport wel mogelijk. Bevochtiging van het membraan dient daarom voorkomen te worden om de hoge retentie van componenten te behouden.

6 Voorstel techniek(en) voor doorontwikkeling in laboratoriumfase

In hoofdstuk 3 is de samenstelling en omvang van de waterstromen beschreven. Er is ook aangegeven welke verwijdering/terugwinning van de verschillende componenten benodigd/gewenst is om de waterkringloop te kunnen sluiten. Hierbij ligt de voorkeur bij de verwijdering van Na, Cl en de groeiremmende factoren uit het restantwater. Selectieve natriumverwijdering is echter technisch nog niet mogelijk. Daarom zijn er in hoofdstuk 4 een drietal concepten geformuleerd om de waterkringloop te sluiten. De concepten zijn opgebouwd uit deelstappen die gezamenlijk de benodigde/gewenste zuivering/terugwinning realiseren.

Aan de hand van hoofdstuk 3 en 4 is bepaald welk potentieel de concepten kennen op het gebied van water/nutriëntenterugwinning en de reductie van emissies. Hierbij is aangenomen dat 100% van het water en/of de nutriënten kan worden teruggewonnen uit het restantwater om zo het maximaal haalbare weer te geven. De hoeveelheid terug te winnen water en/of nutriënten is vergeleken met de hoeveelheid die aanwezig is direct na de kas (dus voor spuien). Dit laat duidelijk zien welk deel van het water/nutriënten verloren zou gaan (via lozing) wanneer geen terugwinning zou worden toegepast. In Tabel 24 zijn de resultaten weergegeven:

Tabel 24: Potentieel van waterkringloopsluiting concepten voor terugwinning water en meststoffen (waarden zijn gebaseerd op tabel 2 t/m 6)

Gewas	Concept	Potentieel waterterugwinning (m ³ /ha) (*)	% van drainwater (**)	Potentieel terugwinning nutriënten (kg/ha)	% van nutriënten in drainwater (**)
Roos	Ontzouting vooraf	0		0	
	Waterterugwinning	180-2600	3 - 40% (5%)	0 (***)	
	Nutriëntenterugwinning (+ waterterugwinning)	180-2600	3 - 40% (5%)	210-3050	3 - 40% (5%)
Paprika	Ontzouting vooraf	0		0	
	Waterterugwinning	100-910	4 - 38% (4%)	0 (***)	
	Nutriëntenterugwinning (+ waterterugwinning)	100-910	4 - 38% (4%)	160-1380	4 - 38% (4%)
Gerbera	Ontzouting vooraf	0		0	
	Waterterugwinning	140-2060	3,5 - 52% (7,5%)	0 (***)	
	Nutriëntenterugwinning (+ waterterugwinning)	140-2060	3,5 - 52% (7,5%)	190-2650	3,5 - 52% (7,5%)
Tomaat	Ontzouting vooraf	0		0	
	Waterterugwinning	120-670	4,5 - 25% (4,5)	0 (***)	
	Nutriëntenterugwinning (+ waterterugwinning)	120-670	4,5 - 25% (4,5)	280-1600	4,5 - 25% (4,5)

(*) respectievelijk minimale waarde (regenrijk jaar) en maximale waarde (droog jaar), zie ook paragraaf 3.2

(**) waarden tussen haakjes geeft het gemiddelde weer van de uitkomsten van het WATERSTROMEN model. De percentages voor waterterugwinning en nutriëntenterugwinning zijn gelijk omdat het restantwater een zelfde samenstelling kent als het drainwater. Met de afscheiding van een deel van het water wordt een gelijk deel aan nutriënten afgescheiden.
 (***) terugwinning vindt plaats binnen WP6

In hoofdstuk 5 is bepaald welke technieken het meeste perspectief bieden voor inzet in de concepten. In Tabel 25 is een overzicht van de resultaten weergegeven.

Tabel 25: Overzicht meest perspectiefvolle technieken per waterbehandelingsstap

Waterbehandelingsstap	Meest perspectiefvolle technieken
Vergaande ontzouting ingenomen water	Ionenwisseling (Carix), electrolyse, omgekeerde osmose
Waterterugwinning	Omgekeerde osmose, membraandestillatie
Nutriëntenterugwinning	Ionen-wisseling (Carix), electrolyse
Verwijdering OMV en GBM	Geavanceerde oxidatieprocessen, membraandestillatie, omgekeerde osmose

Voor deze technieken is laboratoriumonderzoek gewenst om de onderstaande doelen te bereiken:

- Experimentele verificatie van de theoretische waarden voor de prestatie van de technieken;
- Vaststelling parameters pilotinstallatie
- (Eventuele) benodigde doorontwikkeling / optimalisering van de technologie

Experimenteel onderzoek naar de inzet van AOP voor het afbreken van groeiremmers vindt plaats binnen Werkpakket 1. Er zal daarom geen experimentele verificatie van deze techniek plaats vinden binnen Werkpakket 5. De afbraak van OMV/GBM vormt wel een aandachtspunt binnen WP 5 en WP 6.

De focus van Werkpakket 5 ligt op het sluiten van de waterkringloop door middel van het zuiveren van de spuisroom en de overige afvalwaterstromen. Om deze reden wordt voorgesteld om de technieken voor waterterugwinning (concept 2) verder te onderzoeken.

Een belangrijk aandachtspunt voor waterterugwinning is het risico op precipitatie van zouten (o.a. CaCO_3 en CaSO_4) uit het restantwater als gevolg van de onttrekking van water uit het concentraat. Dit kan voorkomen worden door deze componenten voorafgaand aan de waterterugwinning af te scheiden uit het restantwater middels nutriëntenterugwinning. Het is echter op dit moment nog niet bekend in welke mate precipitatie op zal treden bij waterterugwinning. Hierdoor kan nog niet met zekerheid gezegd worden of nutriëntenterugwinning voorafgaand aan waterterugwinning dient plaats te vinden (concept 3) of bijvoorbeeld, met het oog op kosten, juist beter ingezet kan worden op het verkregen concentraat uit waterterugwinning. Er wordt daarom voorgesteld om de precipitatie van componenten uit het restantwater nadrukkelijk mee te nemen in het onderzoek van de technieken voor waterterugwinning. Op basis van de resultaten kan dan bepaald worden of verder uitwerking van het concept nutriëntenterugwinning benodigd is.

Vergaande ontzouting van het ingenomen water (concept 1) vormt op dit moment de gangbare praktijk. Deze zuivering is minder complex dan de zuivering van restantwater. Echter zijn de hoeveelheden te zuiveren water veel groter. Hierdoor zullen de zuiveringskosten naar verwachting hoger zijn dan wanneer de zuivering zich richt op het restantwater. Verder vormt ontzouting vooraf mogelijk geen sluitende oplossing als er ook andere toevorroutes voor natrium aanwezig zijn binnen het watersysteem (zoals bijvoorbeeld de meststoffen). Hiernaast kunnen ook andere componenten ongewenst zijn of groeiremming veroorzaken waardoor spuien noodzakelijk blijft.

Indien uit het laboratoriumonderzoek blijkt dat waterterugwinning uit het restantwater goed mogelijk is kunnen de geselecteerde technieken ook zonder probleem ingezet worden voor de reiniging van het ingaande water. Er wordt daarom voorgesteld geen verder onderzoek naar deze vorm van inzet van de genoemde technieken uit te voeren.

7 Conclusies

In de onderliggende haalbaarheidsstudie (fase 1) van werkpakket 5 is onderzocht welke technieken in aanmerking komen om de waterkringloop te sluiten in substraatteeltbedrijven. Er is daarbij gekeken op welke wijze het ingangswater, drainwater en andere proces(afval)waterstromen, zoals filterspoelwater, op het glastuinbouwbedrijf kunnen worden gereinigd.

Om de waterkringloop op substraatteeltbedrijven te sluiten zijn drie concepten geformuleerd: ontzouting van de inkomende waterstroom, waterterugwinning uit het restantwater en nutriëntenterugwinning (gevolgd door waterterugwinning) uit het restantwater.

De verscheidene waterbehandelingstechnieken zijn in een voorselectie beoordeeld op hun inzetbaarheid en haalbaarheid voor ontzouting, ontwatering, nutriëntenterugwinning en verwijdering van OMV en GBM volgens de criteria toepassingstermijn, ruimtebeslag, geschiktheid voor kleine schaal, herbruikbaarheid van het teruggewonnen product en hun robuustheid. De geselecteerde technieken zijn daarna additioneel beoordeeld op prestatie, mate van voorbehandeling, energieverbruik en kosten.

Op basis van deze haalbaarheidsstudie kunnen de volgende conclusies worden geformuleerd:

- Modelberekeningen laten zien dat de watergift bij de voornaamste substraatgewassen (roos, gerbera, tomaat, paprika) varieert tussen 9.000-16.000 m³/ha/jr en dat gemiddeld ca 4-7% en in bijzondere situaties tot maximaal ca 50% van het drainwater als restantwater beschikbaar komt om te worden gezuiverd.
- Voor vergaande ontzouting van het ingenomen water bieden ionen-wisseling (Carix), electrodialyse en omgekeerde osmose de beste perspectieven. Praktijkproeven zijn nodig om vast te stellen welke maximale recovery en retentie in de praktijk haalbaar zijn.
- Voor waterterugwinning bieden omgekeerde osmose en membraandestillatie de beste perspectieven. Praktijkproeven zijn nodig om vast te stellen welke recovery en retentie in de praktijk behaald kunnen worden, ook met het oog op mogelijke precipitatie van zouten. Membraandestillatie is mogelijk ook in staat om waterterugwinning te combineren met de (gedeeltelijke) afbraak van de organische micro-verontreinigingen en gewasbeschermingsmiddelen vanwege de verhoogde temperatuur. Praktijkproeven zijn nodig om de mate van afbraak vast te stellen.
- Ionen-uitwisseling (Carix) en electrodialyse bieden perspectief voor het terugwinnen van de nutriënten uit het restantwater. Terugwinning van nitraat is met beide technieken goed mogelijk. Terugwinning van fosfaat is beperkt bij ionen-wisseling en is bij electrodialyse enkel mogelijk wanneer ijzertzout wordt toegevoegd. Praktijkproeven met ionen-wisseling en electrodialyse zijn nodig om vast te stellen welke mate van terugwinning van nutriënten in de praktijk behaald kan worden. Een andere belangrijk aandachtspunt is de retentie van natrium en chloride door beide technieken.

- Voor de verwijdering/afbraak van organische micro-verontreinigingen (groeiremmende stoffen, wortellexudaten en bio-fouling) en gewasbeschermingsmiddelen bieden geavanceerde oxidatie, omgekeerde osmose en membraandestillatie de beste perspectieven. De mate waarin de groeiremmende factoren en gewasbeschermingsmiddelen kunnen worden afgebroken vormt hier een belangrijke onderzoeksvraag.
- Gewassen met een lage zouttolerantie (roos en gerbera) hebben het meeste perspectief om water en nutriënten terug te winnen. Het potentieel bij paprika en tomaat is geringer omdat hier langer recirculatie mogelijk is vanwege de hogere natrium tolerantie. Met name voor tuinders met een klein regenwaterbassin (500 m³/ha) en relatief zoute aanvullende gietwaterbronnen kan het verlies van water en nutriënten via het restantwater een aanzienlijk deel vormen (tot ca 50%) van de totale gift.
- In deze fase kan nog niet worden geconcludeerd welke technieken, al of niet in een combinatie van concepten, op een substraatteeltbedrijf geplaatst moeten worden en tegen welke kosten. Verdere input vanuit het laboratoriumonderzoek (fase 2) is nodig om vast te kunnen stellen welke prestatie de technieken in de praktijk leveren en tegen welke kosten.

8 Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever:

Productschap Tuinbouw
Joke Klap
Postbus 2700
AG Zoetermeer

Namen en functies van de projectmedewerkers:

TNO: René Jurgens, Wilfred Appelman, Norbert Kuipers, Lourens Feenstra,
Raymond Creusen
WUR Glastuinbouw: Erik van Os, Margreet Bruins, Jos Balendonck

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad:

juni 2010 - november 2010



Naam en paraaf tweede lezer:

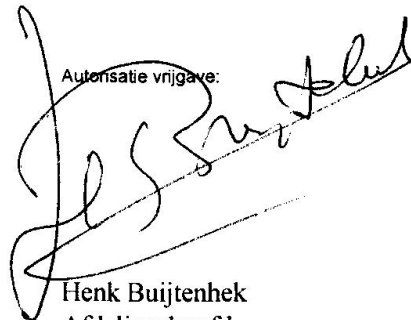
Wilfred Appelman

Ondertekening:



Wilfred Appelman
Projectleider
(namens Raymond Creusen)

Autorisatie vrijgave:



Henk Buijtenhek
Afdelingshoofd

9 Referenties

- [1] J. Hanemaaijer et al.; Memstill membrane distillation: A near-future technology for sea water desalination; Memstill info 30-05-2007; 2007
- [2] Pacques BV, Tauw, Waterschap Groot Salland, TNO Bouw en Ondergrond, Witteveen + Bos ;Pilot onderzoek bewegend bed adsorptie; Stowa rapport 2010-05; 2010
- [3] Witteveen + Bos, LTO Noord Projecten, WUR Glastuinbouw, Waterschap Zuiderzeeland; Kasza (Kas zonder afvalwater); Stowa rapport 2007-28; 2007
- [4] L. Feenstra (TNO); Overview of End-of-pipe technologies; Intern document TNO; 2009
- [5] P.W. Pickhardt; Design of a closed water system for the greenhouse horticulture; Master Thesis Biochemical Engineering (TU Delft); 2007
- [6] W.A.J. Appelman, R.J.M. Creusen; Waterkringloopsluiting glastuinbouw-nieuwe technologie voor waterbereiding, ontsmetting en nutriënten terugwinning; TNO-rapport; 2010
- [7] Appendix III: Factsheets; Exploratory study for wastewater treatment techniques and the european waterframework directive; Stowa rapport 2005-34; pages 53-88
- [8] TNO (afdeling Waterbehandeling); Infoblad Continuous Moving Bed Adsorption; 2005
- [9] TNO (afdeling Waterbehandeling); Infoblad MAAS; 2005
- [10] TNO (afdeling Waterbehandeling); Infoblad Pertraction for water treatment; 2005
- [11] R. Wiseman; Southern California study identifies brine-concentratie issues; Desalination & Water reuse; Volume 20/1 (May/June 2010); pages 14-20
- [12] TNO (afdeling Waterbehandeling); Infoblad photocatalytic oxidation; 2005
- [13] Witteveen + Bos et al.; 1-step®- filter als effluentpolishingstechniek; Stowa rapport 2009-34; 2009
- [14] V.C. Vulto, W.H.J. Bultman; Overzicht van zuiveringsmethoden voor reststromen met bestrijdingsmiddelen; projectrapport 5233323/2 Alterra (Wageningen UR); 2007
- [15] Vlaamse Milieumaatschappij (VMM); Water. Elke druppel Telt (versie voor sierteelt);
- [16] W.A.J. Appelman et al.; Opwerking en hergebruik van brijnen (fase 1); TNO-rapport; 2010
- [17] Witteveen + Bos; Verkenningen zuiveringstechnieken en KRW; Stowa rapport 2005-28; 2005
- [18] Emis-Vito; Techniekfiche microfiltratie;
<http://www.emis.vito.be/techniekfiche/microfiltratie>; bezocht op 27-7-2010
- [19] Emis-Vito; Techniekfiche ultrafiltratie;
<http://www.emis.vito.be/techniekfiche/ultrafiltratie>; bezocht op 27-7-2010
- [20] Emis-Vito; Techniekfiche extractie;
<http://www.emis.vito.be/techniekfiche/extractie>; bezocht op 27-7-2010
- [21] Priva B.V; verstrekte informatie mbt beoordeling zuiveringstechnieken (vertrouwelijk); 2010
- [22] TNO (afdeling Waterbehandeling); Infoblad geadvanceerde oxidatietechnieken voor water; 2005
- [23] Emis-Vito; Techniekfiche omgekeerde osmose;
<http://www.emis.vito.be/techniekfiche/omgekeerde-osmose>; bezocht op 27-7-2010
- [24] Emis-Vito; Techniekfiche nanofiltratie;
<http://www.emis.vito.be/techniekfiche/nanofiltratie>; bezocht op 27-7-2010

- [25] Emis-Vito; Techniekfiche actief kool filtratie water; <http://www.emis.vito.be/techniekfiche/waterzuivering-actieve-koolfiltratie-water>; bezocht op 27-7-2010
- [26] DOW; The Carix™ process; http://www.dow.com/featured/industries/water/municipal_drinking/carix_process.page; bezocht op 30-09-2010
- [27] Emis-Vito; Techniekfiche pertractie; <http://www.emis.vito.be/techniekfiche/pertractie>; bezocht op 09-08-2010
- [28] B. van Limpt, P.M. Biesheuvel; Energiezuinig ontzouten; NPT processtechnologie; November 2009
- [29] Emis-Vito; Techniekfiche Chemische precipitatie; <http://www.emis.vito.be/techniekfiche/chemische-precipitatie>; bezocht op 09-08-2010
- [30] Emis-Vito; Techniekfiche zandfiltratie; <http://www.emis.vito.be/techniekfiche/zandfiltratie>; bezocht op 09-08-2010
- [31] Emis-Vito; Techniekfiche chemische oxidatietechnieken; <http://www.emis.vito.be/techniekfiche/chemische-oxidatietechnieken>; bezocht op 09-08-2010
- [32] T.J. Welgemoed; Capacitieve deionisation technology™: development and evaluation of an industrial prototype system; Master Thesis (University of Pretoria); 2005
- [33] Emis-Vito; Techniekfiche indampen; <http://www.emis.vito.be/techniekfiche/indampen>; bezocht op 17-08-2010
- [34] A.S. Nafey, H.E.S. Fath, A.A. Mabrouk; Thermo-economic investigation of multi effect evaporation (MEE) and hybrid multi effect evaporation-multi stage flash (MEE-MSF) systems; Desalination, Volume 201; pages 241-254; 2006
- [35] I.S. Al-Mutaz; Energy Consumption and Performance for Various Desalination Processes; publication by Professor Al-Mutaz (King Saud University); <http://faculty.ksu.edu.sa/Almutaz/Documents/Energy%20Consumption%20and%20Performance%20for%20Various%20Desalination%20Processes.pdf>
- [36] Y. Oren; Capacitive deionisation (CDI) for desalination and water treatment – past, present and future (a review); Desalination, Volume 228; pages 10-29; 2008
- [37] R.W. Holloway et al.; Forward Osmosis for concentration of anaerobic digester centrate; Water research, Volume 41, pages 4005-4014; 2007
- [38] R.L. McGinnis, M. Elimelech; Energy requirements of ammonia-carbon dioxide forward osmosis desalination; Desalination; Volume 207; pages 370-382; 2007
- [39] M.M. Seckler, D. Verdoes, G.J. Witkamp; Application of Eutectic Freeze Crystallization to Process Streams and Wastewater Purification; EET reference: EETK97129 (http://www.senternovem.nl/mmfiles/EETK97129_tcm24-154587.pdf); 2002
- [40] Emis-Vito; Techniekfiche kleinschalige biologische zuivering; <http://www.emis.vito.be/techniekfiche/kleinschalige-biologische-zuivering>; bezocht op 23-08-2010
- [41] D. Verdoes et al.; Ontharding van proces- en grondwater: de volgende stap naar een eerste wapenfeit voor het FACT-proces; Eindrapportage project 004.35708; 2008
- [43] VTN, TNO, Paques, Wageningen Universiteit; rapport slotbijeenkomst “Waterkringloopsluiting in de textielverwerkende industrie”; onderdeel “Van afvalwater naar proceswater met MAAS” (auteur: TNO); 2003
- [44] G. van den Berg et al.; Bedreigende stoffen voor drinkwater uit de maas; projectnummer 30.7264.040; juni 2007
- [45] Persoonlijk communicatie Dirk Verdoes, TNO (afdeling scheidingstechnologie); 01-09-2010

- [46] Emis-Vito; Technieffiche Slib op drager systemen; <http://www.emis.vito.be/technieffiche/slib-op-drager-systemen>; bezocht op 23-08-2010
- [47] J.Sutherland, C. Adams, J. Kekobad; Treatment of MTBE by air stripping, carbon adsorption, and advanced oxidation: technical and economic comparison for five groundwaters; Water research; Volume 38; pages 193-205; 2004
- [48] Dutch Rainmaker BV; <http://www.dutchrainmaker.nl/>; bezocht op 22-12-2010
- [49] Persoonlijk communicatie Jan Willem Assink, TNO (afdeling waterbehandeling); 2010
- [50] Persoonlijk communicatie Roel Bisselink, TNO (afdeling waterbehandeling); 2010
- [51] Persoonlijk communicatie Lourens Feenstra, TNO (afdeling waterbehandeling); 2010
- [52] Besluit Glastuinbouw; Staatsblad, nr. 109, 212p. 2002.
- [53] KRW (Kaderrichtlijn Water), 2000. Richtlijn 2000/60/EG. Brussel, 72p. www.kaderrichtlijnwater.nl
- [54] Nitraatrichtlijn, 1991. Richtlijn 91/676/EEG inzake de bescherming van water tegen verontreiniging door nitraten uit agrarische bronnen, dec. 1991.
- [55] Waterschap Hollandse Delta et al.; Emissiereductie van gewasbeschermingsmiddelen vanuit de glastuinbouw; december 2008
- [56] L. Lemos et al.; Electrospray Desalination; overview research project (<http://www.wetus.nl/pageid=19/Salt.html>); 2010
- [57] L. Feenstra, J. Balendonck; Haalbaarheidsstudie Valorisatie van concentraatstromen (WP6); TNO-rapport; 2010
- [58] CBS; <http://www.cbs.nl/nl-NL/menu/themas/landbouw/cijfers/default.htm> (item Tuinbouw onder glas); bezocht op 30-07-2010
- [59] R.J.M. Teunissen; Emissies van gewasbeschermingsmiddelen uit de glastuinbouw; Riza-rapport 2005.019 (ISBN 9036957044); 2005
- [60] Persoonlijke communicatie Erik van Os; WUR Glastuinbouw; 2010
- [61] Emis-Vito; Technieffiche adsorptietechnieken; <http://www.emis.vito.be/technieffiche/adsorptietechnieken>, bezocht op 08-12-2010
- [62] L.A. Rodrigues, M.L.C. Pinto da Silva; Thermodynamic and kinetic investigations of phosphate adsorption onto hydrous niobium oxide prepared by homogeneous solution method; Desalination; Volume 263; pages 29-35; 2010
- [63] Sidem; <http://www.sidem-desalination.com/en/process/MSF/>; bezocht op 08-12-2010
- [64] Persoonlijke communicatie Erik Driessen, Voltea BV, gesproken op 30-08-2010
- [65] medGadget; Carbon Nano-tubes as Ultra-fast Membrane Transport Channels; http://medgadget.com/archives/2008/06/carbon_nanotubes_as_ultrafast_membrane_transport_channels.html; bezocht op 23-08-2010
- [66] Emis-Vito; Technieffiche Wet air oxidation en supercritical water oxidation; <http://www.emis.vito.be/technieffiche/wet-air-oxidation-en-supercritical-water-oxidation>; bezocht op 23-08-2010
- [67] Emis-Vito; Technieffiche Coagulatie en flocculatie; <http://www.emis.vito.be/technieffiche/coagulatie-en-flocculatie>; bezocht op 23-08-2010
- [68] Emis-Vito; Technieffiche Elektrocoagulatie; <http://www.emis.vito.be/technieffiche/elektrocoagulatie>; bezocht op 23-08-2010

10 Bijlagen

Bijlage A	Afkortingen + begrippenlijst
Bijlage B	Technische beschrijvingen technieken
Bijlage C	Kansen en knelpunten inzetbare technieken
Bijlage D	Factsheets technieken
Bijlage E	Effect aanwezigheid natrium in meststoffen op mate van spuien
Bijlage F	Stikstofvracht in afvalwater
Bijlage G	Gevoeligheidsanalyse spui factoren
Bijlage H	Effect membraandestillatie op temperatuurniveau restantwater
Bijlage I	Toelichting op wijze van bepalen kosten technieken

Bijlage A: Begrippen- en afkortingenlijst

Drainwater	Restant van het gietwater dat overblijft na bewatering van de planten. Deze waterstroom bevat alle stoffen die niet opgenomen zijn door de plant. Hergebruik is mogelijk mits de concentraties van ongewenste componenten (met name natrium, chloride, groeiremmende factoren) niet te hoog liggen.
Filterspoelwater	Water dat vrijkomt bij terugspoelen van de zandfilters, die toegepast worden voor het verwijderen van zwevende deeltjes uit het drainwater.
Biofouling	Vorming van een vuillaag op het membraanoppervlak als het gevolg van de aangroei van bacteriën. Hierdoor neemt de prestatie van de membranen af. Bij onvoldoende reiniging kunnen de effecten van biofouling onomkeerbaar zijn.
Gewasbeschermingsmiddelen (GBM)	Stoffen die worden toegediend om ziekten en plagen te doden. Stoffen komen direct (via druppelen) of indirect (via spuiten) in de waterstroom. Indien de waterstroom wordt geloosd, komen restanten stoffen in het oppervlaktewater of het riool terecht.
Gietwater	Ingenomen water (afkomstig uit diverse waterbronnen zoals regenwater, grondwater, oppervlaktewater, slootwater, leidingwater) waaraan nog geen meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen zijn toegevoegd. Deze stroom wordt later gecombineerd met het drainwater en nieuwe meststoffen om planten opnieuw water en voeding te geven.
OMV	Organische micro-verontreinigingen (omvat groei-remmende factoren, wortel-exudaten, organische micro-verontreinigingen en bio-fouling)
Restantwater	Totaal van spuiwater en bedrijfsafvalwater (filterspoelwater, waswater, teeltwisseling). Lekkage valt hier niet onder aangezien dit niet wordt opgevangen.
RSF	Rapid sand filter, of te wel snelle zandfiltratie.
Spuiwater	Drainwater dat onttrokken wordt aan het recirculatiesysteem omdat het niet meer geschikt is voor hergebruik en dat bewust naar riool of oppervlaktewater wordt gespuid.
Scaling	Neerslaan van slecht oplosbare zouten op het membraanoppervlak; dit treedt op wanneer de waterstroom oververzadigd raakt als gevolg van de onttrekking van water. De concentratie van de zouten ligt hierbij hoger dan hun oplosbaarheid waardoor ze neerslaan.

Waswater Water wat vrijkomt bij het wassen van het (geogoste) product

Watergift Combinatie van het gietwater en het drainwater. Hieraan zijn voor de teelt benodigde nutriënten (meststoffen) en gewasbeschermingsmiddelen toegevoegd. Deze waterstroom wordt gebruikt voor het bewateren van de gewassen.

Bijlage B: Technische beschrijvingen technieken

1-step filter

Het 1-STEP filter is een eenfilterconcept met als basis een discontinu filtratie met granulair actief kool als filterbedmateriaal.[13]



Figuur 9: Weergave van onderdelen 1-step filter

In Figuur 9 zijn alle deelprocessen van het 1-STEP® filter weergegeven, deze zijn:

- Fosfaat-verwijdering via chemische fosfaatverwijdering (combinatie van coagulatie, flocculatie en filtratie);
- Stikstof verwijdering via denitrificatie;
- Verwijdering troebelheid (zwevende stof) via filtratie;
- Verwijdering microverontreinigingen via adsorptie aan actief kool.

Actief kool filtratie

Actief kool is een thermische behandelde koolstof met een zeer groot intern oppervlak. Hierdoor is het zeer sterk adsorberend en in staat om een zeer breed spectrum aan organische moleculen af te vangen.

Adsorptie van componenten op het actieve kool kan voorspeld worden aan de hand van hun KOW-coëfficiënt (verdelingscoëfficiënt in octanol/water). Indien de log KOW-waarde < 0 is zal de betreffende stof niet geadsorbeerd worden. Metingen van de KOW-waarde van de GBM's kan zo inzicht geven in de mate waarin deze kunnen worden geadsorbeerd. Dit biedt een overzicht van de GBM's die het meest geschikt zouden zijn voor een bedrijf wat actief kool filtratie toepast.

Toepassing van actief kool is onder andere mogelijk in de volgende vormen: in een gegranuleerd actief kool (GAC) filter, door middel van in-line toevoeging van actief koolpoeder (PAC), in een membrane assisted affinity separator (MAAS) of in een continue bewegend bed adsorptie systeem (MBA/BBA).

De actief kool deeltjes in een GAC-filter hebben een diameter van 0,25-3 mm. Zodra de kolom volledig is verzadigd met een bepaalde stof zal deze doorslaan. Op dit moment dient het filter geregenereerd en heractiveerd te worden. Het moment van doorslag verschilt per stof en hangt onder andere af van de polariteit van de betreffende stof. [7]

Adsorptie

“Adsorptie is een afvalwaterzuiveringstechniek voor het verwijderen van een breed gamma aan verbindingen uit industrieel afvalwater. Adsorptie wordt het meest toegepast voor de verwijdering van lage concentraties niet afbreekbare organische verbindingen in grondwater, drinkwaterbereiding, proceswater of als tertiaire zuivering na bijvoorbeeld biologische waterzuivering.

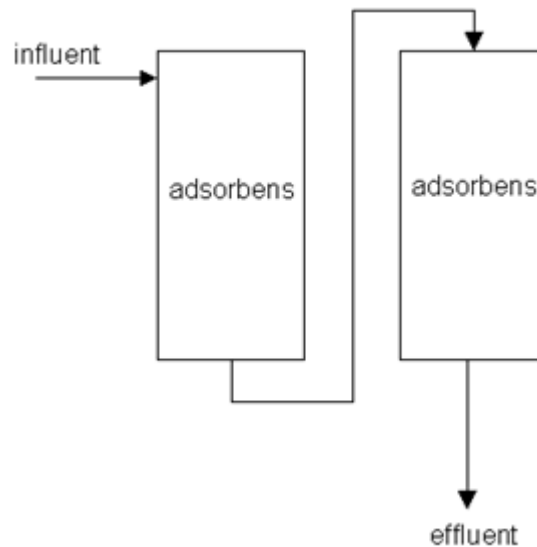
Adsorptie vindt plaats als moleculen in een vloeistof zich vasthechten aan het oppervlak van een vaste stof. Adsorbentia hebben een zeer hoog inwendig oppervlak waar adsorptie kan plaatsvinden.

Actieve kool wordt veruit het meest toegepast als adsorbens en is vooral geschikt voor verwijdering van apolaire verbindingen.

Andere adsorbentia worden toegepast voor specifieke toepassingen:

- natuurlijke of synthetische zeolieten (aluminasilicaatpolymeren)
 - Hebben een zeer homogene poriënverdeling en polaire bindingssites. In vergelijking met actief kool zijn zeolieten veel meer selectief;
- natuurlijke kleimineralen
 - Worden gebruikt voor adsorptie van zeer polaire organische en anorganische stoffen (ionen);
- silicagel en geactiveerde alumina
 - Zeer polaire adsorbentia met grote affiniteit voor water, ze worden dan ook meestal gebruikt om water te verwijderen uit een apolair medium;
- Kieselzuur” [61]

Uit een studie door Rodrigues et al [62] is gebleken dat niobium oxide hydraat ($\text{Nb}_2\text{O}_5 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) goed in staat is om fosfaat uit waterige oplossingen te onttrekken. Deze stof wordt reeds voor vele toepassingen ingezet (bijvoorbeeld als drager voor katalysatoren en voor biomassa immobilisatie), er is echter nog geen commerciële toepassing voor de verwijdering van fosfaat uit water bekend. [62]

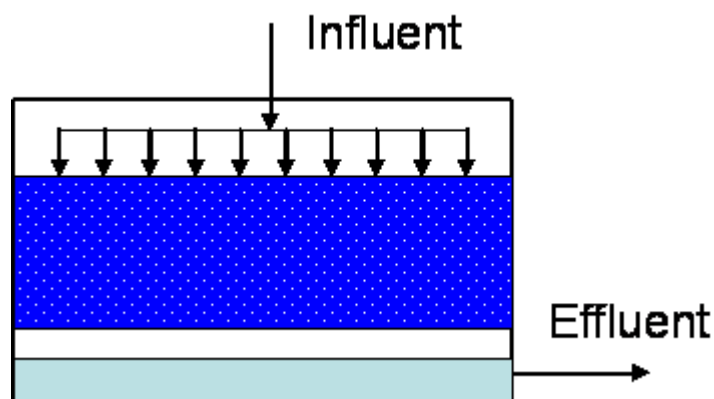


Figuur 10: Schematische weergave adsorptieproces [61]

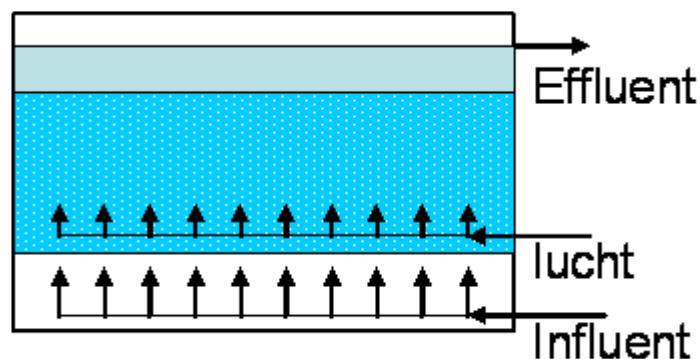
Biofiltratie

Een biofilter werkt op basis van micro-organismen die op een drager geïmmobiliseerd zijn. Het afvalwater stroomt langs de biofilm op de drager, waarbij de verontreiniging door de micro-organismen worden omgezet. Verschillende dragermaterialen worden toegepast, zoals: zand, klei, lava of kunststof (bv. PUR) gebruikt worden.

“De biofilter kan statisch of dynamisch uitgevoerd worden. In een statische biofilter bevindt het dragermateriaal zich in een tank of vat. Het afvalwater loopt er opwaarts of neerwaarts doorheen. Typische voorbeelden zijn de statische zandfilter en de 'trickling filter'. Bij deze laatste wordt een tank vol dragermateriaal (kunststofringen of lavastenen) gestopt en het water bovenaan de filter verdeeld. Beluchting gebeurt door het contact tussen afvalwater en omgevingslucht terwijl het water doorheen de filter sijpelt. Bij ondergedompelde biofilters wordt het water van beneden naar boven gepompt. Bij een dynamische biofilter is het filterbed continu in beweging. Een voorbeeld hiervan is de continue zandfilter, waarbij het zand continu geregenereerd wordt. Er bestaan ook verschillende gefluidiseerde biofilters (fluidized bed reactor) waarbij zand, inert materiaal of actieve kool als dragermateriaal dienen en door een voldoende opstroomsnelheid een gefluidiseerd bed vormen. Anaerobe behandeling van afvalwater kan gebeuren met anaerobe biofilters”. [46]



Figuur 11: Schematische weergave aerobio biofilter (trickling filter) [46]



Figuur 12: Schematische weergave anaerobio biofilter (fluidized bed) [46]

Carbon nano-tube membranen

Carbon nano-tubes (CNT) zijn nano-koolstofbuisjes waarvan de diameter vaak maar enkele nanometers bedraagt terwijl de lengte enkele micrometers kan bedragen. Deze koolstofbuisjes kennen een aantal bijzondere eigenschappen waaronder een zeer glad wandoppervlak. Hierdoor zou mogelijk een hogere flow door de buisjes mogelijk zijn dan tot nu toe op basis van de stromingsleer wordt voorspeld. Als gevolg zal het CNT-membraan bij een gelijke porie-grootte per oppervlakte-eenheid meer water doorlaten. [65]

Met hetzelfde oppervlak kan dan meer schoon water worden geproduceerd waardoor de kosten per m³ output sterk afnemen. Deze technologie is op het moment nog in ontwikkeling.

Capitatieve Deionisatie (CDI)

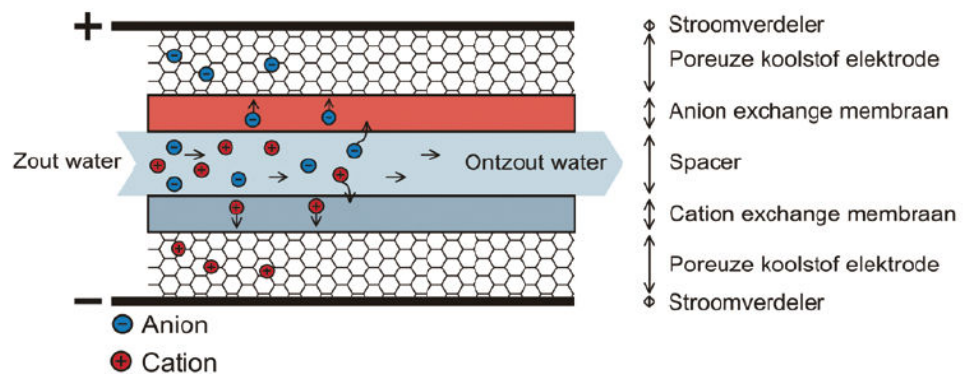
Capitatieve deionisatie maakt net zoals elektrolyse (ED) gebruik van elektrische velden om de ionen af te scheiden van de waterstroom. Bij CDI zijn membranen niet nadrukkelijk nodig en vindt er geen electrochemische ladingsoverdracht plaats. In plaats hiervan vindt opslag van de ionen in de elektroden plaats.

Een CDI-cel bestaat uit de volgende onderdelen:

- Stroomverdelers (voor aanbrenge lading);
- (eventueel) anion/cation uitwisselings membranen (deze houden co-ionen tegen zodat enkel de tegen-ionen doorgelaten worden)*;
- Poreuze koolstof elektrode (voor het verzamelen van de ionen);
- Spacer (ter voorkoming van kortsluiting en om de waterstroom met relatief weinig weerstand tussen elektroden te kunnen laten stromen);

* tegen-ionen hebben een tegengestelde lading ten opzichte van het geladen oppervlak (bijv Cl^- ionen bij een $+$ -geladen elektrode), terwijl co-ionen dezelfde lading hebben. Het afstoten van co-ionen uit de elektrode verlaagt de efficiëntie van CDI.

Door het aanbrenge van een spanningsverschil over de cel worden de negatief geladen ionen (anionen) en positief geladen ionen (kationen) naar de elektroden met de tegengestelde lading getrokken. Deze elektroden bestaan uit poreuze koolstof waarmee ze een zeer groot oppervlak kennen. Dit resulteert in een hoge opslag capaciteit voor de ionen. Regeneren van de elektroden kan eenvoudig door de lading van de elektroden kortstondig om te draaien waardoor de ionen uit de elektrode worden gedrukt. De verkregen concentraatstroom kan vervolgens afgevoerd worden.



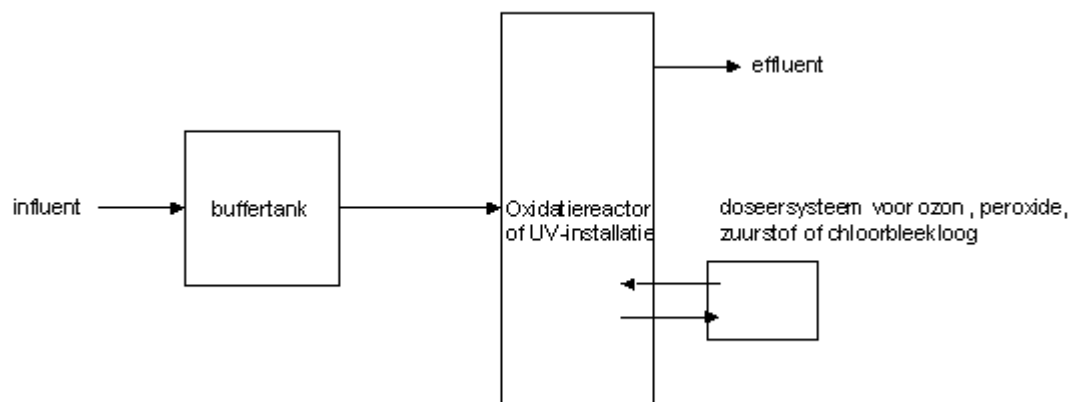
Figuur 13: Schematische weergave van opbouw CDI module [28]

Cavitatie technologie

Deze technologie maakt gebruik van intensieve grensvlakeffecten (die optreden bij het intensief mengen van het water) om oxidatie van onder andere gewasbeschermingsmiddelen, (bio)fouling en pathogenen te bewerkstelligen.

Cavitatie treedt op wanneer in de vloeistof door de turbulentie de plaatselijk druk lager wordt dan de dampdruk van de vloeistof. Hierdoor zal een dampbel ontstaan die zal imploderen wanneer deze in een gebied met de hogere druk terecht komt. Door deze implosie komen sterke krachten vrij die ingezet kunnen worden om moleculen af te breken.

Chemische oxidatie



Figuur 14: Schematische weergave chemische oxidatie-proces [31]

Chemische oxidatie heeft als doel de oxidatie van organische pollutanten tot minder schadelijke of onschadelijke stoffen. In het beste geval zal een volledige oxidatie van organische stoffen resulteren in CO_2 en H_2O . Ook kunnen anorganische componenten verwijderd worden met behulp van deze techniek (bv. oxidatie van cyanide).

Chemische oxidatie kan ook gebruikt worden in combinatie met een biologische zuivering. In dat geval spreken we van partiële oxidatie. Het doel van chemische oxidatie als voorbehandelingstechniek is dan om ofwel moeilijk afbreekbare componenten te kraken en geschikt te maken voor biologische afbraak ofwel om de slibproductie te beperken door partiële oxidatie van het slib.

Bij chemische oxidatie worden oxidanten toegevoegd of opgewekt in het afvalwater. Enkele vaak gebruikte oxidanten zijn ozon (O_3), waterstofperoxide (H_2O_2), natriumhypochloriet of chloorbleekloog (NaOCl), chloordioxide (ClO_2), chloorgas (Cl_2), peroxyazijnzuur ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_3$) en zuivere zuurstof (O_2). Ook combinaties van oxidanten zijn mogelijk. Het meest actieve oxidant is het hydroxylradicaal (OH^\bullet). Dit kan worden gevormd uit ozon of waterstofperoxide na activering met een katalysator (bv. Fe^{2+} in de zogeheten Fentonreactie) of door UV-licht.

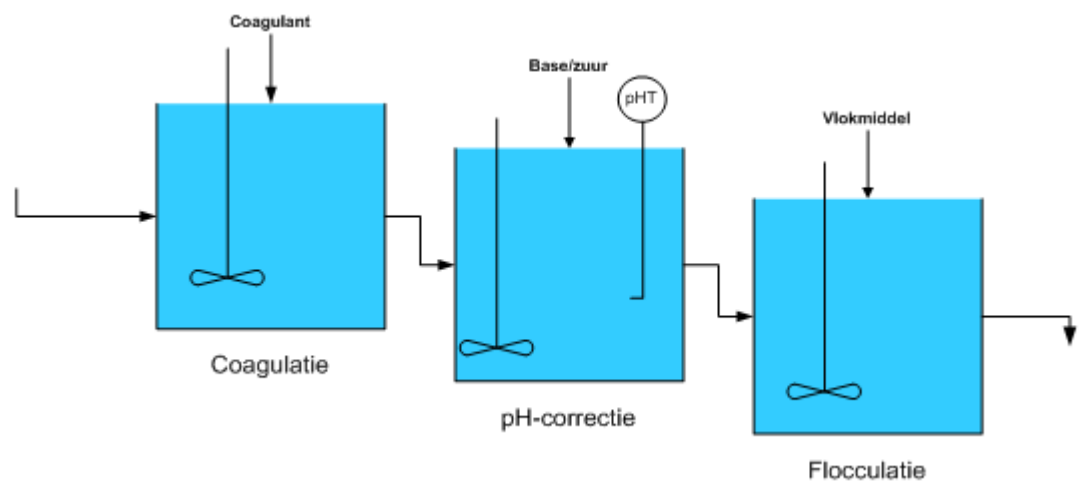
De installatie voor chemische oxidatie bestaat uit een buffertank, een reactor en een doseereenheid voor het oxidant. Eventueel wordt dit aangevuld met een UV-installatie. De meeste oxidanten zijn niet selectief waardoor vaak een voorafgaande zuivering (bv. filtratiestap) van het afvalwater vereist is. [31]

Coagulatie/flocculatie

Deze techniek richt zich op waterstromen waarin zich zeer fijne deeltjes bevinden. Deze colloïde deeltjes hebben een diameter van 1-1000 nm. Deze deeltjes hebben een negatieve lading en bezinken niet uit zichzelf in het water, ze blijven zweven. Om deze stoffen te verwijderen kan, onder andere, coagulatie ingezet worden. Hierbij wordt een coagulant (vaak gebaseerd op ijzer of aluminium) aan het water toegevoegd. Ook worden wel laag-moleculaire polymeren ingezet. De coagulant zorgt voor een verlaging van de afstoting tussen de verschillende colloïdale deeltjes. Er zullen dan kleine vlokken ontstaan die door rustig te roeren verder samen kunnen klonteren.

“Flocculanten, ook wel vlokmiddelen genoemd, kunnen worden toegevoegd om het proces te ondersteunen. Flocculanten zijn hoog-moleculaire stoffen (polymeren) met diverse functionele groepen. De geladen deeltjes en/of kleine vlokjes worden aangetrokken tot de ladingsgroepen van het polymeer, waardoor een grotere vlok ontstaat. Deze kan makkelijker worden afgescheiden door flotatie of bezinking. Omdat de deeltjes niet allemaal dezelfde lading bezitten zijn er diverse ladingsgroepen noodzakelijk op de polymeerstructuur. Er bestaan zowel anionische, kationische als non-ionische polymeren. Zeer belangrijk voor een goede flocculatie is een juiste binding tussen het polymeer en de deeltjes. Dit betekent dat naast de aard van de lading ook de spreiding van de lading over het molecuul van belang is, alsmede de lengte van het polymeer. Daarnaast is de mate van cross-linking van het polymeer, het vormen van bindingen met zichzelf, van belang. Door de werking van deze elementen bestaan er enkele honderden verschillende polymeren met elk hun specifieke werkingsgebied. In een aantal gevallen kan het volstaan een flocculant toe te voegen om een goede afscheiding te bekomen. Meestal zal de combinatie van coagulant en vlokmiddel vereist zijn.

De vlokken worden vervolgens in een nabehandelingsstap afgevangen en vormen een hoeveelheid verontreinigd slib dat verder verwerkt dient te worden (indampen, storten, verbranden,...).”[67]



Figuur 15: Schematische weergave coagulatie/flocculatie proces [67]

Degradatie met zonlicht

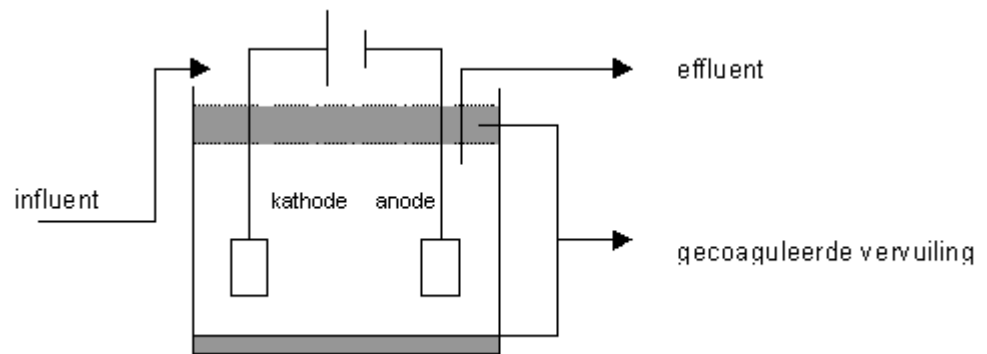
Deze technologie maakt gebruik van de energie uit zonlicht om componenten/materialen af te breken tot kleinere subdelen. Het te zuiveren water wordt hierbij bloot gesteld aan zonlicht.

Het werkingsprincipe van deze techniek is gelijk aan dat van UV. Het verschil is het golflengte spectrum van het gebruikte licht. Het zichtbare deel van zonlicht heeft een golflengte van 380-780 nm, hiernaast bevat zonlicht ook een deel infrarood (golflengte > 780 nm) en ultraviolet licht (<380 nm). In vergelijking met UV-licht uit lampen is dus met name het aandeel UV-licht in zonlicht geringer. Hierdoor is relatief veel zoninstraling nodig.

Electrocoagulatie

Electrocoagulatie maakt gebruik van het oplossen van een electrode (anode, vaak gemaakt van Fe of AL) middels een oxidatie reactie om zo coagulant vrij te laten komen. Bij het oplossen van de electrode komt ook gas vrij (O₂, H₂) als gevolg van de splitsing van water, wat zorgt voor een floterende werking. Een hulpvlokmiddel kan toegevoegd worden om de flotatie te versterken. [68]

In de onderstaande figuur is de opbouw van een doorsnee elektrocoagulatie reactor weergegeven. Deze bestaat uit een electrolytische cel met een anode en een kathode. Wanneer deze verbonden worden met een gelijkspanningsbron zal er aan de anode (positief) een oxidatiereactie plaatsgrijpen, aan de kathode (negatief) een reductiereactie. [68]

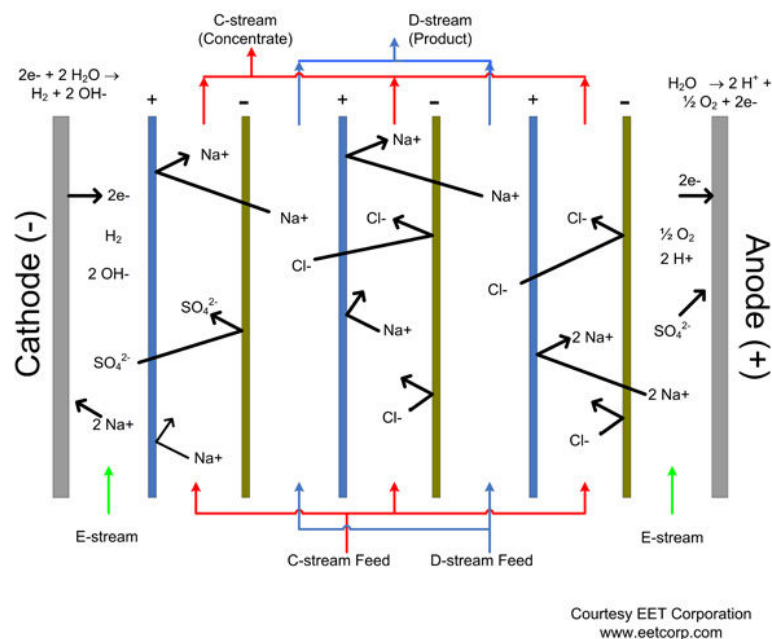


Figuur 16: Schematische weergave van opbouw electrocoagulatie reactor [68]

Electrodialyse (ED)

Electrodialyse maakt gebruik van een elektrisch potentiaal verschil om ionen door membranen te transporteren. De membranen zijn selectief permeabel voor cationen (+ ionen) of anionen (- ionen). De ionen migreren van een minder geconcentreerde naar een geconcentreerdere oplossing. De migratie van de elektroden is beperkt door de richting van de aantrekkende elektrode. Dit resulteert in een afwisseling van compartimenten met een lage en een hoge concentratie van ionen.

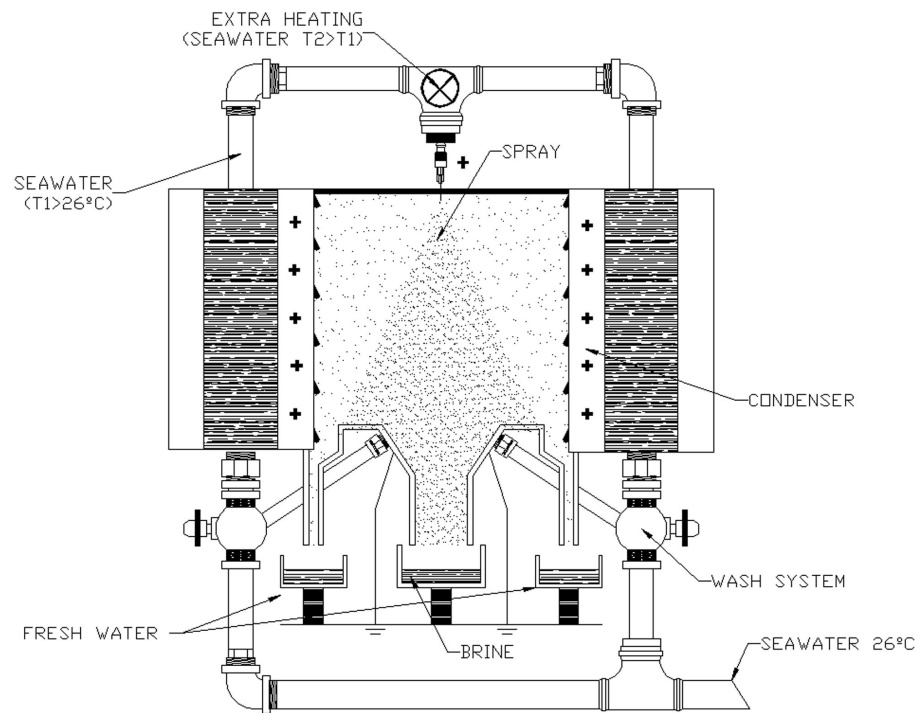
Langs beide elektroden loopt een waterstroom die ionen levert voor de naastgelegen compartimenten op basis van electrochemische ladingoverdracht. Deze ionen zijn noodzakelijk om ladingtransport plaats te laten vinden over de gehele cel. Om de ionen te verkrijgen is een continue elektrische stroom nodig.



Figuur 17: Opbouw van ED cel (C = geconcentreerde ionen-rijke voeding, D = ionen arme voeding)

Electrospray

Electrospray ontzouting is gebaseerd op het zeer fijn versproeien van het te ontzouten water via een geladen sproeikop. De verkregen geladen druppels worden met behulp van gelijk geladen electroden van de wanden van het systeem afgestoten.[56] Hierdoor kunnen de geladen deeltjes centraal afgevangen worden terwijl tegelijkertijd water kan verdampen uit de druppels. Het verdampte water condenseert tegen de geladen wanden waarbij de condensatiewarmte wordt inzet om het voedingswater op te warmen.

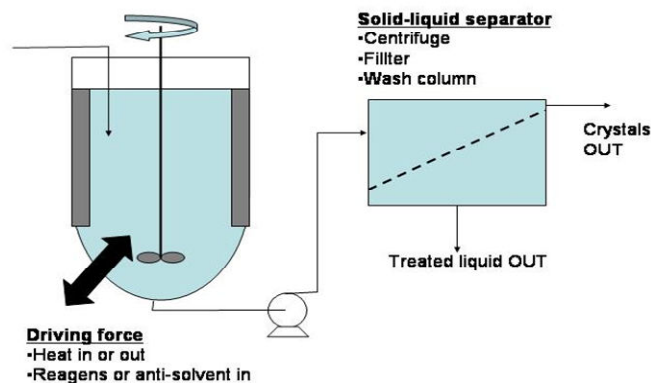


Figuur 18: Schematische weergave electrospray proces [56]

FACT

Filtration Assisted Crystallization Technology (FACT) is een nieuw type kristallisatieproces dat gebruik maakt van heterogene kristallisatiekernen. Deze kernen dienen als ent voor kristalgroei met de te verwijderen ionen waarna deze gegroeide kristallen vervolgens gemakkelijk door filtratie kunnen worden verwijderd. Kristallisatie is een bekende en een van de meest gebruikte scheidingstechnieken in de procesindustrie. In een kristallisatie proces worden een of meerdere componenten verwijderd uit een oplossing (of een smelt) door vermindering van de oplosbaarheid van die betreffende component. Dit kan op verschillende manieren bereikt worden door:

- 1- (gedeeltelijke) verdamping van het oplosmiddel (verdampingskristallisatie),
- 2- het koelen van het oplosmiddel
- 3- door het toevoegen van een anti-solvent (anti-solvent kristallisatie)
- 4- of door toevoegen van een component die resulteert in de vorming van een slecht oplosbaar reactie product (reactieve kristallisatie).



Figuur 19 Principe van FACT: kristallisatie en filtratie van het kristallisatieproduct [6]

Omdat met kleine (5-50 μm) en heterogene entkernen wordt gewerkt is er een snelle kristallisatie mogelijk. Deze kernen kunnen vervolgens efficiënt doormiddel van cake filtratie op een filter met relatief grote poriën worden verwijderd.

De FACT techniek is succesvol gedemonstreerd op lab- en pilotschaal voor het ontharden van drinkwater en proceswater (tot 10 m³/uur). Opschaling van de apparatuur zelf is een belangrijk aandachtspunt in de verdere ontwikkeling. Er zijn verschillende oplossingsrichtingen maar die zijn nog niet op grotere schaal getest.

Toepassingen waarvoor FACT wordt ontwikkeld zijn ontharden van drinkwater, het verwijderen van zware metalen, fluoride en fosfaat en sulfaat uit water of het gecontroleerd vormen van deeltjes van chemicaliën farmaceutica.

Geavanceerde oxidatie processen (AOP)

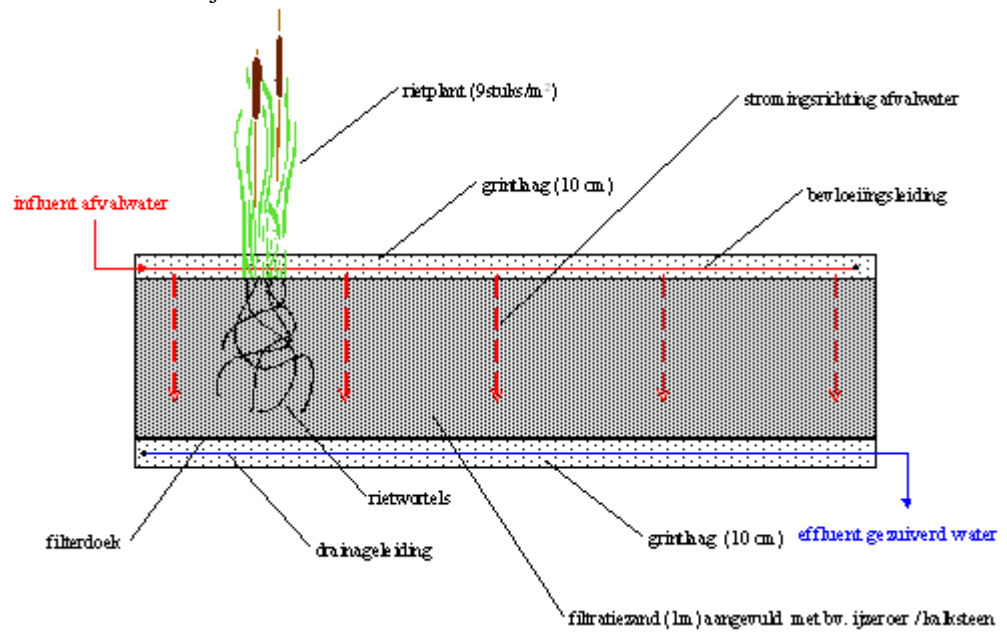
Geavanceerde oxidatie processen (of advanced oxidation processes, AOP) worden gebruikt voor het oxideren van complexe organische constituenten (die moeilijk biologisch afbreekbaar zijn) naar simpelere eindproducten. Een AOP is een sterke versnelde oxidatie reactie waarbij doorgaans gebruik wordt gemaakt van een vrij hydroxyl radicaal ($\text{OH}\cdot$) welke fungeert als een sterke oxidant. Het radicaal vernietigd stoffen die niet met conventionele oxidanten (zoals zuurstof, ozon en chloor) kunnen worden geoxideert. De vrije radicalen kunnen verkregen worden uit ozon (O_3) of waterstofperoxide (H_2O_2) door directe reactie met elkaar of door reaction met UV-licht (photolysis). [7] Tot nu toe vormen UV/ O_3 , $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ en UV/ H_2O_2 de meest toegepaste systemen voor waterbehandeling.

De vrije radicalen reageren met verontreinigingen en initiëren een reeks van oxidatieve degradatie reacties. Wanneer UV-licht wordt gebruikt vindt een groot deel van de organische afbraak plaats als gevolg van photolyse van organische componenten. AOP's zijn tot nu toe met name toegepast voor drinkwater en specifieke industriële afvalwaterstromen (bijv. textiel). Het hoofddoel van deze techniek is het verwijderen van synthetische organische chemicaliën, pesticiden en geur componenten. De chemie van AOP is complex vanwege de grote verscheidenheid aan reacties die op kan treden. Nadeel van AOP is dat de toxiciteit van mogelijke bijproducten niet altijd lager ligt dan van de originele stoffen in het water. Ook kan de chemicaliën consumptie hoog liggen vanwege het niet-specifieke karakter van de techniek. Een aantal andere nadeel is de verlaagde effectiviteit wanneer er componenten aanwezig zijn die radicalen wegvangen. Een groot voordeel van AOP is dat een complete oxidatie tot CO_2 en water mogelijk is en dat er geen slib/concentraat wordt geproduceerd. [7]

Helofytenfilter

In een helofytenfilter wordt gebruikt gemaakt van de zuiverende werking van water, grond en planten. Helofyten zijn planten die ingeworteld zijn in de bodem maar ook met een relatief groot deel boven het wateroppervlakte uitsteken. Door het uitgebreide wortelstelsel en de grote hoeveelheid biomassa heeft riet een groot leefoppervlak voor bacteriën en andere micro-organismen. Deze zorgen voor een aanzienlijk deel van de zuiverende werking.

Vanwege het biologische karakter is de werking van het helofytenfilter seizoensafhankelijk.



Figuur 20: Schematische weergave opbouw helofytenfilter

Ionenwisseling (Carix)

Ionenwisseling is gebaseerd op de uitwisseling van ionen uit de waterstromen met ionen uit een niet-oplosbaar materiaal (hars). Voor de uitwisseling zijn voornamelijk elektromagnetische krachten en/of adsorptie van belang. De ionenuitwisseling-harsen kunnen een natuurlijke herkomst hebben of zijn geproduceerd. De natuurlijke materialen zijn beter bekend als zeolieten, dit zijn complexe aluminosilicaten met natrium als mobiel ion. De geproduceerde materialen kunnen synthetische aluminosilicaten zijn, die dan ook zeolieten worden genoemd, maar zijn doorgaans vaak harsen (styreen and divinylbenzeen copolymeren) of phenol-gebaseerde polymeren.

Vijf typen syntetische ion-uitwisselings-harsen zijn nu in omloop: (1) sterk zuur kation, (2) zwak zuur cation, (3) sterke base anion, (4) zwakke base anion en (5) zware metalen selectieve chelerende harsen. Harsen kunnen ook een macro-poreuze structuur hebben voor de adsorptie van organisch materiaal (uitgedrukt in KMnO_4/L).

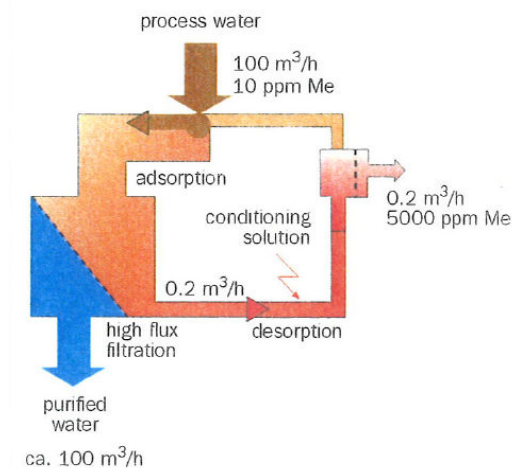
Relevante eigenschappen voor de ion-uitwisselings harsen zijn:

- Uitwisselingscapaciteit (eq/L of eq/kg): hoeveelheid uitwisselbare ionen dat de hars op kan nemen. Bij voorkeur ligt de “ideale” waarde hoger dan de capaciteit die gevonden wordt tijdens operatie;
- Deeltjesgrootte: belangrijke factor met betrekking tot het stromingsgedrag en de kinetiek van de ionen uitwisseling;
- Stabiliteit: chemische/fysische bestendigheid over langere duur;
- Selectiviteit: het ionen uitwisselings-proces is een evenwichtsproces tussen de ionen in het water en de ionen in de hars. Een hoge selectiviteit voor een bepaald ion betekent dat dit specifieke ion in sterke mate uitgewisseld wordt. Een voorbeeld hiervan is de ontwikkeling van de selectieve chelerende harsen.. Deze harsen zijn speciaal ontwikkeld om zeer selectief zware metalen te verwijderen en bereiken hierdoor een zeer hoog verwijderingsrendement.

Zodra de hars op gebruikt is wordt deze afgescheiden, geregeneerd en hergebruikt. Voor de regeneratie zijn vaak zouten, basen of zuren nodig. Een alternatief is het CARIX-proces waarbij gebruik gemaakt wordt van CO_2 onder druk voor het regenereren van de hars. Bij het Carix proces wordt een zwak zuur cation en een sterke base anion hars gebruikt, het hoofddoel van deze techniek is het (gedeeltelijk) demineraliseren van drinkwater. [7][26]

MAAS

De MAAS technologie (ontwikkeld door TNO) combineert adsorbentia met membraanfiltratie. Hiermee kunnen, afhankelijk van het gekozen adsorbens, een verscheidenheid aan componenten worden geadsorbeerd en tegelijkertijd worden geconcentreerd. Door het gebruik van membraanfiltratie blijft het adsorbens behouden voor hergebruik (na regeneratie).

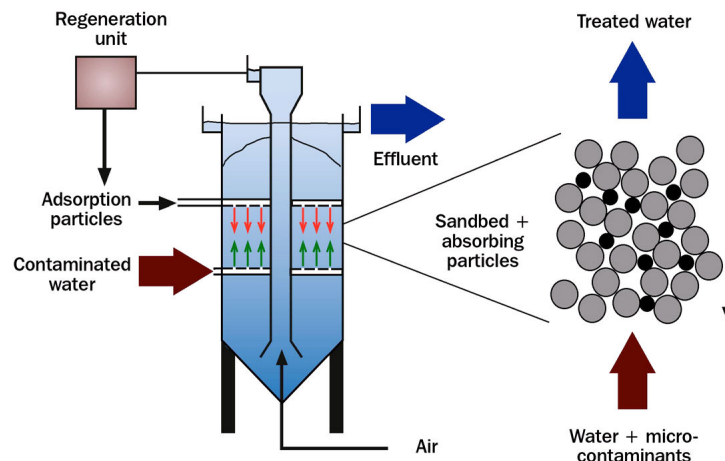


Figuur 21: Schematische weergave MAAS proces [9]

Bewegend bed adsorptie (BBA of MBA)

Het BBA proces is gebaseerd op de combinatie van adsorptie, bijvoorbeeld met actieve kool, met een continue zandfilter. Adsorberende deeltjes worden in tegenstroom met de te reinigen waterstroom toegediend aan een bewegend zandbed. Hierbij worden de adsorberende deeltjes meegenomen door de zanddeeltjes wat bijdraagt aan een hoge adsorptiekinetiek.

Na afloop worden de adsorberende deeltjes geregenereerd. De wijze van regeneratie is afhankelijk van de toepassing en van het type vervuiling wat geadsorbeerd is. [2]



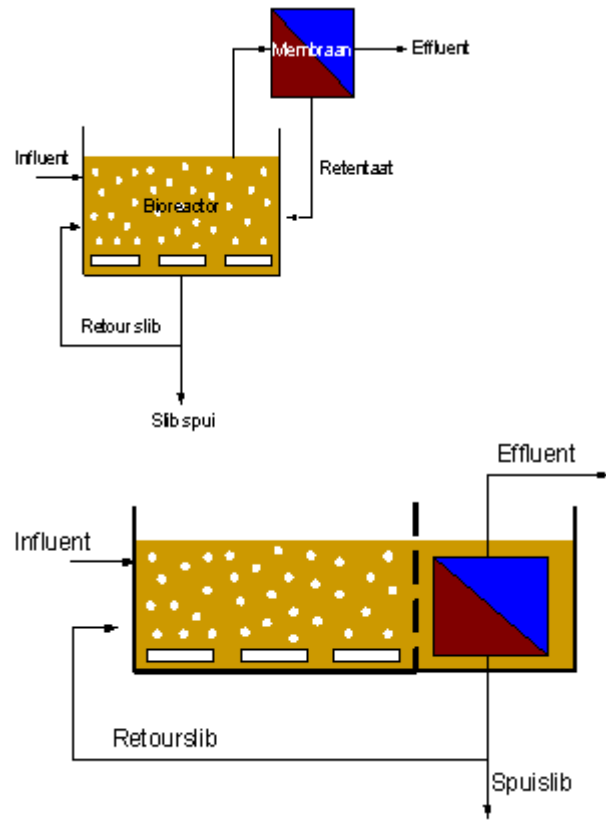
Figuur 22: Schematische weergave MBA-proces

Membraan bioreactor (MBR)

Het MBR proces combineert het actief slib proces (veelvuldig toegepast in RWZI's) met membraanfiltratie. De membraanfiltratie kan zich op verschillende plekken bevinden, bijvoorbeeld in de beluchtingstank, in een eigen druk kamer of een eigen membraantank. De toegepaste membranen kunnen microfiltratie (MF)-membranen zijn met een porie grootte van 0.1 tot 1 μm of ultrafiltratie (UF)-membrane met poriegroottes van 0.001-0.1 μm . Vergeleken met het conventionele actief slib proces kan met de MBR bij een hoger gehalte aan gesuspendeerde (zwevende) deeltjes worden gewerkt. Dit resulteert in kleinere tank volumes. Een verdere reductie in benodigd oppervlak komt voort uit het afwezigheid van sedimentatietanks. Het membraan vormt een absolute barrière voor de meeste micro-organismen en deeltjes.

Verschillende opties zijn beschikbaar op het gebied van membranen, waarbij het belangrijkste onderscheid ligt tussen ondergedompelde en buiten de tank geplaatste membranen. Qua typen membranen kan gebruikt gemaakt worden van hollow fibers, plaat/frame membrane en buismembranen.

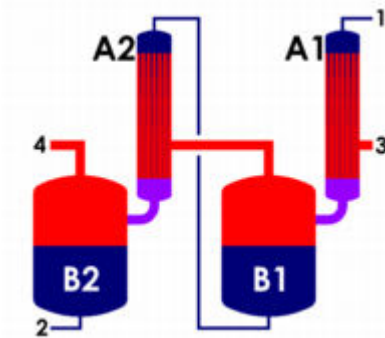
De membranen worden doorgaans gemaakt van een organisch polymeer wat of hydrofiel of hydrofoob is gemaakt. [7]



Figuur 23: Schematische weergave opbouw MBR-proces (links: gescheiden proces met externe membraaneenheid; rechts: intern/ondergedompeld membraansysteem) [7]

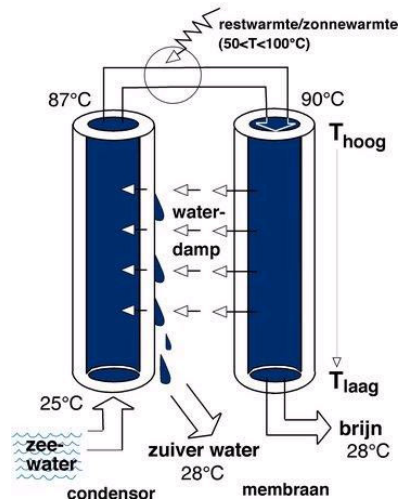
Meerstaps-verdamping/Multiple effect evaporation (MEE)

Meerstapverdamping richt zich op het efficiënt verdampen van water. In een meerstaps-verdamper wordt het water aan de kook gebracht in een serie van vaten, waarbij elke vat op een lagere druk wordt bedreven ten opzichte van zijn voorganger. Omdat het kookpunt van water afneemt met afnemende druk kan de damp uit een vat gebruikt worden op het volgende vat op te warmen tot het kookpunt. Op deze manier kan een groot deel van de warmte benodigd voor verdampen worden hergebruikt. Er is dank enkel externe warmte nodig voor het eerste vat (welke zich op de hoogste druk bevindt).



Figuur 24: Schematisch weergave van een tweestaps verdamper (de damp uit B1 verwarmt B2)

Membraandestillatie



Figuur 25: Schematische weergave membraandestillatie proces [1]

Membraandestillatie combineert membraanfiltratie met distillatie. Met behulp van warmte kan zout of verontreinigd water worden opgewerkt tot schoon gedestilleerd water. Het schone water verdamt door het membraan naar buiten 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.

In een module stroomt langs een membraan opgewarmd zout- of vervuild water. Het membraan laat enkel de vrijkomende waterdamp door. De waterdamp condenseert vervolgens op de condensor tegenover 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. Een membraandestillatie- module is opgebouwd uit honderden lagen van een drie-eenheid: condenser-array, een tussenlaag, en een membraan-array. De afstand tussen membraan en condenser-array is minder dan één millimeter waardoor het aangevoerde water slechts enkele graden hoeft te worden opgewarmd om voldoende dampdruk te creëren voor een effectieve destillatie. [6]

Microfiltratie (MF)

Microfiltratie (of kortweg MF) is één van de drukgedreven membraanprocessen uit de reeks microfiltratie, ultrafiltratie, nanofiltratie en omgekeerde osmose. Het microfiltratieproces maakt gebruik van een membraan, een semi-permeabel materiaal, waar in het geval van microfiltratie enkel deeltjes kleiner dan 0,1 micron doorheen kunnen. Het microfiltratiemembraan kan bestaan uit verschillende materialen zoals bijvoorbeeld polysulfon, polyvinylidendifluoride (PVDF), polyethersulfon (PES), ZrO_2 en koolstof. De poriëgrootte situeert zich tussen 0,1 en 5 micron. Doordat de poriën groot zijn in vergelijking met de andere genoemde filtratietechnieken is de druk, nodig om een vloeistof door een microfiltratiemembraan te sturen, beperkt (0,1 tot 3 bar). Microfiltratiemembranen worden in verscheidene configuraties door de leveranciers aangeboden, elk met zijn specifieke toepassing en bijhorende voor- en nadelen.

Mogelijke membraanconfiguraties zijn:

buisvormige membranen: capillair, holle vezel of tubulair;

plaatvormige membranen: vlakke plaat of spiraalgewonden.

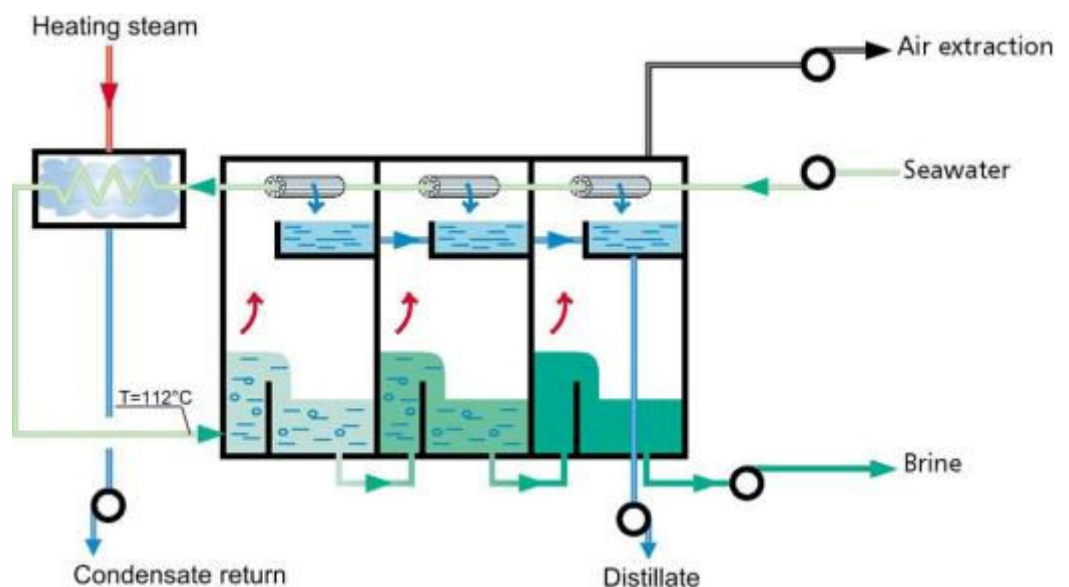
Buiten de specifieke membraanconfiguratie kan men ook enkele bedrijfsvoeringen onderscheiden. De 2 meest gebruikte methodes zijn dead-end en cross-flow bedrijfsvoering. De namen verwijzen naar de manier waarop de voeding aan het membraan aangeboden wordt. Bij dead-end MF wordt de voeding loodrecht op het membraan gestuurd. Aan de voedingszijde van het membraan zet zich hierbij een vervuilingslaag af op het membraanoppervlak. Deze laag bevat alle deeltjes die zijn afgescheiden op basis van hun grootte (zeefwerking). Op periodieke wijze wordt deze laag weggespoeld door gedurende een korte tijd de geproduceerde vloeistof (permeaat) terug doorheen het membraan te sturen in tegengestelde zin van de stroming bij productie. De koeklaag wordt zo losgemaakt en kan afgevoerd worden. Dit noemt men semi dead-end bedrijfsvoeding

Wanneer de koeklaag te sterk is samengedrukt of te sterk kleeft aan het membraan kan het zijn dat deze terugspoeling niet voldoende meer is om de laag te verwijderen van het oppervlak. Dan dient een chemische reiniging uitgevoerd te worden, bijvoorbeeld met peroxide, zuur en base of detergent. [18]

Multi stage flash (MSF)

Een multistage flash verdamper bestaat uit een aantal opeenvolgende verdampingskamers waarbij de eerste kamer op de hoogste druk wordt beschreven en elke volgende kamer een lagere druk kent dan de voorgaande.

Zeewater wordt door buiswarmtewisselaars geleid waar het opgewarmd wordt door de condensatie van de damp die in elke kamer wordt geproduceerd. Vervolgens wordt het in een aparte warmtewisselaar opgewarmd tot de benodigde procestemperatuur. Na deze opwarming is het zeewater oververhit ten opzichte van de temperatuur en druk in de eerste kamer. Hierdoor zal direct een deel van het zeewater verdampen om zo tot het evenwicht tussen damp en vloeistof behorende bij de aanwezige condities te komen. De gevormde damp condenseert op de buiswarmtewisselaars waarbij het destillatie (schoon water) wordt opgevangen. Het resterende water wordt vervolgens naar de volgende verdampingskamer geleid waarbij opnieuw een deel verdampt. Op deze wijze wordt in een aantal opeenvolgende stappen een destillaat verkregen wat bestaat uit zuiver water. Het zeewater wordt bij elke stap geconcentreerd en vormt uiteindelijk de brijnstream die onttrokken wordt bij de laatste stap. [63]

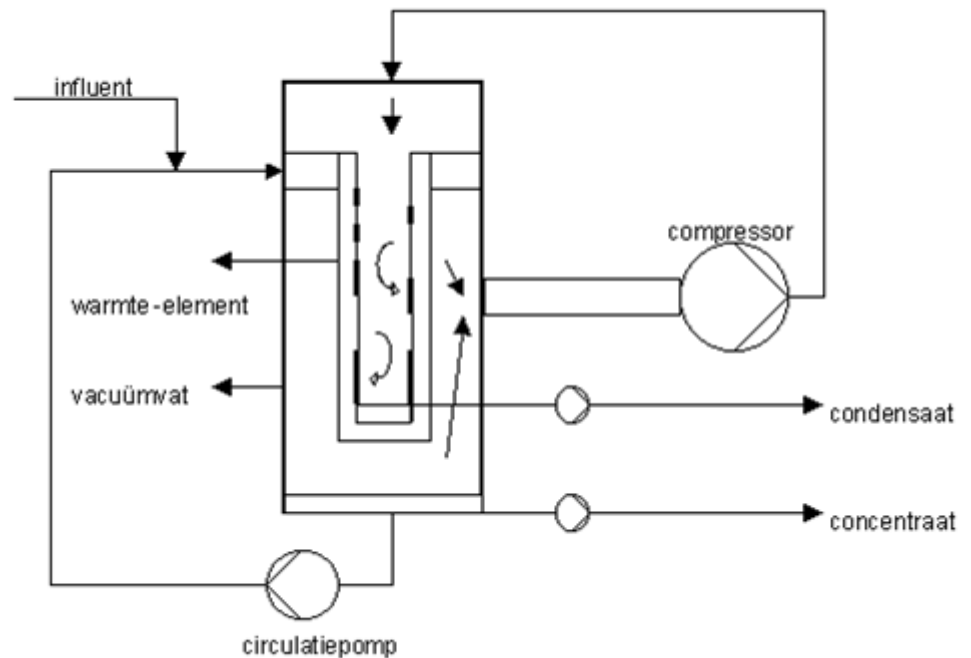


Figuur 26: Schematisch weergave van een MSF-proces (zonder brijn terugvoer) [63]

Mechanische damp recompressie (MDR of MVC)

“Het doel van indampen is het concentreren van opgeloste vervuiling en het destilleren van gezuiverd water uit afvalwater. De hier beschreven techniek is gebaseerd op het principe van mechanische damp recompressie eventueel gecombineerd met vallende-filmverdamping. Een circulatiepomp transporteert het influent naar het bovenste gedeelte van het vat waar het water verdeeld wordt over de warmte-elementen. Een deel van het afvalwater verdampt op het buitenoppervlak van het warmte-element. De ontstane damp wordt door een compressor geleid om de druk enigszins te verhogen en wordt dan naar het binnenoppervlak van het warmte-element geleid waar het condenseert. Condensatie-energie wordt naar de afvalwaterzijde van het warmte-element getransporteerd en het schone condensaat wordt verzameld.

Het geconcentreerde afvalwater stroomt naar de bodem van het vat waar het door de concentraatpomp wordt afgevoerd. Het materiaal van het warmte-element bestaat uit een dunne, niet-corrosieve elastische film van polymeren of van starre metalen.” [33]



Figuur 27: Schematische weergave MDR-proces [33]

Nanofiltratie (NF)

Nanofiltratie is een drukgedreven membraanproces dat zich qua scheidingsgrens situeert tussen ultrafiltratie en omgekeerde osmose. Zeefwerking berust op het verschil tussen de deeltjesgrootte en de poriëndiameter. De poriegrootte van een nanofiltratiemembraan wordt gekarakteriseerd door een cut-off waarde. Deze cut-off waarde komt overeen met het moleculegewicht van het kleinste molecule dat voor 90% wordt tegengehouden door de toplaag van het membraan (2 μm dik). De cut-off waarde wordt uitgedrukt in Dalton (Dalton = gewicht in gram van 1 mol van het molecule). Een typisch nanofiltratiemembraan situeert zich in het gebied van 150 – 500 Dalton, afhankelijk van de molecuulstructuur.

Nanofiltratiemembranen bezitten poriën met een grootte van ongeveer 1 nm. De zoutretentie voor een typisch nanofiltratiemembraan is beduidend lager dan bijvoorbeeld voor omgekeerde osmose, terwijl de zoutretentie naar nul gaat voor ultrafiltratie.

Een nanofiltratiemembraan kent ook een ion-selectiviteit. Dit is het vermogen om verschillende ionen van elkaar te onderscheiden. Doordat een nanofiltratiemembraan vaste geladen groepen in zijn membraanstructuur herbergt, kunnen er elektrostatische repulsie- / aantrekkingskrachten optreden tussen de componenten in de vloeistof en het (nanofiltratie)membraanoppervlak waardoor een zekere ion-selectiviteit ontstaat.

Een nanofiltratiemembraan kan bestaan in tubulaire, spiraalgewonden, of vlakke plaat vorm. Een spiraalgewonden module (zie onderstaande figuur) is opgebouwd uit spiraal gewonden polyamide membraanlagen. Aan het uiteinde van het membraan worden de spiraal gewonden lagen afgedicht door een eind cap. Middenin de spiraal gewonden module bevindt zich de permeaat verzamelbuis. Al het zuiver water wordt doorheen de spiraal windingen afgeleid en verzameld in deze buis. [24]

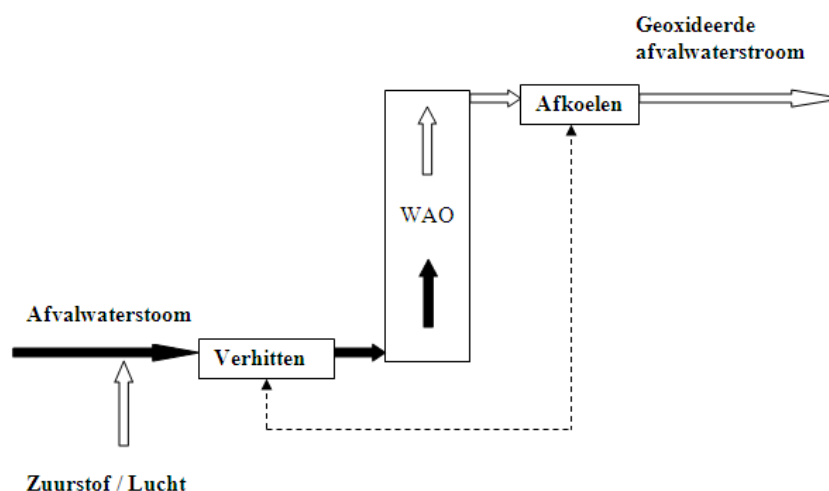
Natte lucht oxidatie (Wet air oxidation)

Natte lucht oxidatie maakt gebruik van een zuurstofhoudend gas als oxidator. Meestal wordt hiervoor lucht of zuurstof toegepast. Het proces werkt bij hogere druk en temperatuur in tegenstelling tot veel van de andere oxidatie technieken. De mate van oxidatie hangt af van de operatie condities die gebruikt worden.

Er kunnen 3 werkingsgebieden onderscheiden worden [66]:

- lagere condities (170-220°C; tot 4 MPa);
- hogere condities / Subkritisch (240- 320°C; 4 tot 20 MPa);
- superkritisch (> 374°C; > 22,1 MPa).

Natte lucht oxidatie wordt bij lagere of subkritische condities bedreven. De techniek wordt vaak ingezet als voorbehandelingstechniek. Het wordt dan gebruikt om de aanwezige organische stoffen af te breken tot laagmoleculaire stoffen die door andere processen afgebroken kunnen worden.

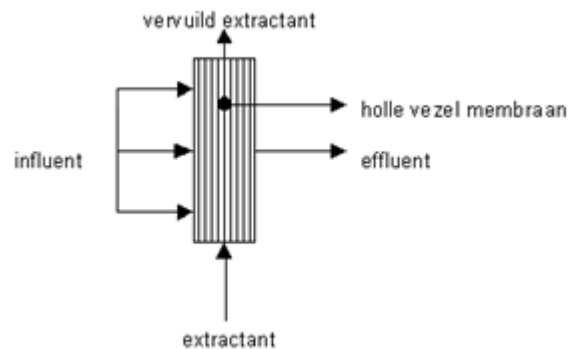


Figuur 28: [66]

Pertractie

Pertractie is gebaseerd op het extraheren van organische verbindingen (vluchtige en niet-vluchtige) uit vloeistoffen (o.a. water) met behulp van membranen. Het membraan heeft hierbij geen enkele selectiviteit. Het is een hydrofoob microfiltratiemembraan dat zorgt voor een hoog contactoppervlak tussen het organische extractiemiddel en de te zuiveren vloeistof. Het voorkomt bovendien de menging van de twee fasen.

Dat betekent dat er geen scheiding van de vloeistof en het extractiemiddel nodig is, wat tijd en geld bespaart. Het membraan maakt ook een flexibele, onafhankelijke regeling van de stromen van beide fasen mogelijk waardoor optimalisering van het proces eenvoudig wordt. Hierdoor is het ook mogelijk kleine hoeveelheden extractant met grote hoeveelheden te behandelen vloeistof in contact te brengen. Dit houdt de installaties compact.



Figuur 29: Schematische weergave pertractie proces [27]

“Een pertractie-installatie bestaat uit één of meerdere membraanmodules in serie (membranen zijn meestal in holle vezel configuratie voor een zo hoog mogelijk membraan oppervlak per volume). Hierbij stroomt de extractievloeistof langs één zijde van het membraan (binnenzijde holle vezel). Het afvalwater wordt langs de andere zijde van het membraan gestuurd (buitenzijde holle vezel). De poriën van het membraan zijn dan gevuld met het organische extractiemiddel. De vervuilende stoffen diffunderen vanuit het afvalwater door het membraan naar de extractant. Regeneratie van de extractant kan gebeuren met behulp van o.a. een vacuüm filmverdampner. Hergebruik van extractant is mogelijk.

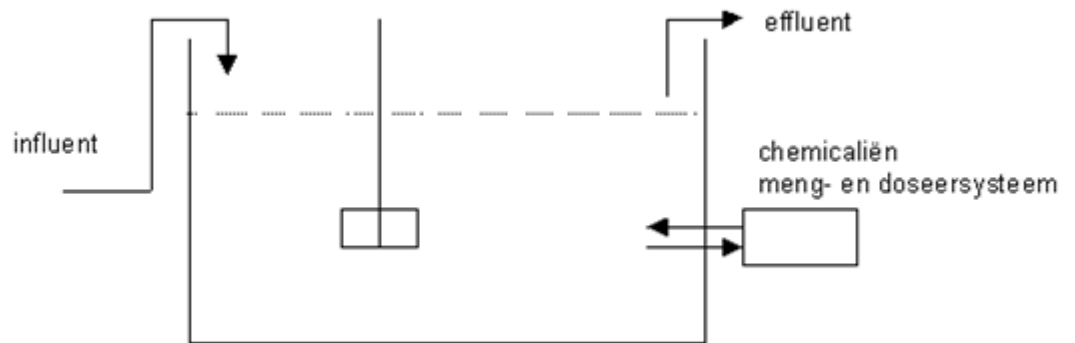
De selectiviteit kan worden beïnvloed door de keuze van het extractiemiddel. In een aantal gevallen verschillen de verdelingscoëfficiënten van verschillende te verwijderen stoffen niet of nauwelijks waardoor selectieve afscheiding moeilijk of kostbaar wordt, omdat meerdere stappen dienen te worden toegepast. Echter, voor verwijdering van organische stoffen uit bijvoorbeeld afvalwater, is selectieve afscheiding in het algemeen niet noodzakelijk.

Bij de keuze van het extractiemiddel moet naast de standaard criteria voor extractie (affiniteit voor te verwijderen componenten, chemische stabiliteit en toxiciteit) ook rekening gehouden worden met het membraansysteem i.e. chemische resistentie van het membraan en viscositeit. Door de lage hoeveelheid benodigd extractiemiddel komen nu ook duurdere extractanten in aanmerking. Daarbij is het nu ook niet noodzakelijk dat er een dichtheidsverschil bestaat tussen te behandelen stroom en extractant, hetgeen bij conventionele extractie gewenst is wegens de benodigde scheiding nadien.”
[27]

Photo catalytische oxidatie

Foto-katalytische oxidatie maakt gebruik van een combinatie van een katalysator met halfgeleider-eigenschappen (bijv. TiO_2) en licht van een voldoende korte golflengte (doorgaans UV-straling). Tijdens het proces worden radicalen gevormd op het oppervlak van de katalysator die de aanwezige stoffen/vervuiling afbreken. Door het gebruik van de katalysator zijn geen chemicaliën nodig voor het proces.

Precipitatie



Figuur 30: Schematische weergave precipitatieproces [29]

Het doel van precipitatie is het chemisch neerslaan van opgeloste stoffen in het afvalwater door middel van het toevoegen van een reagens dat een onoplosbare verbinding vormt met de af te scheiden stof. Positieve ionen zoals (zware) metalen maar ook negatieve ionen zoals fosfaten en sulfaten kunnen door precipitatie verwijderd worden. Het neerslaan gebeurt in het algemeen in een 1 op 1 molverhouding, dit wil zeggen dat een molecuul opgeloste stof (bijvoorbeeld SO_4^{2-} aanwezig in de vorm van goed oplosbaar natriumsulfaat) met 1 molecuul reagens (bijvoorbeeld barium afkomstig van oplosbaar bariumchloride) een onoplosbaar neerslag vormt (in dit geval bariumsulfaat). Vaak is echter een beperkte overdosering vereist voor een volledig verwijdering.

Andere voorbeelden zijn het ontharden van water met kalkmelk (verwijdering Ca en Mg), het defosfateren van afvalwater door middel van ijzerchloride onder vorming van slecht oplosbaar ijzerfosfaat en het verwijderen van zware metalen zoals chroom en nikkel met behulp van natriumsulfide (vorming van metaalsulfides).

Andere zware metalen kunnen door pH-verhoging neergeslagen worden als hydroxide. Nadat een stof is geprecipiteerd, kan hij door middel van filtratie, flotatie of bezinking afgescheiden worden van de hoofdstroom. Vaak wordt een polymeer toegevoegd om de afscheiding van het slib te verbeteren.

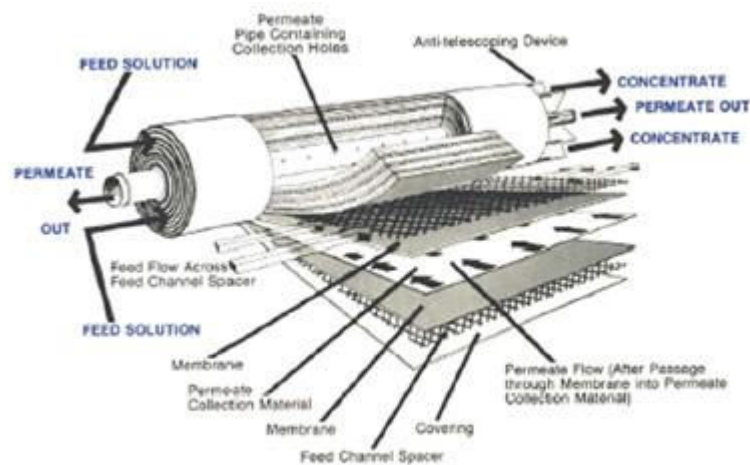
Omgekeerde osmose (RO)

Omgekeerde osmose is een drukgedreven membraanproces dat een scheidingsbereik heeft tussen 0.1 en 1 nm. Hierdoor bezitten omgekeerde osmose membranen een hoge retentie voor bacteriën, virussen en microdeeltjes. Ook tweewaardige en sommige eenwaardige ionen worden goed tegengehouden door het membraan.

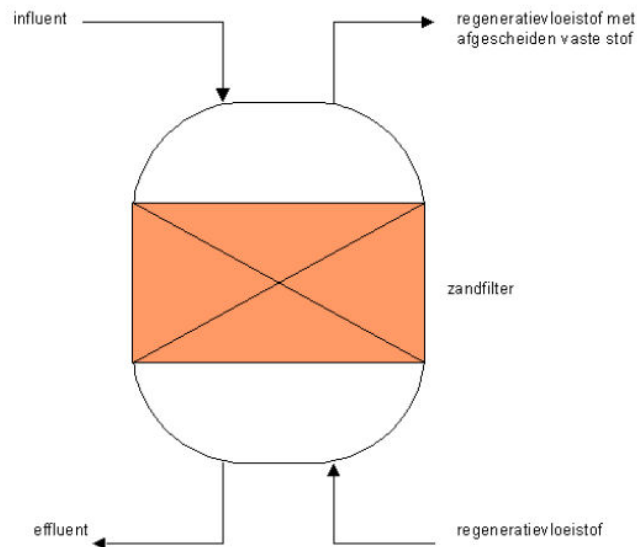
Doordat omgekeerde osmose membranen in staat zijn deze hoge retenties te behalen ontstaat er een osmotisch drukverschil over het membraan. Aan de voedingszijde bevindt zich een hoge zoutconcentratie en aan de andere zijde van het membraan (permeaatzijde) bevindt zich een lage zoutconcentratie. Van nature zal het water naar de concentraatzijde willen stromen om het thermodynamische evenwicht te herstellen. Dit proces wordt ook wel osmose genoemd.

Door een hogere druk toe te passen aan de concentraatzijde kan deze osmotische druk overwonnen worden en zal het zuivere water door het membraan gedrukt worden. Omdat hierbij de stroming tegen de osmotische druk ingaat wordt er gesproken van omgekeerde osmose. De grootte van de benodigde druk hangt af van de concentratie aan ionen aan de concentraatzijde.

Een omgekeerde osmose membraan is opgebouwd uit spiraal gewonden polyamide membraan lagen (zie onderstaande figuur). Aan het uiteinde van het membraan worden de spiraal gewonden lagen afgedicht door een eind cap. Middenin de spiraal gewonden module bevindt zich de permeaat verzamelbuis. Al het zuivere water wordt doorheen de spiraal windingen afgeleid en verzameld in deze buis. [23]



Zand filtratie



Figuur 31: Schematische weergave zand filtratie (30)

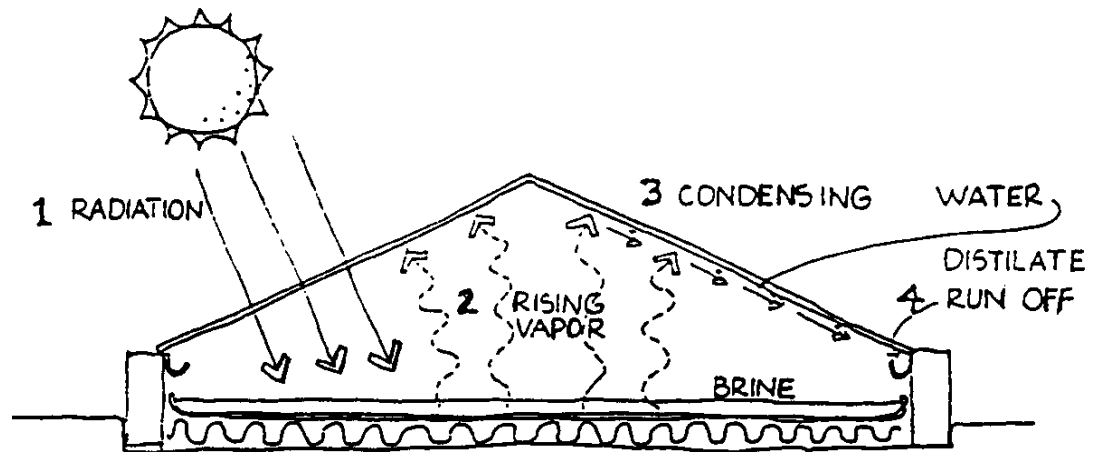
Zandfiltratie wordt toegepast voor het verwijderen van zwevend stoffen, alsook drijvende en bezinkbare deeltjes. Het afvalwater stroomt verticaal doorheen een bed van fijn zand en/of grind. Aanwezige deeltjes worden verwijderd door middel van adsorptie of fysieke inkapseling. Als de drukval over de filter te groot wordt, moet teruggespoeld worden.

Er kan onderscheid worden gemaakt tussen continue en discontinue filters. Bij continue filters (vaak opwaarts stromende filters) wordt voortdurend het vervuild zand verwijderd, gewassen en hergebruikt zonder onderbreking van het filtratieproces. Discontinue filters (vaak neerwaarts stromende filters) onderbreken hun werking en voeren een tegenstroomspoeling uit. Er worden luchtballen in het zandbed geblazen zodat dit losgewoeld wordt. Vervolgens stroomt gefilterd water in tegenstroom doorheen het filterbed. De vervuilde materie komt vrij en stroomt mee met het spoelwater. Het filtratieproces kan vervolgens hervat worden.

Het rendement van een zandfilter wordt bepaald door een tweetal manieren van werken van zandfilters, namelijk oppervlaktefiltratie en dieptefiltratie. Bij oppervlaktefiltratie worden de af te vangen deeltjes reeds boven op het filterbed afgevangen. Deze deeltjes vormen samen een macroporeuze koek die nieuwe deeltjes op een zeer effectieve wijze kunnen afvangen. Bij dieptefiltratie gaat het in het algemeen om kleinere deeltjes die moeilijker af te vangen zijn en die door adsorptie aan de zanddeeltjes hechten. Vuil afkomstig van oppervlaktefiltratie is gemakkelijker te verwijderen tijdens het terugspoelen ten opzichte van vuil afkomstig van dieptefiltratie. (30)

Zonedestillatie

Bij zonedestillatie wordt gebruik gemaakt van zonne-energie om water te verdampen uit een brijnstream. In de onderstaande figuur is schematisch het proces weergegeven. De installatie bestaat uit een geïsoleerde bak/tank waarin zich onderin het brijn bevindt. De bak/tank is afgedekt met een doorzichtig plastic dak. Door middel van de straling van de zon wordt het water uit het brijn verdampt. De waterdamp condenseert vervolgens tegen het dak en wordt vervolgens afgevoerd naar een opslagvoorziening.



Figuur 32: Schematische weergave proces zonedestillatie

Vloeistof extractie

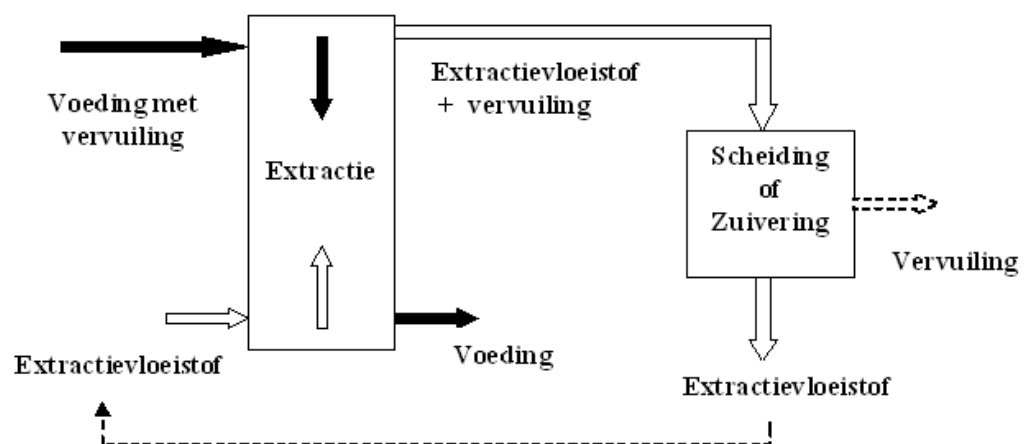
Vloeistof extractie is een proces dat stoffen scheidt op basis van de chemische eigenschappen. De voedingsstroom met vervuiling wordt tijdens vloeistofextractie in contact gebracht met extractievloeistof. De extractievloeistof wordt dusdanig gekozen dat hij niet mengt met de voedingsstroom en dat hij de vervuiling goed oplost. Tijdens het extractieproces zal de vervuiling van de voedingsstroom (gedeeltelijk) overgaan naar de extractievloeistof, totdat het evenwicht in concentratie bereikt is. Dit evenwicht hangt af van de affiniteit die de vervuiling heeft voor de extractievloeistof. Indien meerdere stoffen aanwezig zijn, zal het evenwicht stof-afhankelijk zijn. In een bijkomende stap wordt de vervuiling gescheiden van de extractievloeistof waardoor deze hergebruikt kan worden.

Extractie kan eveneens gebruikt worden om een waardevolle stof af te scheiden van de voedingsstroom.

Vloeistof extractie heeft verschillende mogelijke uitvoeringsvormen op industriële schaal. Daarbij onderscheidt men twee hoofdcategorieën:

De eerste categorie bestaat uit mixers-ontmengers (mixers-settlers), waarbij het extractieproces uit twee aparte stappen bestaat. In de eerste stap worden de twee vloeistoffen gemengd om de stofoverdracht mogelijk te maken. In de tweede stap worden de twee vloeistoffen gescheiden. De twee stappen kunnen plaatsvinden in aparte reactoren.

De tweede categorie maakt gebruik van kolommen waarbij de twee vloeistoffen continu in contact zijn met elkaar. Hierbij worden typisch speciale maatregelen genomen om het contactoppervlak tussen de voedings- en extractiestroom te vergroten (bv. dispergeren van één vloeistof, het gebruik van trays of pakkingsmateriaal, ...). [20]



Figuur 33: Schematische weergave vloeistofextractie proces [20]

Ultrafiltratie (UF)

Ultrafiltratie is een van de drukgedreven membraanprocessen. Het ultrafiltratieproces maakt gebruik van een membraan, een semi-permeabel materiaal, waar in het geval van ultrafiltratie enkel deeltjes doorheen kunnen kleiner dan 20 nm. De poriëgrootte situeert zich tussen 20 nm en 0,1 micron.

Ultrafiltratiemembranen worden in verscheidene configuraties door de leveranciers aangeboden, elk met zijn specifieke toepassing en bijhorende voor- en nadelen. Mogelijke membraanconfiguraties zijn:

buisvormige membranen: capillair, holle vezel of tubulair;
plaatvormige membranen: vlakke plaat of spiraalgewonden

Buiten de specifieke membraanconfiguratie kan men ook enkele bedrijfsvoeringen onderscheiden. De 2 meest gebruikte methodes zijn dead-end en cross-flow bedrijfsvoering. De namen verwijzen naar de manier waarop de voeding aan het membraan aangeboden wordt. Bij dead-end UF wordt de voeding loodrecht op het membraan gestuurd. Aan de voedingszijde van het membraan zet zich hierbij een vervuilingsslaag af op het membraanoppervlak. Deze laag bevat alle deeltjes die zijn afgescheiden op basis van hun grootte (zeefwerking). Op periodieke wijze wordt deze laag weggespoeld door gedurende een korte tijd de geproduceerde vloeistof (permeaat) terug doorheen het membraan te sturen in tegengestelde zin van de stroming bij productie. De koeklaag wordt zo losgemaakt en kan afgevoerd worden. Dit noemt men semi dead-end bedrijfsvoering

Wanneer de koeklaag te sterk is samengedrukt of te sterk kleeft aan het membraan kan het zijn dat deze terugspoeling niet voldoende meer is om de laag te verwijderen van het oppervlak. Dan dient een chemische reiniging uitgevoerd, bijvoorbeeld met javel, peroxide, zuur en base of detergent. [19]

UV

Ultra violet (UV) licht vormt onderdeel van het elektromagnetisch spectrum en heeft een golflengte tussen 100 – 400 nm. Het bereik tussen 200-280 nm (UV C) heeft een bacterie-dodend effect. Bij gebruik van de juiste dosis is UV in staat om effectieve micro-organismen af te doden, zonder vorming van giftige bij-producten.

De effectiviteit van UV-straling hangt af van de UV-absorptie van het af te breken materiaal. Nucleïne-zuren (o.a. bouwblokken DNA) en eiwitten zijn effectief in het absorberen van UV-straling, om deze reden is UV een effectieve fysieke desinfectie methode. Bestraling van micro-organismen met UV resulteert in niet omkeerbare foto-biochemische veranderingen in de DNA-structuur waardoor de organismen niet meer in staat zijn zich voor te planten.

Voorwaartse osmose (FO)

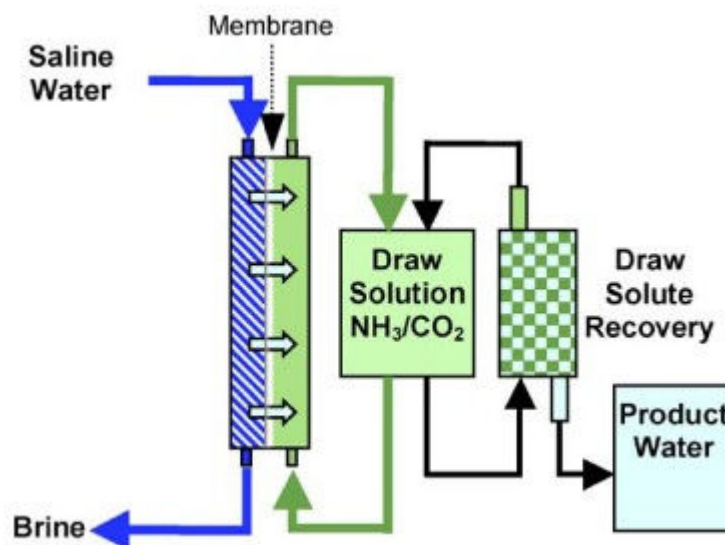
Bij forward osmosis wordt van dezelfde membranen gebruik gemaakt als bij omgekeerde osmose. Deze houden (vrijwel) alle opgeloste delen tegen en laten water door.

Door het verschil in concentratie van de deeltjes in het ingaande water en het permeaat ontstaat een osmotische druk. Deze druk zorgt ervoor dat water richting de oplossing met de hogere concentratie aan verontreinigingen stroomt. Bij omgekeerde osmose wordt daarom hoge druk gebruikt om de osmotische druk te overwinnen.

In tegenstelling tot omgekeerde osmose maakt forward osmosis gebruik van de osmotische druk. Bij forward osmosis wordt een draw solution (onttrekkingoplossing) gebruikt om het water uit het zout te onttrekken. Omdat de concentratie van de componenten in de draw solution aan de permeaat zijde hoger is zal dit leiden tot een osmotische druk. Hierdoor stroomt het water richting de permeaat zijde. De opgeloste delen in het water worden hierbij tegengehouden door het membraan.

Het water wordt vervolgens van de draw solution gescheiden middels een nageschakelde scheidingsstap.

Het werkingsprincipe van FO maakt het mogelijk om bij lage drukken en dus met relatief weinig energie het water af te scheiden uit de te zuiveren stroom. Hierbij is het wel van belang om een draw solution te kiezen die een gemakkelijke scheiding van het water mogelijk maakt.



Figuur 34: schematische weergave onderdelen forward osmose installatie (obv NH₃-CO₂)

(http://www.freedrinkingwater.com/Images-news/forward_osmosis_image001.gif)

Bijlage C: Kansen en knelpunten inzetbare technieken

Technologie	Kansen	Knelpunten	Referentie
1stepfilter	<ul style="list-style-type: none"> + vergaande verwijdering van nitraat en fosfaat + verwijdering troebelheid (goede basis voor UVbehandeling) 		13
Actiefkoolfiltratie	<ul style="list-style-type: none"> + weinig/geen voorbehandeling + relatief ongevoelig voor variaties + bewezen en veel toegepaste techniek + gering energieverbruik (enkel pompen) 	<ul style="list-style-type: none"> – regeneratie nodig – bestrijdingsmiddelen steeds meer polair (slechtere adsorptie) – dure technologie (met name bij hoge ingangs concentraties of lage beladingsgraad) – effluent regeneratie bevat nog steeds de bestrijdingsmiddelen – competitie met andere organische deeltjes 	3,25
AOP (geavanceerde oxidatie processen)	<ul style="list-style-type: none"> + procesbeheersbaarheid + vergaande afbraak OMV en desinfectie + ongevoelig voor fluctuaties en samenstellingen + geen afvalstoffen 	<ul style="list-style-type: none"> – hoge energievraag – helderheid water bepalend voor effectiviteit UV – (gering) risico op ongewenste nevenproducten – deel OMV's niet/moeilijk afbreekbaar (met name GBM) – combinatie van verschillende processen – bepaalde componenten kunnen radicalen wegvangen 	3,7,21
Biofiltratie	<ul style="list-style-type: none"> + eenvoudig systeem + weinig tot geen bediening benodigd 	<ul style="list-style-type: none"> – Laag bufferend vermogen (gevoelig voor pieken in omvang en samenstelling van het te zuiveren water) – Periodieke terugspoeling nodig om verstopping tegen te gaan (met name gevoelig voor zwevend stof) – Verwijdering van de nutriënten (P via slib en N via nitrificatie) 	46
Capacitatieve Deionisatie (o.a bekend als CapDI)	<ul style="list-style-type: none"> + laag energieverbruik + hoge recovery potentie + effectief voor toepassing op brak water 	<ul style="list-style-type: none"> – nog niet volledig ontwikkeld – kosten carbon aearogel electroden zijn hoog – levensduur electroden zijn lastig te voorspellen – electroden zijn zeer snel beladen en moeten geregeneerd worden door ompoling 	5

Electrodialyse	<ul style="list-style-type: none"> + relatief laag energieverbruik + nutriënten worden ook (deels) verwijderd + hoge water recovery + flexibele operatie + recycle van nutriënten ook mogelijk + lage onderhoudskosten + directe link tussen kosten en zout gehalte 	<ul style="list-style-type: none"> – niet geïoniseerde componenten worden niet verwijderd – voorbehandeling nodig – geschikt tot TDS van 4000 mg/l – risico membraan fouling/degeneratie (verwijderbaar middels omdraaien lading) – minder efficiënt voor ontzouting dan RO 	4,5,21
FACT	<ul style="list-style-type: none"> + selectie afscheiding fosfaat mogelijk + inzetbaar als voorbehandeling voor bijv RO/Memstill 	<ul style="list-style-type: none"> – verwijdert geen zouten (natriumzouten zijn zeer goed oplosbaar) 	6,21
Helofytenfilter	<ul style="list-style-type: none"> + zeer gering energieverbruik (enkel verpompen) + natuurlijk ogend systeem + weinig onderhoud of controle benodigd + geen slibproductie 	<ul style="list-style-type: none"> – langdurige opstartfase (opbouw wortelstelsel) ruimte beslag (tot 5 m³/IE) – zuiverende werking is seizoensafhankelijk (rendement kan afnemen met 40 tot 50% in de winter en lente) – zuiveringsrendement is sterk afhankelijk van dimensionering (mate van belasting) 	40
Ionenwisseling(carix)	<ul style="list-style-type: none"> + laag chemicalienverbruik + hoog rendement + nauwelijks voor/nabehandeling nodig + stabiel + recycle nutriënten mogelijk + flexibele operatie 	<ul style="list-style-type: none"> – regeneratie nodig (incl. chemicaliën) – geen effect op EC (behalve bij toepassing H en OH) 	3,5

MAAS	+ afbraak OMV bij regeneratie adsorbens	– oxidatie is (voor actieve kool) niet zo effectief als thermisch regenereren	49
Bewegend bed Adsorptie (MBA)	+ hoog rendement (met name bij lage ingaande concentraties)	– samenstelling van het te zuiveren water kan van invloed zijn op prestatie	2
Membraanbioreactor (MBR/SBR)	+ hoge water recovery + compact systeem + lage slibproductie	– verdere verwerking verkregen slib benodigd – gevoelig voor fluctuaties in influent (constante aanvoer samenstelling nodig) – koolstofbron (doorgaans methanol) + ammonium nodig voor nitraatverwijdering (laag NH4 en BZV in glastuinbouw) – fosfaatverwijdering lastig vanwege lage fosfaat concentraties in de glastuinbouw (met coagulant kan meer) – periodieke chemische reiniging vereist – met name toegepast voor hogere CZV en nitraat gehalten	3,5
Meerstapsverdamping (MEE)	+ voedingswater kwaliteit is minder belangrijk + bewezen techniek + geschikt voor grote capaciteiten	– destillatie vraagt veel knowhow voor ontwerpen en opereren – hoog energieverbruik (26,4 76,4 kWh/m3 voor zeewater – vooral toegepast op zeewater – scaling op tubing	5

Membraandestillatie	<ul style="list-style-type: none"> + retentie van niet vluchtige componenten (ook bacterien etc) + potentieel voor hoge recovery + operatie bij lage druk en temperatuur + geringe membrane fouling + mogelijkheid inzet restwarmte + enkel chemicaliën nodig voor CIP 	<ul style="list-style-type: none"> – getest op verwerken zeewater – getest op pilot scale – scaling kan aandachtspunt zijn – zepen en olieën (vetten) kunnen het membraan bevochtigen en zo de retentie van bepaalde stoffen verminderen 	5,21
Microfiltratie	<ul style="list-style-type: none"> + effectief filter voor deeltjes, BZV en turbiditeit + geringe mate van nutriënten verwijdering (via retentie van deeltjes) + lage operatie druk + lager energieverbruik dan bijv NF en RO + relatief goedkoop + kwaliteit permeaat is onafhankelijk van bedrijfsvoering 	<ul style="list-style-type: none"> – verdere behandeling concentraat nodig – desinfectie blijft nodig – periodieke chemische reiniging – geen eindstap (vooral geschikt als voorbehandeling voor nageschakelde techniek) – gevoelig voor oxidatieve chemicalien, scherpe deeltjes en te hoge druk 	7,18
Multi stage flash (MSF)	<ul style="list-style-type: none"> + voedingswater kwaliteit is minder belangrijk + bewezen techniek geschikt voor grote capaciteiten 	<ul style="list-style-type: none"> – destillatie vraagt veel knowhow voor ontwerpen en opereren – hoog energieverbruik (63,9 84,5 kWh/m³ voor zeewater, 26,4 kwh/m³ voor brak water) – vooral toegepast op zeewater 	5
Mechanische damp recompressie (MDR)	<ul style="list-style-type: none"> + simpel en betrouwbaar proces + verschillende schaalgroottes mogelijk (gecombineerd met MEE voor grotere toepassingen) 	<ul style="list-style-type: none"> – hoge investeringskosten – hoge onderhoudslast voor compressoren – toepassing vooral op zeewater – ammoniak dient vooraf verwijderd te worden 	5

Nanofiltratie	<ul style="list-style-type: none"> + simultaan verwijdering OMV, nutriënten en desinfectie + scheidt (in principe) tweewaardige ionen af en laat eenwaardige door 	<ul style="list-style-type: none"> – chemicaliën nodig voor reiniging – afvalwaterstroom met chemicaliën – gevoelig voor scaling (voorbehandeling nodig) – slechts gedeeltelijke nitraatverwijdering 	3,5,21
Photo katalytische oxidatie	<ul style="list-style-type: none"> + hoge effectiviteit 	<ul style="list-style-type: none"> – noodzaak voor gebruik van katalysator (bijv TiO₂) 	5
Omgekeerde osmose	<ul style="list-style-type: none"> + efficiënte verwijdering van zouten en andere opgeloste stoffen + absolute barrière voor bacteriën en virussen + vermindering zware metalen, nitraten en sulfaten 	<ul style="list-style-type: none"> – huidige operatie doorgaans 50 tot 70% water recovery (80 tot 90% is gewenst) – gevoelig voor fouling/degeneratie (voorbehandeling nodig) – energieverbruik (ivm hoge druk) – relatief veel concentraat (tot 50%) – antiscalants en chemicaliën voor membraanreiniging nodig 	3, 16
Ultrafiltratie (UF)	<ul style="list-style-type: none"> + goede desinfecterende werking + relatief goedkoop + hoge permeaat opbrengst + lage werkdruk + relatief laag energieverbruik 	<ul style="list-style-type: none"> – weinig effect op nutriënten – retentie virussen is variabel – geen retentie van zouten – geen eindstap (vooral geschikt als voorbehandeling voor nageschakelde techniek) 	19
UV	<ul style="list-style-type: none"> + simpel, betrouwbaar en goed te automatiseren + gegarandeerde desinfectie 	<ul style="list-style-type: none"> – energie vraag 	3,5
Voorwaartse osmose (FO)	<ul style="list-style-type: none"> + bij juiste keuze draw solution hoge recovery bij lager energieverbruik (tov RO) 	<ul style="list-style-type: none"> – vraagt een extra scheidingsstap (bijv verdamping) 	21

Bijlage D: Factsheets technieken

Categorie	Technologie	1stepfilter	Referentie/opmerkingen
	Volledige naam	1stepfilter	
	Typering	Filtratie + adsorptie + biologische omzetting + precipitatie	
	Status	Demo-fase	
	Bewezen in glastuinbouw	nee	
	E-verbruik (kwh/m3)	0,12-0,17	13
	Voorbehandeling	zeefbocht	13
	Inschatting ruimtebeslag	+ naar verwachting compact systeem (uitvoering als kolom)	
	Inschatting betrouwbaarheid	+ snel herstel van waterkwaliteit na incidenten	13
	Inschatting beheersbaarheid	nog niet in detail bekend	
	Inschatting onderhoudsgevoeligheid	nog niet in detail bekend, naar verwachting gering	
	Inschatting gevoeligheid voor (bio)fouling	nog niet in detail bekend	
	Opmerkingen		
	Water recovery	88%	
1-waardige zouten	Retentie éénwaardige zouten (NA, K, CL)	--	Naar verwachting
Pathogenen	Retentie bacterien	-	13
	Retentie virussen	-	13
	Retentie aaltjes	-	13
Nutriënten	Retentie zouten (2-3 waardig)	--	Naar verwachting
	Terugwinning nitraat	78-90%	13
	Terugwinning fosfaat	82-85%	13
OMV	Retentie OMV (polair)	--	Obv actief koolfiltratie
	Retentie OMV (apolair)	31-82%	13
	Inschatting investeringskosten (€/(m3/jaar))	0,2	13
	Inschatting operatie kosten (€/m3)	0,33	13

Categorie	Technologie	actiefkoolfiltratie	Referentie/opmerkingen
	Volledige naam	actiefkoolfiltratie	
	Typering	Filtratie + adsorptie	
	Status	Bestaand	
	Bewezen in glastuinbouw	nee	
	E-verbruik (kwh/m3)	0,01 (pompen) 1-3 voor regeneratie	3
	Voorbehandeling	RSF	3
	Inschatting ruimtebeslag	+ naar verwachting gering (hoog specifiek oppervlak; toepassing in kolom)	
	Inschatting betrouwbaarheid	+ bewezen en veel toegepaste techniek	
	Inschatting beheersbaarheid	+ naar verwachting goed beheersbaar (weinig gevoeligheid voor fluctuaties)	
	Inschatting onderhoudsgevoeligheid	+ naar verwachting beperkt onderhoud nodig (met name periodieke regeneratie kool nodig)	
	Inschatting gevoeligheid voor (bio)fouling	+ naar verwachting gering, echter nog niet in detail bekend	
	Opmerkingen		
	Water recovery	Niet in detail bekend	
1-waardige zouten	Retentie éénwaardige zouten (NA, K, CL)	--	3
Pathogenen	Retentie bacterien	-	3
	Retentie virussen	-	3
	Retentie aaltjes	-	3
Nutriënten	Retentie zouten (2-3 waardig)	--	3
	Terugwinning nitraat	--	3
	Terugwinning fosfaat	--	3
OMV	Retentie OMV (polair)	--	3
	Retentie OMV (apolair)	80-100%	7
	Inschatting investeringskosten (€/m3/jaar)	0,07-0,15	25
	Inschatting operatie kosten (€/m3)	0,5-1,0	25

Categorie	Technologie	AOP	Referentie/opmerkingen
	Volledige naam	Geavanceerde oxidatieprocessen (o.a UV/H2O2/O3)	
	Typering	Oxidatie	
	Status	Demo-fase	
	Bewezen in glastuinbouw	nee	5
	E-verbruik (kwh/m3)	1,5	3
	Voorbehandeling	UF/RSF	3
	Inschatting ruimtebeslag	+ voor telers met een UV-installatie is enkel toevoeging van een pomp en een H2O2-vat benodigd	60
	Inschatting betrouwbaarheid	+ bewezen techniek voor industrieel afvalwater; gebaseerd op bestaande technieken	60
	Inschatting beheersbaarheid	- enkel regeling mogelijk aan doseerzijde en niet achteraf - handmatig bepalen van overmaat aan H2O2 nodig om te dosering aan te kunnen passen	60
	Inschatting onderhoudsgevoeligheid	+ gering, vergelijkbaar met andere doseerapparatuur	60
	Inschatting gevoeligheid voor (bio)fouling	+ geen gevoeligheid, er vindt afbraak van bioactieve delen plaats	
	Water recovery	100%	
1-waardige zouten	Retentie éénwaardige zouten (NA, K, CL)	--	
Pathogenen	Retentie bacterien	++	3,5
	Retentie virussen	++	3,5
	Retentie aaltjes	++	3,5
Nutriënten	Retentie zouten (2-3 waardig)	--	Geen effect op deze componenten
	Terugwinning nitraat	--	
	Terugwinning fosfaat	--	
OMV	Retentie OMV (polair)	++	3,5
	Retentie OMV (apolair)	++	3,5
	Inschatting investeringskosten (€/(m3/jaar))	4,6	3
	Inschatting operatie kosten (€/m3)	0,9	3

Categorie	Technologie	CDI	Referentie/opmerkingen
	Volledige naam	capitative deionisation	
	Typering	electrisch	
	Status	In ontwikkeling	5,11
	Bewezen in glastuinbouw	nee	
	E-verbruik (kwh/m3)	zeewater (4,2-10,5) brak water (0,05-0,1)	5
	Voorbehandeling	TOC/scaling verwijdering	36
	Inschatting ruimtebeslag	+ naar verwachting compact systeem	
	Inschatting betrouwbaarheid	nog niet bekend, naar verwachting met name afhankelijk van de werking en duurzaamheid van de elektroden	
	Inschatting beheersbaarheid	+ naar verwachting goed beheersbaar (flow en spanningsverschil eenvoudig regelbaar)	
	Inschatting onderhoudsgevoeligheid	nog niet bekend, afhankelijk van levensduur elektroden	
	Inschatting gevoeligheid voor (bio)fouling	niet in detail bekend, verschillende geluiden te horen in de literatuur	zie o.a ref 36
	Water recovery	95%	obv ED
1-waardige zouten	Retentie éénwaardige zouten (NA, K, CL)	++	obv ED
Pathogenen	Retentie bacterien	--	obv ED
	Retentie virussen	--	obv ED
	Retentie aaltjes	--	obv ED
Nutriënten	Retentie zouten (2-3 waardig)	++	obv ED
	Terugwinning nitraat	++	obv ED
	Terugwinning fosfaat	-	obv ED
OMV	Retentie OMV (polair)	--	obv ED
	Retentie OMV (apolair)	--	obv ED
	Inschatting investeringskosten (€/m3/jaar)	niet in detail bekend	
	Inschatting operatie kosten (€/m3)	niet in detail bekend	

Categorie	Technologie	ED	Referentie/opmerkingen
	Volledige naam	Electrodialyse	
	Typering	Electro-chemisch	
	Status	Bestaand	
	Bewezen in glastuinbouw	nee	
	E-verbruik (kwh/m3)	0,1-2	3
	Voorbehandeling	RSF	3
	Inschatting ruimtebeslag	+ naar verwachting redelijk compact systeem (naast elkaar geplaatste stacks van elektroden platen)	
	Inschatting betrouwbaarheid	+ naar verwachting in hoge mate betrouwbaar (bewezen techniek voor relatief schone en zoute stromen)	
	Inschatting beheersbaarheid	+ naar verwachting goed beheersbaar (flow + lading op elektroden eenvoudig regelbaar)	
	Inschatting onderhoudsgevoeligheid	+ lage onderhoudskosten	5
	Inschatting gevoeligheid voor (bio)fouling	+ redelijk goed verwijderbaar door periodiek omdraaien van de lading op de elektroden	
	Opmerkingen	E hangt af van zoutgehalte	3
	Water recovery	95%	50
1-waardige zouten	Retentie éénwaardige zouten (NA, K, CL)	0-50%	3
Pathogenen	Retentie bacterien	--	3
	Retentie virussen	--	3
	Retentie aaltjes	--	3
Nutriënten	Retentie zouten (2-3 waardig)	16-32%	50
	Terugwinning nitraat	69%	3
	Terugwinning fosfaat	-	enkel mogelijk via precipitatie (5)
OMV	Retentie OMV (polair)	--	Geen effect hier op
	Retentie OMV (apolair)	--	
	Inschatting investeringskosten (€/(m3/jaar))	1,33	5
	Inschatting operatie kosten (€/m3)	0,5	5

Categorie	Technologie	FACT	Referentie/opmerkingen
	Volledige naam	filter assisted crystallization technology	
	Typering	filtratie + kristallisatie	
	Status	Demo-fase	
	Bewezen in glastuinbouw	nee	
	E-verbruik (kwh/m3)	0,1	41
	Voorbehandeling	polishing filter	6
	Inschatting ruimtebeslag	+ naar verwachting compact systeem	
	Inschatting betrouwbaarheid	nog niet in detail bekend	
	Inschatting beheersbaarheid	nog niet in detail bekend	
	Inschatting onderhoudsgevoeligheid	nog niet in detail bekend	
	Inschatting gevoeligheid voor (bio)fouling	nog niet in detail bekend	
	Opmerkingen		
	Water recovery	100%	Naar verwachting
1-waardige zouten	Retentie éénwaardige zouten (NA, K, CL)	-	6
Pathogenen	Retentie bacterien	-	6
	Retentie virussen	-	6
	Retentie aaltjes	-	6
Nutriënten	Retentie zouten (2-3 waardig)	+	6
	Terugwinning nitraat	-	6
	Terugwinning fosfaat	++ (naar verwachting)	6
OMV	Retentie OMV (polair)	-	6
	Retentie OMV (apolair)	-	6
	Inschatting investeringskosten (€/(m3/jaar))	0,21	41
	Inschatting operatie kosten (€/m3)	0,11	41

Categorie	Technologie	helofytenfilter	Referentie/opmerkingen
	Volledige naam	helofytenfilter	
	Typering	Biologische omzetting	
	Status		
	Bewezen in glastuinbouw	nee	
	E-verbruik (kwh/m3)	10 kWh/IE/jaar	40
	Voorbehandeling	voorbezinking + evt olie/vet afscheider	40
	Inschatting ruimtebeslag	- groot ruimtebeslag	5
	Inschatting betrouwbaarheid	- gering, vanwege seizoensafhankelijkheid	40
	Inschatting beheersbaarheid	- zeer gering, natuurlijk proces is weinig stuurbaar	40
	Inschatting onderhoudsgevoeligheid	+ zeer beperkt onderhoud en controle nodig	40
	Inschatting gevoeligheid voor (bio)fouling	+ geen gevoeligheid voor fouling (geen effect op de planten)	
	Opmerkingen		
	Water recovery	afhankelijk van opname door de planten en verdamping	
1-waardige zouten	Retentie éénwaardige zouten (NA, K, CL)	--	Naar verwachting
Pathogenen	Retentie bacterien	niet in detail bekend	
	Retentie virussen	niet in detail bekend	
	Retentie aaltjes	niet in detail bekend	
Nutriënten	Retentie zouten (2-3 waardig)	--	Naar verwachting
	Terugwinning nitraat	>50%	40
	Terugwinning fosfaat	25-65% (*)	40
OMV	Retentie OMV (polair)	--	Naar verwachting
	Retentie OMV (apolair)	--	
	Inschatting investeringskosten (€/m3/jaar)	457 €/IE	40
	Inschatting operatie kosten (€/m3)	58 €/IE	40

Categorie	Technologie	Ionenwisseling (Carix)	Referentie/opmerkingen
	Volledige naam	Ionenwisseling	
	Typering	Electro-chemisch	
	Status	Demo-fase	
	Bewezen in glastuinbouw	nee	
	E-verbruik (kwh/m3)	0,3-0,4	3
	Voorbehandeling	filtration/resins/activated carbon	7
	Inschatting ruimtebeslag	+ naar verwachting gering ruimtebeslag (harsen kennen een groot specifiek oppervlak)	
	Inschatting betrouwbaarheid	+ naar verwachting goed (reeds vele jaren toegepast voor verschillende doeleinden)	
	Inschatting beheersbaarheid	+ naar verwachting goed	
	Inschatting onderhoudsgevoeligheid	+ bij juiste keuze harsen naar verwachting beperkt onderhoud nodig	
	Inschatting gevoeligheid voor (bio)fouling	nog onbekend, aandachtspunt voor eventueel onderzoek	
	Opmerkingen	regeneratie nodig	
	Water recovery	95%	Naar verwachting
1-waardige zouten	Retentie éénwaardige zouten (NA, K, CL)	niet in detail bekend	3
Pathogenen	Retentie bacterien	--	Geen effect op deze componenten
	Retentie virussen	--	
	Retentie aaltjes	--	
Nutriënten	Retentie zouten (2-3 waardig)	76-90%	3
	Terugwinning nitraat	72%	3
	Terugwinning fosfaat	+	3
OMV	Retentie OMV (polair)	--	Geen effect op deze componenten
	Retentie OMV (apolair)	--	
	Inschatting investeringskosten (€/(m3/jaar))	1,1	5
	Inschatting operatie kosten (€/m3)	0,3	5

Categorie	Technologie	MAAS	Referentie/ opmerkingen
	Volledige naam	membrane assisted affinity separations	
	Typering	Filtratie + adsorptie	
	Status	Bestaand	
	Bewezen in glastuinbouw	nee	
	E-verbruik (kwh/m3)	0,05-1	obv UF
	Voorbehandeling	MF	49
	Inschatting ruimtebeslag	+ filtratie obv MF/UF, naar verwachting compact systeem	49
	Inschatting betrouwbaarheid	bij lage concentraties zeer betrouwbaar, bij hoge concentraties is het meting van ingaande concentratie nodig om goed te kunnen sturen qua dosering	49
	Inschatting beheersbaarheid	+ vanwege de korte verblijftijd kan snel gereageerd worden op fluctuaties	49
	Inschatting onderhoudsgevoeligheid	+ membranen kennen een lange levensduur, er zal daarom in geringe mate onderhoud nodig zijn	49
	Inschatting gevoeligheid voor (bio)fouling	+ naar verwachting vrij gering vanwege de aanwezigheid van de kooldeeltjes, membraan zal periodiek reiniging vereisen	49
	Water recovery	100%	9
1-waardige zouten	Retentie éénwaardige zouten (NA, K, CL)	--	Inschatting obv ref 9
Pathogenen	Retentie bacterien	+	obv MF + actiefkoolfiltratie
	Retentie virussen	-	
	Retentie aaltjes	-	
Nutriënten	Retentie zouten (2-3 waardig)	-	
	Terugwinning nitraat	--	
	Terugwinning fosfaat	--	
OMV	Retentie OMV (polair)	--	
	Retentie OMV (apolair)	80-100%	
	Inschatting investeringskosten (€/m3/jaar)	1,82	43
	Inschatting operatie kosten (€/m3)	1,10	43

Categorie	Technologie	MBA	Referentie/opmerkingen
	Volledige naam	moving bed adsorptie/bewegen bed adsorptie	
	Typering	fysisch	
	Status	Demo-fase	
	Bewezen in glastuinbouw	nee	
	E-verbruik (kwh/m3)	0,1	7
	Voorbehandeling	voorzeven (<5 mm)	7
	Inschatting ruimtebeslag	+ naar verwachting gering (hoog specifiek oppervlak; toepassing in kolom)	
	Inschatting betrouwbaarheid	watersamenstelling heeft nog een aanzienlijk effect op verkregen zuivering, aanvullend onderzoek is lopende	
	Inschatting beheersbaarheid	+ naar verwachting goed, zandfiltratie is bewezen techniek en toevoeging adsorbens heeft goed gewerkt tijdens pilot	
	Inschatting onderhoudsgevoeligheid	+ naar verwachting beperkt onderhoud nodig (met name periodieke regeneratie kool nodig)	
	Inschatting gevoeligheid voor (bio)fouling	+ naar verwachting gering, echter nog niet in detail bekend	
	Water recovery	niet in detail bekend	
1-waardige zouten	Retentie éénwaardige zouten (NA, K, CL)	--	Geen effect op opgeloste componenten
Pathogenen	Retentie bacterien	log 2 vermindering (obv RSF)	7
	Retentie virussen		
	Retentie aaltjes		
Nutriënten	Retentie zouten (2-3 waardig)	--	Geen effect op opgeloste componenten
	Terugwinning nitraat	--	2
	Terugwinning fosfaat	15-40 (zonder hulpstoffen)	2
OMV	Retentie OMV (polair)	--	obv actief kool filtratie
	Retentie OMV (apolair)	80%	2
	Inschatting investeringskosten (€/m3/jaar)	0,76	2
	Inschatting operatie kosten (€/m3)	0,17	2

Categorie	Technologie	MBR	Referentie/opmerkingen
	Volledige naam	Membraan bioreactor	
	Typering	Membraanfiltratie + biologische omzetting	
	Status	Bestaand	
	Bewezen in glastuinbouw	nee	
	E-verbruik (kwh/m3)	0,6-1,2	7
	Voorbehandeling	zeefbocht (<1 mm)	3
	Inschatting ruimtebeslag	+ compact systeem	3,5
	Inschatting betrouwbaarheid	+ naar verwachting betrouwbaar (techniek wordt al vele jaren toegepast in RWZI)	
	Inschatting beheersbaarheid	- koolstofbron is nodig, gevoelig voor fluctuaties in de samenstelling van het influent	3,5
	Inschatting onderhoudsgevoeligheid	nog onbekend	
	Inschatting gevoeligheid voor (bio)fouling	+ er wordt geen gevoeligheid verwacht, systeem bevat reeds hoge concentratie aan bio-actieve componenten	
	Opmerkingen	membranen kunnen MF of UF zijn	3
	Water recovery	bijna volledig	3
1-waardige zouten	Retentie éénwaardige zouten (NA, K, CL)	--	3
Pathogenen	Retentie bacterien	+	3
	Retentie virussen	-	3
	Retentie aaltjes	+	3
Nutriënten	Retentie zouten (2-3 waardig)	--	3
	Terugwinning nitraat	100%	middels denitrificatie
	Terugwinning fosfaat	90%	middels precipitatie (5)
OMV	Retentie OMV (polair)	--	7
	Retentie OMV (apolair)	--	7
	Inschatting investeringskosten (€/m3/jaar)	4,00	5
	Inschatting operatie kosten (€/m3)	0,47	5

Categorie	Technologie	MDR	Referentie/opmerkingen
	Volledige naam	Mechanische damprecompressie	
	Typering	Verdamping	
	Status	Bestaand	
	Bewezen in glastuinbouw	nee	
	E-verbruik (kwh/m3)	17,5 - 19,0	5
	Voorbehandeling	RSF	
	Inschatting ruimtebeslag	+ naar verwachting compact systeem	
	Inschatting betrouwbaarheid	+ naar verwachting goed (techniek wordt al jaren ingezet)	
	Inschatting beheersbaarheid	+ (naar verwachting) simpel en betrouwbaar proces	5
	Inschatting onderhoudsgevoeligheid	- compressoren vragen veel onderhoud	5
	Inschatting gevoeligheid voor (bio)fouling	onbekend (aandachtspunt voor eventueel onderzoek)	
	Opmerkingen		
	Water recovery	50-99%	33,35
1-waardige zouten	Retentie éénwaardige zouten (NA, K, CL)	++	3
Pathogenen	Retentie bacteriën	0	3
	Retentie virussen	0	3
	Retentie aaltjes	0	3
Nutriënten	Retentie zouten (2-3 waardig)	++	3
	Terugwinning nitraat	++	3
	Terugwinning fosfaat	+	3
OMV	Retentie OMV (polair)	--	3
	Retentie OMV (apolair)	--	3
	Inschatting investeringskosten (€/m3/jaar)	5-9	34
	Inschatting operatie kosten (€/m3)	2,7 - 2,8 (bij 99% recovery)	34

Categorie	Technologie	MEE	Referentie
	Volledige naam	Multi effect evaporation	
	Typering	Verdamping	
	Status	Bestaand	
	Bewezen in glastuinbouw	nee	
	E-verbruik (kwh/m3)	5- 13 E + 678 MJ/m3 (=188 kWh/m3) thermisch (99% recovery)	3
	Voorbehandeling	RSF	3
	Inschatting ruimtebeslag	niet in detail bekend	
	Inschatting betrouwbaarheid	+ naar verwachting goed (techniek wordt al jaren ingezet)	
	Inschatting beheersbaarheid	- hoog niveau technisch kennis benodigd voor ontwerp en operatie	5
	Inschatting onderhoudsgevoeligheid	onbekend	
	Inschatting gevoeligheid voor (bio)fouling	- gevoelig voor scaling op tubing	5
	Opmerkingen		
	Water recovery	10-99%	33,35
1-waardige zouten	Retentie éénwaardige zouten (NA, K, CL)	++	3
Pathogenen	Retentie bacteriën	-	3
	Retentie virussen	-	3
	Retentie aaltjes	-	3
Nutriënten	Retentie zouten (2-3 waardig)	++	3
	Terugwinning nitraat	++	3
	Terugwinning fosfaat	+	3
OMV	Retentie OMV (polair)	--	3
	Retentie OMV (apolair)	--	3
	Inschatting investeringskosten (€/(m3/jaar))	5-9	34
	Inschatting operatie kosten (€/m3)	8,5 - 9 (bij 100% recovery)	35

Categorie	Technologie	Membraandestillatie	Referentie/opmerkingen
	Volledige naam	Membraandestillatie	
	Typering	Membraandestillatie	
	Status	Demo-fase	
	Bewezen in glastuinbouw	nee	
	E-verbruik (kwh/m3)	312-693 MJ thermisch/m3 (bij 90% recovery) (gelijk aan 87-130 KWh thermisch/m3)	Inschatting obv [1]
	Voorbehandeling	RSF	
	Inschatting ruimtebeslag	vergelijkbaar met RO	
	Inschatting betrouwbaarheid	+ reeds bewezen in aantal pilots (verdere praktijk toetsing is nog nodig)	
	Inschatting beheersbaarheid	+ naar verwachting kent membraandestillatie een hoge mate van beheersbaarheid (flow en temperaturen van condens en verdampingszijden zijn eenvoudig regelbaar)	
	Inschatting onderhoudsgevoeligheid	+ operatie bij normale druk, weinig mechanische belasting op membranen	
	Inschatting gevoeligheid voor (bio)fouling	+ teflon membranen zijn goed te reinigen en kennen weinig aanhechting van bio-actieve componenten, groei bacteriën wordt beperkt door de operatie op hoge temperatuur	
	Opmerkingen	kosten op basis van gebruik restwarmte uit WKK	
	Water recovery	10-90%	Naar verwachting
1-waardige zouten	Retentie éénwaardige zouten (NA, K, CL)	99,99%	1
Pathogenen	Retentie bacteriën	++	Absolute barriere
	Retentie virussen	++	
	Retentie aaltjes	++	

Nutriënten	Retentie zouten (2-3 waardig)	99%	1
	Terugwinning nitraat	++	Absolute barriere
	Terugwinning fosfaat	++	
OMV	Retentie OMV (polair)	++	obv RO
	Retentie OMV (apolair)	++	obv RO
	Inschatting investeringskosten (€/m3/jaar)	0,426	1
	Inschatting operatie kosten (€/m3)	0,26-0,37 (10% recovery) 0,55 -0,90 (90% recovery)	1

Categorie	Technologie	MF	Referentie/opmerkingen
	Volledige naam	Microfiltratie	
	Typering	Membraanfiltratie	
	Status	Bestaand	
	Bewezen in glastuinbouw	niet bekend	
	E-verbruik (kwh/m3)	0,05-1	3
	Voorbehandeling	zeefbocht	3
	Inschatting ruimtebeslag	+ naar verwachting compact systeem	
	Inschatting betrouwbaarheid	+ naar verwachting betrouwbaar (techniek wordt al vele jaren toegepast, bijvoorbeeld als onderdeel van MBR)	
	Inschatting beheersbaarheid	+ hoge mate van beheersbaarheid (druk en flow zijn eenvoudig regelbaar)	
	Inschatting onderhoudsgevoeligheid	niet in detail bekend	
	Inschatting gevoeligheid voor (bio)fouling	+ naar verwachting lagere gevoeligheid voor biofouling (tov RO)	
	Water recovery	niet in detail bekend	
1-waardige zouten	Retentie éénwaardige zouten (NA, K, CL)	--	18
Pathogenen	Retentie bacterien	+	3
	Retentie virussen	--	3
	Retentie aaltjes	+	3
Nutriënten	Retentie zouten (2-3 waardig)	--	18
	Terugwinning nitraat	--	7
	Terugwinning fosfaat	14%	7
OMV	Retentie OMV (polair)	--	Geen effect hierop
	Retentie OMV (apolair)	--	
	Inschatting investeringskosten (€/(m3/jaar))	1,58	5
	Inschatting operatie kosten (€/m3)	0,24	5

Categorie	Technologie	MSF	Referentie/opmerkingen
	Volledige naam	multi stage flash	
	Typering	Verdamping	
	Status	Bestaand	
	Bewezen in glastuinbouw	nee	
	E-verbruik (kwh/m3)	11 - 12,5 E + 846 MJ/m3 (235 KWh/m3) thermisch	
	Voorbehandeling	RSF	
	Inschatting ruimtebeslag		
	Inschatting betrouwbaarheid	+ techniek wordt al jaren ingezet	5
	Inschatting beheersbaarheid	- hoog niveau technisch kennis benodigd voor ontwerp en operatie	5
	Inschatting onderhoudsgevoeligheid	onbekend	
	Inschatting gevoeligheid voor (bio)fouling	onbekend	
	Opmerkingen		obv MEE
			obv MEE
	Water recovery	10-99%	33,35
1-waardige zouten	Retentie éénwaardige zouten (NA, K, CL)	++	obv MEE
Pathogenen	Retentie bacterien	-	
	Retentie virussen	-	
	Retentie aaltjes	-	
Nutriënten	Retentie zouten (2-3 waardig)	++	
	Terugwinning nitraat	++	
	Terugwinning fosfaat	+	
OMV	Retentie OMV (polair)	--	
	Retentie OMV (apolair)	--	
	Inschatting investeringskosten (€/(m3/jaar))	5-9	
	Inschatting operatie kosten (€/m3)	10,2 - 10,4 (bij 99% recovery)	34

Categorie	Technologie	NF	Referentie/opmerkingen
	Volledige naam	nano-filtratie	
	Typering	Membraanfiltratie	
	Status	Bestaand	
	Bewezen in glastuinbouw	nee	
	E-verbruik (kwh/m3)	1-3	4
	Voorbehandeling	UF/RSF	3
	Inschatting ruimtebeslag	vergelijkbaar met RO	
	Inschatting betrouwbaarheid	+ bewezen techniek voor relatief schoon en zout water, weinig ervaring met vervuild water	
	Inschatting beheersbaarheid	+ hoge mate van beheersbaarheid (druk en flow zijn eenvoudig regelbaar)	
	Inschatting onderhoudsgevoeligheid	nog niet bekend bij toepassing op afvalwater, is een onderzoeksvraag	
	Inschatting gevoeligheid voor (bio)fouling	- hoge gevoeligheid voor biofouling (hoog specifiek oppervlak); voorbehandeling en reiniging modules benodigd	
	Opmerkingen		
	Water recovery	75-85%	3
1-waardige zouten	Retentie éénwaardige zouten (NA, K, CL)	50%	Inschatting obv ref 5
Pathogenen	Retentie bacterien	+	3
	Retentie virussen	+	3
	Retentie aaltjes	+	3
Nutriënten	Retentie zouten (2-3 waardig)	++	4
	Terugwinning nitraat	0/-	3
	Terugwinning fosfaat	++	3
OMV	Retentie OMV (polair)	+	3
	Retentie OMV (apolair)	+	3
	Inschatting investeringskosten (€/(m3/jaar))	2,29	4
	Inschatting operatie kosten (€/m3)	0,45 (bij 50% recovery)	4

Categorie	Technologie	RO	Referentie/opmerkingen
	Volledige naam	omgekeerde osmose	
	Typering	Membraanfiltratie	
	Status	Bestaand	
	Bewezen in glastuinbouw	nee (enkel bewezen voor behandeling van grondwater)	
	E-verbruik (kwh/m3)	1-3	4
	Voorbehandeling	UF/RSF	3
	Inschatting ruimtebeslag	referentie voor overige membraantechnieken mbt ruimtebeslag, installatie bestaat uit membraanmodules, pompen en leidingwerk. Compact systeem wat in meeste technische ruimtes past	
	Inschatting betrouwbaarheid	+ bewezen techniek voor relatief schoon en zout water, weinig ervaring met vervuild water	
	Inschatting beheersbaarheid	+ hoge mate van beheersbaarheid (druk en flow zijn eenvoudig regelbaar)	
	Inschatting onderhoudsgevoeligheid	nog niet bekend bij toepassing op afvalwater, is een onderzoeksvraag (bij grondwater ontzouting beperkt onderhoud nodig)	
	Inschatting gevoeligheid voor (bio)fouling	- hoge gevoeligheid voor biofouling (hoog specifiek oppervlak); voorbehandeling en reiniging modules benodigd	
	Opmerkingen	E-verbruik voor brakwater	4

	Water recovery	50-80%	3
1-waardige zouten	Retentie éénwaardige zouten (NA, K, CL)	99%	3
Pathogenen	Retentie bacteriën	+	3
	Retentie virussen	+	3
	Retentie aaltjes	+	3
Nutriënten	Retentie zouten (2-3 waardig)	99%	3
	Terugwinning nitraat	95%	3
	Terugwinning fosfaat	++	
OMV	Retentie OMV (polair)	++	44
	Retentie OMV (apolair)	++	44
	Inschatting investeringskosten (€/m³/jaar)	2,29	5
	Inschatting operatie kosten (€/m³)	0,45 (0,5-0,6 bij 80% recovery)	5,1

Categorie	Technologie	UF	Referentie/opmerkingen
	Volledige naam	Ultra-filtratie	
	Typering	Membraanfiltratie	
	Status	Bestaand	
	Bewezen in glastuinbouw	niet bekend	
	E-verbruik (kwh/m3)	0,05-1	3
	Voorbehandeling	zeefbocht	3
	Inschatting ruimtebeslag	+ naar verwachting compact systeem	
	Inschatting betrouwbaarheid	+ techniek wordt al langdurig toegepast	
	Inschatting beheersbaarheid	+ hoge mate van beheersbaarheid (druk en flow zijn eenvoudig regelbaar)	
	Inschatting onderhoudsgevoeligheid	niet in detail bekend	
	Inschatting gevoeligheid voor (bio)fouling	+ naar verwachting lagere gevoeligheid voor biofouling (tov RO)	
	Opmerkingen		
	Water recovery	niet in detail bekend	
1-waardige zouten	Retentie éénwaardige zouten (NA, K, CL)	--	3
Pathogenen	Retentie bacterien	++	3
	Retentie virussen	++	3
	Retentie aaltjes	++	3
Nutriënten	Retentie zouten (2-3 waardig)	--	3
	Terugwinning nitraat	--	7
	Terugwinning fosfaat	26%	7
OMV	Retentie OMV (polair)	--	3
	Retentie OMV (apolair)	--	3
	Inschatting investeringskosten (€/(m3/jaar))	1,58	5
	Inschatting operatie kosten (€/m3)	0,24	5

Categorie	Technologie	UV	Referentie/opmerkingen
	Volledige naam	UV	
	Typering	electromagnetisch	
	Status	Bestaand	
	Bewezen in glastuinbouw	ja	5
	E-verbruik (kwh/m3)	0,4-1,4	3
	Voorbehandeling	UF/RSF	3
	Inschatting ruimtebeslag	+ compact systeem, plaatsing in-line	
	Inschatting betrouwbaarheid	+ simpel en betrouwbaar (bewezen techniek)	3,5
	Inschatting beheersbaarheid	+ goed beheerbaar (dosis is eenvoudig regelbaar)	
	Inschatting onderhoudsgevoeligheid	lampen dienen periodiek vervangen te worden, hiernaast naar verwachting weinig onderhoud	
	Inschatting gevoeligheid voor (bio)fouling	+ geen gevoeligheid (bestraling van afstand)	
	Opmerkingen		
	Water recovery	100%	
1-waardige zouten	Retentie éénwaardige zouten (NA, K, CL)	--	geen effect hierop
Pathogenen	Retentie bacterien	++	3
	Retentie virussen	++	3
	Retentie aaltjes	++	3
Nutriënten	Retentie zouten (2-3 waardig)	--	geen effect hierop
	Terugwinning nitraat	--	
	Terugwinning fosfaat	--	
OMV	Retentie OMV (polair)	--	
	Retentie OMV (apolair)	--	
	Inschatting investeringskosten (€/m3/jaar)	0,33	
	Inschatting operatie kosten (€/m3)	0,05	5

Categorie	Technologie	Voorwaartseosmose	Referentie/opmerkingen
	Volledige naam	Voorwaartse osmose	
	Typering	Membraanfiltratie	
	Status	In ontwikkeling	
	Bewezen in glastuinbouw	nee	
	E-verbruik (kwh/m3)	0,5-1	
	Voorbehandeling	UF/RSF	Obv RO
	Inschatting ruimtebeslag	gelijk aan RO	
	Inschatting betrouwbaarheid	niet in detail bekend, dit is met name afhankelijk van de toegepaste membranen	
	Inschatting beheersbaarheid	+ hoge mate van beheersbaarheid (druk en flow zijn eenvoudig regelbaar)	
	Inschatting onderhoudsgevoeligheid	niet in detail bekend, dit is met name afhankelijk van de toegepaste membranen	
	Inschatting gevoeligheid voor (bio)fouling	+ naar verwachting minder gevoelig voor biofouling dan RO vanwege stromingsgedrag (diffusieproces ipv drukgedreven)	
	Water recovery	99%	Obv RO
1-waardige zouten	Retentie éénwaardige zouten (NA, K, CL)	50-90%	37
Pathogenen	Retentie bacterien	+	Obv RO
	Retentie virussen	+	
	Retentie aaltjes	+	
Nutriënten	Retentie zouten (2-3 waardig)	99%	
	Terugwinning nitraat	95%	
	Terugwinning fosfaat	++	
OMV	Retentie OMV (polair)	++	
	Retentie OMV (apolair)	++	
	Inschatting investeringskosten (€/(m3/jaar))	1,0	
	Inschatting operatie kosten (€/m3)	0,65-0,9 (95% recovery)	49

Categorie	Technologie	Zandfiltratie	Referentie/opmerkingen
	Volledige naam	Zandfiltratie	
	Typering	Filtratie + adsorptie	
	Status	Bestaand	
	Bewezen in glastuinbouw	ja	5
	E-verbruik (kwh/m3)	0,01	3
	Voorbehandeling	zeefbocht	3
	Inschatting ruimtebeslag	+ naar verwachting compact proces	
	Inschatting betrouwbaarheid	+ reeds jaren bewezen techniek	
	Inschatting beheersbaarheid	+ vrij eenvoudig proces	30
	Inschatting onderhoudsgevoeligheid	+ beperkt onderhoud nodig	30
	Inschatting gevoeligheid voor (bio)fouling	niet in detail bekend	
	Opmerkingen	met name geschikt voor afvangen deeltjes	
	Water recovery	niet in detail bekend	
1-waardige zouten	Retentie éénwaardige zouten (NA, K, CL)	--	3
Pathogenen	Retentie bacterien	-	3
	Retentie virussen	-	3
	Retentie aaltjes	-	3
Nutriënten	Retentie zouten (2-3 waardig)	--	3
	Terugwinning nitraat	--	3
	Terugwinning fosfaat	-	3
OMV	Retentie OMV (polair)	--	3
	Retentie OMV (apolair)	--	3
	Inschatting investeringskosten (€/m3/jaar)	1,5	5
	Inschatting operatie kosten (€/m3)	0,21	5

Bijlage E: Effect aanwezigheid natrium in meststoffen op mate van spuien

Voor een periode van 20 jaar is met model WATERSTROMEN berekend wat het effect is van de aanwezigheid van natrium in meststoffen.

Als basis is op een rozenbedrijf (natrium tolerantie 4 mmol/l) een regenwaterbassin van 1500 m³ per ha aanwezig. Als het bassin leeg is wordt gebruik gemaakt van osmosewater, waarbij osmosewater wordt aangemaakt (25m³/etmaal) als het regenwaterbassin nog maar 10% water bevat. Indien osmosewater onvoldoende is, wordt gebruik gemaakt van leidingwater met 1,5 mmol/l natrium. Standaard wordt ervan uitgegaan dat er met de kunstmeststoffen 0,1 mmol/l natrium in het systeem wordt ingebracht. Bij gebruik van natriumrijke meststoffen wordt 0,3 mmol/l ingebracht. Het is onduidelijk hoeveel natrium er exact wordt ingebracht, hiervoor zou op praktijkbedrijven data moeten worden verzameld. In de onderstaande tabel zijn de resultaten voor de 20-jaar periode weergegeven voor de twee situaties.

Tabel 26: Hoeveelheid spui als functie van hoeveelheid natrium in waterstromen en regenval

			Na in meststoffen	Geen Na in meststoffen
	Regenwaterbassing	m ³ /ha	1500	1500
	[Na] in regenwater	mmol/l	0.1	0.1
	[Na] in osmose water	mmol/l	0.1	0.1
	[Na] in leidingwater	mmol/l	1.5	1.5
	[Na] in meststoffen	mmol/l	0.3	0.1
#	Jaar	Mm neerslag	Spui (m ³ /ha)	
1	1990	733	697	106
2	1991	714	341	0
3	1992	914	324	0
4	1993	879	404	0
5	1994	895	576	122
6	1995	693	639	129
7	1996	624	509	0
8	1997	644	417	0
9	1998	1149	363	0
10	1999	1079	431	0
11	2000	1000	332	0
12	2001	1073	399	0
13	2002	964	316	0
14	2003	605	539	0
15	2004	926	345	0
16	2005	835	338	0
17	2006	874	576	93
18	2007	994	374	0
19	2008	963	405	0
20	2009	792	502	32

In de meeste jaren is er met natriumarme meststoffen geen spui nodig aangezien er geen sprake is van een te hoog oplopend natrium gehalte in het drainwater. Er zijn enkele jaren, met een lange aaneengesloten droogteperiode, waar geringe spui noodzakelijk is.

Als er natrium “rijke” meststoffen worden gebruikt, blijkt elk jaar flink te moeten worden gespuid. Niet meegenomen zijn hoeveelheden water die als filterspoelwater het bedrijf verlaten of lekkage. Het blijkt ook dat de lengte van de droogte periode belangrijker is dan de totale hoeveelheid neerslag per jaar (vergelijk het jaar 2003 of 1996 met 1994 of 2006). Het zal duidelijk zijn dat gestreefd moet worden naar gebruik van meststoffen waarin geen natrium aanwezig is.

Bijlage F: Stikstofvracht in afvalwater

Substraattelers moeten vanaf 2010 gaan werken volgens emissienormen (Activiteitenbesluit waarin Besluit Glastuinbouw is opgegaan). Voor de eerste periode (2010 t/m 2014) is gekozen voor haalbare normen waaraan naar verwachting 70% van de telers kan voldoen.

Deze normen zijn voor de geselecteerde gewassen als volgt:

Roos	250 kg N/ha/jaar
Paprika:	50
Tomaat:	125
Gerbera:	250

Om gevoel te krijgen voor de emissie op basis van een te hoog natriumgehalte in het drainwater en de in de wetgeving voorgeschreven emissienormen is met model WATERSTROMEN berekend hoe groot de stikstofvracht in kg N per ha per jaar is bij gebruik van verschillende gietwaterbronnen en groottes van regenwateropvangbassins in een droog en een nat jaar. Voor de eerder geschetste situaties (droog/nat jaar, klein/groot regenwaterbassin, natriumconcentratie in additioneel water) zijn de stikstofvrachten berekend, gebaseerd op een gemiddelde EC en NO₃ en NH₄ gehalte van het drainwater en weergegeven in Tabel 27.

Indien gebruik wordt gemaakt van regenwater met aanvullend omgekeerde osmose water ([Na] ~0.1 mmol/l) dan is het bij gewas paprika moeilijk om aan de emissienorm te voldoen. Voor de andere gewassen zijn er geen problemen. Opgemerkt dient te worden dat de hoeveelheid afvalwater hier uitsluitend lekkage en filterspoelwater is (vandaar de gelijke getallen). Op het moment dat er meer natrium in het aanvullende water zit, ontstaan ook bij de andere gewassen problemen om aan de emissienormen te voldoen; nog niet in een nat jaar (1100mm neerslag), maar wel in een droog jaar (600mm neerslag). Indien als additioneel water leidingwater of slootwater wordt gebruikt ([Na] ~1.8 mmol/l) kan in een nat jaar allen met een groot bassin van meer dan 1500 m³/ha de vracht binnen de emissienorm worden gehouden. In droge jaren zal de norm 2-3x kunnen worden overschreden.

Tabel 27: Stikstofvrachten (kg N per ha per jaar) bij verschillende bedrijfssituaties berekend met model WATERSTROMEN waarbij is uitgegaan van regenwater als eerste gietwaterbron (0,1 mmol/l Na)

natrium 0.1 mmol/l in additioneel water		droog			nat		
Neerslag:		500	1500	3000	500	1500	3000
Basinggrootte:							
Roos	kg N/ha/jr	107	100	100	100	100	100
Paprika	kg N/ha/jr	76	76	76	76	76	76
Tomaat	kg N/ha/jr	117	117	117	118	118	118
Gerbera	kg N/ha/jr	87	82	82	83	83	83

natrium 1.0 mmol/l in additioneel water

Neerslag:		droog			nat		
Basingrootte:		500	1500	3000	500	1500	3000
Roos	kg N/ha/jr	319	267	202	183	134	100
Paprika	kg N/ha/jr	168	133	82	99	76	76
Tomaat	kg N/ha/jr	169	148	117	118	118	118
Gerbera	kg N/ha/jr	294	240	173	157	116	83

natrium 1.8 mmol/l in additioneel water

Neerslag:		droog			nat		
Basingrootte:		500	1500	3000	500	1500	3000
Roos	kg N/ha/jr	675	533	365	330	213	100
Paprika	kg N/ha/jr	328	242	119	157	94	76
Tomaat	kg N/ha/jr	350	278	180	191	141	118
Gerbera	kg N/ha/jr	534	424	285	280	167	83

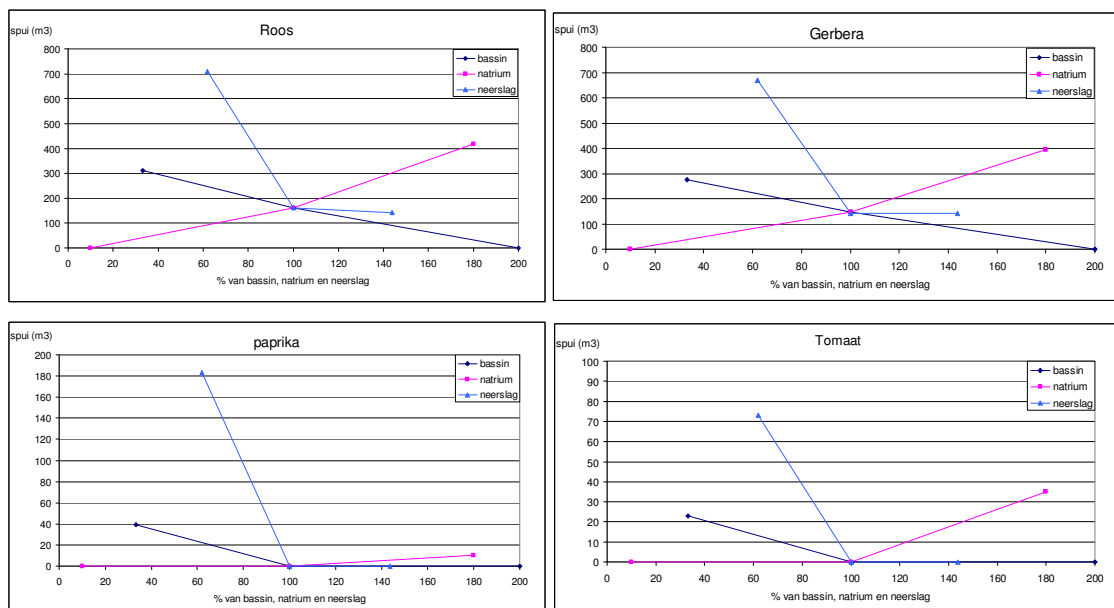
Bovenstaande uitkomsten illustreren de noodzaak tot het toepassen van grotere regenwaterbasins en/of goed gietwater met weinig natrium, alleen al om aan de doelstellingen van 2014 te kunnen gaan voldoen.

Bijlage G: Gevoeligheidsanalyse spuifactoren

Voor de gewassen roos, gerbera, paprika en tomaat is een gevoeligheidsanalyse gemaakt waarbij is nagegaan welke factoren de hoeveelheid spui het meest beïnvloeden. In Figuur 1 is een overzicht gegeven voor de factoren bassingrootte, de natriumconcentratie in het aanvullende gietwater en de neerslag (droge en natte jaren). De hoeveelheid spui is berekend met model WATERSTROMEN waarbij telkens maar een factor is veranderd:

- regenwateropslag: 500, 1500 en 3000 m³/ha
- natrium gehalte in aanvullend water (0,1, 1,0, 1,8 mmol/l)
- jaarlijkse neerslag (469, 758, 1090 mm/jr; hoeveelheden horen bij bepaalde jaren).

Het 100% punt is een regenwaterbassin van 1500 m², natriumgehalte van 1.0 in aanvullend gietwater en een jaarlijkse neerslag van 758 mm.



Figuur 35: Gevoeligheidsanalyse hoeveelheid spui bij vier gewassen als resultaat van bassingrootte (500, 1500, 3000 m³/ha), natriumgehalte in aanvullend gietwater (0,1; 1,0; 1,8 mmol/l) en neerslagpatroon (469, 758, 1090 mm/jr).

Uit de berekeningen blijkt dat een droog jaar tot zeer veel spui kan leiden, terwijl bij grotere bassins praktisch geen spui meer nodig is. Dit geldt voor alle vier de gewassen, merk op dat de Y-as (m³/jr) per gewas verschillend is. Alleen een groter bassin geeft een kleiner effect op de afname in spui, terwijl bij toename van het natriumgehalte in het aanvullende gietwater vooral bij roos en gerbera de spui aanzienlijk doen toenemen.

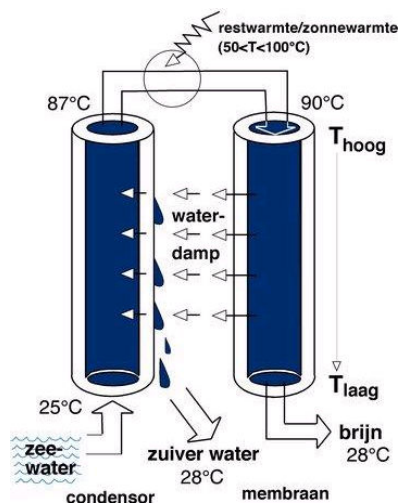
Bijlage H: Effect membraandestillatie op temperatuurniveau restantwater

In deze bijlage wordt beschreven welk effect de inzet van membraandestillatie op het temperatuurniveau van het gezuiverde water heeft.

De membraandestillatie zelf wordt bij hogere temperatuur bedreven om zo een maximale verdamping te verkrijgen. Het verdampte water condenseert tegen een condensor waarmee het ingaande water wordt opgewarmd. Door de compacte opzet van de module en het tegenstroomprincipe wordt de warmte maximaal teruggewonnen. Zie ook bijlage C voor een gedetailleerde technische beschrijving.

Een temperatuursverschil van enkele graden is voldoende om de vereiste drijvende kracht te verkrijgen. De te verdampen waterstroom kan daarom tot zeer dicht bij de temperatuur van het ingaande water afgekoeld worden. Hierdoor zal het verschil in temperatuur tussen de ingaande stroom (te zuiveren restantwater) en de uitgaande stromen (het gezuiverde water en het concentraat) zeer gering zijn.

De hoeveelheid te zuiveren restantwater bedraagt bij normale regenval minder dan 10% van het gerecirculeerde drainwater. Door deze geringe bijdrage in hoeveelheid en het beperkte verschil in temperatuur zal membraandestillatie geen noemenswaardige invloed hebben op de temperatuur van het gietwater.



Figuur 36: Voorbeeld van temperatuurniveau's bij membraandestillatie

Bijlage I: Toelichting op wijze van bepalen kosten technieken

In deze bijlage wordt beschreven welke uitgangspunten gebruikt zijn bij het bepalen/berekenen van de operationele kosten voor de technieken in de haalbaarheidstudie.

Afschrijftermijn : 20 jaar

Rente percentage: 5%

Capaciteit: 5-10 m³/h (*)

Mate van vervuiling: samenstelling die vergelijkbaar is met drainwater

(*) op basis van een glastuinbouwbedrijf van maximaal 40 ha met 1000-2000 m³/ha/jr te zuiveren water.

Indien de literatuurbron gebruik heeft gemaakt van andere uitgangspunten is een correctie toegepast.