



KWR 2024.053 | September 2024

## **Borging RWZI effluent hergebruik voor de glastuinbouw**



# Samenwerkingspartners



# Rapport

## Borging RWZI effluent hergebruik voor de glastuinbouw

KWR 2024.053 | September 2024

### Oprichtingsnummer

403696

### Projectmanager

Erwin Beerendonk

### Oprichtingsgever

TKI

### Auteurs

Nienke Koeman, Milo de Baat, Astrid Reus, Patrick Smeets (KWR)  
Jolijn Bonnet, Carina Eisfeld (SCFF)  
Arie Draaijer (Sendot, hoofdstuk 8)

### Kwaliteitsborgers

Emile Cornelissen, Milou Dingemans (H5)

### Verzonden naar

Andre van der Wurff (Normec Groen Agro Control), Arie Draaijer (Sendot), Ban van Eijk (Evides),  
Bart Stengs (Achmea), Erik de Haan (Provincie Zuid Holland), Mariska Ronteltap (HH van Delfland),  
Margreet Schoenmakers (Glastuinbouw Nederland), Marinus Bogaard (HH Rijnland), Nicole  
Quaedvlieg (Groentenfruihuis), Roy Kalpoe (HH van Delfland)

Dit rapport is openbaar

### Keywords

effluent, waterhergebruik, voedselveiligheid, glastuinbouw

[Jaar van publicatie](#)  
2024

### Meer informatie

dr. ir. Nienke Koeman

T

E [nienke.koeman@kwrwater.nl](mailto:nienke.koeman@kwrwater.nl)

PO Box 1072  
3430 BB Nieuwegein  
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511

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

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



Juni 2024 ©

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

# Samenvatting

De watervoorziening in de glastuinbouw staat onder druk. Als primaire bron wordt nu door de meeste telers regenwater gebruikt. Echter is dat niet voldoende om aan de watervraag van de planten te voldoen, en door veranderende neerslagpatronen ook minder betrouwbaar beschikbaar. Telers gebruiken daarom een aanvullende bron. Vaak is dit grondwater, maar dit is niet overal beschikbaar of het gebruik ervan zal in de toekomst beperkt worden. Telers zijn daarom op zoek naar een betrouwbare en beschikbare alternatieve gietwaterbron. Een van de mogelijkheden hiervoor is het gebruik van effluent uit een rioolwaterzuivering wat door een extra waterbehandeling opgewerkt kan worden tot gietwater. Telers zullen dit echter pas willen toepassen wanneer de veiligheid van deze bron voor zowel mens, dier en milieu als plant gewaarborgd is.

*Het doel van dit project is om effluent op een veilige manier te kunnen inzetten in de glastuinbouw, die gedragen wordt door partners in de hele keten van teelt tot consument.*

Er is veel regelgeving ter bescherming van het milieu. Deze regelgevingen zijn niet primair gericht op waterhergebruik. De regelgeving die zich wel richt op waterhergebruik richt zich met name op voedselveiligheid en milieu maar niet op plantgezondheid. Met betrekking tot microbiële aspecten wordt vooral *E. coli* aangemerkt als indicatororganisme voor fecale besmettingen. Wanneer echter wordt gekeken naar voedselveiligheidsnormen van producten, worden van meerdere organismen maximale concentraties gesteld. Dit gaat vooral over bacteriën en parasieten. Opmerkelijk is dat er geen normen gesteld worden aan virussen, terwijl deze wel wateroverdraagbaar kunnen zijn. Regelgeving ten aanzien van concentraties stoffen in het gietwater is zeer minimaal, en wordt vooral kwalitatief gegeven. De handelscertificaten staan het gebruik van gezuiverd afvalwater toe. Certificaten van biologische teelten steunen zelfs het gebruik van alternatieve waterbronnen om het probleem van de waterschaarste tegen te gaan. Het gebruik van gezuiverd afvalwater en de daarmee samenhangende risico's en verantwoordelijkheden liggen bij de teler zelf.

Naast wet- en regelgeving, stellen telers ook eisen aan de gietwaterkwaliteit op een optimale opbrengst van het gewas te krijgen. Dit betekent dat zij eisen stellen aan factoren die groei bevorderen zoals nutriënten en aan groeiremmende factoren zoals zouten en zware metalen. Daarnaast is er nog veel onbekend over stoffen die normaal niet in gietwater aanwezig zijn, maar wel in effluent aanwezig kunnen zijn zoals restanten van geneesmiddelen en andere organische microverontreinigingen. Het effect van deze stoffen op planten is vaak onbekend maar de stoffen kunnen groeiremmend zijn, of ze kunnen opgenomen worden in de plant, wat ook ongewenst kan zijn. De aanwezigheid van fytopathogenen is ook ongewenst. Het is echter niet bekend welke concentraties in gietwater acceptabel zijn.

Op basis van de wettelijke eisen en de eisen die telers stellen, is er een waterkwaliteit vastgesteld die voor de meeste telers voldoende is om als gietwater te kunnen gebruiken. Groentetelers stellen over het algemeen de hoogste eisen aan het gietwater, en hebben het grootste areaal, waardoor water wat voor deze groep voldoet, aan de grootste groep telers geleverd kan worden.

De aangeboden effluent kwaliteit kan erg variëren over de tijd. RWZI's zijn er vooral voor ontworpen om deeltjes, makkelijk biologisch oxideerbaar materiaal (BOD), stikstof en fosfaat te verwijderen. Moeilijker biologisch afbreekbaar materiaal zoals medicijnresten, en ook micro-organismen worden niet optimaal verwijderd in een RWZI en kunnen daardoor in effluent aanwezig zijn. De benodigde technologietrein om effluent te behandelen zodat het geschikt is om in te zetten als gietwater bestaat uit een omgekeerde osmose installatie met een geavanceerde oxidatie. Dit kan eventueel gecombineerd worden met een actief kool filtratie om afbraakproducten van de geavanceerde oxidatie te verwijderen. Door de omgekeerde osmose worden niet alle stoffen volledig verwijderd. Kleine -meestal ongeladen- stoffen kunnen hier nog door komen. Het effect van deze stoffen op de planten is niet altijd bekend, al zijn de verwachte concentraties laag. Bij het gebruik van omgekeerde osmose



ontstaat ook een concentraatstroom. Die kan soms teruggeleid worden naar de RWZI. Wanneer dit niet mogelijk is, moet hier ook een goede bestemming voor gezocht worden.

Om effluent als gietwater toe te mogen passen, is een risicoanalyse en beoordeling vereist vanuit EU wetgeving, en soms vanuit handelscertificaten. Een risicobeoordeling bestaat uit de drie modules I) voorbereiding, II) beoordeling, en III) monitoring. De voorbereiding bestaat voornamelijk op de beschrijving van het systeem en het vaststellen van de betrokkenen en verantwoordelijkheden. Hierbij zijn het waterschap als leverancier van het effluent, een partij die de waterbehandelingsinstallatie beheert, en de teler belangrijke betrokkenen, maar ook de vergunningverlener. Module II) beoordeling, heeft vooral betrekking op het identificeren van mogelijke gevaren, gericht op mens en milieu, blootstellingsroutes en risicobeoordeling. Gevaren voor het milieu hebben vooral te maken met lekkages tijdens distributie en rondom het erf, en van planten in de kas die blootgesteld worden aan het gietwater. Populaties die blootgesteld worden, zijn (werknemers van) telers, handelaren en consumenten.

Om de microbiële risico's goed te kunnen beoordelen is een kwantitatieve microbiële risicobeoordeling (QMRA) gedaan waarbij gebruik is gemaakt van een tool op [qmra.org](http://qmra.org). De tool berekent niet de verwachte concentratie *E. coli* in het behandelde water. Globaal is deze in dezelfde grootte orde als *Campylobacter* en wordt deze ook hetzelfde verwijderd door zuiveringsprocessen. Bij een concentratie in afvalwater van 1.000.000 kve/l en de maximale 5,5 log reductie door zuivering zou de concentratie 3 kve/l, dus 0,3 kve/100 ml, bedragen in het behandelde water. Dat is lager dan de kwaliteitseis voor klasse A van 10 kve/100ml. Dit geeft aan dat voldoen aan de EU norm niet betekent dat het behandelde water bij irrigatietoepassing voldoet aan de algemeen gehanteerde grenswaarden voor gezondheidsrisico's van Nederland en de WHO. Op basis van de risicobeoordeling voor de gezondheid van de mens zijn dus extra zuiveringsstappen nodig om de waterkwaliteit te verbeteren en infectierisico's te verlagen. De risico's zijn ook berekend na verschillende waterbehandelingstreinen en daaruit bleek dat minimaal omgekeerde osmose nodig is, in combinatie met een tweede desinfectiestap, zoals UV of ozon. In de risicobeoordeling die wettelijk vereist is volgens de EU verordening 2020/741 wordt geen aandacht besteed aan de risico's voor planten. Dat is echter wel van belang voor de telers, en als zodanig een aanvullende eis. De concentraties van fytopathogenen in water zijn vaak onbekend. Van enkele waterbehandelingsmethodes is wel bekend, of in te schatten op basis van andere organismen, wat de verwijdering is in een behandelingsstap. Er wordt verondersteld dat het merendeel van de pathogenen al wordt verwijderd in een membraanfiltratiestap (omgekeerde osmose). Dit is zo voor humane pathogenen en hoewel een deel van de fytopathogenen kleiner is dan veel voorkomende humane pathogenen, zullen deze ook voor het merendeel verwijderd worden. Voor UV geldt dat de benodigde dosis voor eenzelfde verwijdering voor veel fytopathogenen hoger moet zijn dan voor humane pathogenen. Hoewel een hogere dosis nodig om dezelfde inactivatie te krijgen, is het niet bekend wat de concentratie van deze pathogenen in het effluent is, en ook niet wat de maximale concentratie mag zijn om infectierisico te minimaliseren. Daarom is het lastig om op voorhand aan te geven wat de benodigde UV dosering moet zijn. Het infectierisico is van vele factoren afhankelijk zoals onder andere de plantgezondheid, de samenstelling van de bodem, en natuurlijk de mate van blootstelling. Er wordt vanuit gegaan dat de planten onbeperkt worden geïrrigeerd met het opgewerkte effluent. Daarmee is de blootstelling dus hoog, en de kans op infectie ook. Vanuit het voorzorgsprincipe wordt er nu daarom vanuit gegaan dat de verwijdering dus zeer hoog zal moeten zijn.

Een combinatie van chemisch- en effect-gebaseerde metingen kan ingezet worden om de chemische risico's voor mens en milieu te bepalen bij het gebruik van effluent voor de irrigatie van de glastuinbouw. Chemische doelstofanalyses zullen een beeld geven van de eventuele risico's veroorzaakt door de aanwezigheid van bekende stoffen. Een set bioassays gekozen kan worden om verschillende effecten zichtbaar te maken, zoals acute toxiciteit of mutageniteit. Daarnaast kunnen bioassays worden gebruikt om de schadelijkheid van specifieke stoffen in effluent te onderzoeken, als hier onvoldoende informatie over beschikbaar is. In een deelproject zijn de nadelige effecten van specifieke stoffen die in effluent kunnen worden aangetroffen onderzocht op het kiemen van planten. Met behulp van een fytoxkit (een bioassays die de kiemkracht, wortelgroei en stengelgroei monitort) is het effect van drie stoffen die na de RO nog steeds in het water aanwezig kunnen zijn, bepaald. Alle vier de stoffen, NDMA, Metformine, 1H-BT, MTBE, gaven bij de te verwachten lage concentratie geen effect.

Module III) monitoring, maakt onderscheid tussen validatiemonitoring, operationele monitoring en verificatie monitoring. De validatiemonitoring vindt plaats op het moment dat de waterbehandelingstrein wordt geïnstalleerd. Er moet aangetoond worden dat de gewenste gietwaterkwaliteit behaald kan worden. Tijdens de operationele monitoring moet vooral gemonitord worden op een aantal operationele parameters, zoals pH en TSS (gesuspendeerde deeltjes). Ook is er een monitoringsschema opgesteld voor een aantal doelstofanalyses. Verificatiemonitoring wordt gedaan op een aantal doelstofanalyses om aan te tonen dat als het systeem operationeel goed functioneert er nog steeds de gewenste concentratie van enkele stoffen behaald worden. De frequentie hiervan is laag, bijvoorbeeld 1x per 3 maanden of 1x per jaar.

Om het functioneren van het omgekeerde osmose systeem te volgen, worden een aantal operationele parameters gevolgd. De integriteit van het membraan kan in de gaten gehouden worden met sensoren. Indicatieve testen wezen uit dat een optische sensor, gebaseerd op fluorescentie van inherent in het effluent aanwezige stoffen, een goede indicatie kan geven voor de mate van integriteit van het membraan.

Verzekeringen spelen een belangrijke rol om risico's van gebruik van materialen en producten te beperken. Achmea is geïnterviewd over het gebruik van effluent en de mate van verzekering. Het is de producenten verantwoordelijkheid van waterschappen (of de derde partij) om een betrouwbaar en veilig product te leveren wat voldoet aan de gevraagde specificaties van de teler. Glastuinbouwondernemers kunnen gezuiverd effluent water als grondstof voor hun teelt afnemen van derden. Bij conflicten of productiefouten dienen zij de leverancier/fabrikant aansprakelijk te stellen, in dit geval het waterschap of de derde partij die als tussenpersoon geldt. Deze zijn over het algemeen verzekerd voor schade bij hun afnemers via een aansprakelijkheidsverzekering. Soms kiezen producenten er echter ook voor om eigen risicodrager te zijn. Dit geldt ook voor de rwzi's die effluent water aan de land- en tuinbouw willen aanbieden. Ondernemers in de glastuinbouw dienen zich hiervan bewust te zijn. Hergebruik van rioolwater bij de bron, zijnde de RWZI, kan in de praktijk verzekerd worden. Achmea heeft ervaring met een verzekeringsoplossing die ook mogelijk is voor waterbedrijven die effluent aan de glastuinbouw leveren.

De sociale acceptatie van gezuiverd effluent als gietwater in de Nederlandse glastuinbouw is getoetst. Op basis van deze inzichten zijn gedragen acceptatiestrategieën ontwikkeld. Deze strategieën omvatten onder andere: monitoring, proeftuin, benadrukken van voordelen en labels voor 'overheid en burger'; en voor de 'teler en keten' zijn de ontwikkelde strategieën onder andere: gezuiverd effluent presenteren als oplossing voor water- en ruimtetekorten en een netwerkbijeenkomst.

Dit onderzoek biedt waardevolle inzichten en aanbevelingen om de sociale acceptatie van gezuiverd effluent als gietwater in de Nederlandse glastuinbouw te bevorderen. Door rekening te houden met de geïdentificeerde factoren en strategieën kunnen stakeholders verdere stappen zetten om duurzaam watergebruik in de glastuinbouw te stimuleren, waarmee zij bijdragen aan een meer circulaire en milieuvriendelijke agrarische sector. Concluderend kan gesteld worden dat regelgeving en handel het gebruik van effluent als bron voor gietwater toestaan mits het water aan kwaliteitseisen voldoet. Door het effluent te behandelen met omgekeerde osmose en een extra desinfectiestap, worden de microbiële, en naar verwachting ook de chemische, risico's voor mensen verlaagd tot een acceptabel niveau. Door goed te monitoren, onder andere met een sensor voor membraanintegriteit, kan de waterkwaliteit gegarandeerd worden. Wanneer door incidenten het gietwater niet volgens de afgesproken voorwaarden (waaronder kwaliteit) geleverd wordt, kan een teler de leverancier aansprakelijk stellen voor directe schade. Voor indirecte schade is dit moeilijker.

Veel telers staan positief tegenover het gebruik van effluent als gietwaterbron, mits de kwaliteit gegarandeerd is. Strategieën om de acceptatie te vergroten omvatten onder andere: monitoring, proeftuin, benadrukken van voordelen en labels voor 'overheid en burger'; en voor de 'teler en keten' zijn de ontwikkelde strategieën onder andere: gezuiverd effluent presenteren als oplossing voor water- en ruimtetekorten en een netwerkbijeenkomst.

# Inhoud

<b>Samenwerkingspartners</b>	<b>2</b>
<b>Rapport</b>	<b>3</b>
<b>Samenvatting</b>	<b>4</b>
<b>Inhoud</b>	<b>7</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>10</b>
1.1 Leeswijzer:	11
<b>2 Keten van afvalwater tot consument</b>	<b>11</b>
<b>3 Benodigde waterkwaliteit voor gietwater - regelgeving</b>	<b>14</b>
3.1 Introductie	14
3.2 Wet en regelgeving	14
3.2.1 EU regelgeving water (punt 2, 3 en 4 in de keten in Figuur 2-1)	14
3.2.2 Implementatie van verordening (EU) 2020/741 in Nederland	18
3.2.3 WHO richtlijnen (punt 3 en 4 in de keten in Figuur 2-1)	18
3.2.4 Regelgeving lozingswater ("spuiwater", punt 5 in de keten in Figuur 2-1)	20
3.2.5 Productkwaliteit (punt 6 en 7 in de keten in Figuur 2-1)	20
3.2.6 Drinkwaterwet	22
3.2.7 Overige wet- en regelgeving	22
3.3 Eisen vanuit de handel	23
3.4 Discussie regelgeving	24
<b>4 Chemische en microbiologische waterkwaliteit die benodigd is voor een optimale opbrengst van het gewas</b>	<b>25</b>
4.1 Nutriënten, zouten en zware metalen	26
4.2 Organische microverontreinigingen	29
4.2.1 Effect van microverontreinigingen op plantengroei	30
4.2.2 Plantopname van microverontreinigingen	31
4.2.3 Effect van microverontreinigingen in planten op humane gezondheid	31
4.3 Plantpathogenen	31
<b>5 Conclusie te bereiken waterkwaliteit</b>	<b>33</b>
<b>6 Effluent kwaliteit en behandeling</b>	<b>36</b>



6.1	Aangeboden effluent kwaliteit	37
6.1.1	Chemische parameters	37
6.1.2	Microbiologische parameters	40
6.1.3	Analyse van RWZI effluent – fytopathogenen en nutriënten	42
6.2	Effluentbehandeling voor gietwaterproductie	44
6.2.1	Technologie selectie	44
6.2.2	Zwevend stof	45
6.2.3	Chemisch en biologisch zuurstof verbruik (CZV en BZV)	45
6.2.4	Zouten, nutriënten, metalen	45
6.2.5	Organische microverontreinigingen.	46
6.2.6	Pathogenen	46
6.3	Voorgestelde technologie trainen	48
6.3.1	Grof filter (zoals snelle zandfiltratie) – omgekeerde osmose – (geavanceerde) oxidatie	48
6.3.2	Ozon/ H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> – AKF – omgekeerde osmose (RO)	50
6.3.3	Concentraat	50
6.3.4	Operationele condities	51
<b>7</b>	<b>Risico-inventarisatie en -beheersing</b>	<b>51</b>
7.1	Module I Voorbereiding:	54
7.2	Module II Risicobeoordeling	56
7.2.1	Microbiële risicobeoordeling voor de gezondheid van mens en dier	58
7.2.2	Aanbevelingen voor de microbiële risicobeoordeling voor de gezondheid van planten	64
7.2.3	Aanbevelingen voor de chemische risicobeoordeling voor de gezondheid van mens en milieu	66
7.3	Conclusies en aanbevelingen voor een monitoringsplan (module III)	69
7.3.1	Validatie monitoring	69
7.3.2	Operationele monitoring	70
7.3.3	Verificatie monitoring	71
<b>8</b>	<b>Sensoren voor procesbewaking</b>	<b>72</b>
8.1	Inleiding	72
8.2	Keuze van parameters en technieken	73
8.3	Resultaten sensor-experimenten	73
8.3.1	Samenvatting Demcon/Optiqua resultaten	73
8.3.2	Samenvatting fluorescentie metingen	77
8.4	Conclusie experimenten sensoren voor procescontrole	79
<b>9</b>	<b>Verzekeringen</b>	<b>79</b>
<b>10</b>	<b>Acceptatie van gezuiverd effluent in de glastuinbouw</b>	<b>80</b>
<b>11</b>	<b>Conclusies</b>	<b>81</b>
<b>12</b>	<b>Aanbevelingen</b>	<b>82</b>

<b>13</b>	<b>Referentielijst</b>	<b>82</b>
<b>I</b>	<b>Wet- en regelgeving</b>	<b>89</b>
<b>II</b>	<b>Meetwaardes effluent Nieuwe Waterweg en RWZI Harnaschpolder</b>	<b>90</b>
<b>III</b>	<b>Resultaten QMRA behandelingsscenario's</b>	<b>91</b>
<b>IV</b>	<b>Effect-metingen met bioassays</b>	<b>100</b>
<b>V</b>	<b>Resultaten fytotoxiciteit</b>	<b>102</b>
<b>VI</b>	<b>Monitoringsplan</b>	<b>113</b>

# 1 Inleiding

De watervoorziening in de glastuinbouw staat onder druk. Als primaire bron wordt nu door de meeste telers regenwater gebruikt. Echter is dat niet voldoende om aan de watervraag van de planten te voldoen, en door veranderende neerslagpatronen ook minder betrouwbaar beschikbaar. Telers gebruiken daarom een aanvullende bron. Vaak is dit grondwater, maar dit is niet overal beschikbaar of het gebruik ervan zal in de toekomst beperkt worden (Appelman, Creusen et al. 2014). Telers zijn daarom op zoek naar een betrouwbare en beschikbare alternatieve gietwaterbron. Een van de mogelijkheden hiervoor is het gebruik van effluent uit een waterzuivering wat door een extra waterbehandeling opgewerkt kan worden tot gietwater (R.C. Kaarsemaker and Sanders 2013, Dawoud 2017). Telers zullen dit echter pas willen toepassen wanneer de veiligheid van deze bron voor zowel mens, dier en milieu als plant gewaarborgd is (Christou, Karaolia et al. 2017).

Binnen het project ‘borging van effluent RWZI voor hergebruik in de glastuinbouw’ is onderzocht welke gevolgen de ontwikkelingen in Europese regelgeving op het gebied van hergebruik van waterige reststromen, in dit geval RWZI effluent, heeft voor de glastuinbouw (EU 2020). Effluent van RWZI’s moet verder behandeld worden om te kunnen worden gebruikt als irrigatiewater in de glastuinbouw om te voldoen aan de waterkwaliteitseisen van verschillende gewassen. Naast de Europese eisen is onderzocht welke kwaliteitseisen vanuit de sector, afnemers en verzekeraars worden gesteld. Er is onderzocht welke waterzuivering nodig is om de gewenste gietwaterkwaliteit te kunnen maken vanuit effluent. Er is een aanzet gedaan tot een monitoringsplan om de gevraagde waterkwaliteit te kunnen borgen.

*Het doel van dit project is om effluent op een veilige manier te kunnen inzetten in de glastuinbouw, die gedragen wordt door partners in de hele keten van teelt tot consument.* Door het inzetten van effluent hebben telers een betere beschikking over water, waardoor de teelt minder in gevaar komt in tijden van hoog watergebruik (voornamelijk de zomerperiode) (Appelman, Creusen et al. 2014). Het gebruik van effluent kan dan als alternatief dienen voor het gebruik van grondwater. Grondwatergebruik kan immers niet onbegrensd gebruikt worden, omdat dit bodemdaling als gevolg heeft en kan leiden tot verzilting van het grondwater in kustgebieden door zoutwaterintrusie. Doordat effluent, bij gebruik als gietwater in de glastuinbouw, vergaand gezuiverd wordt, en niet meer wordt geloosd op het oppervlaktewatersysteem, worden minder stoffen die mogelijk problemen kunnen veroorzaken, geloosd. Denk hierbij aan hormoonverstorende stoffen, gewasbeschermingsmiddelen, afbraakproducten, zware metalen, maar ook macro-nutriënten zoals stikstof en fosfaat. Het draagt bij aan de ambitie van waterschappen om meer circulair te werken en zoet water zoveel mogelijk te behouden voor het gebied (Mainardis, Cecconet et al. 2022).

Door het water te behandelen op een manier waardoor aan de (boven)wettelijke kwaliteitseisen wordt voldaan, waarbij een risicoanalyse de risico’s van hergebruik in kaart brengt en maatregelen genomen worden om de risico’s afdoende te beperken, kan behandeld effluent veilig worden toegepast. Monitoring is essentieel bij het inzichtelijk maken van de risico’s (Hornstra, Rodrigues da Silva et al. 2019, GWRC 2020, Neale, Escher et al. 2022, Neale, Escher et al. 2023).

De partners (zie p2 voor een overzicht) in het project ‘Borging RWZI effluent voor de glastuinbouw’ hebben belang bij een gedragen manier van gebruik van effluent. De RWZI’s willen weten tot welke waterkwaliteit zij moeten zuiveren, en hebben belang bij een duidelijke afbakening van hun verantwoordelijkheid. De telers vinden de leveringszekerheid van water met een goede kwaliteit erg belangrijk. Daarnaast moeten de opbrengsten en risico’s voor het gewas duidelijk zijn om een gedegen keuze te kunnen maken voor het gebruik van effluent. Daarnaast

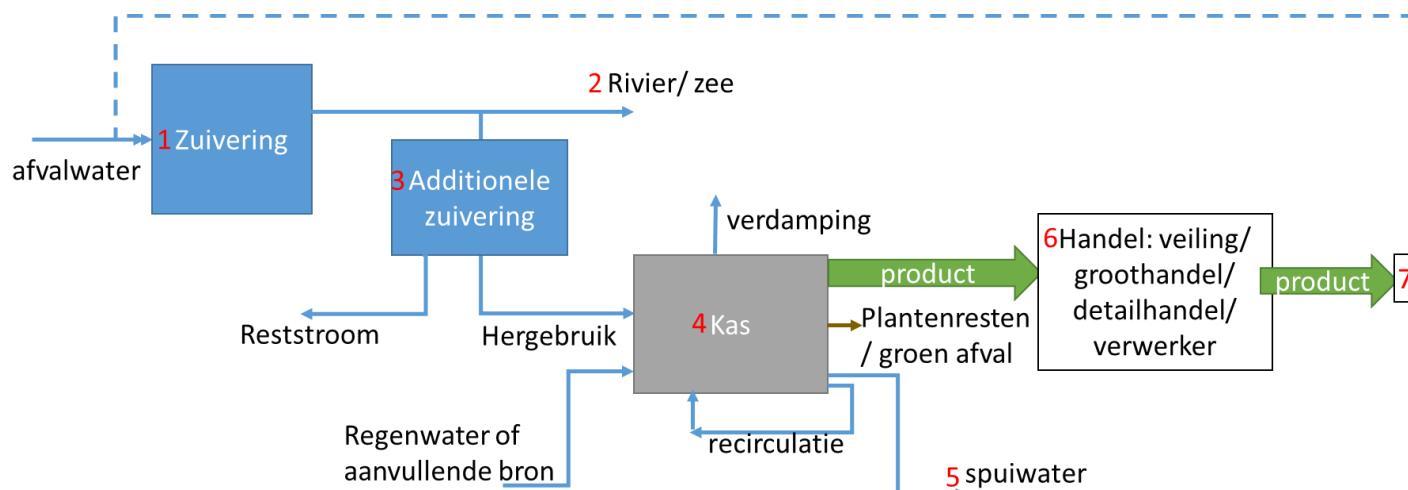
willen zij er zeker van zijn dat hun gewas ook afgezet kan worden via de reguliere afzetkanalen. Ook moeten hun medewerkers geen gevaar lopen door het werken met effluent. Ook de afzetmarkt en de consument moeten kunnen vertrouwen op de veiligheid voor mens dier en milieu, van producten geteeld met behandeld effluent.

## 1.1 Leeswijzer:

In dit rapport worden de resultaten uit het project 'TKI borging effluent voor de glastuinbouw' beschreven. In hoofdstuk 2 wordt de waterketen beschreven van het afvalwater tot de consument, met daarbij de betrokken belanghebbenden. In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op geldende wet- en regelgeving voor effluent hergebruik, en de gevolgen hiervan voor de waterkwaliteit die gevraagd wordt gebaseerd op literatuuronderzoek. Daarnaast wordt ingegaan op de eisen die telers stellen aan irrigatiewater, gebaseerd op literatuuronderzoek. Dit wordt gecombineerd in **Tabel 5-1**. In deze tabel staan de waterkwaliteitseisen die worden gesteld aan gietwater wat geproduceerd wordt uit effluent zodat het voldoet aan zowel de regelgeving als de eisen die telers en handel stellen. In hoofdstuk 6 wordt technologie besproken die nodig is om deze waterkwaliteit te kunnen leveren. In hoofdstuk 7 wordt een risico-inventarisatie gedaan, en worden de resultaten hiervan geëvalueerd. Daarbij wordt de methode gehanteerd zoals gevraagd wordt in de EU verordening voor waterhergebruik. Daarnaast is een uitgebreide kwantitatieve microbiële risico analyse (QMRA) gedaan voor één van de voorgestelde waterbehandelingstreinen en worden toxicologische aspecten van het hergebruik behandeld, met daarbij aangegeven hoe dat te monitoren is. Een voorbeeld van een volledig monitoringsplan is opgeleverd als aparte tabel. Er is een overzicht gemaakt van manieren om de integriteit van de waterbehandeling te monitoren. Dit is te lezen in hoofdstuk 8. In hoofdstuk 9 wordt door een verzekeraar aangegeven wat hun rol is wat betreft hergebruik van effluent in de glastuinbouw, en in hoofdstuk 10 worden de conclusies gegeven en enkele aanbevelingen gedaan op basis van dit onderzoek. Met een aantal stoffen die aanwezig is in effluent, en matig verwijderd worden met filtratie en omgekeerde osmose, zijn testen gedaan om het effect van deze stoffen op plantengroei te bepalen. Die worden beschreven in bijlage V. De acceptatie van alle betrokkenen en strategieën om deze acceptatie te bevorderen worden besproken in een separaat rapport: KWR 2023.082.

## 2 Keten van afvalwater tot consument

De productie van gewassen is onderdeel van een keten van producenten, leveranciers en afnemers. Om te kunnen identificeren wie betrokken is bij het gebruik van effluent, en vervolgens geldende wet- en regelgeving in kaart te brengen, is een overzicht gemaakt van de keten van afvalwater tot consument (Figuur 2-1).



Figuur 2-1: schematische weergave van de keten van afvalwater tot consument.

Op verschillende plekken in de keten zijn verschillende belanghebbenden/ stakeholders

1) Zuivering:

- a. Eigenaar/ beheerder zuivering: Waterschap. Waterschappen zuiveren het afvalwater waarbij het effluent moet voldoen aan lozingseisen om te mogen op het oppervlaktewater. Daarnaast hebben zij ook een taak om het water in hun beheersgebied te beheren, zowel in kwantiteit als kwaliteit.

2) Lozing van niet-hergebruikt effluent

- a. Beheerder ontvangend water: waterschap/ Rijkswaterstaat. Hierbij is zowel de waterkwaliteit, als kwantiteit van belang om tot een goede ecologische status van het gebied te komen.
- b. Ecologie/ natuur/ milieu. Er mogen geen milieubelastende stoffen in het water aanwezig zijn, en er moet genoeg water aanwezig zijn.

3) Additionele zuivering en distributie:

- a. Beheerder additionele zuivering: waterschap/ waterbedrijf/ apart opgericht bedrijf. Deze partij zuivert het effluent en stelt het beschikbaar aan de teler. Hierbij worden afspraken gemaakt over de leveringsvoorwaarden (kwantiteit, kwaliteit, afnamezekerheid, kosten, etc).
- b. Beheerder distributienet: waterbedrijf / coöperatie
- c. Distributeur van het behandelde water (opsteller van het risicobeheerplan). Volgens de EU verordening is de distributeur van het water verantwoordelijk voor het risicobeheersplan.
- d. Provincie: Vergunning verlener voor hergebruik. De provincie is bevoegd gezag voor het verlenen van de hergebruiksvergunning. Daarbij streven provincies hergebruik op een verantwoorde manier voor mens, dier en milieu na.
- e. Ontvanger: teler. De teler heeft afspraken met de waterexploitant over leveringszekerheid, kwaliteit en kwantiteit van het geleverde water.

4) Kas

- a. Teler: het gebruik van effluent geeft toegang tot een additionele waterbron waardoor de teler minder afhankelijk is van regenwater e daardoor meer zekerheid heeft over de productie van zijn gewas.
- b. Medewerkers: Werken met de planten, en komen in aanraking met gietwater. Het is daarbij van belang dat dit geen negatief effect heeft op hun gezondheid.
- c. Verzekeraar: Telers zijn verzekerd tegen verschillende vormen van schade. Schade door het gebruik van effluent wordt (vooralsnog) niet gedekt. Verzekeraars kunnen maatwerk leveren. De aansprakelijkheidsverzekering van de waterexploitant is ook betrokken en kan schade dekken door het leveren van water wat niet aan de specificaties voldoet, afhankelijk van de voorwaarden (zie hoofdstuk 8).



- d. Verwerker van (groen) afval. Planten die gekweekt zijn met gietwater wat geproduceerd is uit effluent, kan hier sporen van bevatten. Voor de medewerkers is het van belang dat dit geen negatief effect heeft op hun gezondheid. De planten worden verwerkt tot andere producten. Ook deze producten kunnen dan sporen van gietwater geproduceerd uit effluent bevatten.
- 5) Lozingswater/ spuiwater
- a. Handhaver: waterschap of omgevingsdienst. Telers lozen hun afvalwater op het riool of op het oppervlaktewater. Het effluent voldeed al aan de eisen om hierop te mogen lozen, maar na opwerking tot gietwater en gebruik in de kan, zal de samenstelling veranderd zijn. Dit kan invloed hebben op de waterkwaliteit van het water waarop geloosd wordt. Dit kan zowel positief als negatief zijn, afhankelijk van de samenstelling.
- 6) Handel
- a. Handelaars Producten moeten voldoen aan kwaliteitseisen. Onafhankelijk van de gebruikte gietwaterbron moeten producten aan die eisen voldoen.
  - b. NVWA: controleert de kwaliteit van producten. Wanneer zij bepalen
  - c. Supermarkten: Willen producten van een goede kwaliteit leveren die ook geaccepteerd worden door de consument. Zij hebben vooral een commercieel belang.
- 7) Consumptie
- a. Consument: wil een lekker en gezond product.

De kwaliteit waaraan gewassen moeten voldoen, en risico's die daaraan verbonden zijn, zijn nu al vastgelegd in verschillende wet- en regelgevingen. Die zijn vooral gericht op het tegengaan van verspreiding van fytopathogenen, en van risico's die te maken hebben met consumptie van humane pathogenen en chemicaliën. Hierbij zijn risico's beoordeeld op basis van blootstellingsroutes (van consumenten, werknemers en andere gewassen in de handel) bij gebruik van reguliere waterbronnen, en (nog) niet bij gebruik van (gezuiverd) effluent. De volgende hoofdstukken geven weer waar rekening mee moet worden gehouden bij gebruik van (gezuiverd) effluent.

## 3 Benodigde waterkwaliteit voor gietwater - regelgeving

### 3.1 Introductie

De waterkwaliteit die geproduceerd moet worden vanuit effluent om te kunnen gebruiken als gietwater, wordt zowel door wettelijke eisen, eisen vanuit de handel, als door eisen van telers bepaald. Deze worden verdeeld in

- Wettelijke eisen, vooral gericht op gezondheid en milieu, (3.2)
- eisen vanuit de handel, gericht op plantgezondheid, (3.3).
- telers stellen ook eisen aan plantgezondheid en productie-opbrengst (4).

Al deze eisen zijn vervolgens vertaald naar een tabel met waterkwaliteitseisen die gesteld worden om behandeld effluent te kunnen gebruiken als gietwater (**Tabel 5-1**).

### 3.2 Wet en regelgeving

Direct hergebruik van (gezuiverd) effluent voor irrigatie wordt nog niet veel toegepast in Nederland. In Nederland geldt de (EU) verordening 2020/741 van het Europees Parlement inzake minimumeisen voor hergebruik van teruggewonnen water voor landbouwirrigatie. Er is in Nederland geen lokale of nationale regelgeving die betrekking heeft op hergebruik van (gezuiverd) effluent.

De EU verordening 2020/741 geeft minimumeisen voor waterkwaliteit. Daarnaast zijn er ook nog EU verordeningen die betrekking hebben op de kwaliteit van het product. Het gebruikte gietwater kan daar invloed op hebben. Deze paragraaf beschrijft geldende wet- en regelgeving die van belang kan zijn bij het toepassen van behandeld effluent als bron voor gietwater in de glastuinbouw.

#### 3.2.1 EU regelgeving water (punt 2, 3 en 4 in de keten in Figuur 2-1)

De recent aangenomen (25 mei 2020) verordening (EU) 2020/741 van het Europees Parlement inzake minimumeisen voor teruggewonnen water (EU 2020) noemt specifieke eisen voor hergebruik in de landbouw. In Bijlage I van de verordening worden de minimumeisen uiteengezet. Hierin wordt onderscheid gemaakt in vier gewas categorieën (A-D, Mogelijke waterbehandeling wordt besproken in hoofdstuk 6.

Tabel 3-1) en de irrigatiemethode. Er wordt onderscheiden of het eetbare deel van het gewas in direct of indirect contact met het behandeld effluent water komt, en of de gewassen door mensen of dieren (melk- en vleesproductie) worden geconsumeerd. De categorieën A-D geven de afnemende mate van directe blootstelling van mensen aan het voedselgewas en gietwater weer. Deze categorieën bepalen de vereiste kwaliteit van het teruggewonnen water gebruikt voor irrigatie: gewassen die tot een bepaalde categorie behoren (A-D, Mogelijke waterbehandeling wordt besproken in hoofdstuk 6.

Tabel 3-1), moeten worden geïrrigeerd met teruggewonnen water van de overeenkomstige minimale kwaliteitsklasse (A-D, Tabel 3-2 (hierin wordt verwezen naar Richtlijn 91/27/EEG die inmiddels ook wordt herzien)). Door toevoeging van een extra behandelingsstap voor het teruggewonnen water kan een hogere kwaliteitsklasse van het irrigatie water bereikt worden om aan de eisen van een hogere gewasklasse te voldoen. Mogelijke waterbehandeling wordt besproken in hoofdstuk 6.

Tabel 3-1: Gewasklassen tabel van teruggewonnen water voor landbouwirrigatie in EU 2020/741

Tabel 1 — Kwaliteitsklassen van teruggewonnen water, toegestaan agrarisch gebruik en toegestane irrigatiemethoden

Minimale kwaliteitsklasse teruggewonnen water	Gewascategorie (*)	Irrigatiemethode
A	Alle rauw geconsumeerde voedingsgewassen waarvan het eetbare gedeelte rechtstreeks in aanraking komt met teruggewonnen water, en rauw geconsumeerde wortel- en knolgewassen	Alle irrigatiemethoden
B	Rauw geconsumeerde voedingsgewassen waarvan het eetbare gedeelte bovengronds wordt geproduceerd en niet rechtstreeks in aanraking komt met teruggewonnen water, verwerkte voedingsgewassen en "non-food"-gewassen, met inbegrip van gewassen die worden gebruikt voor het voeren van melk- of vleesproducerend vee	Alle irrigatiemethoden
C	Rauw geconsumeerde voedingsgewassen waarvan het eetbare gedeelte bovengronds wordt geproduceerd en niet rechtstreeks in aanraking komt met teruggewonnen water, verwerkte voedingsgewassen en "non-food"-gewassen, met inbegrip van gewassen die worden gebruikt voor het voeren van melk- of vleesproducerend vee	Druppelirrigatie (**) of andere irrigatiemethode die rechtstreeks contact met het eetbare gedeelte van het gewas voorkomt
Minimale kwaliteitsklasse teruggewonnen water	Gewascategorie (*)	Irrigatiemethode
D	Industriële gewassen, energiegewassen en zaadgewassen	Alle irrigatiemethoden (***)

- (\*) Indien eenzelfde soort geïrrigeerd gewas onder verschillende categorieën van tabel 1 valt, zijn de voorschriften van de strengste categorie van toepassing.
- (\*\*) Druppelirrigatie (ook wel druppelsgewijze bevoeiing genoemd) is een micro-irrigatiesysteem waarmee de gewassen worden voorzien van water in de vorm van waterdruppeltjes of minieme waterstroompjes die via zeer dunne plastic buisjes met uitlaatopeningen bij een zeer laag debiet (2-20 liter/uur) druppelsgewijs op de grond of meteen onder het grondoppervlak worden gebracht.
- (\*\*\*) In geval van irrigatiemethoden waarbij regen wordt geïmiteerd, is speciale aandacht vereist voor de bescherming van de gezondheid van werknemers of omstanders. Daartoe worden passende preventie maatregelen genomen.

Tabel 3-2: waterkwaliteitseisen van teruggewonnen water voor landbouwirrigatie in EU 2020/741

Kwaliteitsklasse teruggewonnen water	Indicatieve technologie-doelstelling	Kwaliteitseisen				
		E. coli (aantal/100 ml)	BZV <sub>5</sub> (mg/l)	TSS (mg/l)	Troebelingsgraad (NTU)	Overig
A	Secundaire behandeling, filtratie en desinfectie	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 5	Legionella spp.: < 1000 kve/l waar er een verstuivingsrisico bestaat Rondwormen (wormeieren): ≤ 1 ei/l voor irrigatie van weidegewassen of diervoedergewassen
B	Secundaire behandeling en desinfectie	≤ 100	In overeenstemming met Richtlijn 91/271/EEG (bijlage I, tabel 1)	In overeenstemming met Richtlijn 91/271/EEG (bijlage I, tabel 1)	—	
C	Secundaire behandeling en desinfectie	≤ 1 000			—	
D	Secundaire behandeling en desinfectie	≤ 10 000	—			

Vervolgens worden er minimumfrequenties voor routinematige monitoring uiteengezet voor de bepaling van deze parameters in het teruggewonnen water (Tabel 3-3):

Tabel 3-3: minimumfrequenties voor monitoring van teruggewonnen water voor landbouwirrigatie in EU 2020/741

Kwaliteitsklasse teruggewonnen water	Minimumfrequenties voor monitoring					
	E. coli	BZV <sub>5</sub>	TSS	Troebelingsgraad	Legionella spp. (indien van toepassing)	Rondwormen (indien van toepassing)
A	Eenmaal per week	Eenmaal per week	Eenmaal per week	Doorlopend	Tweemaal per maand	Tweemaal per maand of als bepaald door de exploitant van de waterterugwinningvoorziening op basis van het aantal eitjes in het afvalwater dat de waterterugwinningsvoorziening binnenkomt
B	Eenmaal per week	In overeenstemming met Richtlijn 91/271/EEG (bijlage I, deel D)	In overeenstemming met Richtlijn 91/271/EEG (bijlage I, deel D)	—		
C	Tweemaal per maand			—		
D	Tweemaal per maand	—				

Daarnaast wordt in de verordening gesteld dat er een risicobeheerplan voor hergebruik van water gevolgd moet worden. Kort samengevat bestaat dat uit de volgende stappen:

1. Omschrijving van het volledige waterhergebruikssysteem
2. Identificatie van betrokken partijen
3. Identificatie van potentiële gevaren voor mens en milieu (in het bijzonder voor stoffen en pathogenen)
4. Identificatie van omgeving en populaties die risico lopen
5. Risicobeoordeling voor mens, dier en milieu a.d.h.v. de geïdentificeerde potentiële gevaren, duur en ernst.

De eisen voor de risicobeoordeling worden uiteengezet in Bijlage I van verordening (EU) 2020/741. Daar wordt ook duidelijk gesteld dat met alle van kracht zijnde regelgevingen rekening moet worden gehouden. In Hoofdstuk 7 in dit rapport wordt de risicobeoordeling voor gebruik van effluent als bron voor gietwater in de glastuinbouw verder uitgewerkt. Aan de hand van de risicobeoordeling kunnen aanvullende eisen worden gesteld om het milieu en de gezondheid van mens en dier afdoende te beschermen. Hier worden de volgende stoffen expliciet genoemd in de bijlage van verordening (EU) 2020/741:

- a. zware metalen
- b. pesticiden
- c. bijproducten van desinfectie
- d. farmaceutische producten
- e. andere zorgwekkend wordende stoffen, waaronder microverontreinigingen en microplastics
- f. antimicrobiële resistentie

De verordening noemt geen waarden voor deze stoffen, zoals maximale concentraties in (behandeld) effluent.

De van kracht zijnde Europese regelgevingen die met name specifiek van toepassing zijn bij het hergebruik van afvalwater voor irrigatie zijn de Kaderrichtlijn Water (KRW) 2000/60/EC (EU 2000) en de Grondwaterrichtlijn 2006/118/EC (EU 2006), Richtlijn inzake de behandeling van stedelijk afvalwater 91/271/EEC (EU 1991) en de Nitraten richtlijn 91/676/EEC (EU 1991). De KRW is vooral relevant omdat het gebruik van gezuiverd afvalwater voor irrigatie zowel de chemische (kwaliteit) als hydrologische (kwantiteit) status van aan de KRW onderworpen waterlichamen niet negatief mag beïnvloeden. Ook moet specifiek zorg worden gedragen dat het gebruik van gezuiverd afvalwater de kwaliteit van drinkwaterbronnen niet in gevaar brengt. De Richtlijn inzake de behandeling van stedelijk afvalwater 91/271/EEC maakt onderscheid in 'kwetsbare' en 'minder kwetsbare' gebieden. Het geeft aan welke waterkwaliteit het effluent van de RWZI/ AWZI moet hebben voor het geloosd wordt (punt 2 in de keten) of voordat het naar de additionele zuivering gaat. De richtlijn stedelijk afvalwater wordt vernieuwd. Er is in oktober 2022 een voorstel gedaan voor aanvullende eisen. Hierin wordt onder meer genoemd dat microverontreinigingen ook verwijderd moeten worden. Het voorstel is dat er vanaf 2035 bij grotere RWZI's (>200 000ve) een installatie komt waarmee microverontreinigingen verwijderd worden. Ook worden de eisen voor lozing van nitraat en fosfaat strenger. Doordat de effluenteisen strenger worden, levert dit water op wat al meer geschikt is voor waterhergebruik. Om het water dan vervolgens geschikt te maken voor gebruik als irrigatiewater zijn dan minder aanvullende behandelingsstappen nodig.

Richtlijn 91/676/EEC inzake de bescherming van water tegen verontreiniging door nitraten uit agrarische bronnen heeft tot doel om grondwaterlagen, oppervlaktewater, estuaria en kustwater te beschermen. Het bevat onder andere een code voor goede landbouwpraktijken en regels over de opslag en toepassing van (dierlijke) mest. In de glastuinbouw (punt 4 in de keten) werkt men toe naar (nagenoeg) nulmissie en worden maatregelen nagestreefd om stikstofemissies te beperken, onder andere door gietwater te recirculeren en het gebruik van meststoffen aan te passen aan de aanwezige hoeveelheid meststoffen en de behoefte van de plant op dat moment in het groeiseizoen.

In meerdere Europese landen is waterhergebruik al langer gebruikelijk, en zijn er ook normen voor stoffen die in de EU richtlijn slechts kwalitatief genoemd zijn. Hoewel deze normen nog niet zijn vastgesteld voor Nederland, is het mogelijk alvast te inventariseren welke normen in andere landen gelden (Tabel 3-4).

Tabel 3-4: waterkwaliteitsnormen voor hergebruik van effluent als irrigatiewater in verschillende EU landen (Kirhensteine, Cherrier et al. 2016)

	Cyprus	Frankrijk	Griekenland	Italië	Spanje
BOD5 (mg/l)	10		10	20	
COD (mg/l)	70	60	10	100	
Zwevend stof SS (mg/l)	10	15		10	20
Vet en olie (mg/l)	5			0,05	
E. Coliforms kve/100ml	5	250	<5	10	100
pH	6.5-8.5			6-9,5	
Conductiviteit (µS/cm)	2500			3000	
Chlorides (mg/l)	300			250	
Boron (mg/l)	1				
Resterend chloor (mg/l)	2				
F-specific bacteriophages (log verwijdering)		4			
Sporen van anaerobe sulfaat reducerende bacteriën (log verwijdering)		4			
Turbiditeit (NTU)			2		10
P tot (mg P/l)				2	
Ti (mg/l)				0,001	
V (mg/l)				0,1	
Zn (mg/l)				0,5	
totaal cyanides (mg/l)				0,05	
Sulfide (mg H2S/l)				0,5	
Actief chloor (mg/l)				0,2	
N tot				15	
NH4				2	
verschillende metalen mg/l				0,001- 3	
verschillende organische componenten				0,00001 - 0,5	



Salmonella				geen	
Legionella					1000

### 3.2.2 Implementatie van verordening (EU) 2020/741 in Nederland

Sinds juni 2023 is de verordening (EU) 2020/741 inzake minimumeisen voor hergebruik van water geïmplementeerd in Nederland. Hierbij zijn de wettelijke normen uit de EU verordening overgenomen. Daarnaast is er op <https://iplo.nl/thema/water/stedelijk-afvalwater/verordening-hergebruik-water/> informatie te vinden hoe deze implementatie wordt uitgevoerd. Onderdeel van de implementatie is een risicobeoordeling. Hiervoor is een handreiking gemaakt bestaande uit een interactieve (Excel) tool om te komen tot een risicobeheersplan ter ondersteuning van een vergunningsaanvraag voor hergebruik van effluent als gietwater: [https://iplo.nl/publish/pages/220457/133841-23-010-230\\_handreiking-risicobeheersplan-voor-hergebruik-van-rwzi-effluent-voor-de-landb.xlsx](https://iplo.nl/publish/pages/220457/133841-23-010-230_handreiking-risicobeheersplan-voor-hergebruik-van-rwzi-effluent-voor-de-landb.xlsx). In deze handreiking wordt ook verwezen naar de gestelde normen uit de verordening. Er zijn geen aanvullende eisen gesteld voor de Nederlandse situatie in het algemeen. Aanvullende eisen kunnen zich richten op bijvoorbeeld: Aanpassing minimumfrequentie, toevoeging stof (niet gemonitord binnen verordening of relevante wetgeving), aanscherping streefwaarde of aanpassing voorwaarden monitoring. Er moet echter per situatie beoordeeld worden of aanvullende eisen noodzakelijk zijn.

### 3.2.3 WHO richtlijnen (punt 3 en 4 in de keten in Figuur 2-1)

In de WHO richtlijn “Safe use of wastewater, excreta and greywater vol. II: Wastewater use in agriculture” (WHO 2013) uit 2013 worden zowel de microbiologische als de chemische gevaren van het gebruik van afvalwater voor irrigatie uiteengezet. Het uitgangspunt hierbij is dat het gebruik van afvalwater een DALY (disability adjusted life years)<sup>1</sup> van  $\leq 10^{-6}$  per persoon per jaar met zich meebrengt. Vervolgens zijn de bij dit uitgangspunt behorende grenzen gesteld voor microbiologische en chemische risico's. Er bestaat geen perfecte indicator voor pathogenen in afvalwater. Daarom wordt vaak gekozen voor het meten van *E. coli* als indicator voor de hoeveelheid fecale besmetting van het water. De strengste grens *E. coli* is 1000 cfu/100 mL. Dat is 100 keer hoger dan in de EU verordening (kwaliteitsklasse A in Tabel 3-2).

De risico's van blootstelling aan chemische verontreinigingen als gevolg van irrigatie met gezuiverd afvalwater worden ook onderkend door de WHO. Er wordt aangenomen dat de voornaamste blootstellingsroute van mensen aan schadelijke stoffen uit afvalwater de voedselketen is. Aangezien alle door de WHO overwogen blootstellingsroutes via de kweekbodem/substraat van de gewassen gaan, en om de analyse te simplificeren, heeft de WHO ervoor gekozen preliminaire grenzen voor bodemconcentraties van stoffen op te stellen. Hierbij is uitgegaan van een toelaatbare dagelijkse inname per stof, en is van hieruit teruggerekend naar de bijbehorende bodemconcentratie van die stof. De maximaal toelaatbare stofconcentraties die daarmee berekend zijn worden samengevat in tabel 4-7 van het WHO rapport (zie hieronder Tabel 3-5). Er wordt expliciet gemeld dat de verwachting is dat de anorganische stoffen op kunnen hopen in de kweekbodem, terwijl voor de organische verbindingen wordt aangenomen dat er verwaarloosbare ophoping zal plaatsvinden omdat de concentraties in afvalwater over het algemeen erg laag zijn.

Tabel 3-5: Maximaal toelaatbare bodemconcentraties van verschillende elementen en organische stoffen ter van bescherming van de menselijke gezondheid

Chemical	Bodem concentratie (mg/kg)
<b>Element</b>	
Antimony	36
Arseen	8

<sup>1</sup> De ziekteelast wordt uitgedrukt in Disability Adjusted Life Years (DALY) en is opgebouwd uit het aantal verloren levensjaren (door vroegtijdige sterfte), en het aantal jaren geleefd met gezondheidsproblemen (bijvoorbeeld een ziekte), gewogen voor de ernst hiervan (ziektejaarequivalenten).

Barium <sup>a</sup>	302
Beryllium <sup>a</sup>	02
Boron <sup>a</sup>	1.7
Cadmium	4
Fluor	635
Lead	84
Kwik	7
Molybdenum <sup>a</sup>	0.6
Nikkel	107
Seleen	6
Thallium <sup>a</sup>	0.3
Vanadium <sup>a</sup>	47
Zilver	3
<b>Organische stof</b>	
Aldrin	0.48
Benzeen	0.14
Chlordaan	3
Chlorobenzeen	211
Chloroform	0.47
2,4-D	0.25
DDT	1.54
Dichlorobenzeen	15
Dieldrin	0.17
Dioxins	0.00012
Heptachlor	0.18
Hexachlorobenzeen	1.40
Lindane	12
Methoxychlor	4.27
PAHs (as benzo[a]pyrene)	16
PCBs	039
Pentachlorophenol	14
Phthalate	13 733
Pyreen	41
Styreen	0.68
2,4,5-T	3.82
Tetrachloroethaan	1.25
Tetrachloroethyleen	0.54
Tolueen	12
Toxafeen	0.0013
Trichloroethaan	0.68

### 3.2.4 Regelgeving lozingswater (“spuiwater”, punt 5 in de keten in Figuur 2-1)

In Nederland geldt voor glastuinbouwbedrijven een zuiveringsplicht van hun lozingswater met betrekking tot gewasbeschermingsmiddelen om de oppervlaktewaterkwaliteit te verbeteren in het kader van onder andere de Kaderrichtlijn Water. De zuiveringsplicht is in 2013 afgekondigd als gevolg van aanhoudende problemen met hoge gehalten aan gewasbeschermingsmiddelen en meststoffen (stikstof en fosfor) in glastuinbouwgebieden. Deze maatregel is opgenomen in de Kabinetsnota “Gezonde Groei, Duurzame Oogst” (2e Nota duurzame gewasbescherming) (Kabinet 2013) en is wettelijk verankerd in het Activiteitenbesluit Milieubeheer (Rijksoverheid 2007).

Per 1 januari 2018 is het voor tuinders verplicht hun afvalwater voorafgaand aan het lozen op de riolering te zuiveren op gewasbeschermingsmiddelen. Voor collectieve zuiveringen was het onder voorwaarde mogelijk om uitstel te krijgen tot 1-1-2021. Om te voldoen aan de eisen moet een installatie gebruikt worden waarvan is aangetoond (middels een testprotocol en certificeringsprocedure) dat minimaal 95% van gewasbeschermingsmiddelen (en 99,5% van imidacloprid) verwijderd wordt (MinEZ and MinI&W 2015). Voor de lozing van stikstof zijn lozingsnormen opgenomen uitgedrukt in kg N/ha/jaar en zijn afhankelijk van het type gewas. Deze lozingsnormen worden progressief strenger voor de periode tussen 2018 en 2027 en moet uiteindelijk resulteren in een nagenoeg nullozing van meststoffen in 2027. Door de lozing van stikstof naar nagenoeg nul te brengen, wordt verondersteld dat ook de lozing van fosfaat beperkt wordt .

### 3.2.5 Productkwaliteit (punt 6 en 7 in de keten in Figuur 2-1)

Er worden eisen gesteld aan het eindproduct, zeker wanneer deze bestemd is voor consumptie, of de internationale handel. Effluent kan een bron zijn van chemische componenten en pathogenen die op het product terecht komen.

Ondernemers die levensmiddelen produceren en verhandelen in Nederland, zijn primair verantwoordelijk dat de levensmiddelen die op de markt worden aangeboden veilig zijn. Daartoe moeten ze voldoen aan geldende wet- en regelgeving voor voedselveiligheid.

De basisprincipes van de Europese voedselwetgeving zijn beschreven in de Algemene Levensmiddelenverordening (Verordening (EG) nr. 178/2002; hierna ALV). De uitgangspunten van de Algemene Levensmiddelenverordening (ALV, Verordening (EG) nr. 178/2002) zijn de volgende:

- De levensmiddelenbedrijven zijn verantwoordelijk voor voedselveiligheid (ALV art. 17.1).
- Daarvoor moet men de HACCP-systematiek toepassen om gevaren voor hun proces te onderkennen en deze te voorkomen, te elimineren of tot een aanvaardbaar niveau te reduceren (Verordening (EG) nr. 852/2004 artikel 5).
- Indien een levensmiddelenbedrijf van mening is of redenen heeft om aan te nemen dat een levensmiddel niet aan de voedselveiligheidsvoorschriften voldoet, neemt men zelf het levensmiddel uit de handel en informeert de bevoegde autoriteit (de NVWA) daarover (ALV artikel 19).
- Daarbij moeten de levensmiddelenbedrijven traceringsgegevens van leveranciers en afnemers beschikbaar hebben en maken op verzoek van de bevoegde autoriteit (ALV art. 18)

Er zijn verschillende partijen betrokken bij regelgeving met betrekking tot de productkwaliteit. Ten eerste is dat de EU en de Nederlandse wetgever. Daarnaast is ook de NVWA betrokken.

Voor het domein Microbiologie spelen onder andere de volgende verordening en besluiten (NVWA 2018):

- Verordening (EG) nr. 2073/2005: Verordening Microbiologische Criteria (VMC),
- Nederlands Warenwetbesluit bereiding en behandeling van levensmiddelen,
- Richtlijn 2003/99/EC: bewaking zoönosen en zoönoseverwekkers,
- Nederlands Besluit zoönosen,

- Besluit 2013/652/EU: monitoring en rapportage van antimicrobiële resistentie bij bacteriën,
- Verordening (EG) nr. 2160/2003: bestrijding van Salmonella en andere specifieke door voedsel overgedragen zoönoseverwekkers.
- Voor veel contaminanten zijn maximum gehalten, ook wel maximum limieten (ML's) genoemd, vastgelegd in Verordening (EG) nr. 1881/2006.

Er zijn veel andere organisaties die op een of andere manier ook een rol spelen in de voedselveiligheid en – kwaliteit. In Nederland zijn dat bijvoorbeeld de volgende organisaties (NVWA 2018):

- Bureau Risicobeoordeling & onderzoek (BuRO), dat onderdeel is van de NVWA, maar onafhankelijk van het toezicht staat, en zich met name bezig houdt met risicobeoordelingen en adviezen, onder andere in het kader van voedselveiligheid.
- Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) dat ad hoc risicobeoordelingen (via het Front Office) uitvoert voor de NVWA, kennisvragen beantwoordt en betrokken is bij uitbraakonderzoek en onderzoek van voedselveiligheid.
- Kennisinstituten als WFSR, waar met name het ontwikkelen van analysemethoden plaatsvindt en andere onderdelen van Wageningen University & Research (WUR) waar onderzoek naar voedselveiligheid plaatsvindt.
- Het Voedingscentrum biedt consumenten en professionals wetenschappelijke en onafhankelijke informatie over een gezonde, veilige en meer duurzame voedselkeuze.
- De Europese Autoriteit voor Voedselveiligheid (EFSA), het Europese wetenschappelijke adviesorgaan op het gebied van voedselveiligheid. De wetenschappelijke risicobeoordelingen en opinies van EFSA dienen als basis voor (Europees) beleid.

Een groot deel van de opbrengst uit de glastuinbouw wordt verhandeld over de hele wereld. Binnen de Europese Unie (EU) is er vrij verkeer van goederen en diensten. Maar om verspreiding van plantziekten te voorkomen stelt de EU eisen aan het verhandelen van bepaalde planten of plantaardige producten tussen lidstaten (intraverkeer). Er kunnen extra bepalingen zijn per EU-land. Voor de handel van planten is een plantenpaspoort vereist. De aanwezigheid van een plantenpaspoort bewijst dat de producent voldoet aan de geldende regels en eisen die in de Europese plantgezondheidsverordening (EU) 2016/2031 (EU 2016) zijn vastgesteld. Hierin staan echter geen concrete organismen genoemd. Alleen criteria die een organisme een plaagorganisme maken.

Naast de EU stellen veel landen, of groepen van landen, eisen. De lijst van organismen waarvoor een 0-tolerantie geldt voor handel in de EEU (Armenië, Belarus, Kazachstan, Kirgizië en de Russische Federatie) bevat onkruid (planten), insecten, virus, schimmel, bacteriën en nematoden. Een deel van de organismen op de lijst, kan ook via irrigatie met (behandeld) effluent met de plant in aanraking komen.

Handelsorganisaties stellen ook eisen aan de productkwaliteit. Zo zijn er eisen direct aan het product, en aan het beregeningswater. GLOBALG.A.P., een organisatie die handelshuizen en supermarkten vertegenwoordigt, stelt op dit moment (2022) een eis van 1000 kve *E. coli* /100ml (nieuws 2017). Daarnaast vindt er monitoring plaats door (in Nederland) stichting Food Compass. Zij hebben een microbiologisch monitoringsprogramma waarbij humane pathogenen in het eindproduct worden gemeten.

Er wordt gemeten op de volgende organismen: *Bacillus cereus*, *Campylobacter jejuni*, Shiga toxine producerende *Escherichia coli* (STEC), *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* en *Staphylococcus aureus* en *Escherichia coli* (*E. coli*).

Er zijn geen wettelijke normen voor ziekteverwekkers op verse en onbewerkte groenten en fruit, behalve voor kiemgroenten. Een bedrijf is wettelijk verantwoordelijk voor het op de markt brengen van veilige producten. Daarom zijn de meeste telers bij certificeringssystemen aangesloten om veilige en duurzame land- of tuinbouwpraktijken en productkwaliteiten te garanderen (zie Eisen vanuit de handel).

Bij de beoordeling en rapportage van resultaten voor Global GAP hanteert Food Compass de volgende onderzoeksgrenzen die gebaseerd zijn op beschikbare wetenschappelijke inzichten. Deze zijn terug te vinden in de

praktijkgids 'Microbiologische criteria, Editie 2017' [Microbiologische criteria, Editie 2017, Taco Wijtzes, Céline Dorée, Joyce Polman, blz. 115-116 en blz. 163] (Wijtzes, Dorée and Polman 2017):

- *Salmonella* niet aantoonbaar in 25 g voedselmonster
- *Campylobacter jejuni* niet aantoonbaar in 25 g voedselmonster
- het aantal kweekbare *Staphylococcus aureus* niet meer dan 100.000 kve/g
- het aantal kweekbare *Bacillus cereus* niet meer dan 100.000 kve/g
- *Listeria monocytogenes*: afwezig in 25 g voedselmonster
- *Listeria monocytogenes* <100 kve/g
- STEC niet aantoonbaar in 25 g voedselmonster

*Staphylococcus aureus* en *E. coli* worden gezien als hygiëne indicator. De rapportagegrens voor *E. coli* is <10 kve/g.

Naast microbiologische parameters, worden er ook eisen gesteld aan residuen van gewasbeschermingsmiddelen op het product. Deze waarden zijn vastgelegd in maximum residulimiet (MRL)-waarden. Door het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen tijdens de teelt blijven residuen van deze middelen achter op de behandelde gewassen. Bij elk gewasbeschermingsmiddel is vastgesteld hoeveel residu uiteindelijk in groente of fruit mag achterblijven (MRL - residulimiet). MRL's zijn voor heel Europa vastgelegd in Verordening (EG) Nr. 396/2005 (EU 2005) en zijn ook te vinden in de EU Pesticiden database. De MRL's worden vastgesteld op basis van twee overwegingen: bescherming volksgezondheid en goed landbouwkundig gebruik. Voor de meeste biociden zijn geen Europese MRL's vastgesteld. In Nederland zijn wel nationale MRL's voor biociden vastgesteld als ze niet zijn opgenomen in de gewasbeschermingsmiddelen-, diergeneesmiddelen- of contaminanten wetgeving. Deze zijn opgenomen in de bijlagen van de Warenwetregeling Residuen van Bestrijdingsmiddelen.

Wanneer in behandeld effluent nog residuen van middelen voorkomen, kunnen die door irrigatie terecht komen bij een teelt waarvoor geen toelating geldt. Er is dan ook kans op het overschrijden van deze MRL's. Door het water ver te zuiveren, moet dit risico geminimaliseerd worden.

### 3.2.6 Drinkwaterwet

Naast de regels die gelden ten aanzien van (verse) groente en fruit, bestaat er ook regelgeving voor drinkwater: de Drinkwaterwet (MinI&W 2009). De geldende waterkwaliteitsnormen zijn gebaseerd op minimale risico's bij consumptie van een vaste hoeveelheid water gedurende iedere dag van iemands leven. Deze waterkwaliteitseisen zijn beschermend en worden strikt gemonitord. In de drinkwaterwet wordt het voorzorgbeginsel gehanteerd dat onbekende stoffen, en de som van een groot aantal organische stoffen, met een maximale concentratie van 0,1 µg/l aanwezig mag zijn. Wanneer een plant wordt geïrrigeerd met water dat voldoet aan de normen van de drinkwaterwet, kan men er dus van uit gaan dat dit veilig is. Hierbij wordt er dan geen rekening mee gehouden dat er mogelijk ophoping in een plant kan ontstaan van stoffen waardoor de inname via de plant hoger is dan verwacht (enkele voorbeelden beschreven in 4.2), of juist dat zuivering tot aan deze kwaliteit misschien verder gaat dan noodzakelijk om een veilig product te kunnen leveren, doordat inname van irrigatiewater anders is (hoeveelheid maar ook manier van contact) dan inname van drinkwater. Hoewel de drinkwaterwet dus niet van toepassing is op irrigatiewater, kunnen de gebruikte eisen wel richting geven aan de gewenste kwaliteit van het gietwater omdat de veiligheid van consumenten dan gewaarborgd is.

### 3.2.7 Overige wet- en regelgeving

Naast de genoemde wet- en regelgeving, spelen nog meer wetten een rol als het gaat om waterkwaliteitsbeheer. Deze hebben voornamelijk betrekking op oppervlaktewater- en grondwaterkwaliteit. Een lijst van deze wet- en regelgeving wordt gegeven in Bijlage I. Ze hebben vaak niet direct betrekking op irrigatiewater uit effluent, maar kunnen bij bijvoorbeeld lekkage van transportleidingen wel een rol spelen. Het lijkt echter niet noodzakelijk om de normeringen die in deze wetten genoemd worden, bepalend te laten zijn bij het vaststellen van de waterkwaliteit van hergebruikt effluent.



### 3.3 Eisen vanuit de handel

Voedselveiligheid omvat de gehele voedselketen van boer tot bord. De EU wetgeving (Verordening (EG) Nr. 852/2004) verplicht een teler een voedselveilig product op de markt te brengen en dat gaat verder de keten in. Telers verkopen hun gewassen aan groothandelsbedrijven en retailers. Deze stellen eisen aan de kwaliteit van hun product gebaseerd op de wetgeving vanuit EU en Nederland. Dit gaat vaak middels certificaten of aanvullende eisen die een grote retailer stelt. Voorbeelden van certificaten die een teler kan hebben zijn SKAL2, GLOBALG.A.P.3, 'On the way to PlanetProof', en MPS-ABC<sup>4</sup>. Deze certificaten hebben verschillende eisen (Tabel 3-6) aan producten omdat ze verschillende doelen nastreven. Zo is SKAL voor de biologische teelt, terwijl GlobalG.A.P. zich meer richt op voedselveiligheid, en 'On the way to PlanetProof' voorstaat dat ze voor een duurzame teelt zijn. Voorbeelden van grote retailers die (aanvullende) eisen hebben zijn Albert Hein en Jumbo.

Binnen de sector is GlobalG.A.P. het dominerende certificaat dat de veiligheid gedurende de teelt borgt. Hierbij hoort ook de veiligheid van het gebruikte water. Verder in de keten kunnen er ook andere voedselveiligheidseisen en certificaten gelden, bijvoorbeeld, als voedsel op andere locatie gesorteerd en verpakt wordt door een centrale telersvereniging.

Het primaire onderwerp van de certificaten is voedselveiligheid. Daarnaast wordt ook aandacht besteed aan milieubescherming, waaronder het vraagstuk van waterschaarste. De belangrijkste certificaten stimuleren daarom zowel het efficiënt gebruik van water als het hergebruik van water uit alternatieve bronnen. In Tabel 3-6 wordt weergegeven welke eisen de verschillende certificaten stellen aan de waterbronnen, monitoring van risico's die gepaard gaan met het gebruik van die waterbronnen ten aanzien van voedselveiligheid of milieu, of monitoring van watergebruik.

Tabel 3-6: Eisen die door certificaten gesteld worden aan de gebruikte waterkwaliteit

Certificaat	Beschrijving certificaat	Eisen aan de gebruikte waterkwaliteit
GLOBALG.A.P.	De waterkwaliteitseisen zijn binnen de principes onder FV 30.5 beschreven. Er zijn verschillende waterkwaliteitseisen voor water gebruikt vóór of na de oogst. Jaarlijks gedocumenteerde risicobeoordeling, incl. risico's omtrent <ul style="list-style-type: none"> <li>• Waterbronnen</li> <li>• Distributiesystemen</li> <li>• Irrigatiemethoden</li> </ul>	Jaarlijkse Risicobeoordeling. Watermonsters moeten door een ISO17025 gecertificeerd laboratorium geanalyseerd worden. Waterkwaliteitseisen irrigatie water: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\leq 1000 E.coli</math> per 100 ml behandeld afvalwater (WHO "Richtlijnen voor het veilig gebruik van afvalwater, uitwerpselen en grijs water", 2006, tabel 4.5 (volume 2, 2006) en tabel 2.9 (volume 1, 2006)).</li> <li>• EU verordening 2020/741, gietwater klasse A: <math>\leq 10 E.coli</math> per 100 ml.</li> <li>• Water gebruikt tijdens of na de oogst moet aan drinkwater kwaliteitseisen voldoen.</li> </ul>

<sup>2</sup> Skal Biocontrole is een onafhankelijke organisatie die toezicht houdt op de biologische keten in Nederland. Skal certificeert bedrijven met biologische activiteiten.

<sup>3</sup> GLOBALG.A.P. is een landbouwprogramma dat de eisen van de consument vertaalt naar goede landbouwpraktijken. EurepGAP is een gemeenschappelijke standaard voor landbouwmanagementpraktijken die eind jaren negentig werd gecreëerd door verschillende Europese supermarktketens en hun belangrijkste leveranciers

<sup>4</sup> MPS-ABC: mileucertificaat voor de sierteelt

On the way to PlanetProof	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alle gebruikte waterbronnen zijn legaal</li> <li>• 25-50% van het totale irrigatie water moet voldoen aan 'sustainable water' (6.24), daaronder valt ook behandeld effluent water</li> <li>• Hergebruik van het drain water dat na de irrigatie wordt opgevangen is verplicht.</li> </ul>	<p>Aanvullende eisen voor gebruik van omgekeerde osmose-installaties<sup>5</sup>:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Er mogen alleen biologisch afbreekbare anti-scalants (bijvoorbeeld carboxymethylinuline (CMI)) worden toegevoegd.</li> <li>2. Installatie, gebruik van waterbron en pekelafoer voldoen aan de geldende wetgeving.</li> </ol>
SKAL	Eisen aan de productie en teelt van biologisch producten.	<p>Geen specifieke eisen aan waterkwaliteit.</p> <p>Algemeen: Waterkwaliteit moet voldoen om contaminatie met niet-toegestane stoffen te voorkomen. Als er residuen of niet toegestane stoffen in het irrigatie water verwacht worden, moet het water geanalyseerd worden.</p>
MPS-ABC	<p>Milieucertificering voor de sierteelt Milieuthema water:</p> <p>In gebieden waar waterbronnen onder druk staan, dient de producent zich hiervan bewust te zijn en rekening te houden met belangen van andere gebruikers.</p>	<p>Verbruiksregistratie water</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Geloosd spui/drainage: Hoeveelheid water geloosd op oppervlaktewater of riool (m<sup>3</sup>)</li> <li>• Bron vanuit het water is onttrokken</li> <li>• Hergebruikt drain: Hoeveelheid opgevangen drainwater dat wordt hergebruikt (m<sup>3</sup>).</li> <li>• Registratie van watergift (verplicht voor alle deelnemers):</li> </ul> <p>De hoeveelheid water door menselijke invloed gegeven dient te worden geregistreerd inclusief de bron waaruit het water is onttrokken.</p> <p>Beheersmaatregel: Ontsmetten van recirculatiewater</p>

De bovenstaande certificaten staan het gebruik van effluent als gietwaterbron niet in de weg. Monitoring van risico's ten aanzien van voedselveiligheid is daarbij wel belangrijk.

### 3.4 Discussie regelgeving

Er is veel regelgeving ter bescherming van het milieu. Deze regelgevingen zijn niet primair gericht op waterhergebruik. De regelgeving die zich wel richt op waterhergebruik richt zich met name op voedselveiligheid en milieu maar niet op plantgezondheid. Met betrekking tot microbiële aspecten wordt vooral *E. coli* aangemerkt als indicatororganisme voor fecale besmettingen. Wanneer echter wordt gekeken naar voedselveiligheidsnormen van producten, worden van meerdere organismen maximale concentraties gesteld. Dit gaat vooral over bacteriën en parasieten. Opmerkelijk is dat er geen normen gesteld worden aan virussen, terwijl deze wel wateroverdraagbaar kunnen zijn.

<sup>5</sup> Omgekeerde osmose-installaties worden op dit moment veel ingezet bij de behandeling van grondwater voor de productie van aanvullend gietwater.

De regelgeving met betrekking tot het eindproduct geeft waardes voor componenten en micro-organismen die aanwezig mogen zijn in het product. Dit betreffen zowel humane pathogenen als fytopathogenen wanneer de producten bedoeld zijn voor de internationale handel, vooral buiten de EU. Er moet een vertaling worden gemaakt van de concentratie van een chemische component of pathogeen in de waterbron (behandeld effluent) naar de concentratie op het product. Door het gebruik van effluent kunnen niet-toegestane stoffen in het water aanwezig zijn, die uiteindelijk op of in het product terecht kunnen komen, zonder dat deze doelmatig zijn toegediend. Hierdoor kunnen MRL waardes overschreden worden.

Regelgeving ten aanzien van concentraties stoffen in het gietwater is zeer minimaal, en wordt vooral kwalitatief gegeven. Van veel stoffen bestaan eisen die gerelateerd zijn aan de concentraties in de bodem. Als een stof in water aanwezig is, en wordt opgenomen door de plant, zal er geen of minder ophoping in de bodem plaatsvinden. Het kan echter juist ongewenst zijn dat de stof opgenomen wordt in de plant. Wanneer een stof niet wordt opgenomen in een plant, of pas boven een bepaalde drempelwaarde, zal er juist ophoping in de bodem of in de waterfase plaatsvinden. De ophoping in de bodem is niet alleen afhankelijk van de opname door de plant, maar ook van de hechting aan de bodem, en daarmee afhankelijk van zowel de stof- als bodemeigenschappen. Het is daardoor lastig om een concrete vertaling te maken van een concentratie in (irrigatie)water naar een concentratie in de bodem.

De handelscertificaten staan het gebruik van gezuiverd afvalwater toe. Certificaten van biologische teelten steunen zelfs het gebruik van alternatieve waterbronnen om het probleem van de waterschaarste tegen te gaan. Het gebruik van gezuiverd afvalwater en de daarmee samenhangende risico's en verantwoordelijkheden liggen bij de teler zelf. Om risico's van voedselbesmetting met microbiologische of chemische stoffen te voorkomen, vereisen sommige certificaten een risicobeoordeling of vereisen ze regelmatige controles met behulp van laboratoriumanalyses die door de teler zelfstandig uitgevoerd moeten worden. Omdat de verantwoordelijkheid voor de teelt met gezuiverd afvalwater uitsluitend bij de teler ligt, is het belangrijk dat de telers op een functionerende waterzuivering kunnen vertrouwen, en dat een consistente kwaliteit van het irrigatiewater kan worden gegarandeerd.

Momenteel gebruiken telers al water van een hoge kwaliteit. Dit komt doordat zij vaak regenwater als bron gebruiken, of grondwater met omgekeerde osmose behandelen, maar ook omdat zij in de recirculatie een desinfectie toepassen. De regelgeving met betrekking tot de microbiologische eisen zullen daarom weinig afwijken van de huidige geldende praktijk. Wat betreft chemische stoffen kan verondersteld worden dat water wat behandeld is met omgekeerde osmose nu ook al zeer lage (tot geen) concentraties van risicostoffen (zoals benoemd in bijvoorbeeld de drinkwaterwet) bevat. Regenwater kan wel (lage concentraties) stoffen bevatten die oplossen in water en 'inwaaien' in de basins zoals gewasmiddelen die gebruikt worden op omliggende akkers. De verwachting is dat er zeer lage tot geen concentraties aanwezig zijn van medicijnresten. De verwachting is dat de gestelde eisen weinig afwijken van de geldende praktijk.

## 4 Chemische en microbiologische waterkwaliteit die benodigd is voor een optimale opbrengst van het gewas

Voor de bedrijfsvoering in de teelt is het van belang dat het gebruik van effluent voor de telers geen risico's oplevert. In het komende hoofdstuk wordt gekeken naar de chemische en microbiologische waterkwaliteit die

benodigd is voor een optimale opbrengst van het gewas. Door hergebruik van RWZI effluent kan de kringloop van zoet water beter worden gesloten. Echter, in water afkomstig uit huishoudens, industrie en tuinbouwbedrijven zijn mogelijk andere stoffen in grotere mate aanwezig dan in regenwater, wat nu de belangrijkste bron voor gietwater vormt. Denk hierbij aan chemische en microbiologische verontreinigingen. In het komende hoofdstuk worden verscheidene (groepen) stoffen besproken, die mogelijk aanwezig zijn in RWZI effluent en mogelijk groeibelemmering kunnen opleveren voor de plant. Hierbij wordt specifiek gekeken naar nutriënten, zouten en zware metalen (4.1), organische microverontreinigingen zoals farmaceutische reststoffen, gewasbeschermingsmiddelen (4.2), en micro-organismen (humane en plantpathogenen, 4.3).

#### 4.1 Nutriënten, zouten en zware metalen

Binnen voorgaand project Delft Blue Water (2013) is reeds aangetoond dat tomaten succesvol geteeld kunnen worden met behandeld effluent. Binnen dit project is uitgegaan van gietwater Klasse 1 (Bemestings Adviesbasis Substraten).

Voor het huidige project heeft het de voorkeur ook weer uit te gaan van gietwater Klasse 1. Dit gietwater heeft een laag NaCl-gehalte, zodat telers minder vaak hoeven te spuien en recirculatie wordt bevorderd. Gietwater Klasse 1 gaat in het geval van recirculatie uit van een Na en Cl-gehalte, dat even hoog of lager is dan de opname van een gewas, zodat gedurende de recirculatie geen opbouw plaatsvindt van deze twee elementen. Dit betekent dat Gietwater Klasse 1 voor elk gewas een afzonderlijke maximale NaCl- waarde heeft (Tabel 4-1, rechterkolom). Zonder verdere nazuivering is de Cl<sup>-</sup> concentratie in RWZI effluent te hoog voor gebruik in de glastuinbouw (24-880 mg/l, gemiddeld 130 mg/l natrium in effluent in de periode 2010 t/m 2020, Watson database) (Cirkel, van den Eertwegh et al. 2017).

Het niet overschrijden van de gewasopname voor de elementen NaCl betreft een optimale eis. Onderzoek wijst uit dat enige ophoping van deze elementen in het groeimedium (substraatmat) mogelijk is, zonder problemen op te leveren. Bijvoorbeeld bij paprika, tomaat en gerbera is aangetoond dat Na veel meer mag accumuleren dan de waarden waar over het algemeen vanuit gegaan wordt, zonder dat er groei/kwaliteitsverlies optreedt (Beerling, Blok et al. 2018, Voogt and Leyh 2020, Voogt and Leyh 2021). Het zou dus mogelijk kunnen zijn de Na waarden periodiek iets hoger te laten zijn, zonder dat dit voor de teelt problemen oplevert, zolang de waarden in de mat niet oplopen tot boven een bepaalde concentratie. Deze waarden zijn voor enkele teelten aangegeven in de middenkolom van Tabel 4-1.

Tabel 4-1: adviesnorm en nieuw inzicht (dikgedrukt) van natriumconcentratie in de wortelzone, en de gewasopname (Beerling, Blok et al. 2018, Voogt and Leyh 2020, Voogt and Leyh 2021).

Gewas	Max. Na Wortelzone adviesnorm en nieuwe inzichten (mmol/l)	Opname gewas Na ; Cl (mmol/l)
Tomaat	8: <b>(15)</b>	0.7 ; 0.9
Paprika	6: <b>(8)</b>	0.2 ; 0.4
Aubergine	6	0.2 ; 0.4
Komkommer	6	0.5 ; 0.7
Meloen	6	0.5 ; 0.7
Roos	4	0.2 ; 0.3

Gerbera	4: 10	0.4 ; 0.6
Anjer	4	0.5 ; 0.7

Voor sommige gewassen die gevoelig zijn voor Na, zoals roos, cymbidium en andere orchideeën, blijft Na-accumulatie een belangrijk knelpunt. Het is aan te bevelen binnen dit project vooral te focussen op gietwater dat aan Klasse 1 voldoet, dat wil zeggen onder de gewasopname van Na en Cl zit. En om hierbij uit te gaan van het gewas met de strengste eis (Roos, aubergine, paprika). Zo wordt recirculatie niet belemmerd door ophoping van NaCl, en is het water afneembaar voor een bredere groep telers. Dit ook, omdat de bereidheid voor het gebruik aan effluent in de kas door een teler niet verminderd moet worden door de vraag om met hogere Na-normen te telen. Een groot voordeel van het aanbieden van water met lager zoutgehalte, is dat zoutophoping minimaal blijft tijdens de recirculatie en er hierdoor minder water afgenomen hoeft te worden.

Sulfaatgehalte in het gietwater kan leiden tot neerslagvorming van onoplosbare zouten bij geconcentreerde voedingsoplossingen, zoals in de A- en B- bakken. Dit zijn bakken waarin geconcentreerde voedingsoplossingen worden bereid. Deze worden pas na verdunning samengevoegd om neerslag van bepaalde elementen, zoals fosfaat met calcium, te voorkómen. Neerslag met sulfaat kan voorkomen worden door A en B bakken met water te bereiden wat een lage sulfaatconcentratie heeft, zoals regenwater of water uit een omgekeerde osmose installatie. Het niveau moet <3 mmol/l bedragen in zoet water (Os, Blok et al. 2016).

Boor (element B) wordt niet tegengehouden door RO-membranen. Bij recirculatie kan het tot toxiciteit leiden voor planten. De gehalten moeten <25 µmol zijn om groeiremming door boor te vermijden (Os, Blok et al. 2016).

Zonder verdere zuivering is de ijzerconcentratie in RWZI-effluent te hoog voor gebruik in de glastuinbouw (Cirkel, van den Eertwegh et al. 2017). IJzer kan in bepaalde vormen (zoals in bronwater) vanaf 9 micromol/l verstoppingen in het druppelsysteem veroorzaken. Uit oogpunt van plantenvoeding mag het ijzer-gehalte vaak hoger zijn dan deze waarde, maar dit ijzer moet naderhand in de juiste vorm als chelaat worden toegevoegd, zodat het plantopneembaar is en verstopping wordt voorkomen.

In Tabel 4-2 en Tabel 4-3 worden normen van irrigatiewater gegeven die als referentiewaarde gebruikt kunnen worden voor de bereiding van gietwater uit effluent. Ook de drinkwaternormen zijn gegeven. Over het algemeen wordt de strengste waarde gehanteerd als waarde voor effluent hergebruik. Hierdoor is het toepasbaar voor (bijna) alle planten en teeltsoorten.

Tabel 4-2: referentiewaarden voor irrigatiewater voor de glastuinbouw (Cirkel, van den Eertwegh et al. 2017) (Mini&W 2009, Os, Blok et al. 2016)

	Aquareuse Grenswaarden	Indicatie waarden TOM	Water limiet Hydroponics			Drinkwater-norm	Borging Effluent
			restriction of use				
			none	slight-moderate	severe		
EC	mS/cm	<0,2	0,3	0-0,75	0,75-2,25	>2,25	<0,2
pH	log (mol/l)	geen norm	6,5			7-9,5	Geen norm
NH <sub>4</sub>	mmol/l	<0,1	0,02	≈0	0,1-1	>1	<0,05
K	mmol/l	<2,0	1,20	<0,5	0,5-2,5	>2,5	<1,2

Na	mmol/l	<0,2	0,10	<3	3-10	>10	3,836	<0,1
Ca	mmol/l	<1,0	0,80	<1,5	1,5-5	>5		<0,8
Mg	mmol/l	<1,0	0,20	<0,7	0,75-2	>2		<0,2
Si		<1,0						<1
NO <sub>3</sub>	mmol/l	<2,0	0,00					<0,5
Cl	mmol/l	<1,0	0,50	<3	3-10	>10	4,231	<0,5
SO <sub>4</sub>	mmol/l	<1,0	0,30	<2	2-4	>4	1,545	<1,0
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	mmol/l							
HCO <sub>3</sub>	mmol	<1,0	1,50	0-2	2-6	>6	0,983	<1,0
P	mmol/l	<1,0	0,87	<0,3	0,3-1	>1		<1,0
N-totaal	mmol/l		15,49	<0,5	0,5-2	>2	0,807	<0,8
Spoor elementen								
Fe	µmol/l	<20	4,48			>90	3,581	<4,48
Mn	µmol/l	<10	4,55			>10	0,91	<4,55
Zn	µmol/l	<10	3,00			>30	0,046	<3,0
Cu	µmol/l	<1	3,15			>15	0,031	<1,0
B	µmol/l	<50	9,98/ 27,75/ 55,49	30	30-100	>100	0,046	<20
Mo	µmol/l	<1						<1

Zware metalen kunnen voorkomen in de bodem/grond of in grond- en bronwater. Ook kunnen ze meekomen met meststoffen, of vrijkomen uit teelttafels en goten. Dit laatste gebeurt met name bij het gebruik van corrosieve middelen als chloor en peroxide, of bij het gebruik van water met een lage pH. Hiernaast bevat condenswater uit de warmte kracht koppeling (WKK) metalen.

Tabel 4-3: referentiewaarden van irrigatiewater voor enkele parameters. (Stowa 1996)

		Aquareuse Grenswaarden	Indicatie waarden TOM	Stowa 1996 en 2001		Drinkwaternorm
				Substraat	Overig glastuinbouw	
Br	mg/l		100/300	1	3	
F	mg/l		0,19/0,5	0,5	0,5	
Co	mg/l		0,012	0,05	0,05	
As	mg/l	0,0001	0,05	0,05	0,05	0,01
Be	mg/l		0,1	0,1	0,1	0,00
Cd	mg/l	0,0001	0,01	0,01	0,01	0,005

Cr	mg/l	0,25	1	1	1	0,05
Hg	mg/l	0,0001				0,001
Ni	m/l	3	0,2	0,2	0,2	0,2
Pb	mg/l	0,0001	0,05	0,5	0,05	0,001
Se	mg/l		0,02	0,02	0,02	0,1
Al	mg/l					
Ba	mg/l	0,0005				
Li	mg/l			2,5	2,5	
Sn	mg/l	0,01				

## 4.2 Organische microverontreinigingen

Naast risico's van zware metalen, nutriënten en pathogene micro-organismen is er een groot scala aan organische microverontreinigingen aanwezig in RWZI-effluent, waarmee rekening gehouden dient te worden.

Binnen huidig project is het van belang dat de gekozen nazuivering van RWZI effluent organische microverontreinigingen verwijdert. Ongewenste stoffen in het water zijn zeer variabel. Vanuit EU verordening 2020/741 (minimumeisen waterhergebruik in de landbouw) wordt aangegeven dat er rekening gehouden moet worden met:

- a. pesticiden
- b. bijproducten van desinfectie
- c. farmaceutische producten
- d. andere zorgwekkend wordende stoffen, zoals microplastics
- e. antimicrobiële resistentie

Deze categorieën omvatten zeer veel verschillende stoffen, die ook onderling sterk afwijkende fysisch/chemische eigenschappen hebben. Op het moment dat zij (in lage mate) aanwezig zijn in het nagezuiverde effluent, zijn deze fysisch/chemische eigenschappen belangrijk voor de mate waarop ze door het teeltsysteem kunnen verplaatsen, en vervolgens kunnen doordringen in de plant, en zich na doordringing in de plant óf ophopen in het wortelsysteem, óf mobiel zijn en naar vrucht of blad doordringen.

Wanneer het water het teeltbedrijf binnenkomt, nog voor het effluent bij de plant komt, zijn ook teeltwijze en substraat/bodemtype van belang: Zo komt bij substraatteelt op steenwol binding aan het klei/humuscomplex niet voor, en is er risico op ophoping door recirculatie, terwijl bij bodem bodempassage juist een rol kan spelen in filtering van ongewenste stoffen o.a. door sorptie aan bodembestanddelen, absorptie aan organische stof en afbraak ten gevolge van microbiologische processen. Hiernaast kan bij bodem ophoping gedurende meerdere jaren optreden, terwijl steenwol en ander substraat doorgaans na één of een aantal teelten vervangen worden. Afbraak door microbiologische processen speelt bij inert substraat in het begin van de teelt nauwelijks een rol, later in de teelt zullen er meer micro-organismen in de rhizosfeer aanwezig zijn. Bij teelt in de bodem is het van belang of de grond net ontsmet is of niet. Hiernaast spelen fotodegradatie en hydrolyse een mogelijke rol bij de afbraak van ongewenste stoffen in water, bodem of substraat.

Zo zijn er vele factoren van belang op de afbraak en/of persistentie van een stof in water, en vervolgens, in hoeverre deze bij de plant terecht komt. Sommige stoffen, zoals sulfamethoxazole, carbamazepine, meprobamate, trimethoprim en primidone worden vaak aangetroffen in percolaat of afspoeling van gronden behandeld met effluent (Snyder, Leising et al. 2004, Avisar, Lester and Ronen 2009, Bondarenko, Gan et al. 2012).



Op het moment dat er stoffen in aanraking komen met de plant, zijn de volgende dingen van belang:

- Productie: Leidt de stof tot gewasremming?
- Humane gezondheid: Wordt de stof opgenomen door het gewas? Kan de stof doordringen tot plantendelen die bestemd zijn voor humane consumptie, of wordt hij er direct op aangebracht (irrigatie van bovenaf)?
- Milieu en omgeving: Hoe gaat de teler om met deze stoffen bij het managen van reststromen uit de kas?

In de volgende paragraaf wordt een kort overzicht gegeven van stoffen waarvan bekend is dat ze een effect kunnen hebben op plantengroei. Hierna zullen plantopname en effecten op humane gezondheid besproken worden.

#### 4.2.1 Effect van microverontreinigingen op plantengroei

Er is onvoldoende kennis beschikbaar over de opname van organische microverontreinigingen in gewassen. Er zijn verscheidene studies gedaan met name met farmaceutica in hydroponie onderzoeken, om plantopname onder gesimplificeerde omstandigheden te testen (Redshaw, Wootton and Rowland 2008, Bartha, Huber et al. 2010, Herklotz, Gurung et al. 2010, Shenker, Harush et al. 2011, Calderón-Preciado, Renault et al. 2012, Tanoue, Sato et al. 2012, Dodgen, Li et al. 2013, Wu, Ernst et al. 2013, Dodgen, Ueda et al. 2015). Hiernaast zijn er studies bekend over concentraties in de bodem en plantopname. Omdat er geen verband bekend is tussen de aanwezige concentratie van microverontreinigingen in gietwater en de concentratie in de bodem, is de laatste categorie studies hier buiten beschouwing gehouden.

De kennis die beschikbaar is uit studies, is beperkt in de zin dat er doorgaans naar slechts één stof per studie gekeken wordt, terwijl er meerdere stoffen aanwezig zijn, stoffen met elkaar kunnen interacteren en mogelijk een gecombineerd effect hebben op opname of effect op de plant.

Hiernaast wordt er in deze studies gekeken naar nog niet omgezette stoffen. Sommige stoffen die gevormd worden bij de afbraak (dit kan gebeuren in bodem, water of in de plant) van farmaceutica zijn mogelijk toxischer of juist stabiel dan het ouder-molecuul waar deze in oorsprong van afkomstig zijn. In de meeste studies worden dit soort getransformeerde moleculen niet meegenomen, of is het onduidelijk welke effecten afkomstig zijn van het ouder-molecuul, of het reeds getransformeerde molecuul (Poustie, Yang et al. 2020).

Er is veel onderbouwing voor de fytotoxiciteit van antibiotica (Carballo, Rodríguez and de la Torre 2022), met name tetracycline en sulphonamide antibiotica. Niet-steroïde ontstekingsremmende medicatie kan plantengroei en mitochondriën-activiteit beïnvloeden. Het is echter moeilijk hier een 'veilige limiet' aan te koppelen, omdat testmethoden, testduur, gewas, substraat en fertigatiesamenstelling van invloed zijn op de waarden die gevonden worden in deze studies. Hiernaast rapporteren sommige studies de laagst gevonden dosis van invloed (LOAEC), sommige de EC10 of EC50 (effectieve concentratie die het benoemde effect op 10% of 50% van de plantenpopulatie heeft). Ook is niet altijd inzichtelijk of de LOAEC gebaseerd is op de laagst geteste dosis, of dat lagere doses ook van invloed kunnen zijn maar buiten de studie vielen.

Ook is het vaststellen van groeiremming nuttig in de context van opbrengstvoorziening, maar dit effect valt niet per se samen met het moment waarop andere plantgezondheidseffecten optreden. In een onderzoek van Carter et al. (2015) is gekeken naar geneesmiddelen die bij mensen bedoeld zijn om de ionenstroom in menselijke cellen te beïnvloeden; deze kunnen ook de ionenstroom in planten beïnvloeden. Carbamazepine, een medicijn voor epileptische aanvallen, en verapamil, tegen hoge bloeddruk, beïnvloeden respectievelijk de calcium- en natriumstroom in mensen. De studie wijst uit, dat lage concentraties van deze stoffen (5 µg/kg grond) de opname van bepaalde micronutriënten in courgette licht verhogen, en hogere concentraties (8 mg/kg grond) ook macronutriëntopname beïnvloeden. Hoewel groeiremming pas optreedt vanaf concentraties van 8-10 mg/kg grond in het geval van carbamazepine, en in het geval van verapamil bij geen enkele geteste concentratie aangetoond is, wordt de aanmaak van planthormonen beïnvloed door beide medicijnen vanaf een concentratie van 5 µg/kg in de grond. Het betreft hier Abscisinezuur (ABA), auxine, cytokininen, en bij carbamazepine ook jasmonzuur (JA). Auxine

en cytokininen zijn verantwoordelijk voor verscheidene processen, zoals celdifferentiatie in groeimeristemen in wortel en scheut. Hiernaast beïnvloeden cytokininen chlorophyl en carotenoiden. JA en ABA beïnvloeden verscheidene plantverdedigingsreacties, wat betekent dat de reactie bij blootstelling aan een pathogeen of plaag beïnvloed kan worden (Carter, Williams et al. 2015). Er zijn echter ten tijde van schrijven geen studies bekend die dit effect in combinatie met plaag/pathogeen uitwijzen.

#### 4.2.2 Plantopname van microverontreinigingen

Normaal gesproken wordt plantopname benaderd als de bioconcentratie factor (BCF), wat het gehalte aan de stof aangetroffen in het plantenweefsel is, gedeeld door de hoeveelheid oorspronkelijk aanwezig in het groeimedium. Deze studies wijzen uit dat plantopnames van deze stoffen wijd verschillend zijn. Sommige stoffen zoals triclocarban, fluoxetine, diazepam en triclosan kunnen zeer sterk ophopen in plantenwortels, terwijl andere, zoals meprobamate, atorvastatin, diclofenac en acetaminophen minder aanwezig waren in wortels (Wu, Ernst et al. 2013). Stoffen die hoge BCFs vertoonden in bladeren zijn o.a. carbamazepine, fluoxetine, dilantin en diazepam, hetgeen inhoudt dat deze chemicaliën makkelijk migreren in de plant (en dus mogelijk eetbare delen). Een driejarige studie, gedaan op tomaat in vollegrond die werden berekend met tertiair behandeld effluent liet zien dat de eerste twee jaar geen antibiotica te vinden was in de tomaten, maar het derde jaar gedurende het groeiseizoen een steeds hogere waarde aan antibiotica teruggevonden werd in de tomaten. Geen van de doses van antibiotica in de vruchten oversteeg hierbij de Threshold voor Toxicological Concern (TTC) (Christou, Karaolia et al. 2017). Als stoffen goed kunnen migreren door de plant, is er ook een grotere kans dat deze stoffen in eetbaar blad of vrucht terechtkomen, terwijl stoffen die minder goed migreren en juist in de wortelzone blijven met name relevant zijn voor wortel- en knolgewassen.

Naast farmaceutica is het raadzaam om gewasbeschermingsmiddelen (pesticiden) te verwijderen via extra zuivering. Voor lozing van het teeltwater moet een teler sinds 2018 ten minste 95% van de actieve stof uit het water reinigen. Toch, via gebruik van middelen in de openbare ruimte, en het rest-deel wat niet verwijderd wordt uit lozingswater bij een teler en wordt geloosd op het riool, komen gewasbeschermingsmiddelen terecht in de RWZI. Omdat een RWZI veelal niet specifiek toegerust is op de verwijdering van GBM's, zitten er ook nog middelen in RWZI-effluent (Watson database, Foekema et al., 2012) (Derksen 2022) (Derksen, Jans et al. 2023).

#### 4.2.3 Effect van microverontreinigingen in planten op humane gezondheid

Wet- en regelgeving is nog niet duidelijk over ophoping van deze stoffen in het milieu, en grenswaarden aangaande aanwezigheid van deze stoffen enerzijds in gietwater en anderzijds in voeding zijn niet opgesteld. Farmaceutica zijn de best onderzochte, maar niet de enige aanwezige stoffen in RWZI-effluent. Publicaties suggereren dat de accumulatie van farmaceutica in teelt bij gebruik van hergebruikt water tot dusverre weinig risico opleveren voor de menselijke gezondheid (Boxall et al., 2006; Carter et al., 2014). Zeker bij verdere nazuivering, worden dus weinig problemen verwacht. Het is raadzaam om enkele signaalstoffen die representatief zijn voor de meest voorkomende groepen moleculen te selecteren, en het effluent hierop te testen.

### 4.3 Plantpathogenen

Pathogenen in afvalwater kunnen afkomstig zijn van verschillende bronnen, waaronder menselijke en dierlijke uitwerpselen. Daarnaast voeren ook tuinbouwbedrijven hun afvalwater naar de RWZI af, met gevolg dat ook plantpathogenen in RWZI influent voorkomen. Het is dus zaak te zorgen dat (plant) pathogenen bij de zuiveringen volledig verwijderd worden, zodat deze niet via het watersysteem verspreid worden en mensen of planten infecteren.

Humane pathogenen in irrigatiewater zijn vooral een probleem voor producten die voor rauwe consumptie geteeld worden. Daarom wordt ook de hoogste gietwaterklasse (A) vereist als effluent water direct voor irrigatie van rauw geconsumeerde groenten en fruit gebruikt wordt (Tabel 3-2). Onafhankelijk van de consumptie mogen er geen (of alleen lage concentraties) plantpathogenen in het water zitten om plantinfecties en daarmee oogstverliezen te voorkomen. Alle soorten plantpathogenen zijn in water te vinden en kunnen via irrigatie verspreid worden: plantparasitaire nematoden, verschillende soorten oömyceten (*Phytophthora* sp., *Pythium* sp.), schimmels, bacteriën en virussen (Hong and Moorman, Stewart-Wade 2011).

Omdat nazuivering met filtratietechnieken grotendeels gebaseerd is op scheiding op grootte van de organismen, worden grote organismen (bv. nematoden) beter verwijderd dan kleine organismen (bv. bacteriën, virussen) (Rizzo, Gernjak et al. 2020). Verder moet er met de overlevings- en verspreidingsvormen van micro-organismen rekening gehouden worden omdat deze vaak bestendiger zijn dan het organisme zelf. Voorbeelden hiervan zijn cysten van plantparasitaire nematoden die eieren bevatten, zoösporen van oömyceten, of sporen van schimmels.

Hoewel plantparasitaire nematoden via water verspreid kunnen worden (Hugo and Malan 2016), zijn de mobiele juvenielen (J2's) of cysten groot genoeg om via filtratie verwijderd te worden.

Oömyceten zijn kleiner dan nematoden en bestaan uit een diverse groep filamentachtige protisten. Soorten van *Phytophthora* en *Pythium* horen bij de top 10 plantpathogene oömyceten omdat ze grote economische schade veroorzaken (Kamoun, Furzer et al. 2015). Ze worden verouderd ook "waterschimmels" genoemd omdat ze goed in aquatische omgevingen overleven of zelfs delen van hun levenscyclus in het water doorbrengen en daardoor ook een risico zijn voor verspreiding via irrigatiewater (Tim 2023). Grotere organismen zoals de zoösporen van *Phytophthora* kunnen zelfs tijdens natuurlijke zandfiltratie in een langzaam zandfiltratie systeem verwijderd worden (Lee and Oki 2013). In deze studie waren ook sporen van de schimmel *Fusarium* geanalyseerd, maar hier werkte deze soort van filtratie niet omdat de sporen te klein waren. Om schimmelsporen te verwijderen zijn er filtratie methoden met kleinere poriëgrootte nodig zoals ultrafiltratie. Plantpathogene schimmels maar ook plantpathogene bacteriën kunnen via irrigatiewater verspreid worden en gecontamineerd water kan tot infecties leiden. Er zijn verschillende fysieke, biologische of chemische methoden beschikbaar om deze te verwijderen. Bijvoorbeeld, chemische waterbehandeling met chloor of ozon kan schimmelsporen verwijderen en daarmee voldoende waterkwaliteit voor irrigatie bereiken (Raudales, Parke et al. 2014).

Virussen hebben een grootte van enkele tot honderden nanometer en zijn daarmee duizend keer kleiner dan bijvoorbeeld bacteriën (gemiddelde grootte van 1 µm). Daarom zijn virussen over het algemeen resistenter tegen behandelingstechnologieën dan bacteriën en schimmels, maar ook tegen milieuomstandigheden zoals wisselende pH en temperatuur (WHO 2011).

Van verscheidene (plant) virussen is aangetoond, dat deze zich door water kunnen verspreiden. Hieronder vallen de meest stabiele virussen zoals tobamovirussen, potexvirussen en viroïdes (Mehle and Ravnkar). De virussen worden door geïnfecteerde planten via de wortels uitgescheiden en kunnen via het water verspreid worden en nieuwe planten infecteren. Van ToBRFV (Tomato brown rugose fruit virus) en CGMMV (komkommerbontvirus) is bekend dat ze overdraagbaar zijn via water. Van PFBV (Pelargonium flower break virus) en TMV (tabaksmozaïekvirus) is bekend dat ze via recirculatiewater in kassen verspreid kunnen worden, waarbij TMV drie dagen na inoculatie in het watersysteem is te vinden. Ook PlamV (*Plantago Aziatica* Mozaïekvirus), een bedreiging voor de liesector, is aantoonbaar overdraagbaar via water. Deze virussen beperken hergebruik van water in de praktijk.

CGMMV kan, zoals gezegd, via de waterroute wortels besmetten. Besmetting met het komkommerbontvirus is de voornaamste reden dat er in de komkommerteelt geen water wordt gerecirculeerd. Het virus is tevens een vertegenwoordiger van een grote groep ziekteverwekkende virussen (de tobamovirussen) bij nachtschade-achtige gewassen. Op dit moment wordt de introductie van productiesystemen zoals hoge draadteelten en belichting in de komkommerteelt verhinderd doordat planten gevoeliger zijn voor de virusaanvallen van bijvoorbeeld CGMMV. Door het virus ontstaat jaarlijks een grote schade bij komkommertelers door een veel lagere omzet. Naast waterstromen wordt CGMMV overgebracht via insecten, via het zaad en mechanisch door gewaswerkzaamheden. Omdat de planten na infectie niet meer groeien, moeten de planten opnieuw geplant

worden. Symptomen treden op tijdens de zomer bij over het algemeen een hoge komkommerprijs. De schade kan oplopen tot 10% opbrengstverlies. Een aantal plantvirussen in groenten en fruit kunnen na consumptie de route door het spijsverteringskanaal overleven, en zo in afvalwater terecht komen. PPMoV (paprikamozaïekvirus) is een voorbeeld. Dit virus is zelfs zo wijdverspreid (het is het meest voorkomende RNA virus in humane faeces) dat het als waterkwaliteitsindicator gebruikt wordt voor fecale verontreiniging (Rosario, Symonds et al. 2009). Het komt voor in humane faeces door de consumptie van paprika en peper en de daarvan afgeleide producten, en komt daarentegen zelden voor in dierenmest. Ook komt dit virus in grotere getale voor in verscheidene waterbronnen dan humaan pathogene virussen, zonder substantiële seizoensgebonden fluctuatie. Het heeft een hoge stabiliteit onder verscheidene milieuomstandigheden.

Hoewel plant pathogene micro-organismen via gecontamineerd irrigatiewater verspreid kunnen worden, zijn er bijna geen studies beschikbaar die een relatie van plantinfectie en de hoeveelheid organismen in irrigatiewater weergeven (Eisfeld, Jack et al. 2022). Deze studies zijn belangrijk om een risicoschatting gebaseerd op plant pathogene organismen in irrigatiewater te maken. De aanwezigheid van een bepaald organisme, bijvoorbeeld aangetoond met PCR methode, geeft nog geen informatie over de besmettelijkheid van het organisme. Daarom kunnen op dit moment vooral risico's van human pathogene organismen in water en hun invloed op de menselijke gezondheid bepaald worden. Om de kwaliteit van het irrigatiewater te garanderen wordt hier zowel naar schimmels, bacteriën als virussen gekeken.

## 5 Conclusie te bereiken waterkwaliteit

Binnen het project 'borging RWZI effluent voor de glastuinbouw' is verondersteld dat wordt gekozen om gietwater te leveren wat voldoet aan zeer hoge kwaliteitseisen. Hoewel er ook telers zijn die een minder hoge kwaliteit zouden kunnen gebruiken omdat hun teelt minder gevoelig is voor bijvoorbeeld zout, of niet gebruikt wordt voor rauwe consumptie, bijvoorbeeld sierteelt, wordt hiervoor gekozen om meerdere redenen.

Wanneer een lagere kwaliteit geleverd wordt kan de behandeling goedkoper zijn, maar het zou betekenen dat er individuele telers zijn die het water verder moeten bewerken voor het aan hun waterkwaliteitseisen voldoet. Dit brengt extra zuiveringsinspanningen en meer maatwerk met zich mee. Veel telers vinden dit ongewenst. Daarbij is het areaal groentetelers, wat over het algemeen de hoogste eisen stelt aan zoutgehalte, in Nederland ongeveer 50% (ten opzichte van 30% bloemen en 20% planten) en in het Westland 40% (ten opzichte van 34% bloemen en 26% planten) (Hordijk 2014). Doordat er een zeer groot deel van de telers een hoge kwaliteit water vereist, is het ook logisch om dit voor iedereen aan te bieden. Ook telers die met een lagere kwaliteit toe zouden kunnen, hebben voordeel aan een hogere waterkwaliteit waardoor zij meer kunnen recirculeren en dus minder water hoeven af te nemen. Daarnaast is er niet veel bekend over de stabiliteit van de waterkwaliteit tijdens distributie op het moment dat water met een lagere kwaliteit wordt geleverd.

Wanneer de wettelijke eisen, en richtlijnen vanuit de ketenpartijen worden samengevoegd met de eisen die telers stellen ten behoeve van de productie, moet het gietwater voldoen aan de volgende waterkwaliteitseisen (Tabel 5-1). Dit is het uitgangspunt voor het project.

Tabel 5-1: waterkwaliteitseisen voor gietwater geproduceerd uit nabehandeld RWZI effluent

parameter	eenheid	waarde	regelgeving	opmerking

e coli	kve/100 ml	<= 10	verordening (EU) 2020/741 van het Europees Parlement inzake minimumeisen voor hergebruik van water	kwaliteitsklasse teruggewonnen water A, noot 1
BZV	mg/l	<=10	verordening (EU) 2020/741 van het Europees Parlement inzake minimumeisen voor hergebruik van water	kwaliteitsklasse teruggewonnen water A, noot 1
TSS	mg/l	<=10	verordening (EU) 2020/741 van het Europees Parlement inzake minimumeisen voor hergebruik van water	kwaliteitsklasse teruggewonnen water A, noot 1
troebelingsgraad	NTU	<=5	verordening (EU) 2020/741 van het Europees Parlement inzake minimumeisen voor hergebruik van water	kwaliteitsklasse teruggewonnen water A, noot 1
<i>legionella</i> spp	kve/l	<1000	verordening (EU) 2020/741 van het Europees Parlement inzake minimumeisen voor hergebruik van water	wanneer er een verstuiwingsrisico bestaat
rondwormen	ei/l	1	verordening (EU) 2020/741 van het Europees Parlement inzake minimumeisen voor hergebruik van water	voor irrigatie van weidegewassen of diervoedergewassen, noot 2
EC	mS/cm	<0,2	glastuinbouw norm	
pH	log (mol/l)	5-7	glastuinbouw norm	
NH4	mmol/l	<0,05	glastuinbouw norm	
K	mmol/l	<1,2	glastuinbouw norm	
Na	mmol/l	<0,1	glastuinbouw norm	
Ca	mmol/l	<0,8	glastuinbouw norm	
Mg	mmol/l	<0,2	glastuinbouw norm	
Si		<1	glastuinbouw norm	
NO3	mmol/l	<0,5	glastuinbouw norm	
Cl	mmol/l	<0,5	glastuinbouw norm	
SO4	mmol/l	<1,0	glastuinbouw norm	
H2PO4	mmol/l		glastuinbouw norm	
HCO3	mmol	<1,0	glastuinbouw norm	
P	mmol/l	<1,0	glastuinbouw norm	
N-totaal	mmol/l	<0,8	glastuinbouw norm	
Fe	µmol/l	<4,48	glastuinbouw norm	

Mn	µmol/l	<4,55	glastuinbouw norm	
Zn	µmol/l	<3,0	glastuinbouw norm	
Cu	µmol/l	<1,0	glastuinbouw norm	
B	µmol/l	<20	glastuinbouw norm	
Mo	µmol/l	<1	glastuinbouw norm	
Br	mg/l	1	glastuinbouw norm	
F	mg/l	0,19	glastuinbouw norm	
Co	mg/l	0,012	glastuinbouw norm	
As	mg/l	0,01	drinkwaterbesluit	
Be	mg/l	0,1	glastuinbouw norm	
Cd	mg/l	0,005	drinkwaterbesluit	
Cr	mg/l	0,25	glastuinbouw norm	
Hg	mg/l	0,001	drinkwaterbesluit	
Ni	m/l	0,2	glastuinbouw norm	
Pb	mg/l	0,05	glastuinbouw norm	
Se	mg/l	0,02	glastuinbouw norm	
Al	mg/l		glastuinbouw norm	
Ba	mg/l	0,0005	glastuinbouw norm	
Li	mg/l	2,5	glastuinbouw norm	
Sn	mg/l	0,01	glastuinbouw norm	
N-nitrosodimethylamine (NDMA)	ng/l	12	drinkwaterbesluit	Som van gespecificeerde verbindingen met concentratie hoger dan de detectiegrens. Noot 3
Polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) (som)	µg/l	0,1	drinkwaterbesluit	Per stof.
Polychloorbifenylen (PCB's) (individueel)	µg/l	0,1	drinkwaterbesluit	Som van gespecificeerde verbindingen met concentratie > 0,05 µg/l. Noot 4
PCB's (som)	µg/l	0,5	drinkwaterbesluit	Per stof. Noot 5.
Pesticiden (individueel)	µg/l	0,1	drinkwaterbesluit	Som van afzonderlijke pesticiden met concentratie hoger dan de detectiegrens.
Pesticiden (som)	µg/l	0,5	drinkwaterbesluit	
Seleen	µg/l	10	drinkwaterbesluit	
Tetra- en trichlooretheen (som)	µg/l	10	drinkwaterbesluit	Noot 6

Trihalomethanen (som)	µg/l	25	drinkwaterbesluit	Noot 7
Vinylchloride	µg/l	0,1	drinkwaterbesluit	

Noot 1: Kwaliteitsklasse teruggewonnen water A: Dit is voor gewassen waarbij het eetbare deel van het gewas direct in contact komt met het teruggewonnen water, en verder geen behandeling ondergaat.

Noot 2: voor irrigatie van weidegewassen of diervoedergewassen. Hoewel het teruggewonnen water ingezet zal worden in de glastuinbouw, is het verstandig om toch te monitoren op rondworm. Dat kan de afzetmarkt voor het water vergroten, en risico's op verspreiden van rondworm verminderen.

Noot 3 NDMA: Som van gespecificeerde verbindingen met concentratie hoger dan de detectiegrens. De gespecificeerde verbindingen zijn: pyreen, benzo(a)antraceen, benzo(ghi)peryleen, fenantreen, indeno(1,2,3-cd)pyreen, anthraceen, benzo(b)fluorantheen, benzo(k)fluorantheen, chryseen en fluorantheen

Noot 4: De gespecificeerde verbindingen zijn: PCB nr. 28, 52, 101, 118, 138, 153 en 180.

Noot 5: Onder pesticiden wordt verstaan: organische insecticiden, organische herbiciden, organische fungiciden, organische nematociden, organische acariciden, organische algiciden, organische rodenticiden, organische slimiciden en soortgelijke producten (onder meer groeiregulatoren). De norm van 0,1 µg/l geldt ook voor humaan toxicologisch relevante metabolieten, afbraak- en reactieproducten van pesticiden. Voor metabolieten van pesticiden en afbraak- of reactieproducten, die niet humaan toxicologisch relevant zijn, geldt een norm van 1,0 µg per liter. Voor aldrin, dieldrin, heptachloor en heptachloorepoxide geldt een maximum waarde van 0,030 µg/l.

Noot 6: zie uitleg drinkwaterbesluit. Geldt bij desinfectie met chloor. Dit kan ook gebruikt worden in de glastuinbouw, maar is momenteel niet gekozen wegens mogelijke schade aan gewassen.

Noot 7: Deze parameterwaarde heeft betrekking op de residuele monomeerconcentratie in het water, berekend aan de hand van specificaties inzake de maximum migratie van de overeenkomstige polymeer in contact met water, of betreft een feitelijk gemeten waarde

Hierbij zijn minimaal de wettelijke eisen aangehouden voor waterhergebruik (EU verordening). Daar waar de glastuinbouw zelf normen stelt, zijn die overgenomen. Deze waarden zijn voldoende om een veilig product te leveren. Hierbij zijn de strengste waarden aangehouden die verschillende referenties gebruiken, om te kunnen voldoen aan alle soorten teelten. Voor stoffen waar geen norm wordt gesteld door de EU verordening, en door telers, wordt gebruikt gemaakt van de drinkwaterwet. Deze waarden kunnen als conservatief/beschermend worden beschouwd maar worden voorgesteld bij gebrek aan beter onderbouwde waarden specifiek voor irrigatie met effluent. Dergelijke waarden zijn het eerst nodig voor die parameters die relevant blijken voor effluent maar waarvan de (drinkwater)norm niet redelijkerwijs gehaald kan worden.

## 6 Effluent kwaliteit en behandeling

Wanneer effluent ingezet wordt als gietwater, moet het effluent eerst nog een extra behandeling ondergaan. In paragraaf 6.1 wordt de effluent kwaliteit van Nederlandse RWZI's beschreven. Omdat er in de literatuur weinig bekend is over het vóórkomen van plantpathogenen in RWZI effluent, zijn er ook steekmonsters genomen van twee RWZI's gedurende een periode van zes maanden. De resultaten daarvan zijn beschreven in 6.1.3. Nu bekend is wat de effluent kwaliteit is, en de gewenste gietwaterkwaliteit, kan de benodigde effluentbehandeling bepaald worden. Dit is beschreven in 6.2.



## 6.1 Aangeboden effluent kwaliteit

### 6.1.1 Chemische parameters

Het water wat nu beschikbaar is voor de regio Westland, is effluent van RWZI Harnaschpolder of AWZI Nieuwe Waterweg.

De waterkwaliteitseisen die gesteld worden aan RWZI effluent zijn vastgelegd in de verordening 91/271/EEG inzake de behandeling van stedelijk afvalwater, en zijn het volgende:

- 20 mg/l BZV
- 125 mg/l CZV
- onopgeloste stoffen 30 mg/l

Effluent mag geloosd worden op oppervlaktewater.

De grenswaarden voor totaal stikstof en totaal fosfor die gesteld zijn aan RWZI effluent in Nederland zijn als volgt:

- Fosfor 1,0 mg/l bij RWZI's met een ontwerpcapaciteit van meer dan 100.000 inwonerequivalenten en 2,0 mg/l bij RWZI's met een ontwerpcapaciteit van 2.000 tot en met 100.000 inwonerequivalenten.
- stikstof 10 mg/l bij RWZI's met een ontwerpcapaciteit van 20.000 inwonerequivalenten of meer en 15 mg/l bij RWZI's met een ontwerpcapaciteit van 2.000 tot 20.000 inwonerequivalenten.

De waterkwaliteit bevat dus maximaal deze concentraties van bovengenoemde stoffen. Omdat het voor hergebruik relevant is om ook te kijken naar andere stoffen en pathogenen, zijn aanvullende waardes onderzocht.

De gemiddelde concentraties in effluent in 2018 in Nederland en Zuid Holland van een aantal chemische parameters zijn hieronder weergegeven:

Tabel 6-1: gemiddelde concentraties van enkele parameters in effluent in 2018 in Nederland en de provincie Zuid Holland (CBS 2022). Van enkele concentraties zijn ook de waardes van 2021 bekend (tussen haakjes gegeven)

		2018 (2021)	2018 (2021)
		Nederland	prov Zuid Holland
Chemisch Zuurstof Verbruik	mg/l	39 (38)	34 (34)
Biochemisch Zuurstof Verbruik	mg/l	4 (4)	4 (4)
Stikstofverbindingen als N	mg/l	7 (7)	6 (6)
Fosforverbindingen als P	mg/l	1 (1)	1 (1)
Zwevend stof	mg/l	8 (7)	6 (6)
Koper	µg/l	4,8	4,8
Chroom	µg/l	1,4	1,4
Zink	µg/l	37,3	30,2
Lood	µg/l	1,1	1,6
Cadmium	µg/l	0,1	0,1
Nikkel	µg/l	4,5	3,7
Kwik	µg/l	0,03	0,04
Arseen	µg/l	1,7	2,5

Uit deze data is te zien dat de waardes voor CZV, BZV, N en P gemiddeld aanzienlijk lager liggen dan de wettelijke eis. Voor de gemeten zware metalen zijn geen grenswaardes bepaald.

De chlorideconcentratie varieert tussen 50 en 350 mg/l in op zoet oppervlaktewater geloosd effluent, en ijzer kan tot 1,5 mg/l voorkomen (Stowa 1996).

In effluent zijn ook microverontreinigingen aanwezig. In water afkomstig uit de industrie zijn oplosmiddelen te verwachten, en stoffen uit huishoudens omvatten o.a. schoonmaakmiddelen, persoonlijke verzorgingsproducten en medicijnresten. Hiernaast spelen ontsmettingsmiddelen en gewasbeschermingsmiddelen uit de teelt een rol. RWZI's zijn niet ontworpen om dergelijke microverontreinigingen optimaal te verwijderen (Roeleveld, Roorda and Schaafsma 2010). Deze stoffen worden daarom slechts deels verwijderd, en zijn deels nog in het RWZI effluent aanwezig. Bijvoorbeeld farmaceutica zijn een diverse groep chemicaliën, die sterk van elkaar kunnen verschillen in fysische en chemische eigenschappen (Jelic, Gros et al. 2011). Hierdoor reageren ze ook per stof anders op verschillende verwijderingsmethoden en -omstandigheden (retentietijd, temperatuur). Zo zijn de meerderheid van de farmaceutica relatief hydrofoob, en daardoor minder gevoelig voor verwijdering door biologische afbraak. Dit heeft tot gevolg dat de verwijderingsefficiëntie van een behandeling significant kan verschillen tussen verschillende RWZI's, of door de tijd heen binnen dezelfde RWZI (Vieno, Tuhkanen and Kronberg 2007). Slib-leeftijd, temperatuur van de tank, hydraulische retentietijd zijn allemaal factoren die van invloed zijn op de verwijderingscapaciteit van chemicaliën in een RWZI (Gabet-Giraud, Miège et al. 2010).

Op 18 RWZI's zijn de gemiddelde effluent concentraties bepaald van een aantal bekende geneesmiddelen (Evenblij, Schuman and Kuiper 2020). De gemiddelde concentraties variëren tussen de 2,7 en 0,7 microgram per liter en zijn daarmee allemaal hoger dan de drinkwaternorm waarbij gesteld wordt dat de concentratie van individuele organische componenten zoals geneesmiddelen lager dan 0,1 microgram/l moet zijn, en de som van de stoffen maximaal 0,5 µg/l mag zijn.

In de Watson database, beheerd door het RIVM, staan meetgegevens van veel verschillende stoffen in het influent en het effluent van RWZI's in Nederland. De Watson-database bevat in totaal 1337 stoffen die tenminste een keer zijn geanalyseerd in in- of effluenten van rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi's) voor de periode 1990 - 2020. Dit betreffen altijd doelstoffenanalyses. Het gaat om stoffen zoals biocides, herbicides, medicijnresten en industriële stoffen.

Het RIVM heeft enkele criteria opgesteld om te beoordelen of een stof gemeten zou moeten worden in effluent voor hergebruik in de landbouw. Hierbij is zowel naar anorganische als organische stoffen gekeken. Hierbij zijn zowel de wettelijke kaders (gebaseerd op gezondheid en milieu), als de concentraties die gevonden worden in het effluent, betrokken.

Het RIVM komt tot het volgende (Swartjes, Berg et al. 2023) *In een aantal wettelijke kaders en richtlijnen bestaan normen of grenswaarden voor verschillende stoffen die van belang kunnen zijn voor de beoordeling van hergebruikt afvalwater als irrigatiewater. De beschikbaarheid van grenswaarden bepaalt de stofkeuze.*

*Voor de afleiding van grenswaarden voor voedselveiligheid zijn relevante stoffen geselecteerd. Hierbij werd uitgegaan van stoffen die de laatste jaren in hoge concentraties in afvalwater werden aangetroffen. Het uitgangspunt hierbij was die stoffen te beschouwen die een hoge concentratie in gezuiverd afvalwater hebben ten opzichte van de concentratie in oppervlaktewater. Voor deze stoffen geldt immers dat de risico's worden vergroot als er met hergebruikt gezuiverd afvalwater wordt geïrrigeerd in plaats van met oppervlaktewater. Daarnaast werden de volgende criteria gehanteerd voor stofselectie:*

- *Beschikbaarheid van LAC-waarden (bodemkwaliteit).*
- *De kans dat de concentratie in gezuiverd afvalwater de normen voor oppervlaktewater overschrijdt (althoewel oppervlaktewater niet als beschermdoel wordt beschouwd)*
- *De kans dat de concentratie in gezuiverd afvalwater de drinkwaterkwaliteitseisen overschrijdt.*

- Representativiteit voor een stofgroep (qua type gebruik, niet qua fysisch-chemische of toxische eigenschappen).
- De classificatie van een stof als Zeer Zorgwekkende Stof (ZZS). Of als CMR-stof (carcinogeen (kankerverwekkend), mutageen (veranderingen in erfelijke eigenschappen inducerend) en/of reproductie toxisch (schadelijk voor de voortplanting of het nageslacht)).

Op basis van bovenstaande criteria zijn de volgende stoffen geselecteerd:

- Metalen:
  - cadmium, lood, kwik en arseen;
- PFAS:
  - PFAS;
  - PFOA;
  - 2.3.3.3-tetrafluor-2-(heptafluorpropoxy)propionzuur (GenX).
- Medicijnresiduen:
  - Trans-10.11-dihydroxy-10.11-dihydrocarbapine;
  - Irbesartan;
- Chelaatvormers:
  - Di-ethyleentriaminepentaazijnzuur (DTPA).
- Cosmeticaresiduen (geurstof):
  - hexahydrohexamethylcyclopentabenzopyran (HHCB).
- Bestrijdingsmiddelen:
  - Diuron.

De geselecteerde stoffen, zijn geselecteerd op basis van regels en risico's m.b.t. milieu en gezondheid. Telers hebben aanvullende eisen m.b.t. plantgezondheid (zie hoofdstuk 4). Deze zijn niet meegenomen in bovenstaande lijst.

Stoffen die relatief vaak, of met een hoge concentratie in het effluent worden gemeten, hebben een grotere kans invloed te hebben op planten dan stoffen die niet vaak of bij lagere concentraties worden aangetroffen. Het RIVM heeft data van 753 stoffen van effluent (periode 1990-2018) vergeleken met data van deze stoffen in oppervlaktewater uit 2020. Van de 753 stoffen hebben 285 stoffen gemiddeld een concentratie van nul, 133 stoffen een hoger gemiddelde dan oppervlaktewater en 20 stoffen een gemiddelde concentratie die tenminste 10 keer zo hoog is als oppervlaktewater (Tabel 6-2). Hoewel telers in de glastuinbouw over het algemeen geen oppervlaktewater gebruiken als gietwater, is het als richting gebruikt om vast te stellen of een stof in effluent relatief met een hoge concentratie voorkomt. Deze lijst met stoffen is namelijk ook gemaakt voor het gebruik van effluent als irrigatiewater in de open teelt waar op dit moment wel regelmatig met oppervlaktewater beregend wordt. Het wil niet zeggen dat de andere stoffen die een gemiddelde hoger dan nul hebben, geen schade kunnen aanrichten aan planten.

Tabel 6-2: Twintig stoffen in Nederlands oppervlaktewater en effluent ( $\mu\text{g/L}$ ), met een ratio tussen gemiddelden in effluent/oppervlaktewater van tenminste een factor 10. \*\* aantal boven rapportagegrens. \*\*\* P90 effluent > norm voor oppervlaktewater JG-MKE, MAC-MKE

CAS	Stof*	effluent				Oppervlaktewater				n>	ratio	>norm
		min	max	avg	n	min	max	avg#	n			
13252-13-6	GenX of HFPO-DA	0	2788	23.68	143	0	6.5	0	723	263	287	>JG
139-13-9	nitrilotriazijnzuur (NTA)	72	110	91	2	0.2	4.4	1	105	41	69	<JG
58955-93-4	t1011DHOx101	0	3.8	1.676	105	0.01	0.12	0.045	8	4	37	
1634-04-4	methyl-tertiair-butylether	0	50	3.764	58	0.01	4.1	0	564	340	35	<JG
330-54-1	diuron	0	34	0.3873	1025	6E-04	0.14	0.0114	4214	1020	34	>JG
27619-97-2	PFHxS	0	4.2	0.2011	51	0	0.48	0.0059	736	180	34	
60-00-4	EDTA	15.71	795	278	16	1.7	150	9	108	105	29	<D
933-75-5	2,3,6-trichloorfenol	0	13	0.5941	22	0.02	0.2	0.0207	268	0	29	

67-43-6	DTPA	0	66	30.17	6	1	10	1	105	8	25	<D
137862-53-4	valsartan	0	32	1.661	479	0.01	0.79	0.0668	289	65	25	
72-54-8	4,4'-dichloordifenyldichloorethaan	0	6.8	0.0186	551	1E-04	0.02	0.001	1661	1	19	<MAC
13674-84-5	trichloorpropylfosfaat	0	340	3.486	131	0.003	0.58	0	24	22	17	
115-96-8	tri(2-chloorethyl)fosfaat	0	0.6	0.2105	35	0.01	0.02	0.0133	6	6	16	
3930-20-9	sotalol	0	4.6	1.137	721	0.01	1.1	0.0809	334	135	14	<D
77-93-0	triethylcitraat	0.5	1	0.6231	13	0.01	0.18	0.0446	24	24	14	<MAC
83905-01-5	azitromycine	0	12	0.7334	258	0.01	0.17	0.0538	342	13	14	
78-51-3	tris(2-butoxyethyl)fosfaat	0	19	0.7936	159	0.05	0.24	0.0692	24	5	11	<MAC
138402-11-6	irbesartan	0	5.8	1.559	490	0.005	1.6	0.138	334	271	11	
37350-58-6	metoprolol	0	16	1.614	753	0.01	1.9	0.1487	334	191	11	<D
1222-05-5	HHCB	0	3.7	0.5653	139	0.02	0.23	0.0554	24	11	10	

# Het gemiddelde is berekend met de aanname, indien concentratie is kleiner dan rapportagegrens, dan is de rapportagegrens gebruikt als concentratie  
\*afkortingen

2,3,3,3-tetrafluor-2-(heptafluorpropoxy)propionzuur (GenX of HFPO-DA)trans-10,11-dihydroxy-10,11-dihydrocarbapine (t1011DHOx101)

2-(perfluorhexyl)ethaan-1-sulfonzuur (PFHxS)

ethyleendiaminetetraethaan-1,2,3,4-tetraacetaat (EDTA)

di-ethyleentriaminepentaazijnzuur (DTPA)

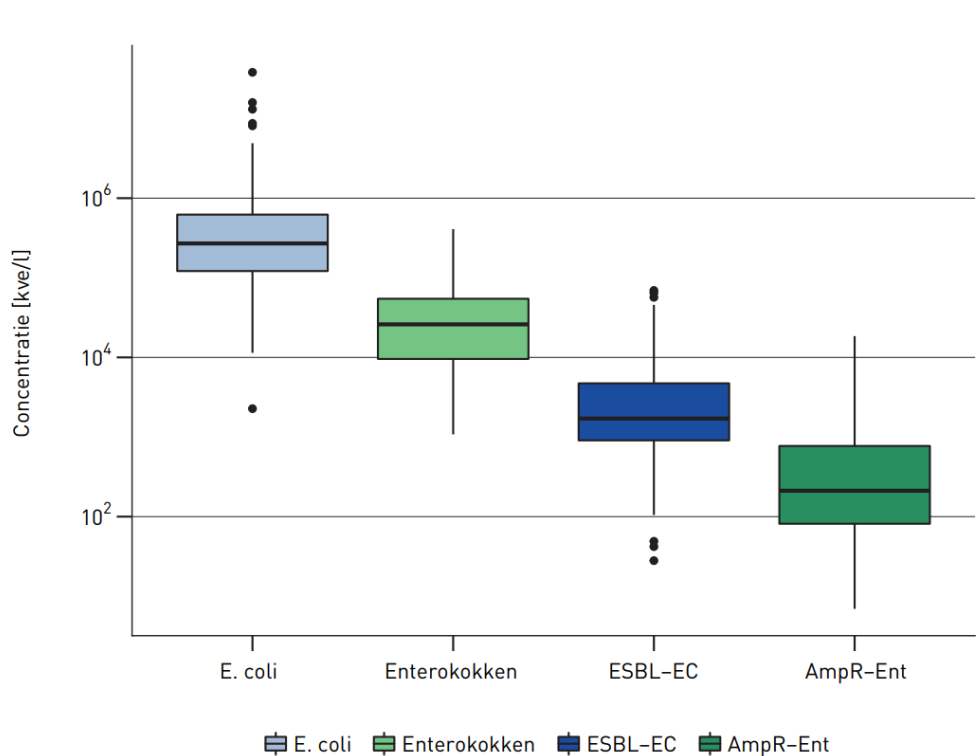
hexahydrohexamethylcyclopentabenzopyran (HHCB)

De stoffen in Tabel 6-2 zijn zowel aanwezig in effluent als in oppervlaktewater. De concentratie in effluent ligt hoger dan de norm in oppervlaktewater. Dat betekent dat het direct lozen van het effluent een potentieel risico is voor het oppervlaktewater (en daarmee relevant voor de risicobeoordeling van gebruik van effluent voor irrigatie). Van enkele van deze stoffen is bekend dat ze kunnen ophopen in planten (Manasfi, Brienza et al. 2021). Zo hoopt metropolol op in bladsla na irrigatie met (gespiked) RWZI effluent.

### 6.1.2 Microbiologische parameters

Micro-organismen komen met het rioolwater de afvalwaterzuivering in, en niet alle (pathogene) micro-organismen worden daar verwijderd.

In 2016 en 2017 zijn twee RWZI's gedurende een jaar elke maand bemonsterd (RWZI Hapert en RWZI Zeewolde) en zijn honderd RWZI's elk één keer bemonsterd om de aanwezigheid van Enterokokken en *Escherichia coli* (*E. coli*) te meten (Schmitt, Blaak et al. 2017). De RWZI's zijn zo gekozen dat RWZI's van verschillende grootte, met en zonder ziekenhuizen en/of verpleeghuizen in de buurt en met verschillende zuiveringstechnieken zijn vertegenwoordigd. In alle RWZI's is in 2016 een keer een 24-uurs-monster genomen. Zowel het influent als het effluent is op *E. coli* en ESBL-EC onderzocht, en het effluent op Enterokokken en AmpR-Ent. Om de variatie in de tijd binnen RWZI's vast te stellen, zijn RWZI Hapert en RWZI Zeewolde gedurende een jaar maandelijks bemonsterd (Stowa 2018).



Figuur 6-1: Bacterie concentraties in effluent van honderd RWZI's (Stowa 2018)

In Figuur 6-1 is te zien dat de gemiddelde concentratie *E. coli*  $2,7 \times 10^5$  kve/l is. De gemiddelde concentratie Enterokokken is  $2,6 \times 10^4$  kve/l. Bij de twee RWZI's waar maandelijks is gemeten, zijn in alle monsters *E. coli* en Enterokokken aangetroffen, en de variatie was in dezelfde orde van grootte als bij de honderd RWZI's. Bij andere studies werden influent concentraties in de RWZI gevonden van F-specifieke RNA-bacteriofagen van  $10^6$  PFU/100 ml, en *E. coli*, Enterokokken en thermotolerante coliformen (TtC) van  $10^5$  tot  $10^6$  CFU/100 ml. De log<sub>10</sub> verwijdering van de F-specifieke RNA-bacteriofagen was 1.3 tot 2.1, afhankelijk van het influent en het type RWZI (granulair of conventioneel actief slib). Dat betekent dat er tot  $10^4$  PFU/100ml in het effluent aanwezig is. De log<sub>10</sub> verwijdering van *E. coli*, Enterococci, and TtC was 1.1 – 2.3, afhankelijk van het influent en type RWZI. Dat betekent dat er tot  $10^4$  CFU/100ml in het effluent aanwezig is in het effluent. (Barrios-Hernández, Pronk et al. 2020). Ook pathogene virussen zoals het norovirus worden aangetroffen in effluent met concentraties van 896 tot 7,499 PDU/liter (PDU=PCR detectible unit) (Lodder and De Roda Husman 2005).

Er is een breed spectrum aan pathogene bacteriën aangetroffen in het behandelde rioolwater (Toze 1997). *V. cholera*, *Leptospira spp.*, *Salmonella spp.*, *C. jejuni*, *E. coli O157:H7*, *Y. enterocolitica* en *Shigella spp.* *B. cereus*, *Enterobacter spp.*, *Klebsiella spp.*, *C. perfringens*, *L. monocytogenes*, *P. aeruginosa*, *S. aureus* en *Streptococcus spp.* (Kowal 1983, Synnott Aidan, Kuang et al. 2009, Dungeni, van Der Merwe and Momba 2010, Ellafi, Abdallah and Bakhrouf 2010, Coronel-Olivares, Reyes-Gómez et al. 2011, Al-Gheethi, Efaq et al. 2018, Aghalari, Dahms et al. 2020).

Ook plant pathogene micro-organismen kunnen in het rioolwater voorkomen maar er zijn bijna geen studies beschikbaar die de concentraties van plantpathogenen meten. De focus van studies ligt op de risico's voor de menselijke gezondheid, maar niet op plantgezondheid. In een studie over de virus gemeenschap van menselijke uitwerpselen, waren vooral plant virussen gevonden (Zhang, Breitbart et al. 2005). De hoogste virusconcentratie was van het paprikamozaïekvirus gemeten. Omdat dit virus bijna altijd in menselijke uitwerpselen voorkomt en ook relatief stabiel is, is het zelfs als indicatororganisme gekozen om fecale vervuiling aan te duiden (Rosario, Symonds et al. 2009).

### 6.1.3 Analyse van RWZI effluent – fytopathogenen en nutriënten

Gedurende een periode van zes maanden (december 2021 t/m juni 2022) is binnen dit project een aantal steekmonsters genomen van effluent van RWZI Harnaschpolder, en AWZI Nieuwe Waterweg. Van deze steekmonsters is de effluent kwaliteit bepaald op een aantal fysisch-chemische parameters (BIJLAGE II), en een aantal fytopathogenen (Tabel 6-4 en Tabel 6-5).

De pH van het effluent was gemiddeld 7,5 bij Harnaschpolder (n=5, st dev=0,3), en gemiddeld 7,3 bij Nieuwe Waterweg (n=5, st dev= 0,1). Dit is iets hoger dan de gewenste waarde van gietwater bij de TOM (pH 6.5; zie Tabel 4-2). De elektrische geleidbaarheid (EC) van het effluent is gemiddeld 1,2 mS/cm (Harnaschpolder, st dev= 0,2) of 1,4 mS/cm (Nieuwe Waterweg, st dev=0.3). Dit is hoger dan de gewenste waarde voor gietwater (<0,2 mS/cm). De resultaten zijn weergegeven in Bijlage II.

De gemiddelde concentraties van NH<sub>4</sub>, Si, SO<sub>4</sub>, Fe, Mn, Zn, Cu, B en Mo zijn lager dan de streefwaarde (zie tabel Tabel 4-2). De gemiddelde concentraties Cl, Na, Ca en Mg zijn echter (veel) hoger dan de streefwaarde en zullen dus verwijderd moeten worden voordat het effluent gebruikt kan worden als gietwater. De streefwaarde van kalium is 1,2 mmol/l en lag bij 4 van de 5 metingen bij Harnaschpolder onder deze waarde terwijl één meetpunt er ruim boven lag (3,0 mmol/l). Ook bij Nieuwe Waterweg was bij één steekmonster de concentratie erg hoog (3,8 mmol/l) terwijl de overige concentraties onder de streefwaarde liggen.

De volgende fytopathogenen zijn gemeten (Tabel 6-3):

Tabel 6-3: gemeten fytopathogenen

Pathogeen	Type microorganisme
A. rhizogenes	Bacterie
A. tumefaciens	Bacterie
Erwinia spp.	Bacterie
Cucumber green mottle mosaic virus (CGMMV)	Virus
Fusarium spp.	schimmel
Pythium spp.	oomyceten
Pepper mild mottle virus (PMMoV, maart t/m juni)	Virus

Van Fusarium kan bepaald worden hoeveel kolonievormende eenheden aanwezig zijn. Dit is een kwantitatieve maat voor het aantal aanwezige actieve cellen. Van de overige methodes kan alleen de aan- of afwezigheid worden vastgesteld. Wanneer virussen aanwezig zijn, kan met behulp van een infectietest bij jonge planten ook bepaald worden of deze virussen infectieus zijn.

Bij bijna alle monsters is Fusarium spp. aangetroffen (Tabel 6-4 en Tabel 6-5). De concentraties varieerden van <2 (1 monster) tot 60 kve. Er lijkt geen seizoenstrend zichtbaar in de toename of afname van concentraties. Pythium is gevonden in 5 van de 7 monster bij RWZI Harnaschpolder terwijl het niet is aangetroffen bij AWZI Nieuwe Waterweg. Erwinia spp. is bij alle monsters van RWZI Harnaschpolder aangetroffen, en in 4 monsters van AWZI Nieuwe Waterweg. Het is opvallend dat CGMMV bij beide zuiveringen in het effluent is waargenomen in het monster van week 11, en niet op de overige momenten.

Agrobacterium rhizogenes, Agrobacterium tumefaciens, en PMMoV zijn helemaal niet in het effluent aangetroffen.

Tabel 6-4: meetresultaten steekmonsters fytopathogenen in effluent van RWZI Harnaschpolder

Harnaschpolder									
Pathogeen	Groep	methode	test 21/12/2021	wk 11	wk 13	wk 16	wk 19	wk 22	wk 24
Fusarium spp (kve/l)	Schimmel	Uitplaatmethode	16	6	14	40	60	24	10
Pythium spp	Oomyceet (water- schimmel)	Uitplaatmethode	+	-	+	+	+	+	-
Erwinia spp	Bacterie	Bio-PCR	+	+	+	+	+	+	+
Agrobacterium rhizogenes	Bacterie	Bio-PCR	-	-	-	-	-	-	-
Agrobacterium tumefaciens	Bacterie	Bio-PCR	-	-	-	-	-	-	-
CGMMV	Virus	Rt-PCR	-	+	-	-	-	-	-
PMMoV	Virus	ELISA	n.a.	-	-	-	-	-	-

Tabel 6-5: meetresultaten steekmonsters fytopathogenen in effluent van AWZI Nieuwe Waterweg

Nieuwe Waterweg									
Pathogeen	Groep	methode	test 21/12/2021	wk 11	wk 13	wk 16	wk 19	wk 22	wk 24
Fusarium spp (kve/l)	Schimmel	Uitplaatmethode	48	12	6	<2	34	18	20
Pythium spp	Oomyceet (water- schimmel)	Uitplaatmethode	-	-	-	-	-	-	-
Erwinia spp	Bacterie	Bio-PCR	-	+	-	+	+	+	+
Agrobacterium rhizogenes	Bacterie	Bio-PCR	-	-	-	-	-	-	-
Agrobacterium tumefaciens	Bacterie	Bio-PCR	-	-	-	-	-	-	-
CGMMV	Virus	Rt-PCR	-	+	-	-	-	-	-
PMMoV	Virus	ELISA	n.a.	-	-	-	-	-	-

Hoewel het influent van AWZI Nieuwe Waterweg een veel groter aandeel lozingswater van glastuinbouwbedrijven ontvangt dan RWZI Harnaschpolder, zijn er niet significant meer fytopathogenen in het effluent aangetroffen. Het is echter wel verwonderlijk dat er geen virus is aangetroffen in de watermonsters terwijl bijvoorbeeld (Bačnik, Kutnjak et al. 2020) heeft vastgesteld dat virussen, waaronder ook PMMOV en CGMMV veelvuldig voorkomen in RWZI effluent, en dan ook nog infectieus kunnen zijn. PMMOV (peper mild mottle virus) komt veel voor in afvalwater en wordt gebruikt als indicator voor fecale besmetting. Het wordt maar gedeeltelijk verwijderd in RWZI's (log<sub>10</sub>reductie van 0.7 – 3.7) (Kitajima, Sassi and Torrey 2018). Er is van het influent geen monster genomen, dus de mate van verwijdering per soort kan niet vastgesteld worden. Bij beide zuiveringen vindt biologische N en P verwijdering plaats. Vervolgens vindt er bij Harnaschpolder nog een chemische P verwijdering plaats, terwijl dit bij Nieuwe Waterweg een biologische anaerobe P verwijdering is. Beide zuiveringen bevatten op dit moment nog geen aanvullende zuiveringsstappen die gericht zijn op de verwijdering van micro-organismen of microverontreinigingen



uit het effluent. Wel worden micro-organismen al (gedeeltelijk) verwijderd in het systeem. Zij hechten aan het slib en bezinken met het slib, of worden geconsumeerd door andere organismen in het slib. Daarnaast zijn sommige micro-organismen beperkt stabiel in water en sterven daardoor. Doordat AWZI Nieuwe Waterweg een extra biologische stap heeft, zou dit een verklaring kunnen zijn voor de lagere aanwezigheid van Pythium en Erwinia. Dat is echter niet per zuiveringsstap onderzocht. Wel kan vastgesteld worden dat aanvullende zuiveringen zich ten minste moeten richten op de verwijdering van schimmels, en bacteriën (Erwinia spp.).

Samenvattend bevat het effluent zowel meer chemische stoffen zoals zouten, als micro-organismen dan gewenst voor gietwater. Dit vergt een aanvullende zuiveringsinspanning voordat het effluent geschikt is om ingezet te kunnen worden als gietwater.

## 6.2 Effluentbehandeling voor gietwaterproductie

De technologie die gebruikt wordt voor de behandeling van afvalwater (bestaande + aanvullende) om te komen tot gietwater moet voldoende zijn om aan de eisen van de wet en van de telers te voldoen. Er moet getoetst worden of de gebruikte technologie voldoende is om de risico's te minimaliseren.

De gebruikte zuiveringstechnologie ligt deels vast, omdat de communale zuivering al werkzaam is. In dit geval RWZI Harnaspolder of AWZI Nieuwe Waterweg. Daarna zal er nog een additionele zuivering moeten plaatsvinden om te komen tot voldoende gietwaterkwaliteit.

Wanneer gekozen wordt om met de aanvullende technologie zeer schoon water te produceren, is het te gebruiken voor alle teeltsystemen en teeltsoorten. Dit is een voordeel ten opzichte van een mindere waterkwaliteit waarbij niet alle telers het water (direct) kunnen toepassen. Een ander voordeel van het leveren van zeer schoon water, is dat bij het verwijderen van natrium en calcium over het algemeen (afhankelijk van de gekozen technieken zoals omgekeerde osmose of elektrolyse) ook stikstof en fosfaat verwijderd worden, en organische stoffen. Daardoor is de nagroeipotentie van micro-organismen in de waterleidingen laag, en zal de vorming van bijvoorbeeld de hoeveelheid biofilm veroorzaakt door de aanwezigheid van bacteriën in de leidingen gering blijven.

De aanvullende technologie moet dus uitgaan van een zeer hoge waterkwaliteit die voor alle teelten geschikt is, en het effluent verder zuiveren tot de waterkwaliteit zoals beschreven in Tabel 5-1.

In het project Delft Blue Water (DBW) is in 2013 onderzoek gedaan naar het gebruik van een filter met daarachter een verticale omgekeerde osmose (VRO). Er werd gestreefd om gietwater te maken van een zeer hoge kwaliteit (egv <math>500 \mu\text{S}/\text{cm}</math> en Na <math><0,2 \text{ mmol}/\text{liter}</math> en Ca <math><0,2 \text{ mmol}/\text{liter}</math>). Voordeel hiervan is dat het is te gebruiken voor alle teeltsystemen en teeltsoorten. Het was mogelijk om een chlorideconcentratie van 0,03 mmol/l, een natriumconcentratie van 0,12 mmol/l en een geleidbaarheid van 10  $\mu\text{S}/\text{cm}$  te bereiken en de gemeten organische microverontreinigingen waren onder de detectielimiet. Elke DBW gietwaterlevering is microbiologisch gecontroleerd waaronder humaan pathogene bacteriën, totaal aerobisch kiemgetal, schimmels en gisten. Tevens is het bassinwater van Demokwekerij Westland twee maal gecontroleerd. Gedurende de demonstratie zijn de vruchten zeven maal microbiologisch gecontroleerd. Het behandelde water voldeed aan de toen gestelde eisen.

### 6.2.1 Technologie selectie

Gezien de samenstelling van het effluent (beschreven in 6.1) en de gevraagde waterkwaliteit (Tabel 5-1) moeten de volgende stofgroepen worden verwijderd:

- zwevend stof (TSS)
- Chemisch zuurstof verbruik (CZV)

- Zouten, nutriënten, metalen, zowel eenwaardig als tweewaardig
- Organische microverontreinigingen
- Pathogenen

### 6.2.2 Zwevend stof

Zwevend stof in gietwater kan problemen veroorzaken in druppelsslagen. Onder zwevend stof worden deeltjes verstaan die groter zijn dan 0,45 µm. Daarnaast kan zwevend stof bestaan uit bijvoorbeeld ongewenste micro-organismen zoals algen, of organisch materiaal wat groeiremming kan geven. De meeste RWZI's hebben bezinkbassins maar daar worden kleine deeltjes zwevend stof niet volledig verwijderd. Zwevend stof kan verwijderd worden door middel van filtratie. Voorbeelden van filtratie zijn zandfilters of doekenfilters.

### 6.2.3 Chemisch en biologisch zuurstof verbruik (CZV en BZV)

CZV staat voor chemisch zuurstof verbruik en zijn alle stoffen die met zuurstof kunnen reageren, zoals de meeste organische stoffen maar ook bijvoorbeeld ammonium. BZV, biologisch zuurstofverbruik, zijn stoffen die door micro-organismen gemakkelijk afgebroken kunnen worden. Meestal wordt hiervoor een termijn van 5 dagen gehanteerd (BZV5). Dit zijn voornamelijk opgeloste organische stoffen zoals vetten, suikers en eiwitten.

Veel RWZI's gebruiken technieken waarbij al veel BZV en CZV wordt verwijderd. Bijvoorbeeld een aerobe biologische zuivering. Hierbij wordt biologisch degradeerbaar materiaal verwijderd, en gaat de BZV-waarde (biologisch zuurstof verbruik) van het water omlaag. Als er in het water stoffen aanwezig zijn die zuurstof kunnen onttrekken aan het water, kunnen anaerobe omstandigheden ontstaan waarbij bijvoorbeeld het giftige en corrosieve waterstofsulfide ontstaat. Dit is ongewenst. Ondanks de biologische zuivering, kunnen er nog stoffen voorkomen die wel een CZV waarde hebben. Bijvoorbeeld omdat ze moeilijk biologisch afbreekbaar zijn. Voorbeelden van deze stoffen zijn farmaceutische producten, of niet-organische stoffen zoals ammonium. Het probleem van deze stoffen is dat ze groeiremming van planten kunnen veroorzaken of niet toegestaan zijn in de teelt. CZV kan verwijderd worden door oxidatieve technieken of door geavanceerde oxidatie. Voorbeelden van oxidatieve technieken zijn UV en ozon. Voorbeelden van geavanceerde oxidatie zijn combinaties van technieken zoals UV+peroxide; ozon+peroxide, ozon+UV. Ook filtratie zoals ultrafiltratie, nanofiltratie en omgekeerde osmose kunnen gebruikt worden voor het verwijderen van organische componenten en anorganische componenten die nog een zuurstofvraag hebben. Welke stoffen verwijderd worden met de verschillende membraanfiltratietechnieken hangt af van de grootte van het component, en het gebruikte membraan.

### 6.2.4 Zouten, nutriënten, metalen

Zouten bestaan onder andere uit natrium, chloride, calcium, magnesium. Nutriënten zijn nitraat en fosfaat. Voorbeelden van metalen zijn zink-ionen en aluminium-ionen. Zouten worden minimaal verwijderd in de RWZI en kunnen daarom in het effluent voorkomen. In de RWZI worden nitraat en fosfaat grotendeels verwijderd. Hiervoor zijn lozingsnormen (1,0 mg/l P en 20 mg/l N voor grotere RWZI's). Metalen kunnen afgevangen worden in het slib maar een RWZI is niet specifiek ontworpen om deze te verwijderen. Er kunnen daarom nog wel metaal-ionen voorkomen in effluent.

Zouten zoals natrium en chloride moeten verwijderd worden uit effluent bij gebruik als gietwater omdat deze schadelijk kunnen zijn voor planten. Er is geen reden om deze uit het oogpunt van gezondheid te verwijderen. De concentraties in effluent zijn daar niet te hoog voor. Nutriënten zoals fosfaat en nitraat kunnen voor nagroei van (ongewenste) micro-organismen zorgen in de distributieleidingen en opslagbassins. Ze zijn niet schadelijk voor de planten maar kunnen wel leiden tot een toename van andere schadelijke componenten. In de RWZI worden nutriënten al voldoende verwijderd om geloosd te mogen in het milieu en daarbij geen ecologische schade aan te richten. Echter bij een lekkage op het land kan het wel ongewenst zijn dat deze componenten daar terecht komen. (Zware) metalen zoals koper moeten verwijderd worden uit het oogpunt van milieu en voor de plantgezondheid. Zouten, metalen en nutriënten zijn anorganische stoffen, meestal geladen. Zij kunnen verwijderd worden met verschillende technologieën zoals ionenwisseling, omgekeerde osmose, nanofiltratie (alleen meerwaardige ionen),

elektrodialyse. De mate van verwijdering is sterk afhankelijk van de gekozen technologie, en de gekozen operationele condities of bijvoorbeeld membraantypes. Deze stoffen kun je niet verwijderen door vernietiging, maar zullen verwijderd worden scheiding. Dat betekent dat er ook een concentraat achterblijft waar deze stoffen inzitten. Dit concentraat moet ook verwerkt worden. Soms is het mogelijk om dit concentraat te lozen, bijvoorbeeld als het gemengd kan worden met het niet-opgewerkte effluent, en dan voldoende verdund wordt. Wanneer dit niet mogelijk is, zal een andere bestemming voor het concentraat gevonden moeten worden.

### 6.2.5 Organische microverontreinigingen.

Dit is een verzamelnaam van een zeer grote groep stoffen die in lage concentraties aanwezig is in het effluent. Voorbeelden hiervan zijn medicijnresten, gewasbeschermingsmiddelen, micro- en nanoplastics, en PFAS. Veel van deze stoffen zijn in het effluent aanwezig omdat ze moeilijk biologisch afbreekbaar en mobiel zijn. Hierdoor worden ze niet afgebroken en hechten ze niet aan het slib in de RWZI waardoor de niet verwijderd worden en in het effluent terecht komen. Wanneer deze stoffen in het gietwater komen, is dat ongewenst. Ze kunnen groeiremming veroorzaken of zijn niet toegestaan in de teelt. Enkele stoffen kunnen ook opgenomen worden door de plant en daar accumuleren.

Een aanvullende technologie is nodig om microverontreinigingen te verwijderen. Er wordt momenteel al ingezet op de verwijdering van microverontreinigingen bij RWZI's met een zogenoemde vierde trap. Er lopen veel onderzoeken en pilots, onder meer in het IPMV-programma van Stowa. Daarbij wordt steeds beter duidelijk welke technologieën geschikt zijn voor de verwijdering van microverontreinigingen uit effluent. Vanuit de nieuwe richtlijn stedelijk afvalwater wordt ingezet op een vierde trap (extra zuiveringsstap) gericht op de verwijdering van organische microverontreinigingen. Voorbeelden van technologieën die ingezet kunnen worden zijn actief kool (als poederkool of als (biologisch) actief kool filter) of oxidatieve technieken zoals ozon.

### 6.2.6 Pathogenen

Pathogenen zijn ziekteverwekkende (micro)organismen zoals *Escherichia coli* (bacterie) en het rotavirus (virus), of het peper mild mottle virus (virus). Wanneer deze in het gietwater komen, kan dat verschillende problemen veroorzaken. Wanneer medewerkers van een glastuinbouwbedrijf in aanraking komt met humane pathogenen in het gietwater, kunnen zij daar ziek van worden. Ook kunnen pathogenen op het eetbare deel van de plant komen en uiteindelijk ziekte veroorzaken bij de consument. Wanneer het plantpathogenen betreft, kan het een gevaar vormen voor de planten in de kas, en zich verspreiden en schade voor de plant opleveren.

RWZI's zijn niet ontworpen op het verwijderen van pathogenen. Een deel van de pathogenen zal aan het slib hechten en in de beznkassins met het slib verwijderd worden uit de waterfase. Echter is het bekend dat een deel van de pathogenen in het effluent terug gevonden wordt. Het is daarom noodzakelijk om deze met een aanvullende zuivering te verwijderen.

In Tabel 6-6 wordt een overzicht gegeven van de indicatieve logverwijdering van een aantal technologieën voor een aantal pathogenen. Met behulp van omgekeerde osmose wordt voor alle pathogenen een logverwijdering van >6 bereikt, terwijl andere technologieën zoals UV-licht erg variëren hoeveel verwijdering ze bereiken, afhankelijk van

het soort organisme. Zo is het adenovirus veel minder gevoelig voor UV-licht dan fages (bacterie-virussen). Door twee technologieën na elkaar te zetten, wordt de totale verwijdering vergroot.

Tabel 6-6: Indicatieve log-verwijdering van pathogenen en indicator organismen door verschillende waterbehandelingstechnologieën. (Council, Council and Conference 2006), tabel 3.4

**Table 3.4 Indicative log removals of enteric pathogens and indicator organisms**

Treatment	Indicative log reductions <sup>a</sup>							
	<i>Escherichia coli</i>	Bacterial pathogens (including <i>Campylobacter</i> )	Viruses (including adenoviruses, rotaviruses and enteroviruses)	Phage	<i>Giardia</i>	<i>Cryptosporidium</i>	<i>Clostridium perfringens</i>	Helminths
Primary treatment	0–0.5	0–0.5	0–0.1	N/A	0.5–1.0	0–0.5	0–0.5	0–2.0
Secondary treatment	1.0–3.0	1.0–3.0	0.5–2.0	0.5–2.5	0.5–1.5	0.5–1.0	0.5–1.0	0–2.0
Dual media filtration with coagulation	0–1.0	0–1.0	0.5–3.0	1.0–4.0	1.0–3.0	1.5–2.5	0–1.0	2.0–3.0
Membrane filtration	3.5–>6.0	3.5–>6.0	2.5–>6.0	3–>6.0	>6.0	>6.0	>6.0	>6.0
Reverse osmosis	>6.0	>6.0	>6.0	>6.0	>6.0	>6.0	>6.0	>6.0
Lagoon storage	1.0–5.0	1.0–5.0	1.0–4.0	1.0–4.0	3.0–4.0	1.0–3.5	N/A	1.5–>3.0
Chlorination	2.0–6.0	2.0–6.0	1.0–3.0	0–2.5	0.5–1.5	0–0.5	1.0–2.0	0–1.0
Ozonation	2.0–6.0	2.0–6.0	3.0–6.0	2.0–6.0	N/A	N/A	0–0.5	N/A
UV light	2.0–>4.0	2.0–>4.0	>1.0 adenovirus >3.0 enterovirus, hepatitis A	3.0–6.0	>3.0	>3.0	N/A	N/A
Wetlands — surface flow	1.5–2.5	1.0	N/A	1.5–2.0	0.5–1.5	0.5–1.0	1.5	0–2.0
Wetlands — subsurface flow	0.5–3.0	1.0–3.0	N/A	1.5–2.0	1.5–2.0	0.5–1.0	1.0–3.0	N/A

N/A = not available; UV = ultraviolet

<sup>a</sup> Reductions depend on specific features of the process, including detention times, pore size, filter depths, disinfectant

Sources: WHO (1989), Rose et al (1996, 2001), NRC (1998), Bitton (1999), USEPA (1999, 2003, 2004), Mara and Horan (2003).

In Tabel 6-6 zijn geen fytopathogenen opgenomen. Afhankelijk van het principe van de technologie, kan ingeschat worden of een fytopathogeen een vergelijkbare log-verwijdering heeft als een van de pathogenen in de tabel, of dat dat anders kan zijn. Zo scheidt omgekeerde osmose op basis van grootte en zal de logverwijdering van bacteriën en schimmels hetzelfde zijn als humane pathogene bacteriën en schimmels. Plant-virussen kunnen kleiner zijn dan humane pathogenen. De meeste virussen variëren in diameter van 20 nanometer tot 250–400 nm; De meeste plantenvirussen zijn klein en bestaan uit filamenten of polygonen, net als veel bacteriële virussen. (Wagner and Krug 2024). In Tabel 6-7 staat de grootte van drie humane pathogenen en twee plantpathogenen

Tabel 6-7: Grootte van enkele pathogene virussen (Milo and Phillips 2023, Wikipedia 2023):

humaan pathogeen	Rhinovirus	30 nm
	Adenovirus	88-110 nm
	Rotavirus	70 nm
fytopathogeen	Tabaco mosaic virus (TMV)	40x300 nm
	Cowpea chlorotic mottle virus (CCMV)	28 nm diameter

Bij andere technologieën, zoals UV-licht, is het bekend dat humane pathogenen bij een lagere dosis al een hogere logverwijdering hebben dan plantenvirussen. Daarmee zal een hogere dosis aangehouden moeten worden dan in Tabel 6-6.

### 6.3 Voorgestelde technologie treinen

Om de gewenste gietwaterkwaliteit te maken uit effluent, moet een aanvullende zuivering worden toegepast. Het doel hierbij is het verwijderen van de stofgroepen uit ho 6.2. Veel technologieën kunnen meerdere van de stofgroepen tegelijk verwijderen. In dit hoofdstuk worden 2 technologietreinen voorgesteld. Vervolgens wordt in het volgende hoofdstuk een risico analyse gedaan waarbij wordt ingeschat of de stoffen in voldoende mate worden verwijderd om risico's voor de humane gezondheid en milieu te minimaliseren tot een acceptabel niveau.

De voorgestelde technologietreinen zijn

- 1) grof filter (zoals snelle zandfiltratie)/ ultrafiltratie – omgekeerde osmose (RO) – geavanceerde oxidatie
- 2) poederkooldosering in de zuivering – ozon – omgekeerde osmose

Doordat er ook zout verwijderd wordt wat niet vernietigd kan worden, ontstaat een concentraatstroom. In 6.3.3 wordt hier nader op ingegaan.

#### 6.3.1 Grof filter (zoals snelle zandfiltratie) – omgekeerde osmose – (geavanceerde) oxidatie

De eerste stap zal zijn om met een grof filter het zwevend stof te verwijderen. Hiervoor kan een snelle zandfiltratie gekozen worden. Hierdoor zal ook al (een deel van) de bacteriën en schimmels verwijderd kunnen worden, afhankelijk van de fijnheid van het filter. Het filter is ook noodzakelijk om de RO goed te kunnen laten functioneren zonder dat deze te snel verstopt.

Bij omgekeerde osmose worden zowel de zouten als een groot deel van het organische materiaal verwijderd. Ook bacteriën en schimmels worden verwijderd, en nagenoeg alle virussen. De laatste oxidatieve stap verwijdert de laatste organische stoffen die door het RO membraan kunnen zijn gegaan, en eventuele virussen die niet tegengehouden zijn. In plaats van een grof filter, kan ook gekozen worden voor ultrafiltratie. Dit is al een vorm van desinfectie omdat bacteriën en schimmels worden verwijderd hiermee. Dan is de noodzaak voor een extra stap na de RO ook minder groot.

#### Verwijdering van (organische) microverontreinigingen door omgekeerde osmose

Omgekeerde osmose is een drukgedreven proces met porie-membranen. De poriën zijn zo klein dat in theorie alleen water hierdoorheen kan. Zouten worden nagenoeg volledig tegengehouden, en ook de meeste organische componenten. Echter worden niet alle in effluent aanwezige stoffen (volledig) verwijderd. Stoffen die het slechts verwijderd worden zijn relatief klein ( $M_w \sim <250$  g/mol, afhankelijk van dichtheid membraan) en ongeladen. (Urriaga, Pérez et al. 2013) liet zien dat de mate van verwijdering afhankelijk is van de waterproductie van de filtratie. Bij een hogere waterproductie (70% t.o.v. van 50%) is de verwijdering van de meeste gemeten stoffen uit effluent door gebruik van omgekeerde osmose lager. Hoewel de meeste stoffen  $>95\%$  verwijderd werden, werd nicotine slechts 76% verwijderd bij 70% waterproductie. De gebruikte concentraties waren in ng/l range. (Wang, Ji et al. 2020) liet zien dat enkele ftalaat esthers bij de nabehandeling van RWZI effluent met een combinatie van technologieën minder dan 50% verwijderd werden in de omgekeerde osmose-stap. De concentraties waren ook hier in ng/l range. (Rodriguez-Mozaz, Ricart et al. 2015) onderzocht de verwijdering van 28 medicijnen en 20 pesticiden uit effluent door middel van microfiltratie en omgekeerde osmose. Al deze stoffen waren in ng/l range aanwezig in het effluent. In de omgekeerde osmose stap werden de meeste stoffen met  $<80\%$  verwijderd. De volgende stoffen werden  $<50\%$  verwijderd: (medicijnen) Azithromycin, Naproxen, Propranolol, Loratadine,

Clorifibric acid, Gemfibrozil, Mevastatin, Pravastatin, Fluoxetine, Paroxetine; alle gemeten pesticide behalve Diazinon. Het is opvallend dat naproxen in dit onderzoek slecht verwijderd werd terwijl het in het onderzoek van Urtiaga wel met >98% verwijderd werd en ook (Kim, Cho et al. 2007) toont een verwijdering tot onder de detectiegrens aan. Kim onderzocht de verwijdering van 17 farmaceutische componenten en hormoonverstorende stoffen in effluent en deze worden allemaal tot onder de detectielimiet verwijderd met omgekeerde osmose. Onderzoek door KWR (niet gepubliceerd) laat ook zien dat verschillende componenten niet volledig worden verwijderd, onder meer benzotriazolen. Kleine organische componenten zoals ureum, formaldehyde, methanol, acetonitrile, methyl ethyl ketone worden ook slecht verwijderd. Ureum kan ook als nutriënt dienen voor planten. De meeste organische microverontreinigingen worden zeer effectief verwijderd door omgekeerde osmose. Ook PFAS worden zeer effectief verwijderd (Mastropietro, Bruno et al. 2021) (Liu, Zhao et al. 2022). Hoe langer de keten, hoe beter ze verwijderd worden.

Van de meeste hier bovengenoemde stoffen is niet bekend of ze een effect hebben op plantengroei, en of er ophoping in de plant plaatsvindt. Het is dus niet duidelijk wat een 'veilige' concentratie in gietwater zou moeten zijn. Daarom worden concentraties uit de drinkwaternorm (voor zover vastgesteld) aangehouden.

Daarnaast worden de volgende anorganische componenten uit (zoet en brak) grondwater minimaal verwijderd: Arseen, Boor en Ammonium omdat ze neutraal zijn (As, B) of een lage ladingsdichtheid hebben (NH<sub>4</sub>). Arseen is in effluent aanwezig in concentraties tussen de 0 en 1,5 µg/l (Watson database, periode 1-1-1990 t/m 31-12-2020). De drinkwaternorm is 10 µg/l en dit lijkt ook voor de glastuinbouw een redelijke norm (zie Tabel 5-1). Boor komt in effluent voor in concentraties tussen de 0 en 716 µg/l (Watson database, periode 1-1-1990 t/m 31-12-2020). De glastuinbouw houdt een norm aan in het gietwater van < 216 µg/l. Effluent kan op sommige locaties of momenten meer boor bevatten dan gewenst. Als omgekeerde osmose dit niet voldoende verwijdert, kan dit schade opleveren voor planten. De concentratie boor lijkt per RWZI vrij constant (er zijn echter maar zeer weinig meetdata beschikbaar). Het is aan te raden om de boorconcentratie te meten in het effluent voordat besloten wordt of dit een probleemstof is voor het doel van hergebruik in de glastuinbouw.

Ammonium is voor planten niet direct opneembaar, maar wanneer het geoxideerd wordt naar nitraat, kan het beschikbaar komen als nutriënt. Telers voegen soms ammonium toe aan voedingsoplossingen.

#### Verwijdering van zouten door omgekeerde osmose

Er is in de literatuur al een en ander bekend over de toepassing van omgekeerde osmose op RWZI effluent. Hieruit blijkt dat veel stoffen worden verwijderd, maar dat sommige stoffen door het membraan gaan. De zoutretentie voor commercieel beschikbare membranen is 99,2 – 99,7%, zie Tabel 6-8.

*Tabel 6-8: Enkele commercieel beschikbare RO membranen met hun karakteristieken*

Element	Actief oppervlak (m <sup>2</sup> )	Debiet (m <sup>3</sup> /dag)	Zoutretentie (%)
ECO PRO 400i	37,2	43,5	99,7
LC LE4040	8,73	9,5	99,2
LC HR-4040	8,7	11	99,7
BW30-4040	7,2	9,1	99,5
HSRO-4040FF	8,4	7,2	99,5

#### (Geavanceerde) oxidatie

Wanneer geavanceerde oxidatie nageschakeld wordt na omgekeerde osmose, kunnen componenten die niet verwijderd zijn in RO, alsnog vernietigd worden. Dat is echter wel afhankelijk van het type component.

Anorganische componenten worden niet verwijderd, maar bijvoorbeeld ammonium kan geoxideerd worden tot nitraat. De niet-geladen kleine organische componenten kunnen mogelijk wel geoxideerd worden. Ook virussen die onverhoopt door het RO membraan zijn gekomen, kunnen door AOP alsnog geïnactiveerd worden, mits de juiste dosis wordt toegepast. De geavanceerde oxidatiestap is een extra barrière omdat het werkingsprincipe anders is dan RO en daardoor andere stoffen verwijderd kunnen worden.

Voor de verwijdering van humane pathogenen uit drinkwater (vergelijkbaar met RO permeaat) wordt verondersteld dat een dosis van 20 mJ/cm<sup>2</sup> voldoende is om een 2 tot 3 log verwijdering te krijgen. Voor een 3log verwijdering van het tomatenmozaïekvirus is een dosis van 100-277 mJ/cm<sup>2</sup> nodig (Stewart-Wade 2011) (Zheng, Dunets and Cayanan 2014). Over het algemeen kan gesteld worden dat plantvirussen resistenter tegen UV-licht zijn dan humane virussen. Dat is ook te verwachten gezien de omgeving waarin ze zich bevinden (zie Tabel 7-6: overzicht van UV-C dosis voor inactivatie van enkele relevante fytopathogenen).

### 6.3.2 Ozon/ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> – AKF – omgekeerde osmose (RO)

De ozon in combinatie met waterstofperoxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) verwijdert de organische microverontreinigingen, en de meeste bacteriën, schimmels en virussen. Door het gebruik van peroxide wordt minder bromaat gevormd dan bij het gebruik van alleen ozon. Door het plaatsen van een filter na de oxidatie stap, worden schadelijke bijproducten en de geïnactiveerde micro-organismen – afgevangen. Vervolgens moet het water nog wel ontzout worden. Dit kan gedaan worden met onder meer elektrodialyse of omgekeerde osmose. Het voordeel van de laatste is dat deze ook een extra barrière vormt voor micro-organismen.

#### Ozon/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:

In het project Ge(O)zond water (Delfos, Neut et al. 2020) is effluent behandeld met ozon of met ozon in combinatie met waterstofperoxide (geavanceerde oxidatie). Het doel hiervan was het verwijderen van een deel van de organische microverontreinigingen die nog in het effluent aanwezig waren. Het bleek dat door het gebruik van geavanceerde oxidatie met ozon/ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> minder bromaat gevormd werd dan met ozonisatie. 14 van de 16 gemeten medicijnresten werden verwijderd voor meer dan 97% bij een ozonopname van 1,61 g O<sub>3</sub>/g DOC en 6,44 g H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/g DOC. De gemeten stoffen waren aanwezig in concentratie van 0,8 – 40 µg/l. Wanneer de ozonopname werd verhoogd naar 2,76 g O<sub>3</sub>/g DOC en 11,04 g H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/g DOC werden 15 van de 17 stoffen met meer dan 98% verwijderd. De verwijdering zonder H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> bij eenzelfde ozonconcentratie was vergelijkbaar maar de gevormde bromaatconcentratie lag hoger. In (Koeman-Stein 2019) is aangetoond dat er 1,0 g O<sub>3</sub>/g TOC nodig is om minimaal 95% verwijdering van gewasbeschermingsmiddelen uit effluent van RWZI Nieuwe Waterweg nodig is. Wanneer er wordt gekozen om ook H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> te doseren, zal de benodigde dosering waarschijnlijk niet lager zijn.

#### Actief kool filter

In het actief kool filter worden bijproducten afgevangen die ontstaan bij de geavanceerde oxidatie. Dat is nodig omdat deze bijproducten een gevaar kunnen vormen voor het milieu of voor de plant. Daarnaast wordt in het actief kool filter ook zwevend stof afgevangen en bacteriën, schimmels en een deel van de virussen.

#### Omgekeerde osmose

Na het actief kool filter zijn zwevend stof (TSS), chemisch zuurstof verbruik (CZV), organische microverontreinigingen en pathogenen verwijderd. Als laatste moeten dan nog de zouten, nutriënten, metalen, verwijderd worden. Dit kan gedaan worden met omgekeerde osmose. Dit is gelijk een extra barrière voor pathogenen.

### 6.3.3 Concentraat

Bij omgekeerde osmose en andere ontzoutingsstappen, zal een concentraat ontstaan. Dit concentraat kan niet zomaar geloosd worden op het oppervlaktewater. Afhankelijk van de grootte van de stroom is het misschien mogelijk om dit concentraat te lozen op het riool. Als dit niet kan, zal het verder geconcentreerd moeten worden en dan afgevoerd worden naar een vuilverwerker (verbrandingsinstallatie). Om te beoordelen of terugvoeren van het concentraat naar de RWZI kan, is een berekening gemaakt van RWZI Harnaschpolder en van AWZI Nieuwe Waterweg waarbij een aanname is gedaan over de hoeveelheid gietwater die geproduceerd zal worden.



Rekenvoorbeeld Harnaschpolder:

Het effluent van RWZI Harnaschpolder heeft een zoutlast van 1-1,5 mS/cm (gemiddeld 1,2 mS/cm, op basis van 5 steekmonsters) en 160 mg/l Cl. Uitgaande van een waterproductie van 75% in de RO installatie zal de concentraatstroom een zoutconcentratie hebben van 4x de effluent concentratie. Het behandelde effluent is ongeveer 10% van het debiet van de RWZI. Bij terugvoeren van het concentraat zal dit de zoutconcentratie verhogen met bijna 10%. De concentratie is dan 176 mg/l. Dit is WEL/ GEEN probleem voor de zuivering. RWZI Harnaschpolder loost via een pijpleiding op de Noordzee. De norm voor chloridelozing op oppervlaktewater is op veel locaties 150 mg/l Cl.

Rekenvoorbeeld AWZI Nieuwe Waterweg

Bij AWZI nieuwe Waterweg zal bijna al het water behandeld worden voor hergebruik als gietwater. Het huidige effluent heeft een elektrische geleidbaarheid van 1,4 mS/cm, en een chloridegehalte van 178 mg/l (5 steekmonsters). Dat betekent dat een concentraatstroom ontstaat die (bij een waterproductie van 75%) een concentraatstroom ontstaat met een zoutgehalte van 714mg/l. Dit is behoorlijk zout. Doordat al het water wordt verwerkt tot gietwater, kan het ook niet bijgemengd worden met het overige effluent (want dat is er niet). AWZI Hoek van Holland loost op de Nieuwe Waterweg. Dit is een brak water en het zoutgehalte varieert tussen de 3 en 17 g/l afhankelijk van het tij. Het hangt van de lozingsvergunning af of dit concentraat geloosd mag worden.

#### 6.3.4 Operationele condities

Operationele condities hebben veel invloed op de mate van verwijdering van bepaalde componenten. In de risicobeoordeling wordt uitgegaan van een aantal standaard operationele condities, met daarbij behorende standaard verwijdering van onder andere micro-organismen.

Bij membraanfiltratie, zoals ultrafiltratie en omgekeerde osmose, zullen challenge testen moeten uitwijzen wat de daadwerkelijke verwijdering is voor nieuwe membranen en het verloop over de tijd..

De desinfectie met ozon is afhankelijk van de ozonconcentratie en contacttijd (CT). In de tool is een ozondosering aangenomen die leidt tot een bepaalde verwijderingswaarde, onder gemiddelde omstandigheden. In het geval er al een poederkooldosering is gedaan, kan dat leiden tot verlaagde TOC waardes, waardoor de ozondosering effectiever kan zijn voor desinfectie. Voor de hier berekende waarde is hier geen rekening mee gehouden en het risico kan mogelijk lager liggen.

Voor UV desinfectie is de fluence (dosis UV licht) maatgevend voor de desinfectie. Een goede verdeling van het UV licht in het water wordt vooral met gesloten reactoren verkregen. Open reactoren zoals UV lampen in een betonnen kanaal zullen minder effectief zijn. Verschillende organische en anorganische stoffen en deeltjes absorberen UV licht. De voorbehandeling met omgekeerde osmose zal deze grotendeels verwijderen waardoor de UV transmissie van het water vrij constant zal zijn. Wel zullen UV lampen verouderen waardoor de desinfectiecapaciteit zal afnemen.

## 7 Risico-inventarisatie en -beheersing

Wanneer effluent hergebruikt wordt voor de irrigatie van gewassen, treden er risico's op voor verschillende groepen, zoals voor de mensen die werken met het effluent, en voor consumenten die de gewassen consumeren. Dit kunnen zowel chemische als microbiologische risico's zijn. Om risico's hierop inzichtelijk te krijgen, is het van

belang om een risico-inventarisatie te doen. Dit kan vervolgens leiden tot maatregelen om de risico's te verminderen. Het is vanuit de EU ook verplicht om een risico-analyse te doen voordat RWZI effluent toegepast mag worden voor irrigatie. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op risicoinventarisatie en beheer. Dit hoofdstuk beschrijft de risico-inventarisatie voor irrigatie met effluent van RWZI Harnaschpolder en AWZI Nieuwe Waterweg. Hierbij wordt het risicobeheerplan gevolgd zoals dat in EU verordening 2020/741 is aangegeven. In paragraaf 7.1 wordt vooral ingegaan op de voorbereiding. In 7.2 wordt vervolgens een risicoanalyse gedaan, waaronder een kwantitatieve microbiële risico-analyse (qmra) en wordt aangegeven hoe bioassays ingezet kunnen worden voor chemische gevaren.

In 7.3 wordt ingegaan op een monitoringsplan om de in kaart gebrachte risico's te kunnen monitoren.

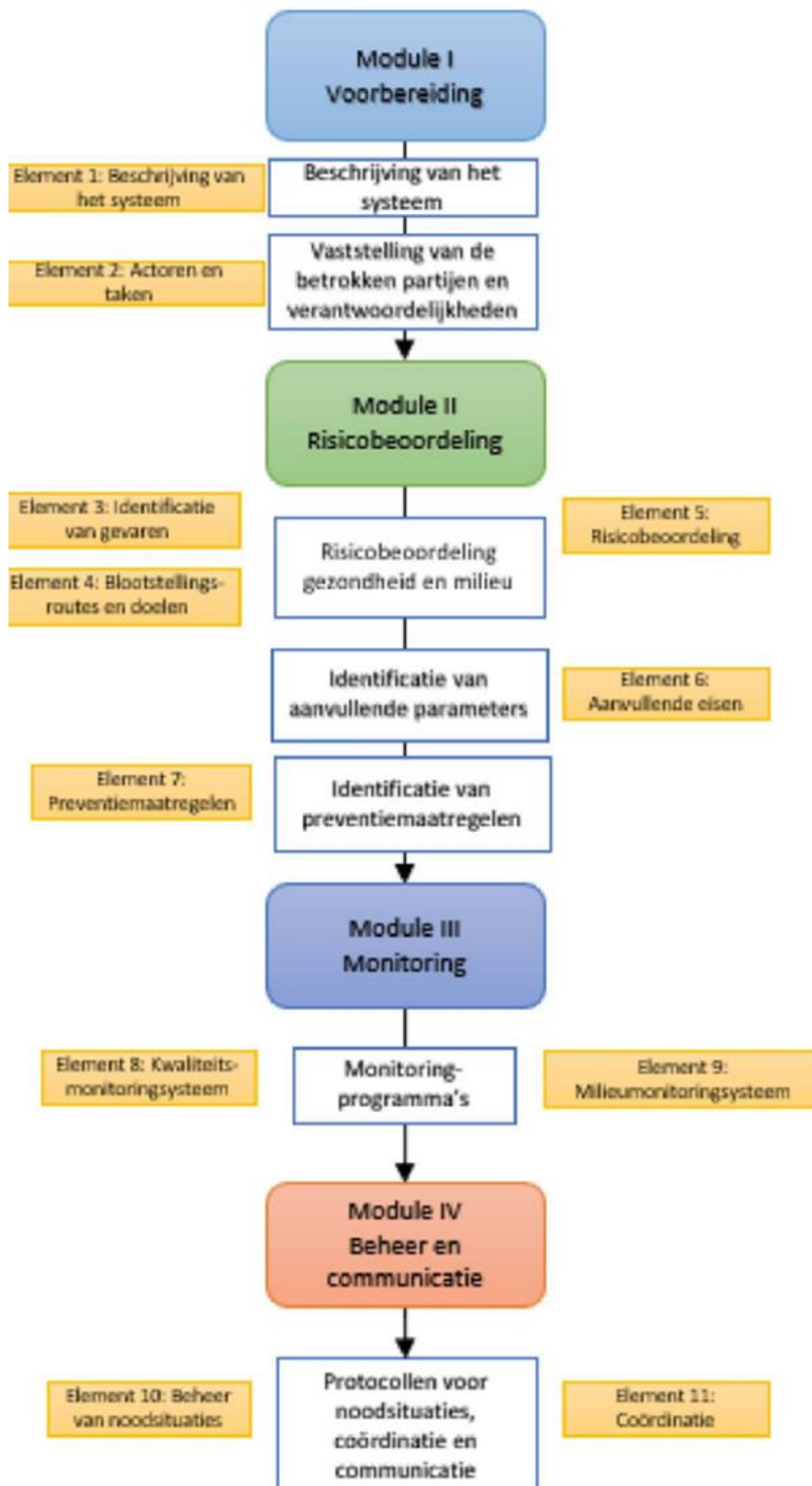
Er zijn verschillende methodes voor de risico-inventarisatie en risicobeheersing. Bij de productie van drinkwater zijn methodes opgezet door IWA en WHO heeft een Water Safety Plan opgesteld voor de productie van drinkwater (Bartram, Corrales et al. 2009). Deze methodes kunnen ook toegepast worden voor gietwaterproductie. In bijlage II van de Verordening 2020/741 inzake minimumeisen voor hergebruik van water (EU 2020) wordt aangegeven hoe het risicobeheer moet worden aangepakt. Deze bestaat uit de volgende punten, en volgt in grote lijnen het Water Safety Plan van de WHO:

1. Omschrijving van het volledige waterhergebruikssysteem
2. De identificatie van alle bij het waterhergebruikssysteem betrokken partijen en een duidelijke omschrijving van hun taken en verantwoordelijkheden;
3. identificatie van potentiële gevaren
4. identificatie van de natuurlijke omgevingen en populaties die een risico lopen
5. beoordeling van de risico's voor het milieu en voor de gezondheid van mens en dier
6. aanvullende eisen specificeren die strikter zijn dan geldende wetgeving
7. identificatie van preventieve maatregelen
8. Adequate kwaliteitsmonitoringsystemen en -procedures
9. Milieumonitoringsystemen
10. Passende systemen voor het beheren van incidenten en noodsituaties, en een calamiteitenplan
11. Mechanismen voor coördinatie tussen de verschillende actoren opzetten om te waarborgen dat het teruggewonnen water op veilige wijze wordt geproduceerd en gebruikt.

Hieronder wordt een aantal van deze punten (deels) uitgewerkt, waarbij is uitgegaan van de tekst in de verordening, en van de specifieke situaties van RWZI Harnaschpolder en AWZI Nieuwe Waterweg als bronnen voor waterhergebruik.

In 2023 is een webapplicatie ontwikkeld door Witteveen en bos die gebruikt kan worden als hulpmiddel bij het opstellen van een risicobeheerplan. Het is de [Handreiking risicobeheersplan voor hergebruik van rwzi effluent voor de landbouw](#)". Deze webapplicatie is te vinden op: [webapplicatie Risicobeheerplan](#). (xlsx, 1 MB) . Deze is voor dit project niet gebruikt omdat de risico-inventarisatie al was uitgevoerd voordat de webapplicatie gemaakt is.

In EU verordening 2020/741 wordt de risicobeoordeling opgedeeld in vier modules waarover de bovenstaande 11 elementen zijn verdeeld (Figuur 7-1).



Figuur 7-1: Belangrijkste elementen van risicobeheer voor hergebruik van water, georganiseerd in vier modules, ter ondersteuning van de opstelling van een risicobeheerplan (Maffettone and Gawlik 2022)

In de volgende paragrafen wordt ingegaan op de invulling van de elementen in module I (voorbereiding), II (risicobeoordeling), en III (monitoring). Een aantal sensoren die gebruikt kunnen worden voor de monitoring worden beschreven Hoofdstuk 8. Protocollen voor noodsituaties, coördinatie en communicatie (elementen 10 en 11 in module IV) vallen buiten de scope van dit rapport.

## 7.1 Module I Voorbereiding:

Element 1 in module I is de omschrijving van het volledige waterhergebruikssysteem. Dit omvat grofweg het punt waar het afvalwater de zuiveringsinstallatie voor stedelijk afvalwater binnenkomt tot het gebruikspunt, inclusief de oorsprong van het afvalwater, de zuiveringsstappen en de technologieën die worden aangewend in de waterterugwinningvoorziening, de aanvoer-, distributie- en opslaginfrastructuur, het beoogde gebruik, de locatie en periode van gebruik (bijv. tijdelijk of op *ad hoc* basis), de irrigatiemethode, het soort gewas, en andere waterbronnen indien men een menging beoogt te gebruiken en de te leveren hoeveelheid teruggewonnen water. Tabel 7-1 omschrijft het watersysteem van RWZI Harnaschpolder en AWZI Nieuwe Waterweg met het beoogde hergebruik door een collectief van telers in gemeente Westland en omgeving van RWZI Harnaschpolder.

Tabel 7-1: Omschrijving van het waterhergebruikssysteem voor de locaties Harnaschpolder en Nieuwe Waterweg bij gebruik in omliggend glastuinbouwgebied.

	RWZI Harnaschpolder	AWZI Nieuwe Waterweg
Oorsprong van het afvalwater	Huishoudelijk, industrieel, agrarisch	Huishoudelijk, industrieel, agrarisch
Zuiveringsstappen en de technologieën	Roostergoedverwijdering – voorbezinking – biologische verwijdering P en N in hoofdstroom 1: omloopcircuit. – biologische verwijdering P en N in hoofdstroom 2: PhoSimSysteem – chemische P verwijdering: dosering in actief slibtank t.b.v. fosfaatverwijdering – chemische P verwijdering overig: dosering Mg(OH) <sub>2</sub> na slibgisting – belvenbeluchting – geen deelstroombehandeling N en P – geen nabehandeling – sliblijn  Extra stappen die worden toegevoegd voor het waterhergebruik zijn UF en RO	Roostergoedverwijdering – zandvanger – voorbezinking – biologische verwijdering P en N in hoofdstroom 1: omloopcircuit. – biologische verwijdering P en N in hoofdstroom 2: overig (anaerobe P verwijdering) – belvenbeluchting – geen deelstroombehandeling N en P – geen nabehandeling – sliblijn  Extra stappen die worden toegevoegd t.b.v. de lozingseis gewasbescherming: PAC en ozon → doseringen liggen nog niet vast!  Extra stappen die worden toegevoegd voor het waterhergebruik zijn UF en RO
de aanvoer-, distributie- en opslaginfrastructuur	Aan te leggen distributienetwerk, specifiek voor het transport van gietwater.	Aan te leggen distributienetwerk, specifiek voor het transport van gietwater.
beoogde gebruik	Glastuinbouw: groenteteelt, en siergewassen, substraat en grondgebonden	Glastuinbouw: groenteteelt, en siergewassen, substraat en grondgebonden

locatie en periode van gebruik	Meerdere glastuinbouw bedrijven, het hele jaar door	Meerdere glastuinbouw bedrijven, het hele jaar door
irrigatiemethode	Druppelirrigatie, eb en vloed systeem, beregening van boven	Druppelirrigatie, eb en vloed systeem, beregening van boven
soort gewas	Alle glastuinbouwgewassen → systeem ontworpen voor waterkwaliteitsklasse A (zie verordening)	Alle glastuinbouwgewassen → systeem ontworpen voor waterkwaliteitsklasse A (zie verordening)
andere waterbronnen indien men een menging beoogt	Regenwater, bassinwater (opgeslagen regenwater)	Regenwater, bassinwater (opgeslagen regenwater)
de te leveren hoeveelheid teruggewonnen water	2000m <sup>3</sup> /uur	

Voor de levering van (opgewerkt) effluent in andere glastuinbouw gebieden, zullen vergelijkbare situaties bestaan. Ook daar zal water (mogelijk collectief) gezuiverd worden, en vervolgens aan meerdere telers geleverd worden. Dan moet er dus rekening gehouden worden met verschillende irrigatiemethodes die gangbaar zijn in de glastuinbouw, en met verschillende gewassen die geïrrigeerd worden. Er moet dan uitgegaan worden van kwaliteitsklasse A. In de glastuinbouw in Nederland is het verplicht dat telers regenwater opslaan en als primaire bron gebruiken (Activiteitenbesluit milieubeheer, artikel 3.66 en 3.71). Het hergebruikswater zal dan worden gemengd met dit regenwater, of worden toegevoegd aan het vuilwaterbassin dat veel telers ook hebben.

Element 2 in module I omvat de identificatie van alle bij het waterhergebruikssysteem betrokken partijen en een duidelijke omschrijving van hun taken en verantwoordelijkheden. De volgende partijen zijn betrokken bij het waterhergebruikssysteem: het Waterschap, eventueel derde partij die het RWZI effluent verder behandelt, teler, lokale overheid (Tabel 7-2). Doordat het effluent geleverd wordt aan glastuinbouw bedrijven, is de kans dat burgers in aanraking komen met het water niet groot. Kassen zijn gesloten en kunnen niet zomaar betreden worden (anders dan bijvoorbeeld een weiland). Ook komen er geen (grote) dieren in aanraking met het water. In kassen wordt veel gebruik gemaakt van natuurlijke bestuivers. Deze insecten kunnen in aanraking komen met het gietwater.

Tabel 7-2: bij het waterhergebruikssysteem betrokken partijen met hun taken en verantwoordelijkheden

	Harnaschpolder	Nieuwe Waterweg
Waterschap	Delfluent services, een samenwerking tussen Evides Industriewater en hoogheemraadschap van Delfland Zij zullen de exploitant zijn van het water. Daarmee zijn ze ook verantwoordelijk voor de te leveren kwaliteit tot aan het leveringspunt.	Hoogheemraadschap van Delfland Zij zullen de exploitant zijn van het water. Daarmee zijn ze ook verantwoordelijk voor de te leveren kwaliteit tot aan het leveringspunt.
Lokale overheid	Provincie Zuid Holland is verantwoordelijk voor de vergunningsverlening. Zij zullen dit delegeren naar omgevingsdienst DCRM	Provincie Zuid Holland is verantwoordelijk voor de vergunningsverlening. Zij zullen dit delegeren naar omgevingsdienst DCRM
Telers	Telers zijn de afnemers van het water. Zij zullen verantwoordelijk zijn voor het minimaliseren van de	Telers zijn de afnemers van het water. Zij zullen verantwoordelijk zijn voor het minimaliseren van de

	risico's voor hun werknemers en voor de afnemers van hun product.	risico's voor hun werknemers en voor de afnemers van hun product. De telers zijn verenigd in een collectief. Dit collectief maakt afspraken met de leverancier van het water over de geleverde kwaliteit, hoeveelheid, leveringszekerheid en kosten.

## 7.2 Module II Risicobeoordeling

Module II omvat de volgende elementen:

Element 3: Identificatie van gevaren

Element 4: Blootstellingsroutes en doelen

Element 5: Risicobeoordeling

Element 6: Aanvullende eisen

De risicobeoordeling zoals gevraagd in de verordening voor waterhergebruik, richt zich alleen op risico's voor mens, dier en plant. In paragraaf 7.2.2 wordt ook ingegaan op de risicobeoordeling voor planten omdat dat voor telers ook van belang is.

Potentiële gevaren (element 3) zijn in het bijzonder de aanwezigheid van verontreinigende stoffen en pathogenen, en gevaarlijke incidenten zoals storingen en daarmee onvoldoende waterzuivering of onopzettelijke lekkages of contaminatie van het waterhergebruikssysteem; Daarnaast kan groei van pathogenen in de distributie en opslag extra gevaren opleveren. Opportunistische pathogenen o a legionella en plantpathogenen kunnen nagroeien in het systeem. Afhankelijk van de waterbehandeling is nagroeipotentie lager. Ook de keuze van leidingen heeft invloed op de nagroeipotentie. Wanneer die een KIWA Watermark hebben, mogen ze ook toegepast worden in de drinkwaterdistributie. Andere types of materialen geven mogelijk groeibevorderende stoffen of chemische stoffen af.

Het gietwater wat geproduceerd wordt in de extra behandeling van het effluent, is van een zeer hoge kwaliteit. Hierdoor bevat het zeer weinig chemische en microbiologische verontreinigingen. De eisen aan de gestelde gietwaterkwaliteit zijn opgenomen in Tabel 5-1.

Er kunnen op verschillende plekken gevaren ontstaan door blootstelling aan effluent (element 4):

- a. bij de RWZI/ aanvullende zuivering: operators kunnen in aanraking komen met het water. Er kan in het risicobeheer rekening mee worden gehouden dat deze personen zijn getraind en persoonlijke beschermingsmiddelen gebruiken.
- b. Bij de RWZI/ aanvullende zuivering: de gebruikte apparatuur kan falen. Hierdoor kan de zuivering minder goed zijn dan waarnaar wordt gestreefd. Zowel stoffen als pathogenen kunnen hierbij in het distributiesysteem terecht komen. Pathogenen kunnen zich potentieel vermeerderen in het distributiesysteem.
- c. Lekkage in distributiesysteem: het behandelde effluent komt in de ondergrond terecht
- d. Lekkage in het distributiesysteem. Er vindt contaminatie van het water plaats met stoffen of pathogenen die aanwezig zijn in de ondergrond.
- e. Levering bij de telers: lekkages in het leveringssysteem bij de teler: het effluent komt in de ondergrond, of spoelt via het erf naar het oppervlaktewatersysteem.
- f. Direct contact met water via de huid bij medewerkers van het teeltbedrijf.

- g. Inademen van aerosolen door medewerkers van het teeltbedrijf. Ook hier zal de blootstelling laag zijn door de vergevorderde waterbehandeling. Echter kan er in potentie nagroei in de leidingen ontstaan, afhankelijk van de groeipotentie van het water en gebruikte materialen voor transport.
- h. Ophoping van microverontreinigingen in (het eetbare deel van) de plant
- i. Contaminatie van de kas/ plant met plantpathogenen via het hergebruikte water waardoor een uitbraak kan ontstaan
- j. Contaminatie van de plant met humane pathogenen → zowel in het eetbare deel van het plant door opname via wortelsysteem, als aan de buitenkant door direct contact met water.

Op basis van de bovenstaande mogelijke gevaren en blootstellingen kunnen de omgevingen en populaties die een risico lopen worden geïdentificeerd, rekening houdend met specifieke omgevingsfactoren zoals de plaatselijke hydrogeologie, topologie, bodemsoort en ecologie, en met factoren die verband houden met het soort gewas en de landbouw- en irrigatiepraktijken. Hierbij dienen ook eventuele onherstelbare of langdurige negatieve gevolgen van de waterterugwinningsactiviteiten voor milieu en gezondheid, waar gestaafd door wetenschappelijk bewijs, in aanmerking worden genomen. Voor de hier beschouwde waterhergebruik cases zijn dit de volgende populaties en milieus:

Populaties:

Werknemers,  
Handelaren verderop in de keten,  
Consumenten

Milieus:

Bodem rondom erf/ distributienet,  
Oppervlaktewater in de regio,  
Planten in kas, en daarna planten die hiermee in aanraking komen in de handel

Voor hergebruik van behandeld effluent als gietwater in de glastuinbouw, moet worden uitgegaan van alle mogelijke irrigatiemethodes: druppelbevloeiing, eb- en vloedbodems, beregening van bovenaf, hydroponics, etc. Bij een aantal irrigatiemethoden kunnen aerosolen ontstaan, en zal ook het eetbare deel van de plant direct in aanraking kunnen komen met het irrigatiewater.

Voor de locaties Harnaschpolder en Nieuwe Waterweg wordt geen water onthouden aan het oppervlaktewatersysteem doordat die RWZI's nu lozen op zee (Harnaschpolder) of de Nieuwe Waterweg, en zijn er daardoor geen negatieve gevolgen voor het lokale oppervlaktewatersysteem. Op andere locaties kan dat wel het geval zijn. Het waterschap moet daar rekening mee houden.

Element 5 in module II is de beoordeling van de risico's voor het milieu en voor de gezondheid van mens en dier, waarbij rekening wordt gehouden met de aard van de geïdentificeerde potentiële gevaren, de duur van de beoogde toepassingen, de omgevingen en populaties die risico lopen aan die gevaren te worden blootgesteld en de ernst van mogelijke gevolgen van die gevaren met inachtneming van het voorzorgsbeginsel, alsmede alle relevante Unie- en nationale wetgeving, richtsnoeren en minimumeisen met betrekking tot voedsel en diervoeder en de veiligheid van werknemers. De risicobeoordeling kan worden gebaseerd op een toetsing van de beschikbare wetenschappelijke studies en data. Een volledige risicobeoordeling van de waterhergebruik cases bij Harnaschpolder en Nieuwe Waterweg lag buiten de scope van deze studie. Gezien de acute relevantie van microbiologische waterkwaliteit voor waterhergebruik en de gezondheid van mensen en gewassen, worden in onderstaande deelparagrafen de microbiële risicobeoordeling aan de hand van een QMRA beschreven voor mensen op basis van algemene gegevens over effluentkwaliteit (paragraaf 7.2.1), en voor planten op basis van specifieke gegevens voor Harnaschpolder en Nieuwe Waterweg een kwalitatieve risicobeoordeling (paragraaf

7.2.2). Vervolgens wordt in deelparagrafen 7.2.3 beschreven hoe een chemische risicoanalyse kan worden aangepakt, met daarbij aanbevelingen over hoe chemische risico's gemonitord kunnen worden (7.3). Hoewel de risicobeoordeling niet vraagt om risico's voor gewassen te beoordelen, is dat wel belangrijk voor telers, en wordt het daarom beschreven in dit rapport als aanvullende eis (element 6).

Van enkele gevaren kan al wel ingeschat worden dat ze laag zijn:

- Levering bij de telers: lekkages in het leveringssysteem bij de teler: het effluent komt in de ondergrond, of spoelt via het erf naar het oppervlaktewatersysteem. Het gietwater is echter van een zeer goede kwaliteit en zal daarmee een minimaal gevaar vormen voor de ondergrond of het oppervlaktewater.
- Direct contact met water via de huid bij medewerkers van het teeltbedrijf. Door de lage concentraties chemische stoffen en pathogenen die verwacht worden in het gietwater, zal de blootstelling laag zijn.

Of ze daadwerkelijk laag zijn, moet bij het opstellen van de risicobeoordeling nogmaals getoetst worden.

### 7.2.1 Microbiële risicobeoordeling voor de gezondheid van mens en dier

Pathogenen zijn ziekteverwekkende micro-organismen en vormen het grootste risico bij hergebruik van afvalwater, omdat via deze activiteiten ziekten kunnen worden verspreid. De meeste richtlijnen focussen daarom op het beheersen van risico's van pathogenen. Afvalwater bevat ziekteverwekkende micro-organismen die moeten worden verwijderd of geïnactiveerd door behandeling om veilig hergebruik mogelijk te maken. Verschillende groepen ziekteverwekkers vormen verschillende uitdagingen voor de behandeling vanwege hun concentraties in afvalwater en hun persistentie tegen verschillende behandlungsprocessen. Daarom moet de werkzaamheid van het zuiveringsproces worden geëvalueerd op basis van een vertegenwoordiger van elke pathogengroep: virussen, bacteriën, parasitaire protozoa en rondwormen (WHO 2017). Dit worden referentiepathogenen genoemd. De zuiveringsprocessen moeten zo gekozen worden dat de waterbehandeling leidt tot het doel (minimale gezondheidsrisico's) bij gebruik van het water voor irrigatie in de glastuinbouw, gebaseerd op de logverwijdering van de referentieorganismen. Hierbij wordt uitgegaan van waterkwaliteitsklasse A zodat het kan worden gebruikt voor onbeperkte toepassing voor de irrigatie van bladgewassen die rauw geconsumeerd worden, zoals spinazie en sla. Waterkwaliteitsklasse A is niet gedefinieerd voor de referentiepathogenen maar gaat uit van *E. coli*, wat alleen een indicatie kan geven voor pathogene bacteriën doordat het een indicator van falen van de zuivering kan zijn. Adequate operationele procedures en programma's voor kwaliteitsbewaking moeten aanwezig zijn en worden gehandhaafd om te garanderen dat de behandeling continu naar behoren functioneert (element 8 uit het risicobeheer uit bijlage II van de EU verordening waterhergebruik). Dit gaat verder dan het controleren op *E. coli* of fecale coliformen, die relatief gemakkelijk door behandeling kunnen worden verwijderd.

Bij waterkwaliteitsklasse A wordt uitgegaan van *E. coli* <10 kve / 100ml. Voedsel wordt tijdens en na productie nog op allerlei manieren blootgesteld aan verontreinigingsbronnen (mest, handen, insecten, stof....). Ondanks dat een lage norm voor *E. coli* als indicatororganisme in het gietwater wordt aangehouden, kan er verderop in de keten nog besmetting plaatsvinden.

De microbiële risicobeoordeling is gebaseerd op verschillende aspecten. Zo speelt de bron van het afvalwater een rol (in dit geval communaal afvalwater), het type zuivering in de RWZI, en de aanvullende zuivering, waarbij een verwijdering van pathogenen plaatsvindt, en opslag en transport. Daarnaast is het type toepassing van belang voor de mate van blootstelling. Deze aspecten zijn weergegeven in tabel Tabel 7-3.

Tabel 7-3: aspecten aan een microbiologische risicobeoordeling

Element	belangrijke informatie	algemeen/ regionaal/ Site	Opmerking
relevante pathogenen	endemische ziektes	regionaal	

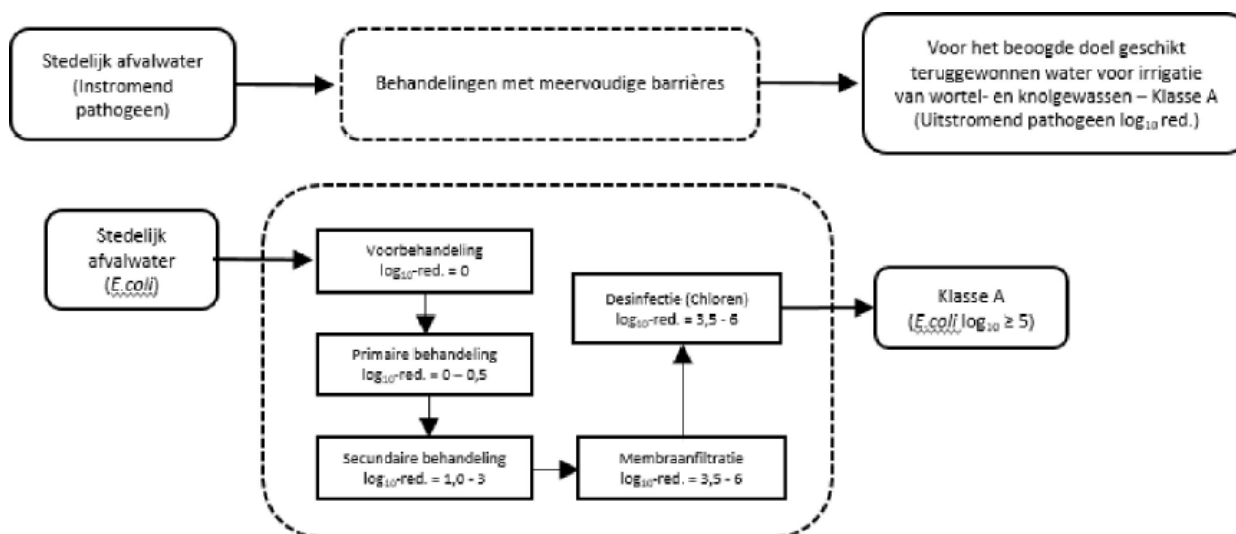


(afval)water samenstelling	concentratie van pathogenen	regionaal+site	huishoudelijk en van bedrijven (agrarisch en industrieel)
afvalwater behandeling	log reductie van pathogenen	site	Niet ontworpen voor pathogeenreductie
aanvullende zuivering in verband met hergebruik	log reductie van pathogenen	site	Effectiviteit kan afhankelijk zijn van bedrijfsvoering en bewaking
opslag en transport	herbesmetting, afsterving, nagroei	site	
Afsterving in het veld	pathogenen persistentie	regionaal, site	gewasbeschermingsmiddelen, condities in de kas (vocht, ventilatie)
beoogd gebruik			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• lozing naar oppervlaktewater</li> </ul>		regionaal	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• beperkte irrigatie</li> </ul>	type irrigatie, teeltwijze, teelttype	site	Voor beperkte en onbeperkte irrigatie gelden verschillende waterkwaliteitseisen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• onbeperkte irrigatie</li> </ul>	type irrigatie, teeltwijze, teelttype	site	Voor beperkte en onbeperkte irrigatie gelden verschillende waterkwaliteitseisen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• niet-drinkbaar hergebruik</li> </ul>	Doel van het hergebruik	site	Indien het water ook voor andere doeleinden dan irrigatie gebruikt worden, zoals sproeien van materiaal, kunnen daar extra risico's mee gepaard gaan.
<ul style="list-style-type: none"> <li>• drinkwater</li> </ul>		algemeen	
blootstelling	Hoeveelheid ingenomen water, blootstelling via inademing, huidcontact, ogen en oren, frequentie, bevolking (medewerkers, versus consumenten)	regionaal+site	Verschilt per gebruik, zowel tijdens het hanteren als op eindproduct
infectie risico	Dosis-respons	algemeen	Huidige dosis-response relaties zijn gebaseerd op Westerse situaties.

			Kwetsbaarheid van blootgestelde van belang (immuno-gecomprimeerd, zwanger, kinderen en ouderen)
--	--	--	---

In WHO richtlijnen (WHO 2013) wordt onderscheid gemaakt tussen beperkte en onbeperkte irrigatie. Bij onbeperkte irrigatie wordt verondersteld dat het nagezuiverde effluent de belangrijkste irrigatiebron is, die ook gebruikt wordt voor irrigatie van bladgewassen (waterkwaliteitsklasse A). Bij beperkte irrigatie wordt er slechts sporadisch gebruik gemaakt van het teruggewonnen water, en ook toegepast op gewassen die minder risico geven doordat er bijvoorbeeld geen rauwe consumptie plaatsvindt, en worden daarmee de risico's op infectie lager ingeschat, en daarmee wordt aan de benodigde logreductie een lagere eis gesteld. In de EU verordening voor waterhergebruik wordt geen onderscheid gemaakt tussen beperkte en onbeperkte irrigatie. Daar wordt de vereiste waterkwaliteit gebaseerd op het type gewas, en gebruik (directe consumptie of bijvoorbeeld verwerking met een hittebehandeling). Omdat er voor meerdere telers water wordt gemaakt, is er voor gekozen om water van de hoogste kwaliteitsklasse te produceren, en moeten steeds de steeds richtlijnen voor onbeperkte irrigatie worden gevolgd.

Een voorbeeld van een willekeurig waterhergebruikssysteem op basis van meervoudige barrières om pathogenen te beperken is weergegeven in Figuur 7-2. Daarbij is per behandelingsstap aangegeven wat de verwachte logreductie is van *E. coli*.



Figuur 7-2: Evaluatie van een willekeurig waterhergebruikssysteem op basis van meervoudige barrières om *E. coli* te beperken tot de vereiste log10-reductie voor klasse A van irrigatie (de marges voor log10-reductie zijn opgenomen in tabel 3.4 van de Australische richtsnoeren voor waterhergebruik (Council, Council and Conference 2006))

De EU richtlijn stelt ten aanzien van fecale pathogenen alleen eisen aan *E. coli* en rondwormen. *E. coli* is een indicatororganisme en wordt gebruikt als indicator voor verontreiniging van schoon water met feces. De waarde als indicator voor voldoende zuivering is echter zeer beperkt omdat *E. coli* relatief eenvoudig kan worden verwijderd. Pathogene organismen zoals virussen en protozoa zijn lastiger te verwijderen of inactiveren. Daarom wordt voor de risicobeoordeling de aanpak voor Analyse Microbiologische Veiligheid Drinkwater (AMVD) toegepast zoals deze in het Drinkwaterbesluit en het Richtsnoer AMVD is vastgelegd. Daarbij wordt voor elk type pathoogeen een risicoanalyse uitgevoerd, waarbij de concentraties in de bron en de reductie door zuivering specifiek voor ieder referentiepathoogeen worden bepaald. Voor het beoordelen van microbiële risico's met betrekking tot gezondheid

van mensen, zijn tools beschikbaar die deze methodiek volgen. Voor een gegeven zuivering en blootstelling, kan berekend worden wat de kans is dat iemand een infectie oploopt, ziek wordt en de ziektelast die daarbij hoort. Voor drinkwater worden daarbij normen gehanteerd voor het infectierisico (1 infectie per 10.000 personen per jaar) of voor de ziektelast uitgedrukt als Disability Adjusted Life Years ( $10^{-6}$  DALY).

Voor de risicobeoordeling die is uitgevoerd in dit project, is gebruik gemaakt van een tool die is ontwikkeld in het project Nextgen, en gebruikt kan worden via de website [qmra.org](http://qmra.org). Daarmee wordt het risico berekend voor de referentiepathogenen enterovirussen (virus), *Campylobacter jejuni* (bacterie), en *Cryptosporidium parvum* (protozoa). Voor drinkwater zijn deze gekozen op basis van concentraties in de bron, persistentie bij zuiveringsprocessen en bekende uitbraken via drinkwater. Hoewel voor gietwater of irrigatiewater ook andere pathogenen relevant kunnen zijn, geeft deze benadering al een betere indicatie van de veiligheid dan de in de EU richtlijn genoemde organismen die alleen in het geproduceerde water moeten worden gemeten.

In deze tool zijn voor ieder referentiepathogeen aannames gedaan over de concentraties in verschillende waterbronnen (grondwater, oppervlaktewater, afvalwater), de mate van verwijdering van een bepaalde zuiveringstechnologie, de mate van blootstelling door het inslikken van het water (aantal keer per jaar en hoeveelheid per keer) bij verschillende toepassingen (drinkwater, zwembadwater, irrigatiewater), de kans op infectie bij blootstelling en de ziektelast. De aannames zijn gebaseerd op wetenschappelijke literatuur. Referenties zijn terug te vinden in de database op de website van de tool.

Voor het RWZI effluent worden de volgende instellingen gekozen in de tool:

Bron: ruw rioolwater

Zuivering:

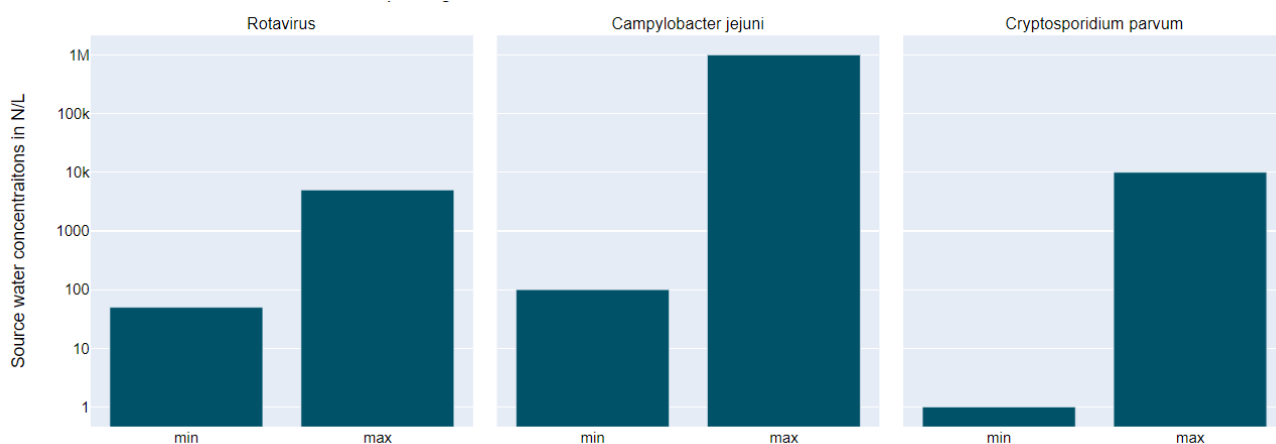
- conventionele voorbezinking (clarification genoemd in de figuren: Figuur 7-4 en in Bijlage III)
- primaire zuivering
- secundaire zuivering

Blootstelling: irrigatie (onbeperkt). Hierbij wordt uitgegaan van 70 (sla) of 140 (andere bladgewassen) keer per jaar een blootstelling, met 5 ml (sla) of 1 ml (andere gewassen) per keer.

Hiervoor is gekozen omdat RWZI Harnaschpolder en AWZI Nieuwe Waterweg allebei beschikken over bezinking, primaire en secundaire zuivering. Dat is in Nederland ook het meest voorkomend bij RWZI's. Daarnaast is de keuze gemaakt om water te produceren dat voor alle teelten gebruikt kan worden, dus voor onbeperkte irrigatie.

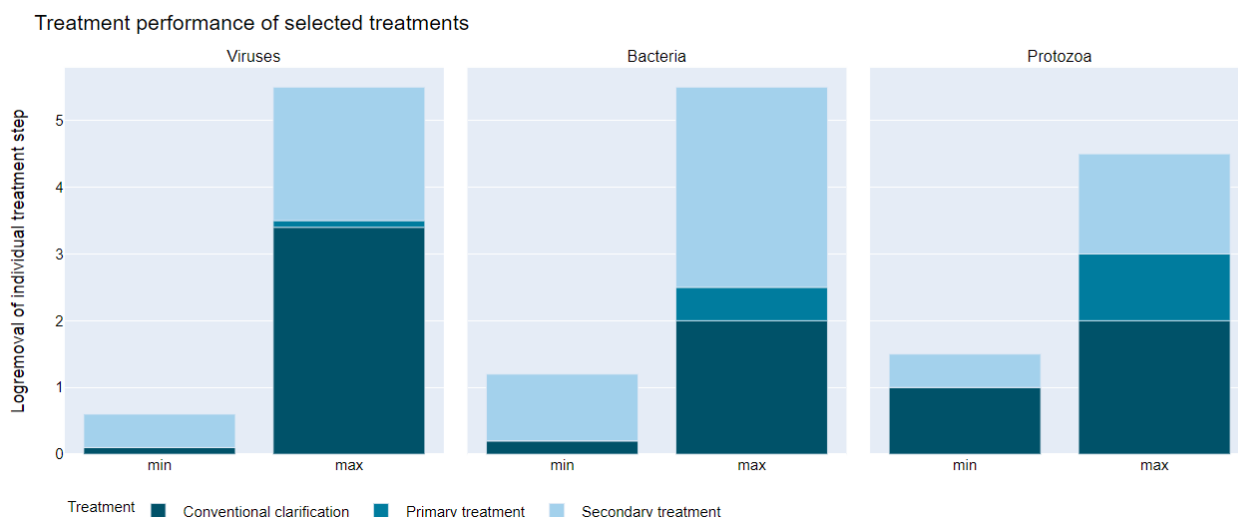
Kwaliteit van het ingaande water:

Er wordt verondersteld dat Nederlands RWZI water een bepaalde samenstelling heeft. Dit is gebaseerd op algemene gegevens zoals in de database in de tool zijn opgenomen en is hier dus niet voor een specifieke zuivering gemeten. De concentraties referentiepathogenen in rioolwater worden weergegeven in Figuur 7-3.



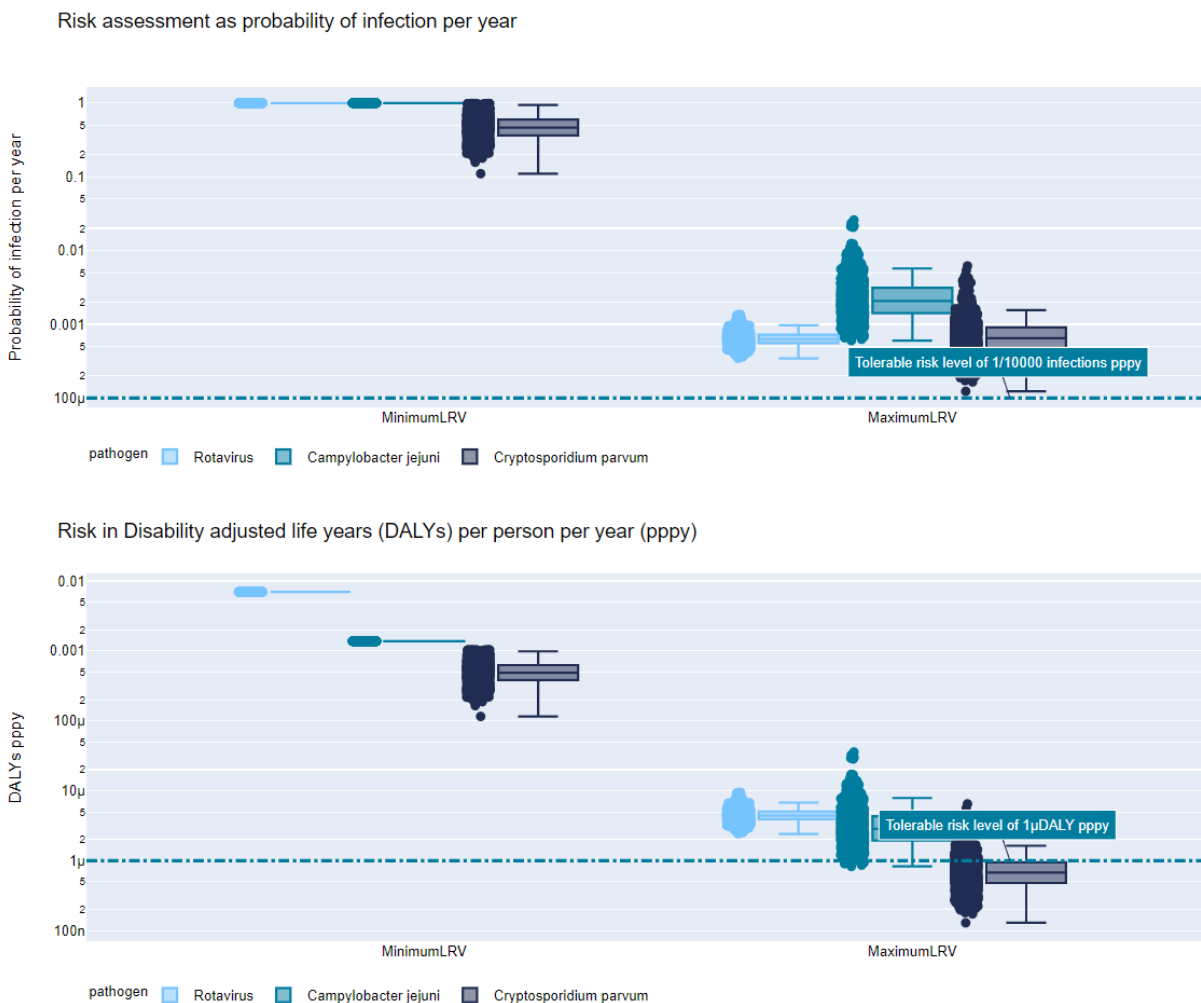
Figuur 7-3: minimale en maximale concentraties referentiepathogenen in rioolwater (kve/liter).

Per zuiveringsstap vindt er een verwijdering van de organismen plaats. Daar zit een onzekerheid in die is weergegeven door een maximale LRV (log verwijderingswaarde) en een minimale LRV te geven (gebaseerd op literatuurgegevens die verwerkt zijn in de QMRAtool).



Figuur 7-4: mate van verwijdering (LRV) van de individuele verwijderingsstappen van een RWZI (conventionele voorbezinking, primaire zuivering, secundaire zuivering). De log-verwijdering is per referentiepathogeen getoond.

Hiermee wordt berekend wat de concentratie pathogenen in het behandelde water is en hoeveel referentiepathogenen een persoon inslikt bij gebruik als irrigatiewater op bepaalde gewassen. Hieruit wordt de kans op een infectie berekend en ook de verwachte ziektelast. Hierbij wordt rekening gehouden met de variatie in samenstelling die rioolwater heeft, en de onzekerheid in de verwijdering. Het berekende risico kent daarom ook een spreiding voor zowel de minimale als maximale aannames over de zuivering. Dit wordt vergeleken met het voor drinkwater acceptabele risico is van één infectie is per 10.000 mensen per jaar, of  $10^{-6}$  DALY (disability adjusted life years). Dat risiconiveau wordt in Figuur 7-5 aangegeven met de stippellijn  $10^{-6}$ .



Figuur 7-5: infectierisico en DALY na contact met effluent afkomstig uit de RWZI (voorbezinking, primaire en secundaire zuivering).

Bij de minimale logverwijdering is het infectierisico voor alle referentiepathogenen veel hoger dan acceptabel. In de tool is voor deze acceptabele risiconiveaus gekozen maar voor irrigatie zijn door de WHO geen normen opgesteld voor infectierisico. Deze normen zijn opgesteld voor drinkwater. De WHO hanteert wel een  $10^{-6}$  DALY. Bij de maximale verwijdering, wordt alleen voor *Cryptosporidium parvum* gemiddeld aan de DALY norm voldaan, maar ligt het maximum DALY op 6 µDalys pppy boven deze grenswaarde. Voor geen van de referentiepathogenen wordt aan het infectierisico voldaan. In het algemeen is de grenswaarde voor het infectierisico ‘strenger’ en vereist deze een lagere concentratie referentiepathogenen (Figuur 7-5).

De tool berekent niet de verwachte concentratie E. coli in het behandelde water. Globaal is deze in dezelfde grootte orde als Campylobacter en wordt deze ook hetzelfde verwijderd door zuiveringsprocessen. Bij een concentratie in afvalwater van 1.000.000 kve/l en de maximale 5,5 log reductie door zuivering zou de concentratie 3 kve/l, dus 0,3 kve/100 ml, bedragen in het behandelde water. Dat is lager dan de kwaliteitseis voor klasse A van 10 kve/100ml. Dit geeft aan dat voldoen aan de EU norm niet betekent dat het behandelde water bij irrigatietoepassing voldoet aan de algemeen gehanteerde grenswaarden voor gezondheidsrisico’s van Nederland en de WHO.

Op basis van de risicobeoordeling voor de gezondheid van de mens zijn dus extra zuiveringsstappen nodig om de waterkwaliteit te verbeteren en infectierisico's te verlagen.

Er zijn verschillende scenario’s voor aanvullende zuivering beschreven in paragraaf 6.2:

- 1a) grof filter (zoals snelle zandfiltratie) – omgekeerde osmose (RO)  
 1b) grof filter (zoals snelle zandfiltratie) – omgekeerde osmose (RO) – UV desinfectie  
 1c) ultrafiltratie – omgekeerde osmose (RO)  
 2a) poederkooldosering in de zuivering – ozon – ontzouten met elektrolyse  
 2a) poederkooldosering in de zuivering – ozon – omgekeerde osmose

De risico's voor deze scenario's zijn op dezelfde manier berekend met de tool. In bijlage III zijn de uitgewerkte QMRA's per technologie-scenario uitgewerkt. Voor veel zuiveringsprocessen is het verschil tussen minimale en maximale log-reductie erg groot, omdat deze sterk afhangt van het ontwerp, bedrijfscondities, slijtage en onderhoud. Regelmatige verificatie van de werkelijke log-reductie in de praktijk is daarom nodig.

Tabel 7-4 geeft van de vijf scenario's voor additionele waterbehandeling aan welke logverwijdering minimaal en maximaal verwacht kan worden voor de drie referentieorganismen. Daarnaast wordt ook aangegeven of het infectierisico voldoende is afgenomen en of de daly laag genoeg is. Scenario's 1B, 1C en 2A zijn voldoende om tot een acceptabel risico te komen.

*Tabel 7-4: overzicht van scenario's met de LRV en beoordeling van probability of infection (pppy) and disability adsjuted life years (daly) met oordeel van scenario.*

Scenario	LRV			Pppy bij min LRV	Daly bij min LRV	Voldoende verwijdering?
	virus	bacteriën	protozoa			
1A filter – RO	6-15	7-16	8-14	Onvoldoende	Onvoldoende	nee
1B filter – RO- UV	8-18	11-22	10-17	Voldoende	Voldoende	Ja
1C UF-RO	8-12	12-18	12-17	Voldoende	Voldoende	Ja
2A AKF- O <sub>3</sub> - ED	3-11	3-11	3.5-6.5	Onvoldoende	Onvoldoende	nee
2B AKF – O <sub>3</sub> - RO	8-13	8-13	9-12	Voldoende	Voldoende	ja

Uit de tabel is te zien dat minimaal RO nodig is, met een extra barrière voor desinfectie. Dan kan een oxidatieve techniek zijn, of ultrafiltratie.

Ondanks dat omgekeerde osmose in hoge mate bacteriën en grotere organismen verwijdert, kunnen er nog minimale hoeveelheden virussen en bacteriën door een systeem gaan. Dat komt vooral doordat de integriteit van het membraan nooit 100% is. Er kunnen altijd minimale lekkages door het membraan optreden waar de virussen en bacteriën doorheen kunnen. Bij een minimale LRV is het infectierisico voor virussen en bacteriën hoger dan acceptabel, en ook de DALY voor virus is hoger dan acceptabel. Een extra desinfectiestap is daardoor dus nodig.

### 7.2.2 Aanbevelingen voor de microbiële risicobeoordeling voor de gezondheid van planten

In de risicobeoordeling die wettelijk vereist is volgens de EU verordening 2020/741 wordt geen aandacht besteed aan de risico's voor planten. Dat is echter wel van belang voor de telers, en als zodanig een aanvullende eis.

Om te kunnen vaststellen of de waterbehandeling voldoende is om risico's voor planten te minimaliseren, moet worden vastgesteld in welke mate relevante fytopathogenen voorkomen, wat het effect is van zuiveringsstappen, en wat voor infectierisico er dan optreedt bij de blootstelling. Tabel 7-5 geeft een overzicht van een aantal relevante fytopathogenen voor de Nederlandse tuinbouwsector.

*Tabel 7-5: (Index) pathogenen die een risico vormen voor planten.*

Pathogeen	Groep	Aangetroffen in steekmonsters
<i>Fusarium</i> spp (kve/l)	Schimmel	Max 60

<i>Pythium</i> spp	Oomyceet (waterschimmel)	+
<i>Erwinia</i> spp	Bacterie	+
<i>Agrobacterium rhizogenes</i>	Bacterie	-
<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	Bacterie	-
CGMMV	Virus	+
PMMoV	Virus	-

Deze in Tabel 7-5 genoemde indexpathogenen zijn gemeten in een aantal steekmonsters die genomen zijn uit effluent van RWZI Harnaspolder en RWZI Nieuwe Waterweg (zie paragraaf 6.1.3). Hoewel dit steekmonsters zijn geweest, geeft het wel een indicatie dat fytopathogenen aanwezig kunnen zijn in het effluent. Aangezien het steekmonsters betreft kan niet worden uitgesloten dat organismen die niet zijn aangetroffen ook op andere momenten niet aanwezig zijn. Daarnaast kan de analysemethode invloed hebben op de bevindingen. Zo wordt de aanwezigheid van RNA van PMMoV vrijwel altijd aangetoond met de PCR methode, maar zijn de antigenen van PMMoV bij deze steekproef niet aangetoond met de ELISA methode. Beide methoden geven geen uitsluitel of de aangetroffen organismen ook infecties kunnen veroorzaken of dat ze inactief zijn.

Het effect van de zuiveringsstappen is voor fytopathogenen zelden bekend. Het kan soms wel worden ingeschat op basis van de eigenschappen van het organisme en het principe van de zuivering, en dan vergeleken worden met micro-organismen waarvan de verwijdering wel bekend is.

Er wordt verondersteld dat het merendeel van de pathogenen al wordt verwijderd in een membraanfiltratiestap (omgekeerde osmose). Dit is zo voor humane pathogenen (zie 7.2.1) en hoewel een deel van de fytopathogenen kleiner is dan veel voorkomende humane pathogenen, zullen deze ook voor het merendeel verwijderd worden. De UV behandeling fungeert dan als laatste stap. Om risico's voor mensen te beperken, wordt verondersteld dat een dosis van 20 mJ/cm<sup>2</sup> voldoende is, na de RO behandeling. In Tabel 7-6 is te zien dat de logverwijdering van plantpathogenen bij deze dosis voor de meeste organismen niet groot zal zijn. De virussen zullen het minst verwijderd worden in de filtratiestappen (al zal dat ook log 5.4-6 zijn) en zal de UV stap het meest betrekking moeten hebben op virussen. Een hogere dosis dan 20mJ/cm wordt daarom aangeraden. Hoewel een 9x hogere dosis nodig om dezelfde inactivatie te krijgen, is het niet bekend wat de concentratie van deze pathogenen in het effluent is, en ook niet wat de maximale concentratie mag zijn om infectierisico te minimaliseren. Daarom is het lastig om op voorhand aan te geven wat de benodigde UV dosering moet zijn.

Tabel 7-6: overzicht van UV-C dosis voor inactivatie van enkele relevante fytopathogenen

Organisme	Dosis (mJ/cm <sup>2</sup> )	Log inactivatie	Literatuurverwijzing	Opmerking
<i>Magnaporthe oryzae</i>	630	1	(Urban, Motteram et al. 2011)	Schimmel, meest persistente organisme
<i>Fusarium graminearum</i>	313	1	(Urban, Motteram et al. 2011)	
<i>Fusarium colmorum</i>	171	1	(Urban, Motteram et al. 2011)	
Bacteriën	3,5 – 26,5	3	(Raudales, Parke et al. 2014)	
tomatenmozaïekvirus	100 - 277	3	(Stewart-Wade 2011, Zheng, Dunets and Cayanan 2014)	

Propagules (sporen, zoösporen, conidia) van schimmelorganismen ( <i>Alternaria</i> , <i>Colletotrichum</i> , <i>Fusarium</i> ) en oomycetes ( <i>Phytophthora</i> en <i>Pythium</i> )	10 – 70	3	(Zheng, Dunets and Cayanan 2014)	
Wortelinfectie door nematoden	Voorkomen bij 100, nematoden dood bij 500		(Stewart-Wade 2011)	

Hoewel er ook andere blootstellingsroutes zijn voor pathogenen dan via het irrigatiewater, bijvoorbeeld via handen van werknemers of via insecten, moet blootstelling via water zo klein mogelijk zijn. Dit is nodig om het draagvlak voor gebruik van effluent zo groot mogelijk te houden, en om schade zoveel mogelijk te beperken. Ook kan blootstelling via water, andere blootstellingsroutes, zoals via insecten, vergroten.

Het infectierisico is hiermee nog niet vastgesteld. Dit is van vele factoren afhankelijk zoals onder andere de plantgezondheid, de samenstelling van de bodem, en natuurlijk de mate van blootstelling. Er wordt vanuit gegaan dat de planten onbeperkt worden geïrrigeerd met het opgewerkte effluent. Daarmee is de blootstelling dus hoog, en de kans op infectie ook. Vanuit het voorzorgsprincipe wordt er nu daarom vanuit gegaan dat de verwijdering dus zeer hoog zal moeten zijn.

### 7.2.3 Aanbevelingen voor de chemische risicobeoordeling voor de gezondheid van mens en milieu

In de teelt van planten in kassen worden soms gewasbeschermingsmiddelen toegepast. Hieraan worden strikte eisen gesteld om te voorkomen dat deze een risico vormen voor de consument. Dit zijn eisen die betrekking hebben op de toelating van het middel, dus welk middel is toegestaan om toe te passen op welke plantensoort, eisen aan het moment van toepassing, bijvoorbeeld niet meer in de laatste periode voor het oogsten, en de hoeveelheden die worden gedoseerd. Op die manier worden de risico's voor de consument beperkt. In effluent zijn zeer veel stoffen aanwezig, die mogelijk een risico zouden kunnen vormen voor mens en milieu, zie hoofdstuk 6.1.1. Wanneer de aanvullende zuivering bestaat uit membraanfiltratie met omgekeerde osmose, worden deze stoffen voor het merendeel verwijderd. Als er dan aanvullend nog een desinfectiestap wordt toegevoegd, kan dat organische verontreinigingen nog verder verwijderen. Bij toepassing van oxidatieve technieken, zoals ozon, UV en  $H_2O_2$  kunnen ongewenste desinfectiebijproducten ontstaan die toxiciteit kunnen veroorzaken (Muñoz, Rodríguez et al. 2009, Altmann, Schaar et al. 2012, Park, Choi et al. 2016, Luan, Liu et al. 2020). De dosis die nodig is voor desinfectie, is over het algemeen lager dan de dosis die nodig is voor afbraak van stoffen. Wanneer eerst geavanceerde oxidatie wordt toegepast, worden organische microverontreinigingen geminimaliseerd en kunnen afbraakproducten worden verwijderd in de navolgende RO.

Microverontreinigingen, ook die in effluent worden aangetroffen, vormen een groep zeer diverse stoffen met een uiteenlopende herkomst en een grote diversiteit aan fysisch-chemische eigenschappen en toxiciteit. De klassieke risicobeoordeling van stoffen geschiedt op basis van blootstelling en giftigheid (toxiciteit). Hierbij is het risico op een toxisch effect het quotiënt van de concentratie van de stof in water of voedsel, gemeten met doelstofanalyses, en de effectconcentratie of normwaarde. Op deze manier kan er voor elke stof die wordt aangetroffen bepaald worden of deze een aannemelijk chemisch risico met zich meebrengt. Hiervoor moeten wel betrouwbare normen of effectconcentraties voor de stof beschikbaar zijn. Deze normen of effectconcentraties zijn afhankelijk van de blootstellingsroute (bijvoorbeeld voedsel of water) en het beschermdoel (bijvoorbeeld mensen of organismen in oppervlaktewater). Stofnormen worden afgeleid en beschikbaar gesteld door verschillende landelijke en internationale organisaties, zoals bijvoorbeeld het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), The European Food Safety Authority (EFSA), en The World Health Organization (WHO). Ook heeft de Nederlandse



overheid een beleid wat zich richt op het voorkomen of beperken van zeer zorgwekkende stoffen (ZZS) in de leefomgeving (het ZZS beleid). De aanpak van ZZS emissies van bedrijven bestaat uit minimalisatie door bronaanpak en reductiemaatregelen en een continu proces om te kijken of dit beter kan. Op deze manier kan de combinatie van doelstofanalyses en toetsing aan stofnormen een toegankelijke en gestandaardiseerde wijze bieden om op regelmatige basis de chemische kwaliteit van water en voedsel te monitoren.

Stofmengsels die worden aangetroffen in het milieu en met name in effluent zijn zeer complex en bevatten veel verbindingen en afbraakproducten die niet met reguliere doelstofanalyses gemeten kunnen worden. Om een completer beeld van de aanwezigheid van die stoffen te krijgen kunnen geavanceerde chemisch-analytische methoden op basis van 'high-resolution mass spectrometry' (HRMS) in combinatie met gas- of vloeistofchromatografie worden toegepast, zoals 'suspect screening' en 'non-target screening' (NTS). Deze technieken kunnen een veel breder scala aan stoffen identificeren op basis van hun chromatografische doorlooptijd, massa en molecuulformule. De afgelopen jaren is NTS met sprongen vooruitgegaan, en inmiddels zijn er grotendeels geautomatiseerde data-analyses beschikbaar die de identificatie van soms wel duizenden 'features' in een enkel monster mogelijk maken. Aan deze features kunnen vervolgens weer bekende stoffen gekoppeld worden. Helaas is NTS vooralsnog grotendeels kwalitatief van aard, en hoewel concentraties steeds betrouwbaarder op basis van NTS-data geschat kunnen worden, moet er nog rekening gehouden worden met enige mate van onzekerheid. Ook is er voor heel veel stoffen die met NTS gedetecteerd worden geen toxicologische informatie beschikbaar, wat risicobeoordeling in de weg staat. In deze gevallen kan toxicologische informatie voor nieuwe stoffen geschat worden op basis van computermodellen, ook wel bekend als *in-silico* toxicologie. Dit geschiedt dan op basis van de molecuulformule van de stof, welke wordt vergeleken met stoffen waarvoor wél toxicologische informatie beschikbaar is (read-across) of met bepaalde molecuulstructuren waarvan bekend is dat ze toxiciteit kunnen veroorzaken (quantitative structure-activity relationships; QSAR). Deze modellen worden voornamelijk toegepast als ondersteuning voor chemische risicobeoordeling. Voor onbekende stoffen kan in veel gevallen wel gebruik gemaakt worden van de conservatieve Threshold-for-Toxicological-Concern (Mons, Heringa et al. 2013).

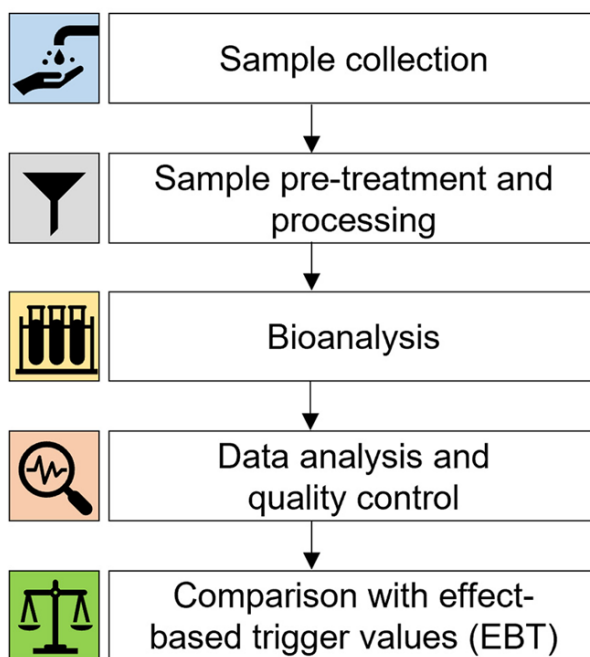
Een klassieke chemische risicobeoordeling wordt dus gebaseerd op de bekende stoffen die in een monster worden gemeten én waarvoor normen beschikbaar zijn. Steeds meer stoffen kunnen gedetecteerd worden dan voorheen, maar voor het merendeel van de stoffen is te weinig volledige toxicologische informatie beschikbaar is om een gedegen chemische risicoanalyse uit te voeren. Een groot deel van de stoffen die (mogelijk) aanwezig zijn in effluent kunnen dus niet worden beoordeeld met een klassieke chemische risicobeoordeling. Daarnaast is de risicobeoordeling van mengsels van stoffen complex omdat sommige stoffen elkaars toxiciteit versterken, terwijl andere stoffen elkaars toxiciteit juist verminderen. Het simpelweg optellen van de risicoquotiënten van individuele stoffen geeft daardoor een onvolledig beeld van de totale toxiciteit van een complex mengsel van microverontreinigingen zoals die worden aangetroffen in effluent.

Een oplossing hiervoor ligt in het gebruik van effect gebaseerde methoden, ook wel bekend als 'bioassays'. In bioassays wordt een biologisch systeem blootgesteld aan (een mengsel van) chemische stoffen in een watermonster, of een extract daarvan. Het systeem kan bestaan uit levende organismen (*in vivo*) of uit moleculen, cellen of weefsels (*in vitro*). Een bioassay kan een directe indicatie van toxiciteit geven (bv. verminderde groei, sterfte), of een indirecte maat zijn voor het effect (bv. fluorescentie, luminescentie). In de gekozen bioassay kan een kwantitatief of kwalitatief/binair (uit/aan) effect worden gemeten, waaraan verschillende conclusies kunnen worden verbonden. Sommige bioassays kunnen generieke toxiciteit meten (bv. sterfte, populatie-groei), terwijl andere bioassays een specifiek type toxiciteit meten die hoort bij een functionele of fysiologische verandering op cellulair niveau, bijvoorbeeld het blokkeren van fotosynthese of het activeren van een moleculair proces in een cel. Bij deze laatste spreken we van specifieke werkingsmechanismen. Het werkingsmechanisme kan voorspellend zijn voor een nadelig effect op mensen of organismen in het milieu, waaronder gewassen. Stofgroepen die een specifiek werkingsmechanisme activeren kunnen op basis van bioassays met hetzelfde specifieke

werkingsmechanisme samen worden gemeten. De gemeten responsen van bioassays op monsters kunnen vervolgens vergeleken worden met beschikbare signaalwaarden. Deze zogenaamde effectsignaalwaarden (ESWs) (effect-based trigger values [EBTs] in het Engels) functioneren daarmee net als normen voor individuele stoffen, maar beslaan de activiteit van alle stoffen die actief zijn in de gekozen bioassay, ongeacht of ze bekend zijn en of er individuele normen voor deze stoffen beschikbaar zijn. Op deze manier kan het gebruik van bioassays een oplossing bieden voor de beperkingen die komen kijken bij chemische risicobeoordeling o.b.v. stofconcentraties en normen. Uiteindelijk geeft de combinatie van chemische risicobeoordeling o.b.v. stofconcentraties en effectmetingen gezamenlijk het meest volledige en betrouwbare beeld van chemische waterkwaliteit.

Een combinatie van chemisch- en effect-gebaseerde metingen kan ingezet worden om de chemische risico's voor mens en milieu te bepalen bij het gebruik van effluent voor de irrigatie van de glastuinbouw. Chemische doelstofanalyses zullen een beeld geven van de eventuele risico's veroorzaakt door de aanwezigheid van bekende stoffen. Recent is een lijst met relevante doelstoffen in de context van effluent hergebruik voor irrigatie opgesteld door het RIVM (zie paragraaf 6.1.1 en Tabel 6-1 en Tabel 6-2) (Swartjes, Berg et al. 2023). Voor de stoffen op deze lijst waarvoor kwaliteitsnormen beschikbaar zijn (zowel humaan als voor milieu) kunnen gedetecteerde stofconcentraties in effluent met deze normen vergeleken worden. In bijlage III wordt toegelicht hoe een set bioassays gekozen kan worden, en hoe de meetresultaten geïnterpreteerd kunnen worden. Daarnaast kunnen bioassays worden gebruikt om de schadelijkheid van specifieke stoffen in effluent te onderzoeken, als hier onvoldoende informatie over beschikbaar is. In een deelproject zijn de nadelige effecten van specifieke stoffen die in effluent kunnen worden aangetroffen onderzocht op het kiemen van planten. De resultaten hiervan worden beschreven in Bijlage IV).

### Simplified EBM workflow



Figuur 7-6: Workflow voor het gebruik van effectmetingen voor waterkwaliteitsbepaling. Overgenomen uit Neale et al. (2022).

Als uit de risicoanalyse blijkt dat er chemische risico's in het hergebruik systeem bestaan moet er over worden gegaan tot actie. In het geval van een overschrijding van een risicogrens eist de EU-wetgeving in principe dat de

producten niet geconsumeerd dienen te worden totdat preventiemaatregelen zijn genomen en het systeem weer naar behoren werkt en de risicogrenzen niet langer overschreden worden.

### 7.3 Conclusies en aanbevelingen voor een monitoringsplan (module III)

Adequate operationele procedures en programma's voor kwaliteitsbewaking moeten aanwezig zijn en worden gehandhaafd om te garanderen dat de behandeling continu naar behoren functioneert. Dit gaat verder dan het controleren op *E. coli* of fecale coliformen, die relatief gemakkelijk door behandeling kunnen worden verwijderd. Deze hele aanpak moet worden ingebed in een Sanitation Safety Plan (SSP voor onbeperkte irrigatie) of Water Safety Plan (WSP voor direct drinkbaar hergebruik).

Om de risico's die in de risico-analyse naar voren zijn gekomen, te beperken wordt gekozen voor een gedegen waterbehandeling. Om te controleren of de risico's inderdaad laag zijn, moet gemonitord worden of het behandelingsproces voldoende werkt, en of de geleverde waterkwaliteit aan de gestelde eisen voldoet.

In Tabel 5-1 zijn de waterkwaliteitseisen beschreven waar het water aan moet voldoen. Dit zijn vooral chemische kwaliteitseisen aangevuld met eisen voor *E. coli* en coliformen.

In zowel de WHO "Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater - Volume 2: Wastewater use in agriculture" als de EU "REGULATION (EU) 2020/741 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 25 May 2020 on minimum requirements for water reuse" wordt geen minimum monitoring frequentie voor microverontreinigingen gegeven. In beide kaders wordt onderscheid gemaakt tussen drie typen monitoring: 1) validatie, 2) operationele/routinematige, en 3) verificatie monitoring. Deze drie typen monitoring worden onderscheiden in Water Safety Plans en Sanitation Safety Plans van de WHO.

#### 7.3.1 Validatie monitoring

Tijdens het in gebruik nemen van een installatie, moet een validatiemonitoring gedaan worden, om aan te tonen dat de installatie de minimale waterkwaliteit behaalt. Wanneer de installatie in bedrijf wordt genomen, moeten een aantal (operationele) parameters gemonitord worden. Dit is vooral bedoeld om de werking van de zuivering, bij ingebruikname of na aanpassingen, te waarborgen. De verordening stelt eisen aan de validatiemonitoring, vooral gericht op de verwijdering van micro-organismen, zie Tabel 7-7. Eisen die een afnemer (teler) of exploitant verder nog kunnen stellen, is dat de volledig overeengekomen te leveren waterkwaliteit (zoals beschreven in Tabel 5-1) gehaald kan worden. Validatiemonitoring verschilt van de reguliere routinematige controle die door de exploitant wordt uitgevoerd om ervoor te zorgen dat het behandelingsproces voldoet aan de eisen van de verordening. De combinatie van chemisch- en bioanalytische monitoring van microverontreinigingen kan binnen die kaders het meest effectief worden toegepast binnen validatie en verificatie monitoring om de kwaliteit van het irrigatiewater te controleren, zowel vóór de ingebruikname van het systeem als periodiek om te controleren of het systeem nog naar behoren de chemische risico's tot een acceptabel niveau beperkt. Validatiemonitoring kan eenmalig uitgevoerd worden als het systeem in gebruik wordt genomen, om de kwaliteit van het effluent te controleren. Daarbij zal het chemische risico acceptabel moeten zijn, wat betekent dat zowel chemisch- als bioanalytisch de normen en/of ESW niet overschreden worden.

Tabel 7-7: validatiemonitoring van teruggewonnen water voor landbouwirrigatie (EU 2020).

Kwaliteitsklasse teruggewonnen water	Indicator micro-organismen (*)	Prestatiestreefwaarden voor de zuiveringsketen (log <sub>10</sub> -reductie)
A	<i>E. coli</i>	≥ 5,0
	Totaal aantal colifagen/F-specifieke colifagen/somatische colifagen/colifagen (**)	≥ 6,0
	<i>Clostridium perfringens</i> -sporen/sporenvormende sulfaatreducerende bacteriën (***)	≥ 4,0 (bij sporen van <i>Clostridium perfringens</i> ) ≥ 5,0 (bij sporenvormende sulfaatreducerende bacteriën)

(\*) De referentiepathogenen *Campylobacter*, rotavirus en *Cryptosporidium* kunnen ook in plaats van de voorgestelde indicator micro-organismen voor validatiemonitoringdoeleinden worden gebruikt. Daarbij zijn dan de volgende log<sub>10</sub>-reductiestreefwaarden van toepassing: *Campylobacter* (≥ 5,0), rotavirus (≥ 6,0) en *Cryptosporidium* (≥ 5,0).

(\*\*) Totaal aantal colifagen wordt geselecteerd als de meest geschikte indicator voor virussen. Indien het echter niet mogelijk is om het totaal aantal colifagen te analyseren, wordt ten minste één ervan (F-specifieke of somatische colifagen) geanalyseerd.

(\*\*\*) Sporen van *Clostridium perfringens* worden geselecteerd als de geschiktste indicator voor protozoa. Sporenvormende sulfaatreducerende bacteriën vormen echter een alternatief indien de concentratie *Clostridium perfringens*-sporen het niet mogelijk maakt om de gewenste log<sub>10</sub>-verwijdering te valideren.

De analysemethoden voor monitoring worden gevalideerd en gedocumenteerd in overeenstemming met EN ISO/IEC-17025 of andere nationale of internationale normen die dezelfde kwaliteit waarborgen.

### 7.3.2 Operationele monitoring

Wanneer het systeem eenmaal water levert zal regelmatig gecontroleerd moeten worden of de waterkwaliteit daadwerkelijk voldoet. Dit wordt operationele monitoring genoemd. Er is in het kader van het project 'borging effluent voor de glastuinbouw' een exceltabel ontwikkeld met daarin aangegeven welke parameters gemeten moeten worden. Ook de frequentie van monitoring, de locatie van monitoring, en indien beschikbaar, de methode, zijn aangegeven. In bijlage 0 is een stukje van de excel gegeven. Er wordt onderscheid gemaakt in parameters die bedoeld zijn om het zuiveringsproces te monitoren, en in parameters die bedoeld zijn om de geleverde waterkwaliteit te monitoren. In de verordening worden alleen minimumfrequenties gegeven voor de monitoring van *E.coli*, rondwormen, *Legionella*, TSS, BZV en troebelingsgraad. Om zeker te weten dat het water geschikt is voor gebruik als gietwater, wordt aanbevolen meer parameters te monitoren, zie de excel.

Door de WHO en EU wordt enkel geëist dat de chemische kwaliteit van het effluent ná behandeling en vóór hergebruik bepaald wordt. Hiervoor kan dan ook het productwater vlak vóór gebruik voor bevloeiing in de kas bemonsterd worden. In dat geval kunnen de stofnormen en effect signaalwaarden voor humane blootstelling gehanteerd worden (waar deze beschikbaar zijn). Al wordt dit niet expliciet geëist door de WHO en EU, is het relevant om water dat uit de kassen op oppervlaktewater wordt geloosd ook te onderwerpen aan een chemische risicobeoordeling, ditmaal om eventuele nadelige effecten op het milieu in kaart te brengen. In bijlage IV wordt beschreven hoe bioassays kunnen bijdragen aan het monitoren van effecten op milieu, maar ook op enkele mensgerelateerde effecten. Dit kan effectief gedaan worden met de basis set bioassays uit **Error! Reference source not found.** in bijlage IV. Daarvoor kunnen dan ook de stofnormen en effectsignaalwaarden voor het milieu toegepast worden.

Een chemische risicobeoordeling kan via verschillende wegen bereikt worden. In het geval van het hergebruik van gezuiverd afvalwater wordt geadviseerd een combinatie van doelstofanalyses en effectmetingen toe te passen. Dit zal ingezet worden voor eenmalige verificatiemonitoring bij ingebruikname van het systeem, en periodieke validatie monitoring om de werking van het systeem te controleren. De frequentie van validatie monitoring zal tussen per kwartaal en tweejaarlijks liggen. Voor beide typen monitoring wordt geadviseerd dit te doen in zowel het productwater vlak vóór gebruik voor bevloeiing in de kas als het water dat uit de kassen op oppervlaktewater wordt

geloosd. Zo worden de risico's voor mens en milieu in het hergebruik systeem in kaart gebracht. Voor beiden typen monitoring zal een vast protocol gevolgd worden, dat bestaat uit de bemonstering, analyse, en interpretatie van de resultaten. Een workflow voor effectmetingen is weergegeven in Figuur 7-6, maar deze is ook grotendeels indicatief voor doelstofanalyses. In dit laatste geval wordt "Bioanalysis" de daadwerkelijke doelstofanalyse door middel van gas- en/of vloeistofchromatografie en worden de uitkomsten niet vergeleken met ESWs maar met stofnormen.

De waterkwaliteit binnen een waterhergebruik systeem kan in de loop van de tijd veranderen tijdens opslag en transport als gevolg van fysische, chemische en microbiële processen. Dit kan leiden tot een verbetering van de waterkwaliteit (bijvoorbeeld door sedimentatie of langdurigeblootstelling aan chloorresten), maar kan ook ongewenste effecten hebben.

Groei van opportunistisch pathogene micro-organismen zoals Legionella, niet-tuberculeuze mycobacteriën en *Naegleria fowleri* of pathogene schimmels kan onder gunstige omstandigheden optreden. Dit brengt extra risico's met zich mee wanneer het water wordt opgeslagen en gebruikt, b.v. wanneer irrigatiewater wordt gespreid, kunnen aërosolen met Legionella lange afstanden door de lucht afleggen, mensen besmetten door inademing en ernstige longontsteking veroorzaken. Microbiële groei kan ook meer praktische problemen veroorzaken, zoals verstopping van druppelinfiltratiesproeiers, verhoogde corrosie of slechte geuren tijdens irrigatie. Het beheersen van deze risico's en problemen vereist niet alleen een adequate verwijdering van microbiële en chemische verontreinigingen tijdens de behandeling, maar ook een goed ontwerp en beheer tijdens de distributie.

Chemische instabiliteit kan leiden tot agressief water, waardoor corrosie of oplossing van leidingmaterialen kan ontstaan. Het kan ook kalkaanslag veroorzaken, wat kan leiden tot verstopping van sproeiers of defecten aan apparatuur. Het is goed om veranderingen en mogelijke effecten op het watersysteem goed in de gaten te houden.

### 7.3.3 Verificatie monitoring

Verificatie monitoring moet periodiek uitgevoerd worden, om de voortdurende werking van het hergebruik systeem te controleren, maar een frequentie hiervoor wordt aan de gebruikers en lokale overheden zelf gelaten. In Neale et al. (Neale, Escher et al. 2022) wordt voor verificatiemonitoring voor microverontreinigingen eens per kwartaal tot tweejaarlijks geadviseerd. Er kan voor gekozen worden dit bij ingebruikname per kwartaal te doen om een goed beeld van eventuele fluctuaties in het systeem te krijgen, waarbij de frequentie tot jaarlijks of tweejaarlijks teruggeschroefd kan worden als het systeem telkens voldoet aan de eisen voor chemische kwaliteit. Ook voor microbiologie kan het zinvol zijn om extra metingen uit te voeren als verificatie. *E. coli* (indicator voor microbiologische ziekteverwekkers) is veel gevoeliger voor desinfectieprocessen dan sommige virussen en de meeste protozoa en sporevormende bacteriën. Het is wenselijk om ook een norm op te leggen voor bacteriofagen en sporen voor alle waterkwaliteitsklassen. Deze parameters staan wel genoemd om mee te nemen bij de validatiemonitoring voor klasse A. Eventueel kan ook gedacht worden aan een norm voor adenovirus of norovirus, aangezien deze prominent aanwezig zijn in afvalwater. Daarnaast is adenovirus redelijk resistent voor UV-desinfectie en dus een kritische parameter. Ook worden fytopathogenen niet gemeten tijdens de operationele monitoring. Echter, doordat de gevoeligheid voor bepaalde waterbehandelingsprocessen anders is dan die van *e. coli*, kan het zinvol zijn om periodiek te controleren in hoeverre deze in het gietwater aanwezig zijn.

## 8 Sensoren voor procesbewaking

### 8.1 Inleiding

In hoofdstuk 7.2 is vastgesteld dat de methode om effluent van afvalwater zuiveringsinstallaties voldoende te reinigen en geschikt te maken voor gebruik als irrigatiewater in de glastuinbouw, minimaal reversed osmose (RO) bevat. Bij het verwerken van effluent d.m.v. RO installaties moet een kwaliteitsbewaking ingebouwd kunnen worden die tijdig al dan niet automatisch de toevoer van RO behandeld effluent stopt indien de kwaliteit gecompromitteerd wordt. De kwaliteit van de output van zo'n behandelingsinstallatie dient geborgd te zijn. On-line sensoren om de kwaliteit van water te kunnen meten zijn moeilijk te definiëren, immers wat is kwaliteit. De kwaliteit van behandeld effluent middels RO wordt bepaald door twee zaken. Enerzijds de inherent eigenschappen van het membraan. Ondanks dat RO permeaat (het water wat door het RO membraan heen gekomen is) een hoge zuiveringsgraad heeft zijn er toch chemische stoffen die door het membraan heen kunnen diffunderen (zie 6.3). Dit is een inherente eigenschap en daar kan door keuze van het membraan invloed op uitgeoefend worden. Een ander aspect is de fysieke lekkage van het membraan. Indien scheurtjes of gaten in het membraan vallen kan het onbehandelde effluent in het product terecht komen. Hier kunnen dan virussen en bacteriën in zitten maar ook hogere concentraties chemische stoffen. Dit brengt dan naast chemische risico's ook microbiologische risico's met zich mee. In dit werkpakket zijn de mogelijkheden onderzocht om het RO permeaat op dusdanig niveau te monitoren dat het ontstaan van lekkages in het RO membraan in een zo vroeg mogelijk stadium wordt gedetecteerd. Het zijn daarmee sensoren die de integriteit van het proces, RO, bewaken.

Voor het monitoren van RO behandeld effluent zijn sensoren en/of meetsystemen nodig. De twee belangrijke aspecten, de inherente lekkage en de accidentele lekkage. De inherente lekkage bepaalt het start niveau voor detectie. Voor het detecteren van accidentele lekkage kan een threshold gezet worden mits de variatie in de inherente lekkage niet groter is dan de gewenste threshold.

In een review studie van Raich et al. van 2013 (Raich 2013) zijn in het kader van het EC project "Review of sensors to monitor water quality", meetinstrumenten op papier geëvalueerd die de state of the art van zowel de chemische als microbiologische meetsystemen van oppervlaktewaterkwaliteit behandelen. De conclusie van deze studie was dat geen van de beoordeelde systemen in staat zou zijn om op een adequate manier de waterkwaliteit van oppervlakte water te beoordelen. Vooral het testen, evalueren en beoordelen van waterkwaliteit wordt gezien als een groot probleem.

Het beoordelen van RO behandeld effluent bevindt zich naar alle waarschijnlijkheid in een ander domein. Virussen, bacteriën, organische stoffen en anorganische stoffen, opgeloste zouten zullen in veel lagere concentraties aanwezig zijn. Toch zullen eisen en natuurlijk fluctuatie een rol spelen.

Hornstra et al. (Hornstra, Rodrigues da Silva et al. 2019) hebben een methode getest om met qPCR gebruik te maken van natuurlijke virussen om een simpele methode te ontwikkelen die de integriteit van RO membranen tot aan een LOG verwijdering van 7 kon bepalen. Deze aanpak wordt ook in dit project in een oriënterend onderzoek bestudeerd.

In dit hoofdstuk wordt eerst een overzicht gegeven van sensoren die gebruikt kunnen worden voor de procesbewaking van RO installatie, gericht op membraanintegriteit (8.2). Vervolgens worden de resultaten

gepresenteerd van de experimenten die gedaan zijn met de sensor van Optiqua-Demcon, gebaseerd op een interferometer 8.3.1) en de resultaten van de fluorescentiemetingen (8.3.2).

## 8.2 Keuze van parameters en technieken

Voor de keuze van geschikte parameters is een indeling op hoofdniveau gemaakt van relevante generieke waterkwaliteitsparameters die gemeten kunnen worden en de mogelijke technieken die geschikt zijn als meettechniek, deze is weergegeven in Tabel 8-1.

Eisen aan deze technieken zijn wel dat ze in-line kunnen worden toegepast.

Tabel 8-1: Generieke parameters en mogelijke meetmethodes

Parameter	Organische stoffen	Ionen/Zouten	Bacteriën	Virussen	Vaste deeltjes
Geleidbaarheid	-	+	-	-	-
Fluorescentie	+	-	+	?	-
Brekingindex	+	+	-	-	-
Verstrooiing	-	-	+	+	+

Op basis van deze indeling kan geconcludeerd worden dat geen van de technieken alle parameters direct kan meten. Toch zal een adequate techniek om organische stoffen of ionen/zouten te meten waarschijnlijk ook een early-warning zijn voor virussen en bacteriën mits de gevoeligheid van deze technieken voldoende hoog is. (Hornstra, Rodrigues da Silva et al. 2019) heeft in zijn literatuuronderzoek naar de eisen die gesteld moeten worden aan zo'n meettechniek gevonden dat er minstens een 10log verwijdering van 4 voor virussen gedetecteerd moet kunnen worden.

Literatuuronderzoek heeft twee meettechnieken opgeleverd die potentieel geschikt zijn om de accidentele lekkages adequaat, on-line en op voldoende hoge gevoeligheid te kunnen detecteren. Dit zijn de Mach Zehnder geïntegreerde optische sensor van Optiqua/Demcon die al toegepast wordt in waterleidingen en bovendien ook getest is in het onderzoek van Raich (Raich 2013). Deze meetmethode meet de opbouw en verandering van dubbellagen op het oppervlak van een geïntegreerd optisch sensor.

Een tweede potentieel gevoelige methode is fluorescentie detectie. Een significant deel van de inherent aanwezige organische stoffen in effluent is fluorescent en omdat fluorescentie een van de meest gevoelige, directe meetmethodes (directe detectie op ng/l niveaus van organische stoffen is haalbaar) is dit potentieel een interessante meettechniek voor deze toepassing.

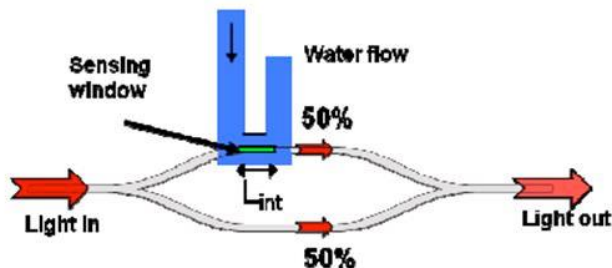
Met bestaande apparatuur bij Sendot en bij Optiqua/Demcon zijn oriënterende metingen gedaan en verdunningsreeksen van effluent om te bepalen of deze geschikt zijn.

## 8.3 Resultaten sensor-experimenten

### 8.3.1 Samenvatting Demcon/Optiqua resultaten



Het principe van Eventlab van Optiqua is gebaseerd op een geïntegreerd optische interferometer techniek die heel gevoelige brekingsindexverandering aan het oppervlak van de interferometer kan meten zoals weergegeven in Figuur 8-1.



Figuur 8-1: Principe van Mach Zehnder interferometer sensor

Bij het sensing window wordt het apparaat blootgesteld aan het te meten "monster". Bij deze techniek is vooral het evenwicht dat zich instelt door de vorming van elektrische dubbellen de basis van de meting. Bij een bepaalde samenstelling van monster stelt zich een evenwicht in dat verstoort wordt op het moment dat de ionogene samenstelling van de vloeistof verandert.

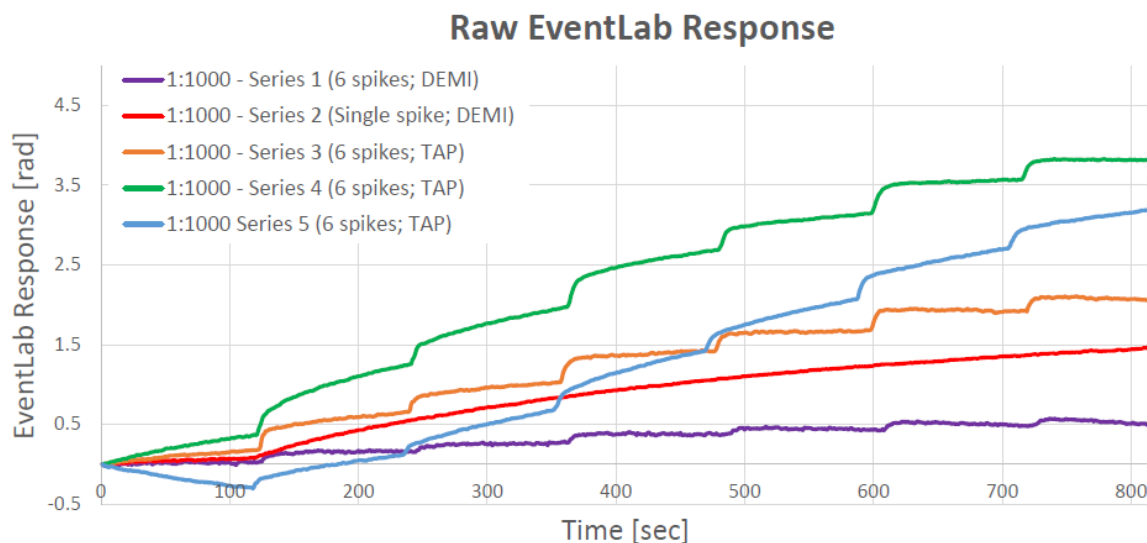
De apparatuur van Optiqua (Eventlab) is weergegeven in Figuur 8-2



Figuur 8-2: Meetapparatuur Optiqua Eventlab

Om te bepalen hoe gevoelig deze apparatuur is voor lekkages van RO membranen zijn verdunningsreeksen gemeten van een sample effluent. Dit is gedaan door te verdunnen in kraanwater en in demiwater. Omdat RO water meer lijkt op demiwater zijn die resultaten het meest relevant. Resultaten van 1:1000 spikes zijn weergegeven in Figuur 8-3.

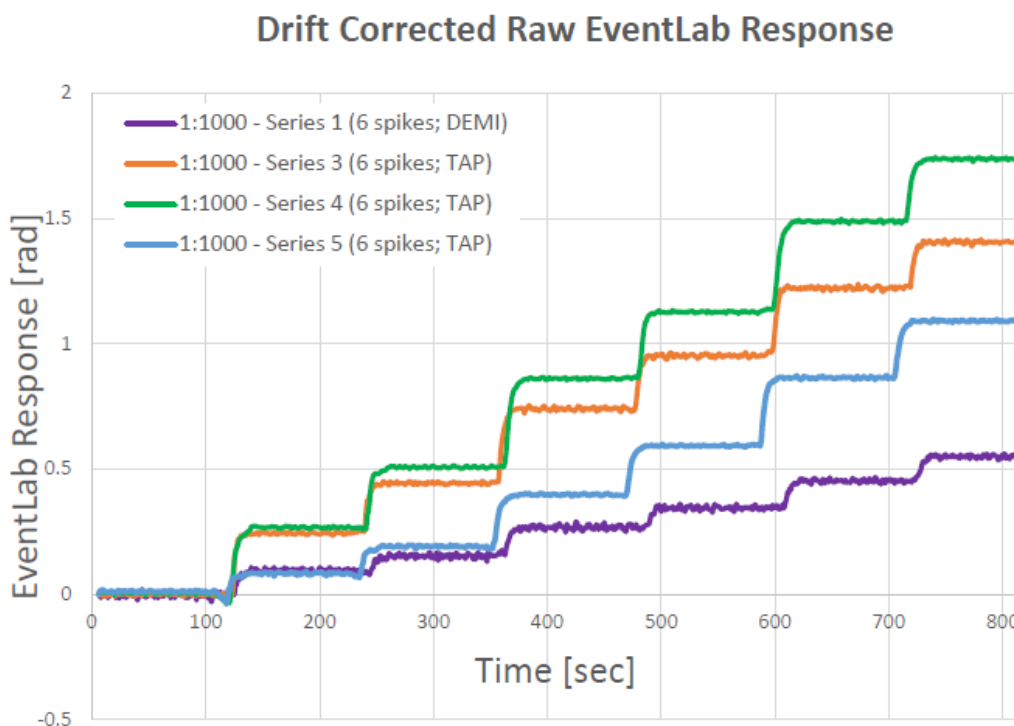




Figuur 8-3: Resultaten van 1: 1000 spikes in demi- en kraanwater

Vooral de rode curve is interessant, Dit is namelijk een 1:1000 spike in demiwater. Hier is duidelijk zichtbaar dat het systeem zich bij demiwater slechts heel langzaam instelt.

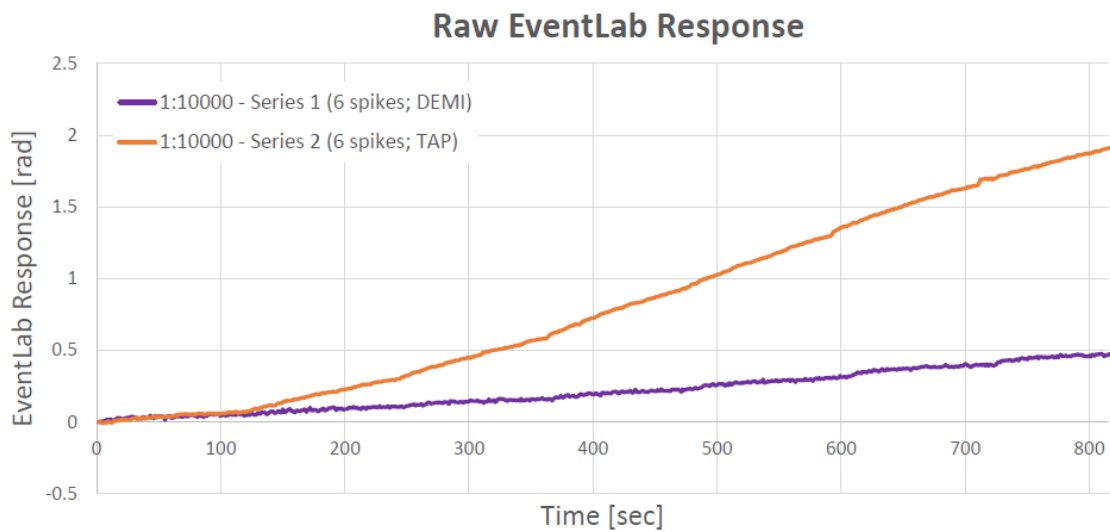
Als er voor de “schijnbare” drift wordt gecorrigeerd dan ontstaan responscurves als weergegeven in Figuur 8-4:



Figuur 8-4: “Drift” gecorrigeerde responscurves van figuur 6-3

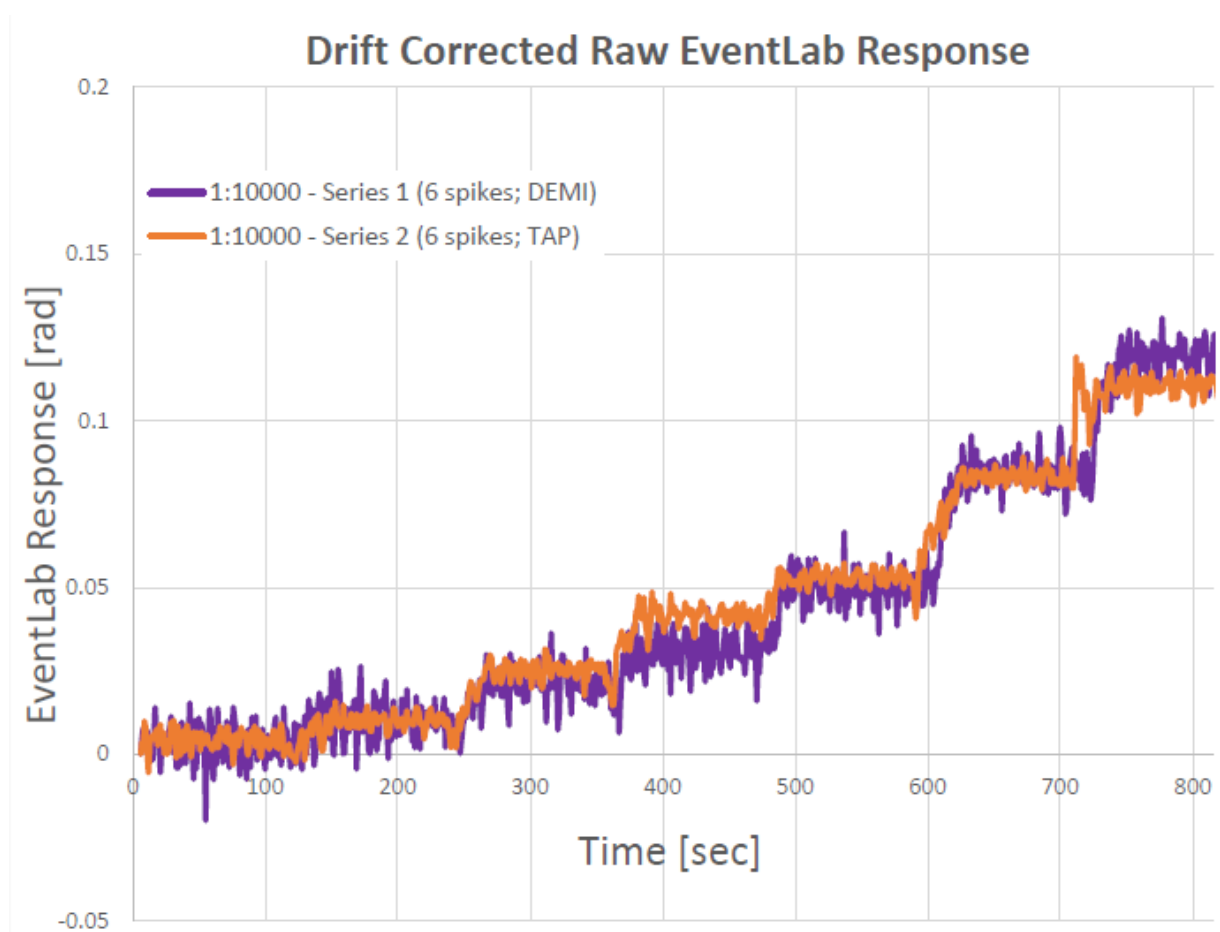
Uit Figuur 8-4 blijkt duidelijk dat de gevoeligheid van de techniek voor de verschillende verdunningsmedia en verschillende situaties veel varieert.

Resultaten van nog verdere verdunningsexperimenten in demi en kraanwater zijn weergegeven in figuur 5.



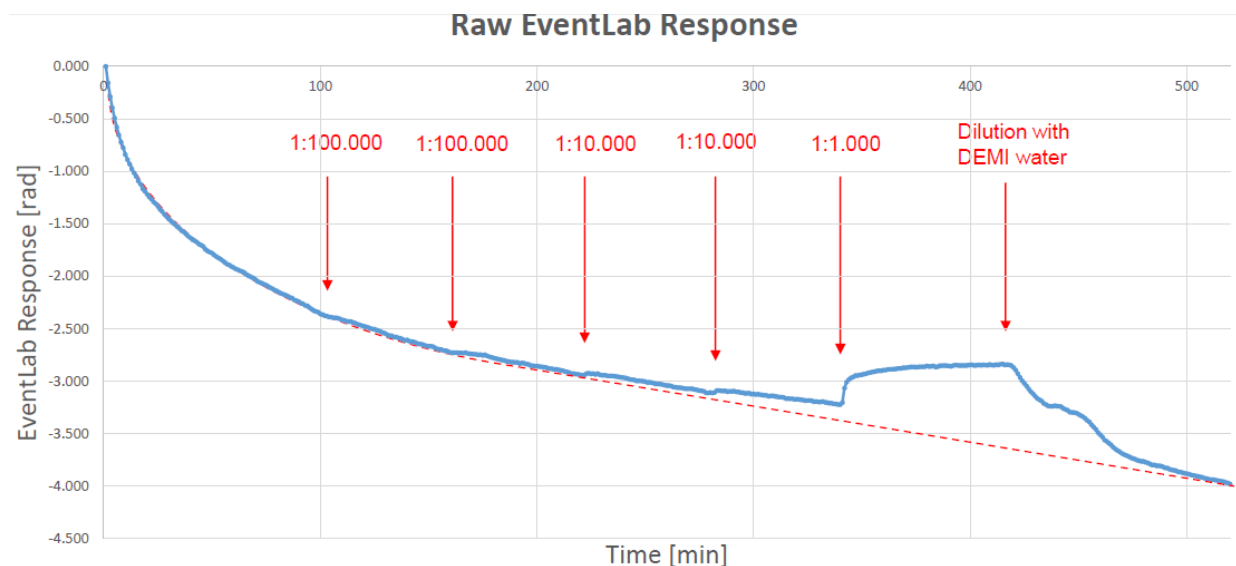
Figuur 8-5: 1:10000 verdunning spikes in Demi en Kraanwater

Uit Figuur 8-5 blijkt duidelijk dat bij nog hogere verdunningen van Effluent de schijnbare drift op de gehanteerde tijdschaal de respons van het systeem volledig maskeert. Alleen na heftige correctie is de respons enigszins zichtbaar te maken (Figuur 8-6).



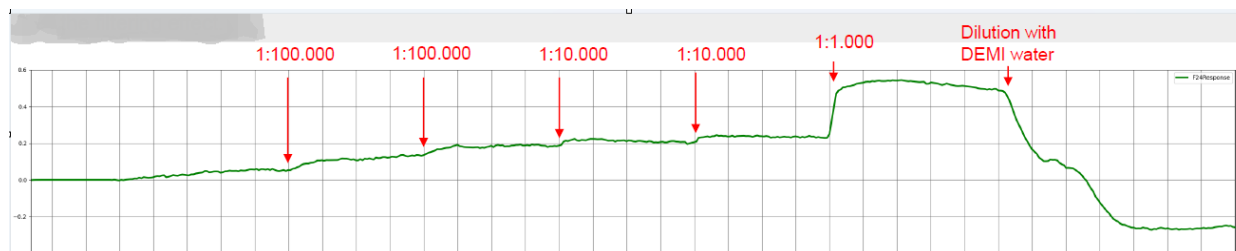
Figuur 8-6: Drift gecorrigeerde resultaten van 1: 10000 spike experimenten

Omdat er mogelijk sprake zou kunnen zijn van een langzame evenwichtinstelling en er wellicht te kort (100s) gewacht is op een stabiel signaal is nogmaals een experiment opgezet met langere tijd tussen de verschillende spikings (Figuur 8-7).



Figuur 8-7: Langere periode om evenwicht te bereiken

De drift gecorrigeerde respons is weergegeven in Figuur 8-8



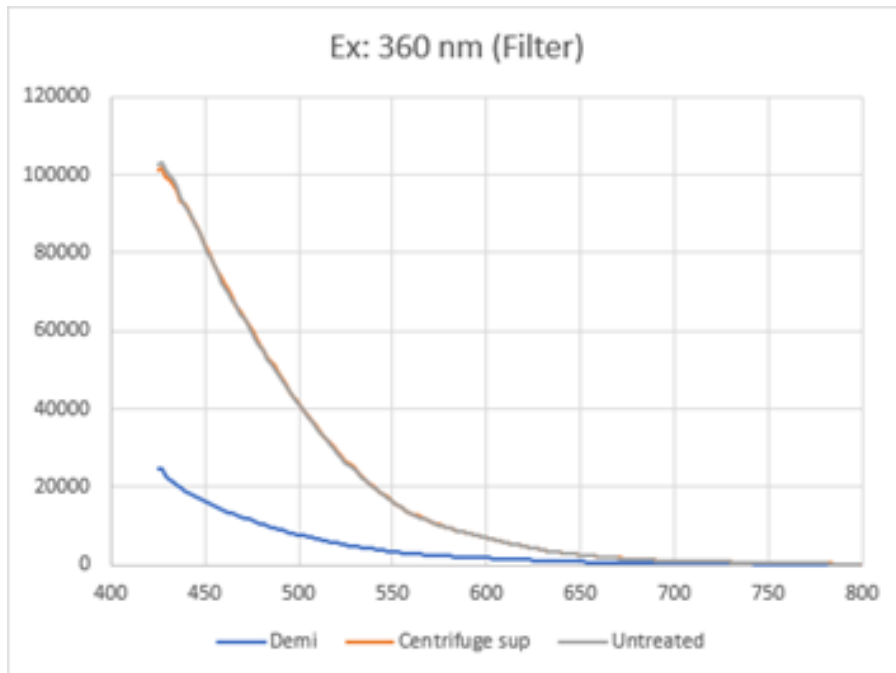
Figuur 8-8: Drift gecorrigeerde respons van experiment in figuur 6-7

Uit deze figuur blijkt duidelijk dat bij deze hoge verdunningen de drift in het systeem problematisch is voor de detectie van effluent lekkage. De respons is verre van lineair en het is onmogelijk om de drift te onderscheiden van eventuele lekkage.

### 8.3.2 Samenvatting fluorescentie metingen

Bij fluorescentie metingen wordt gebruik gemaakt van het fenomeen dat bepaalde stoffen aangestraald met excitatie licht, licht uitzenden met een langere golflengte. In de natuur en dus ook in effluent zijn er veel fluorescente stoffen. Een bekende klasse van fluorescente stoffen zijn humuszuren (afbraakproducten van natuurlijk materiaal) maar ook NADH (nicotinamide adenine dinucleotide) en Vitamine B fosfaat zijn bekende fluorescente stoffen die veelvuldig in effluent aanwezig zijn, vaak in concentratie van 100den ppm'en (mg/l) (Imai, Fukushima et al. 2002, Farabegoli, Hellinga et al. 2003, Vakondios, Koukouraki and Diamadopoulos 2014, Selimoğlu, Öbek et al. 2015, Wang, Jin et al. 2021). Voor fluorescentie zijn dit hoge concentraties.

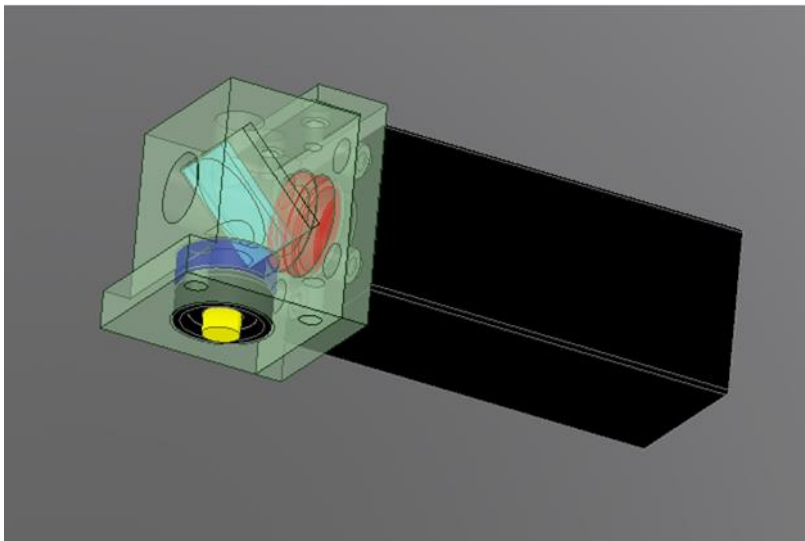
In Figuur 8-9 is een fluorescentie spectrum getoond van effluent opgenomen met een laboratorium spectrofotometer (Tecan Sparc). Het effluent is afkomstig van AWZI Nieuwe Waterweg (27 februari 2024).



Figuur 8-9: Fluorescentiespectrum van effluent met excitatie van 360 nm

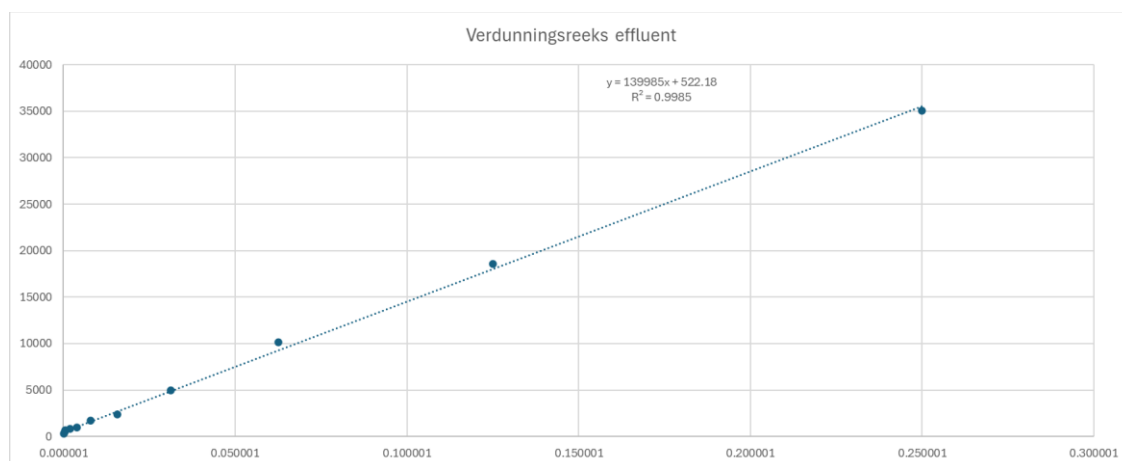
Met een korte berekening werd voorzichtig geconcludeerd dat een detectielimiet voor effluent van 1: 1000 haalbaar zou moeten zijn.

Vervolgens werden experimenten uitgevoerd met een dedicated sensor, zoals schematisch weergegeven in Figuur 8-10.



Figuur 8-10: Dedicated fluorescentie sensor, Geel = UV LED, Zwart is detector, gekleurd zijn de filters nodig om de fluorescentie te kunnen scheiden van het LED-licht

De resultaten van een verdunningsreeks in demiwater van effluent zijn weergegeven in Figuur 8-11.



Figuur 8-11: verdunningsreeks effluent in demiwater. (x-as verdunning, y-as gemeten intensiteit)

De berekende 1 sigma ruis detectie limiet bedraagt 1:20000.

Uit dit experiment blijkt dat met extra data verwerking zoals bijv. running average een verdunning van effluent van groter dan  $10^4$  haalbaar is. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat ook in dit geval de inherent lekkage van RO membraan door diffusie van organische stoffen door het membraan een versturende invloed zou kunnen hebben. Metingen aan RO permeaat en monitoring gedurende een langer periode zijn nodig om hier meer inzicht in te krijgen.

#### 8.4 Conclusie experimenten sensoren voor procescontrole

- Het Eventlab systeem van Optiqua lijkt ongeschikt om lekkage van RO-membraan te kunnen detecteren. De respons van een eventuele lekkage is waarschijnlijk niet te onderscheiden van de drift. Evenwichtinstellingen bij RO permeaat zijn zeer traag.
- Een fluorescentiesensor zou mogelijk gevoelig genoeg zijn maar meer onderzoek is nodig om een beeld te krijgen hoe de inherente lekkage van een RO membraan van invloed is op een eventuele achtergrond drift. Er wordt echter niet verwacht dat dit een probleem is omdat dit waarschijnlijke kleine en/of zeer lage concentraties betreft

## 9 Verzekeringen

Ook wanneer er op gewerkt wordt op een manier die de risico's minimaliseert en monitort, waarbij alle maatregelen genomen worden om fouten te voorkomen, kunnen er dingen mis gaan. Telers hebben aangegeven bij Glastuinbouw Nederland dat zij graag meer informatie hebben over hun verzekeringspositie bij gebruik van gietwater uit een waterterugwinvoorziening vanuit RWZI Effluent. Hierover is Achmea geïnterviewd. Achmea heeft veel telers als klanten en is betrokken bij de sector, en heeft daarom inzicht in de werkwijze van de (verzekerings)sector.

Hieronder volgende conclusies uit het interview:

Achmea ondersteunt de ambitie van de agrarische sector om klimaatneutraal, circulair en emissievrij te worden. Water is daarbij een belangrijk thema. Achmea is via het Innovatiefonds Hagelunie als sponsorende partner betrokken bij 6 innovatieprojecten in de agrarische sector die duurzame oplossingen voor water stimuleren. Het gaat daarbij om duurzame water initiatieven omtrent irrigatie en druppelbevloeiing, verzilting, collectieve en circulaire watervoorziening en waterzuivering.

Waterschappen bieden al effluent water aan als proceswater voor de industrie, soms via een derde partij. Voorbeeld hiervan is de levering van RWZI effluent van RWZI Terneuzen (Waterschap Scheldestromen) aan Dow, via Evides industriewater (als derde partij). Waterschappen zien mogelijkheden om dit ook als irrigatiewater voor de agrarische sector aan te bieden. De inzet van effluent water is één van de opties om een duurzame waterbalans in de glastuinbouw te realiseren. Het is de producenten verantwoordelijkheid van waterschappen (of de derde partij) om een betrouwbaar en veilig product te leveren wat voldoet aan de gevraagde specificaties van de teler.

Glastuinbouwondernemers kunnen gezuiverd effluent water als grondstof voor hun teelt afnemen van derden. Net zoals zij kunstmest, potgrond, stekken en andere toebehoren kopen van fabrikanten en toeleveranciers. Het is belangrijk dat de telers de leveringsvoorwaarden, condities en garanties van deze goederen en grondstoffen goed toetsen. Deze leveringsvoorwaarden verschillen namelijk sterk per aanbieder en bepalen hun rechtspositie in geval van bijvoorbeeld fabricagefouten of vervuiling.

Bij conflicten of productiefouten dienen zij de leverancier/fabrikant aansprakelijk te stellen, in dit geval het waterschap of de derde partij die als tussenpersoon geldt. Deze zijn over het algemeen verzekerd voor schade bij hun afnemers via een aansprakelijkheidsverzekering. Soms kiezen producenten er echter ook voor om eigen risicodragers te zijn. Dit geldt ook voor de rwzi's die effluent water aan de land- en tuinbouw willen aanbieden. Ondernemers in de glastuinbouw dienen zich hiervan bewust te zijn.

Hergebruik van rioolwater bij de bron, zijnde de RWZI, kan in de praktijk verzekerd worden. Een voorbeeld hiervan is een project waarbij Avebe samenwerkt met North Water voor de levering van water. Avebe gebruikt het water hier voor voedselverwerking en niet voor irrigatie waardoor andere regelgeving geldt. De hier gekozen verzekeringsoplossing is echter ook mogelijk voor waterbedrijven die effluent aan de glastuinbouw leveren.

## 10 Acceptatie van gezuiverd effluent in de glastuinbouw

Binnen het project 'Borging effluent RWZI voor de glastuinbouw' is ook onderzoek gedaan naar de acceptatie van het gebruik hiervan. Dat onderzoek en de resultaten zijn beschreven in (Barendse and Koeman-Stein 2023). De samenvatting van dit rapport is hier integraal overgenomen. Het rapport beschrijft een onderzoek naar de sociale acceptatie van het gebruik van gezuiverd effluent als gietwater in de Nederlandse glastuinbouw. Het hoofddoel van deze studie is om vast te stellen wanneer en onder welke omstandigheden belanghebbenden in de glastuinbouwketen de toepassing van gezuiverd effluent als veilig en acceptabel ervaren. Het onderzoek omvat een literatuurstudie, interviews, enquêtes en workshops.

Uit de literatuurstudie en het empirisch onderzoek komen meerdere factoren naar voren die de sociale acceptatie beïnvloeden. Deze factoren omvatten onder andere (ervaren) waterschaarste, zorgen om het milieu en duurzaamheid, perceptie van gezondheidsrisico's, de 'yuck factor', persoonlijke aanraking (gebruik), sociale norm en het 'vals consensus effect', kennis over gezuiverd effluent en de watercyclus, vertrouwen, angst voor

handelsbelemmeringen, en framing en informatievoorziening, inclusief aspecten als het benadrukken van de voordelen, voedselveiligheid, onafhankelijkheid en stabiliteit, en het voeren van een keurmerk/labels. Vervolgens is er in de praktijk op deze geïdentificeerde factoren gereflecteerd door middel van 5 interviews en 2 enquêtes (101 respondenten).

Op basis van deze geïdentificeerde factoren zijn concept acceptatiestrategieën ontwikkeld. Deze concept strategieën zijn ter reflectie voorgelegd aan deelnemers uit de glastuinbouwsector tijdens 8 empirische workshops met in het totaal 80 deelnemers. De strategieën zijn gericht op twee belangrijke categorieën van actoren in de glastuinbouw: 'de teler en keten' en 'overheid en burger'. Deelnemers hebben hun voorkeur uitgesproken, waardevolle aanvullingen gegeven en inzichten gedeeld tijdens deze workshops. Op basis van deze inzichten zijn gedragen acceptatiestrategieën ontwikkeld.

Deze strategieën omvatten onder andere: monitoring, proeftuin, benadrukken van voordelen en labels voor 'overheid en burger'; en voor de 'teler en keten' zijn de ontwikkelde strategieën onder andere: gezuiverd effluent presenteren als oplossing voor water- en ruimtetekorten en een netwerkbijeenkomst.

Dit onderzoek biedt waardevolle inzichten en aanbevelingen om de sociale acceptatie van gezuiverd effluent als gietwater in de Nederlandse glastuinbouw te bevorderen. Door rekening te houden met de geïdentificeerde factoren en strategieën kunnen stakeholders verdere stappen zetten om duurzaam watergebruik in de glastuinbouw te stimuleren, waarmee zij bijdragen aan een meer circulaire en milieuvriendelijke agrarische sector.

## 11 Conclusies

Wetgeving staat toe dat er, mits de risico's acceptabel zijn, RWZI effluent hergebruikt mag worden voor de teelt van gewassen. Ook de gebruikte certificaten in de handel laten het gebruik van behandeld effluent toe. Telers stellen eisen aan de waterkwaliteit die zeer strikt zijn. Op basis van wetgeving en eisen van wetgeving, telers en handel is er een waterkwaliteit bepaald waaraan gietwater, geproduceerd uit effluent, moet voldoen. Hierbij worden ook stoffen meegenomen die wel in bijvoorbeeld de drinkwaterwet worden genoemd, maar niet expliciet in andere eisen. Deze zijn meegenomen omdat in de drinkwaterwet rekening gehouden is met het vóórkomen van microverontreinigingen in bronnen, waar dat voor de huidige bronnen die telers gebruiken nu niet gebruikelijk is. Het effluent moet wel behandeld worden voor het aan de gestelde eisen voldoet en de risico's voor mens, dier en milieu genoeg verlaagd zijn. Methodes om dat te doen zijn bijvoorbeeld een combinatie van ultrafiltratie en omgekeerde osmose, of ozonbehandeling gevolgd door actief kool en omgekeerde osmose. Omgekeerde osmose is dus minimaal onderdeel van het waterbehandelingsproces. Na deze zuiveringen zijn de microbiologische risico's van het behandelde water voor mensen zeer laag. Voor planten bestaan er geen QMRA's (kwantitatieve microbiële risico analyse), en het is bekend dat plantpathogenen veelal resistenter zijn tegen oxidatieve methodes dan humane pathogenen. De dosis van deze oxidatieve methodes zal daarom misschien hoger moeten zijn dan voor humane veiligheid. De risico's veroorzaakt door de aanwezigheid van chemicaliën zullen door de combinatie van deze technologieën ook geminimaliseerd worden, al zijn er enkele chemicaliën (vooral kleine ongeladen moleculen) die wel in het gietwater terecht kunnen komen. De effecten van deze stoffen op planten zijn in de verwachte concentraties echter niet significant.

Om te garanderen dat het behandelde water de juiste kwaliteit bevat, moet het proces tijdens de waterbehandeling gemonitord worden. Om het risico voor mensen te minimaliseren, moet minimaal omgekeerde osmose gebruikt worden. Het bewaken van de integriteit van RO membranen is essentieel voor voldoende pathogeen- en OMP-verwijdering. het Eventlab systeem van Optiqua ongeschikt lijkt om de integriteit van een ROmembraan te bewaken, gebaseerd op een geïntegreerd optische interferometer techniek is ongeschikt om de integriteit van een ROmembraan te bewaken.

De respons van een eventuele lekkage is waarschijnlijk niet te onderscheiden van de drift. Evenwichtinstellingen bij RO permeaat zijn zeer traag. Een fluorescentiesensor zou mogelijk gevoelig genoeg zijn maar meer onderzoek is nodig om een beeld te krijgen hoe de inherente lekkage van een RO membraan van invloed is op een eventuele achtergrond drift. Er wordt echter niet verwacht dat dit een probleem is omdat dit waarschijnlijke kleine en/of zeer lage concentraties betreft.

Bij het gebruik van behandeld effluent als bron van gietwater heeft de leverancier een aansprakelijkheid voor directe schade die de afnemer (de teler) leidt. Vervolgschade is lastiger te verzekeren. Achmea is bekend met een verzekeringsoplossing die ook voor het gebruik van effluent als gietwater geschikt is.

Telers staan positief tegenover het gebruik van effluent als gietwaterbron. De sociale acceptatie van het gebruik van effluent kan verhoogd worden door de volgende strategieën: monitoring van waterkwaliteit, proeftuin, benadrukken van voordelen en labels voor 'overheid en burger'; en voor de 'teler en keten' zijn de ontwikkelde strategieën onder andere: gezuiverd effluent presenteren als oplossing voor water- en ruimtetekorten en een netwerkbijeenkomst.

Het is mogelijk om effluent op een veilige manier te kunnen inzetten in de glastuinbouw, die gedragen wordt door partners in de hele keten van teelt tot consument.

De technologie om goed gietwater uit effluent te produceren is beschikbaar de waterschappen en telers zijn nu aan zet om dit te gaan implementeren.

## 12 Aanbevelingen

Er wordt aanbevolen om de waterbehandeling op pilotschaal of full scale te gaan opzetten als demonstratie, en tegelijkertijd stoffen te monitoren die niet door de waterbehandeling worden verwijderd. Dit kan middels verschillende (non-target) screening analyse methodes. Op deze manier wordt inzicht verkregen in de mate van verwijdering van onbekende stoffen. Vervolgens kan ook nauwkeuriger getest worden of deze stoffen een risico vormen voor planten. Een demonstratie van plantproeven kan veel inzicht geven in de aanwezigheid en effecten van plantpathogenen en chemicaliën op de plant, en tegelijkertijd bijdragen aan de acceptatie van het gebruik van effluent als bron van gietwater.

Om de integriteit van RO membranen te bewaken is de doorontwikkeling van sensoren belangrijk, De sensor gebaseerd op fluorescentie biedt hiervoor goede kansen.

Het uitvoeren van de acceptatiestrategieën voor hergebruik van effluent, zal de acceptatie van effluent als bron voor irrigatiewater verhogen en daarmee de implementatie vergroten.

## 13 Referentielijst

EU Pesticides Database EU.

Aghalari, Z., H.-U. Dahms, M. Sillanpää, J. E. Sosa-Hernandez and R. Parra-Saldívar (2020). "Effectiveness of wastewater treatment systems in removing microbial agents: a systematic review." Globalization and Health **16**(1): 13.

Al-Gheethi, A. A., A. N. Efaq, J. D. Bala, I. Norli, M. O. Abdel-Monem and M. O. Ab. Kadir (2018). "Removal of pathogenic bacteria from sewage-treated effluent and biosolids for agricultural purposes." Applied Water Science **8**(2): 74.



- Altmann, D., H. Schaar, C. Bartel, D. L. P. Schorkopf, I. Miller, N. Kreuzinger, E. Möstl and B. Grillitsch (2012). "Impact of ozonation on ecotoxicity and endocrine activity of tertiary treated wastewater effluent." Water Research **46**(11): 3693-3702.
- Appelman, W., R. Creusen, N. Koeman, M. Paalman, B. Raterman and W. Voogt (2014). Vergroten zelfvoorzienendheid watervoorziening glastuinbouw : watervraag glastuinbouw Haaglanden : deelrapport A: 96.
- Avisar, D., Y. Lester and D. Ronen (2009). "Sulfamethoxazole contamination of a deep phreatic aquifer." Science of The Total Environment **407**(14): 4278-4282.
- Bačnik, K., D. Kutnjak, A. Pecman, N. Mehle, M. Tušek Žnidarič, I. Gutiérrez Aguirre and M. Ravnikar (2020). "Viromics and infectivity analysis reveal the release of infective plant viruses from wastewater into the environment." Water Research **177**: 115628.
- Barendse, K. and N. E. Koeman-Stein (2023). Acceptatie van gezuiverd effluent in de glastuinbouw (OPENBAAR). Nieuwegein, KWR: 44.
- Barrios-Hernández, M. L., M. Pronk, H. Garcia, A. Boersma, D. Brdjanovic, M. C. M. van Loosdrecht and C. M. Hooijmans (2020). "Removal of bacterial and viral indicator organisms in full-scale aerobic granular sludge and conventional activated sludge systems." Water Research X **6**: 100040.
- Bartha, B., C. Huber, R. Harpaintner and P. Schröder (2010). "Effects of acetaminophen in Brassica juncea L. Czern.: investigation of uptake, translocation, detoxification, and the induced defense pathways." Environmental Science and Pollution Research **17**(9): 1553-1562.
- Bartram, J., R. Corrales, A. Davison, D. A. Deere, D. Drudy, B. Gordon, G. Howard, A. Rinehold and M. Stevens (2009). Water Safety Plan manual: step-by-step risk management for drinking-water suppliers. Geneva, World Health Organization.
- Been, F., T. Pronk, J. Louise, C. Houtman, T. van der Velden-Slootweg, R. van der Oost and M. M. L. Dingemans (2021). "Development of a framework to derive effect-based trigger values to interpret CALUX data for drinking water quality." Water Research **193**: 116859.
- Beerling, E., C. Blok, E. R. Cornelissen, B. Eveleens-Clark, J. Gozales, D. H. J. Harmsen, N. E. Koeman, R. Leyh, E. van Os, L. Palmen, E. van der Roest, J. van Ruijven, I. Stijger and W. Voogt (2018). Wageningen Voorkomen en Bestrijden Emissies Kasteelten Fase I 2017: 60.
- Bondarenko, S., J. Gan, F. Ernst, R. Green, J. Baird and M. McCullough (2012). "Leaching of Pharmaceuticals and Personal Care Products in Turfgrass Soils during Recycled Water Irrigation." Journal of Environmental Quality **41**(4): 1268-1274.
- Calderón-Preciado, D., Q. Renault, V. Matamoros, N. Cañameras and J. M. Bayona (2012). "Uptake of Organic Emergent Contaminants in Spath and Lettuce: An In Vitro Experiment." Journal of Agricultural and Food Chemistry **60**(8): 2000-2007.
- Carballo, M., A. Rodríguez and A. de la Torre (2022). "Phytotoxic Effects of Antibiotics on Terrestrial Crop Plants and Wild Plants: A Systematic Review." Arch Environ Contam Toxicol **82**(1): 48-61.
- Carter, L. J., M. Williams, C. Böttcher and R. S. Kookana (2015). "Uptake of Pharmaceuticals Influences Plant Development and Affects Nutrient and Hormone Homeostases." Environmental Science & Technology **49**(20): 12509-12518.
- CBS (2022). Zuivering van stedelijk afvalwater; per provincie en stroomgebieddistrict.
- Christou, A., P. Karaolia, E. Hapeshi, C. Michael and D. Fatta-Kassinos (2017). "Long-term wastewater irrigation of vegetables in real agricultural systems: Concentration of pharmaceuticals in soil, uptake and bioaccumulation in tomato fruits and human health risk assessment." Water Res **109**: 24-34.
- Cirkel, D. G., G. van den Eertwegh, S. F. Stoffberg and R. P. Bartholomeus (2017). Kennisdocument Hergebruik van Restwater voor de Landbouwwatervoorziening. Nieuwegein, KWR: 98.
- Coronel-Olivares, C., L. M. Reyes-Gómez, A. Hernández-Muñoz, A. P. Martínez-Falcón, G. A. Vázquez-Rodríguez and U. Iturbe (2011). "Chlorine disinfection of Pseudomonas aeruginosa, total coliforms, Escherichia coli and Enterococcus faecalis: revisiting reclaimed water regulations." Water Science and Technology **64**(11): 2151-2157.
- Council, N. R. M. M., E. P. a. H. Council and A. H. M. Conference (2006). National Guidelines for Water Recycling: Managing Health and Environmental Risks Canberra.

- Dawoud, M. (2017). "Treated Wastewater Reuse for Food Production in Arab Region." **8**: 2017
- Delfos, B., R. v. d. Neut, M. Hoekstra and B. Martijn (2020). Medicijnresten te lijf met (geavanceerde) oxidatie. [H2O-online](#).
- Derksen, A. (2022). Aandachtvragende stoffen in rwzi-effluent. Samenvatting van de huidige stand van de kennis. .
- Derksen, A., A. Jans, E. Smit, A. D. Bannink and S. A. E. Kools (2023). Aandachtvragende stoffen in rwzi-effluent: de huidige stand van de kennis. [H2O-Online](#).
- Dodgen, L. K., J. Li, D. Parker and J. J. Gan (2013). "Uptake and accumulation of four PPCP/EDCs in two leafy vegetables." [Environmental Pollution](#) **182**: 150-156.
- Dodgen, L. K., A. Ueda, X. Wu, D. R. Parker and J. Gan (2015). "Effect of transpiration on plant accumulation and translocation of PPCP/EDCs." [Environmental Pollution](#) **198**: 144-153.
- Dungeni, M., R. van Der Merwe and M. Momba (2010). "Abundance of pathogenic bacteria and viral indicators in chlorinated effluents produced by four wastewater treatment plants in the Gauteng Province, South Africa." [Water SA](#) **36**(5).
- Eisfeld, C., F. S. Jack, K. Pieter, M. v. B. Boris, M. Gertjan, V. Jouke, F. M. T. Peter and M. v. d. W. Jan (2022) "Dose-response relationship of *Ralstonia solanacearum* and potato in greenhouse and in vitro experiments." [Frontiers in Plant Science](#) **13** DOI: 10.3389/fpls.2022.1074192.
- Ellafi, A., F. B. Abdallah and A. Bakhrouf (2010). "Effect of starvation on survival and adhesion ability of *Shigella* spp. in domestic treatment plant effluent microcosms." [Annals of microbiology](#) **60**: 383-389.
- Escher, B. I., S. Aït-Aïssa, P. A. Behnisch, W. Brack, F. Brion, A. Brouwer, S. Buchinger, S. E. Crawford, D. Du Pasquier, T. Hamers, K. Hettwer, K. Hilscherová, H. Hollert, R. Kase, C. Kienle, A. J. Tindall, J. Tuerk, R. van der Oost, E. Vermeirssen and P. A. Neale (2018). "Effect-based trigger values for in vitro and in vivo bioassays performed on surface water extracts supporting the environmental quality standards (EQS) of the European Water Framework Directive." [Sci Total Environ](#) **628-629**: 748-765.
- EU, D. R. V. D. E. G. (1991). Richtlijn 91/271/EEG van de Raad van 21 mei 1991 inzake de behandeling van stedelijk afvalwater. Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen.
- EU, D. R. V. D. E. G. (1991). Richtlijn 91/676/EEG van de Raad van 12 december 1991 inzake de bescherming van water tegen verontreiniging door nitraten uit agrarische bronnen. Publicatieblad Nr. L 375 van 31/12/1991 blz. 0001 - 0008.
- EU, E. P. e. d. R. (2000). Richtlijn 2000/60/EG van het Europees Parlement en de Raad van 23 oktober 2000 tot vaststelling van een kader voor communautaire maatregelen betreffende het waterbeleid. Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen.
- EU, E. P. e. d. R. (2005). Verordening (EG) nr. 396/2005 van het Europees Parlement en de Raad van 23 februari 2005 tot vaststelling van maximumgehalten aan bestrijdingsmiddelenresiduen in of op levensmiddelen en diervoeders van plantaardige en dierlijke oorsprong [Publicatieblad van de Europese Unie](#).
- EU, E. P. e. d. R. (2006). Richtlijn 2006/118/EG van het Europees Parlement en de Raad van 12 december 2006 betreffende de bescherming van het grondwater tegen verontreiniging en achteruitgang van de toestand. Publicatieblad van de Europese Unie.
- EU, E. P. e. d. R. (2016). Verordening (EU) 2016/2031 van het Europees Parlement en de Raad van 26 oktober 2016 betreffende beschermende maatregelen tegen plaagorganismen bij planten. E. unie, Publicatieblad van de Europese Unie.
- EU, E. P. e. d. R. (2020). Verordening (EU) 2020/741 van het Europees Parlement en de Raad van 25 mei 2020 inzake minimumeisen voor hergebruik van water Publicatieblad van de Europese Unie.
- Evenblij, H., E. Schuman and M. Kuiper (2020). Verwijderingsrendementen van medicijnresten op 18 RWZI's. [H2O Water Matters](#)
- Farabegoli, G., C. Hellinga, J. J. Heijnen and M. C. M. van Loosdrecht (2003). "Study on the use of NADH fluorescence measurements for monitoring wastewater treatment systems." [Water Research](#) **37**(11): 2732-2738.

- Gabet-Giraud, V., C. Miège, J. M. Choubert, S. M. Ruel and M. Coquery (2010). "Occurrence and removal of estrogens and beta blockers by various processes in wastewater treatment plants." Sci Total Environ **408**(19): 4257-4269.
- GWRC, G. W. R. C. (2020). Effect Based Monitoring in Water Safety Planning.
- GWRC, G. W. R. c. (2023). Effect-Based Monitoring in Water Safety Planning. Factsheet for water operators.
- Heringa, M. B., D. J. Harmsen, E. F. Beerendonk, A. A. Reus, C. A. Krul, D. H. Metz and G. F. Ijpelaar (2011). "Formation and removal of genotoxic activity during UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-GAC treatment of drinking water." Water Res **45**(1): 366-374.
- Herklotz, P. A., P. Gurung, B. Vanden Heuvel and C. A. Kinney (2010). "Uptake of human pharmaceuticals by plants grown under hydroponic conditions." Chemosphere **78**(11): 1416-1421.
- Hong, C. X. and G. W. Moorman "Plant Pathogens in Irrigation Water: Challenges and Opportunities." Critical Reviews in Plant Sciences **24**(3): 189-208.
- Hordijk (2014). Moderne glastuinbouw Westland. Plan van aanpak voor het accommoderen van moderne glastuinbouw in Westland.
- Hornstra, L. M., T. Rodrigues da Silva, B. Blankert, L. Heijnen, E. Beerendonk, E. R. Cornelissen and G. Medema (2019). "Monitoring the integrity of reverse osmosis membranes using novel indigenous freshwater viruses and bacteriophages." Environmental Science: Water Research & Technology **5**(9): 1535-1544.
- Hugo, H. J. and A. P. M. Malan (2016). "Occurrence and Control of Plant-parasitic Nematodes in Irrigation Water – A Review." South African Journal of Enology and Viticulture **31**(2).
- Imai, A., T. Fukushima, K. Matsushige, Y.-H. Kim and K. Choi (2002). "Characterization of dissolved organic matter in effluents from wastewater treatment plants." Water Research **36**(4): 859-870.
- ISO (2012). ISO 8692:2012 Water quality Fresh water algal growth inhibition test with unicellular green algae, ISO. **ISO 8692:2012**.
- ISO (2012). ISO 11350:2012; Water quality — Determination of the genotoxicity of water and waste water — Salmonella/microsome fluctuation test (Ames fluctuation test).
- Jelic, A., M. Gros, A. Ginebreda, R. Cespedes-Sánchez, F. Ventura, M. Petrovic and D. Barcelo (2011). "Occurrence, partition and removal of pharmaceuticals in sewage water and sludge during wastewater treatment." Water Research **45**(3): 1165-1176.
- Kabinet (2013). Gezonde Groei, Duurzame Oogst
- Tweede nota duurzame gewasbescherming periode 2013 tot 2023, Rijksoverheid: 46.
- Kamoun, S., O. Furzer, J. D. G. Jones, H. S. Judelson, G. S. Ali, R. J. D. Dalio, S. G. Roy, L. Schena, A. Zambounis, F. Panabières, D. Cahill, M. Ruocco, A. Figueiredo, X.-R. Chen, J. Hulvey, R. Stam, K. Lamour, M. Gijzen, B. M. Tyler, N. J. Grünwald, M. S. Mukhtar, D. F. A. Tomé, M. Tör, G. Van Den Ackerveken, J. McDowell, F. Daayf, W. E. Fry, H. Lindqvist-Kreuze, H. J. G. Meijer, B. Petre, J. Ristaino, K. Yoshida, P. R. J. Birch and F. Govers (2015). "The Top 10 oomycete pathogens in molecular plant pathology." Molecular Plant Pathology **16**(4): 413-434.
- Kim, S. D., J. Cho, I. S. Kim, B. J. Vanderford and S. A. Snyder (2007). "Occurrence and removal of pharmaceuticals and endocrine disruptors in South Korean surface, drinking, and waste waters." Water Research **41**(5): 1013-1021.
- Kirhensteine, I., V. Cherrier, N. Jarrit, A. Fermer, G. d. Paoli, G. Delacamara and A. Psomas (2016). EU-level instruments on water reuse.
- Kitajima, M., H. P. Sassi and J. R. Torrey (2018). "Pepper mild mottle virus as a water quality indicator." npj Clean Water **1**(1): 19.
- Koeman-Stein, N. E. (2019). Verwijdering van gewasbeschermings-middelen bij AWZI Nieuwe Waterweg mbv ozon. Nieuwegein, KWR.
- Kowal, N. E. (1983). "An overview of public health effects." Utilization of municipal wastewater and sludge on land: 329-394.
- Lee, E. and L. R. Oki (2013). "Slow sand filters effectively reduce Phytophthora after a pathogen switch from Fusarium and a simulated pump failure." Water research **47**(14): 5121-5129.

- Legler, J., C. E. van den Brink, A. Brouwer, A. J. Murk, P. T. van der Saag, A. D. Vethaak and B. van der Burg (1999). "Development of a stably transfected estrogen receptor-mediated luciferase reporter gene assay in the human T47D breast cancer cell line." Toxicol Sci **48**(1): 55-66.
- Liu, C., X. Zhao, A. F. Faria, K. Y. Deliz Quiñones, C. Zhang, Q. He, J. Ma, Y. Shen and Y. Zhi (2022). "Evaluating the efficiency of nanofiltration and reverse osmosis membrane processes for the removal of per- and polyfluoroalkyl substances from water: A critical review." Separation and Purification Technology **302**: 122161.
- Lodder, W. J. and A. M. De Roda Husman (2005). "Presence of noroviruses and other enteric viruses in sewage and surface waters in The Netherlands." Applied and Environmental Microbiology **71**(3): 1453-1461.
- Luan, X., X. Liu, C. Fang, W. Chu and Z. Xu (2020). "Ecotoxicological effects of disinfected wastewater effluents: a short review of in vivo toxicity bioassays on aquatic organisms." Environmental Science: Water Research & Technology **6**(9): 2275-2286.
- Maffettone, R. and B. Gawlik (2022). Technical guidance - water reuse risk management for agricultural irrigation schemes in Europe EUR 31316 EN. Luxembourg, Publications Office of the European Union.
- Mainardis, M., D. Cecconet, A. Moretti, A. Callegari, D. Goi, S. Freguia and A. G. Capodaglio (2022). "Wastewater fertigation in agriculture: Issues and opportunities for improved water management and circular economy." Environmental Pollution **296**: 118755.
- Manasfi, R., M. Brienza, N. Ait-Mouheb, N. Montemurro, S. Perez and S. Chiron (2021). "Impact of long-term irrigation with municipal reclaimed wastewater on the uptake and degradation of organic contaminants in lettuce and leek." Sci Total Environ **765**: 142742.
- Mastropietro, T. F., R. Bruno, E. Pardo and D. Armentano (2021). "Reverse osmosis and nanofiltration membranes for highly efficient PFASs removal: overview, challenges and future perspectives." Dalton Transactions **50**(16): 5398-5410.
- Mehle, N. a. and M. Ravnkar "Plant viruses in aqueous environment - Survival, water mediated transmission and detection." Water Research **46**(16): 4902-4917.
- Milo, R. and R. Phillips. (2023). "How big are viruses?" Retrieved 13-11-2023, 2023, from <http://book.bionumbers.org/how-big-are-viruses/>.
- MinEZ, M. v. E. Z. and M. v. I. e. M. MinI&W (2015). Hoofdlijnenakkoord waterzuivering in de glastuinbouw.
- MinI&W, M. v. I. e. M. (2009). Drinkwaterwet. **BWBR0026338**.
- Mons, M. N., M. B. Heringa, J. van Genderen, L. M. Puijker, W. Brand, C. J. van Leeuwen, P. Stoks, J. P. van der Hoek and D. van der Kooij (2013). "Use of the Threshold of Toxicological Concern (TTC) approach for deriving target values for drinking water contaminants." Water Res **47**(4): 1666-1678.
- Muñoz, I., A. Rodríguez, R. Rosal and A. R. Fernández-Alba (2009). "Life Cycle Assessment of urban wastewater reuse with ozonation as tertiary treatment: A focus on toxicity-related impacts." Science of The Total Environment **407**(4): 1245-1256.
- Neale, P. A., B. I. Escher, M. L. de Baat, M. Dechesne, D. A. Deere, J. Enault, S. A. E. Kools, J. F. Loret, P. Smeets and F. D. L. Leusch (2022). "Effect-based monitoring to integrate the mixture hazards of chemicals into water safety plans." J Water Health **20**(12): 1721-1732.
- Neale, P. A., B. I. Escher, M. L. de Baat, M. Dechesne, M. M. L. Dingemans, J. Enault, G. J. Pronk, P. Smeets and F. D. L. Leusch (2023). "Application of Effect-Based Methods to Water Quality Monitoring: Answering Frequently Asked Questions by Water Quality Managers, Regulators, and Policy Makers." Environ Sci Technol **57**(15): 6023-6032.
- Neale, P. A., B. I. Escher, M. L. de Baat, J. Enault and F. D. L. Leusch (2023). "Effect-Based Trigger Values Are Essential for the Uptake of Effect-Based Methods in Water Safety Planning." Environ Toxicol Chem **42**(3): 714-726.
- nieuws, G. (2017). "GlobalGAP vereist wateranalyse." Retrieved 11-11- 2022, from <https://www.groentennieuws.nl/article/160628/globalgap-vereist-wateranalyse/>.
- NVWA (2018). Basisinformatiebladen voedselveiligheid, NVWA.

- Os, E. v., C. Blok, W. Voogt and L. Waked (2016). Water quality and salinity aspects in hydroponic cultivation.
- Park, K.-Y., S.-Y. Choi, S.-H. Lee, J.-H. Kweon and J.-H. Song (2016). "Comparison of formation of disinfection by-products by chlorination and ozonation of wastewater effluents and their toxicity to *Daphnia magna*." Environmental Pollution **215**: 314-321.
- Pieterse, B., E. Felzel, R. Winter, B. van der Burg and A. Brouwer (2013). "PAH-CALUX, an optimized bioassay for AhR-mediated hazard identification of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) as individual compounds and in complex mixtures." Environ Sci Technol **47**(20): 11651-11659.
- Poustie, A., Y. Yang, P. Verburg, K. Pagilla and D. Hanigan (2020). "Reclaimed wastewater as a viable water source for agricultural irrigation: A review of food crop growth inhibition and promotion in the context of environmental change." Science of The Total Environment **739**: 139756.
- R.C. Kaarsemaker, R. C. and J. Sanders (2013). Eindrapport monitoring DBW demonstratie 2013
- Raich, J. (2013). Review of sensors to monitor water quality. ERNICIP thematic area Chemical & Biological Risks in the Water Sector Deliverable D1 - Task 1, European Commission Joint Research Centre Institute for the Protection and Security of the Citizen.
- Raudales, R. E., J. L. Parke, C. L. Guy and P. R. Fisher (2014). "Control of waterborne microbes in irrigation: A review." Agricultural Water Management **143**: 9-28.
- Redshaw, C. H., V. G. Wootton and S. J. Rowland (2008). "Uptake of the pharmaceutical Fluoxetine Hydrochloride from growth medium by Brassicaceae." Phytochemistry **69**(13): 2510-2516.
- Reifferscheid, G., H. M. Maes, B. Allner, J. Badurova, S. Belkin, K. Bluhm, F. Brauer, J. Bressling, S. Domeneghetti, T. Elad, S. Flückiger-Isler, H. J. Grummt, R. Gürtler, A. Hecht, M. B. Heringa, H. Hollert, S. Huber, M. Kramer, A. Magdeburg, H. T. Ratte, R. Sauerborn-Klobucar, A. Sokolowski, P. Soldan, T. Smital, D. Stalter, P. Venier, C. Ziemann, J. Zipperle and S. Buchinger (2012). "International round-robin study on the Ames fluctuation test." Environ Mol Mutagen **53**(3): 185-197.
- Reus, A. A., R. P. J. Hoondert and S. M. Shaikh (2023). Effectsignaalwaarden voor eenduidige interpretatie van genotoxiciteitstesten. Nieuwegein, KWR: 72.
- Rijksoverheid (2007). Activiteitenbesluit milieubeheer.
- Rizzo, L., W. Gernjak, P. Krzeminski, S. Malato, C. S. McArdell, J. A. S. Perez, H. Schaar and D. Fatta-Kassinos (2020). "Best available technologies and treatment trains to address current challenges in urban wastewater reuse for irrigation of crops in EU countries." Science of the Total Environment **710**.
- Rodriguez-Mozaz, S., M. Ricart, M. Köck-Schulmeyer, H. Guasch, C. Bonninaeu, L. Proia, M. L. de Alda, S. Sabater and D. Barceló (2015). "Pharmaceuticals and pesticides in reclaimed water: Efficiency assessment of a microfiltration–reverse osmosis (MF–RO) pilot plant." Journal of Hazardous Materials **282**: 165-173.
- Roeleveld, P., J. Roorda and M. Schaafsma (2010). Op weg naar de rwzi 2030. NWater, Stowa.
- Rosario, K., E. M. Symonds, C. Sinigalliano, J. Stewart and M. Breitbart (2009). "Pepper Mild Mottle Virus as an Indicator of Fecal Pollution." Applied and Environmental Microbiology **75**(22): 7261-7267.
- Schmitt, H., H. Blaak, M. Kemper, M. v. Passel, F. Hierink, J. v. Leuken, A. M. d. R. Husman, E. v. d. Grinten, M. Rutgers, J. Schijven, H. d. Man, P. Hoeksma and T. Zuidema (2017). Bronnen van antibioticaresistentie in het milieu en mogelijke maatregelen, RIVM: 114.
- Selimoğlu, F., E. Öbek, F. Karataş, E. İ. Arslan and Ş. Yüksel Tatar (2015). Turkish Journal of Science and Technology **10**(2): 1-5.
- Shenker, M., D. Harush, J. Ben-Ari and B. Chefetz (2011). "Uptake of carbamazepine by cucumber plants – A case study related to irrigation with reclaimed wastewater." Chemosphere **82**(6): 905-910.
- Snyder, S. A., J. Leising, P. Westerhoff, Y. Yoon, H. Mash and B. Vanderford (2004). "Biological and Physical Attenuation of Endocrine Disruptors and Pharmaceuticals: Implications for Water Reuse." Groundwater Monitoring & Remediation **24**(2): 108-118.
- Stewart-Wade, S. (2011). "Plant pathogens in recycled irrigation water in commercial plant nurseries and greenhouses: Their detection and management." Irrigation Science **29**: 267-297.



- Stewart-Wade, S. M. (2011). "Plant pathogens in recycled irrigation water in commercial plant nurseries and greenhouses: their detection and management." *Irrigation Science* **29**(4): 267-297.
- Stowa (1996). Hergebruik van gezuiverd afvalwater ten behoeve van verdrogingsbestrijding Stowa.
- Stowa (2018). Rol van afvalwater bij verspreiding van antibioticaresistentie, Stowa.
- Swartjes, F., H. v. d. Berg, F. Biemans, D.-J. V. d. Gaag, R. d. Jonge, R. v. Leerdam, R. Rietra, P. Römken, R. Schoen and J. Schijven (2023). Gebruik van gezuiverd stedelijk afvalwater in de landbouw: Beoordelingskader Fase I.
- Synnott Aidan, J., Y. Kuang, M. Kurimoto, K. Yamamichi, H. Iwano and Y. Tanji (2009). "Isolation from Sewage Influent and Characterization of Novel Staphylococcus aureus Bacteriophages with Wide Host Ranges and Potent Lytic Capabilities." *Applied and Environmental Microbiology* **75**(13): 4483-4490.
- Tanoue, R., Y. Sato, M. Motoyama, S. Nakagawa, R. Shinohara and K. Nomiya (2012). "Plant Uptake of Pharmaceutical Chemicals Detected in Recycled Organic Manure and Reclaimed Wastewater." *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **60**(41): 10203-10211.
- Tim, R. P. (2023) "Monitoring oomycetes in water: combinations of methodologies used to answer key monitoring questions." *Frontiers in Horticulture* **2** DOI: 10.3389/fhort.2023.1210535.
- Urban, M., J. Motteram, H. C. Jing, S. Powers, J. Townsend, J. Devonshire, I. Pearman, K. Kanyuka, J. Franklin and K. E. Hammond-Kosack (2011). "Inactivation of plant infecting fungal and viral pathogens to achieve biological containment in drainage water using UV treatment." *J Appl Microbiol* **110**(3): 675-687.
- Urriaga, A. M., G. Pérez, R. Ibáñez and I. Ortiz (2013). "Removal of pharmaceuticals from a WWTP secondary effluent by ultrafiltration/reverse osmosis followed by electrochemical oxidation of the RO concentrate." *Desalination* **331**: 26-34.
- Vakondios, N., E. E. Koukouraki and E. Diamadopoulos (2014). "Effluent organic matter (EfOM) characterization by simultaneous measurement of proteins and humic matter." *Water Research* **63**: 62-70.
- van der Linden, S. C., A. R. M. von Bergh, B. M. A. van Vught-Lussenburg, L. R. A. Jonker, M. Teunis, C. A. M. Krul and B. van der Burg (2014). "Development of a panel of high-throughput reporter-gene assays to detect genotoxicity and oxidative stress." *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis* **760**: 23-32.
- Vieno, N., T. Tuhkanen and L. Kronberg (2007). "Elimination of pharmaceuticals in sewage treatment plants in Finland." *Water Res* **41**(5): 1001-1012.
- Voogt, W. and R. Leyh (2020). Effecten van Na ophoping in de drain bij paprika : vaststellen van de schadedrempel voor Na in het wortelmilieu bij paprika met recirculatie, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Glastuinbouw.
- Voogt, W. and R. Leyh (2021). Effecten van Na ophoping in de drain bij tomaat (proef 2018), WUR: 36.
- Wagner, R. R. and R. M. Krug (2024). "virus." *Encyclopedia Britannica*.
- Wang, R., M. Ji, H. Zhai and Y. Liu (2020). "Occurrence of phthalate esters and microplastics in urban secondary effluents, receiving water bodies and reclaimed water treatment processes." *Science of The Total Environment* **737**: 140219.
- Wang, Y., X. Jin, N. Zhuo, G. Zhu and Z. Cai (2021). "Interaction-sedimentation strategy for highly efficient removal of refractory humic substances in biologically treated wastewater effluent: from mechanistic investigation to full-scale application." *Journal of Hazardous Materials* **418**: 126145.
- WHO, W. H. O. (2011). Guidelines for Drinking-water Quality - Fourth edition, World Health Organisation.
- WHO, W. H. O. (2013). Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater - Volume 2.
- WHO, W. H. O. (2017). Potable reuse: guidance for producing safe drinking-water. Geneva, World Health Organization.
- Wijzes, T., C. Dorée and J. Polman (2017). Microbiologische criteria (Praktijkids Waar&Wet).
- Wikipedia. (2023). "List of pathogens by size." Retrieved 13-11-2023, from [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_pathogens\\_by\\_size](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_pathogens_by_size).

Wu, X., F. Ernst, J. L. Conkle and J. Gan (2013). "Comparative uptake and translocation of pharmaceutical and personal care products (PPCPs) by common vegetables." Environment International **60**: 15-22.

Zhang, T., M. Breitbart, W. H. Lee, J.-Q. Run, C. L. Wei, S. W. L. Soh, M. L. Hibberd, E. T. Liu, F. Rohwer and Y. Ruan (2005). "RNA Viral Community in Human Feces: Prevalence of Plant Pathogenic Viruses." PLOS Biology **4**(1): e3.

Zheng, Y., D. Dunets and D. Cayanan (2014). 'UV light', Greenhouse and nursery water treatment information system., University of Guelph.

## I Wet- en regelgeving

Overzicht van wetten en regels die betrekking hebben op waterkwaliteit, maar niet direct bepalend zijn voor irrigatiewaterkwaliteitseisen.

*Bijlage Tabel 1: Overzicht van wetten en regels die betrekking hebben op waterkwaliteit, maar niet direct bepalend zijn voor irrigatiewaterkwaliteitseisen*

<b>2000/60/EG</b>	Kader voor gemeenschappelijke maatregelen betreffende het <b>waterbeleid</b>
<b>98/83/EG</b>	Betreffende de kwaliteit van voor <b>menselijke consumptie</b> bestemd water
<b>2006/7/EG</b>	Betreffende het beheer van de <b>zwemwaterkwaliteit</b>
<b>2006/118/EG</b>	Betreffende de bescherming van het <b>grondwater</b> tegen verontreiniging en achteruitgang van de toestand
<b>2008/105/EG</b>	Inzake milieukwaliteitsnormen op het gebied van het waterbeleid, vastgestelde <b>milieukwaliteitsnormen voor prioritaire stoffen</b> en bepaalde andere verontreinigende stoffen
<b>Toevoeging aan 2006/118/EC</b>	Additional groundwater quality standards for proposed additional pollutants. PFAS and PFOA
<b>396/2005</b>	Tot vaststelling van maximumgehalten aan <b>bestrijdingsmiddelenresiduen</b> in of op levensmiddelen en diervoeders van plantaardige en dierlijke oorsprong
<b>1881/2006</b>	Tot vaststelling van de maximumgehalten aan bepaalde verontreinigingen in levensmiddelen

Een relevante Nederlandse wet is de Nederlandse regelgeving ten aanzien van grondwater, de circulaire bodemsanering 2013.

## II Meetwaardes effluent Nieuwe Waterweg en RWZI Harnaspolder

Bijlage Tabel 2: meetwaardes van steekmonsters van effluent van RWZI Harnaspolder en AWZI Nieuwe Waterweg in de periode januari - juni 2022

Datu		pH	EC	HCO3	NH4	NO3	Cl	K	Na	Ca	Mg	PO4	Si	SO4
m														
			mS/cm	mmol/l	mmol/l	mmol/l	mmol/l	mmol/l	mmol/l	mmol/l	mmol/l	mmol/l	mmol/l	mmol/l
norm		6,5	0,2		0,05	0,5	0,5	1,2	0,1	0,8	0,2		1	1
	Har naspolder													
Wk 11		7,4	1,5	5,9	< 0,1	0,1	5,8	3	5,7	2,5	1,1	0,14	0,3	1,1
Wk 13		7,3	1,2	4,5	< 0,1	0,2	4,5	0,8	6,1	1,9	0,6	< 0,05	0,3	0,9
Wk 16		7,3	1,1	4,6	< 0,1	0,9	4,5	0,8	5,9	1,9	0,6	< 0,05	0,3	0,7
Wk 22		8	1,1	4,5	< 0,1	0,5	4,3	0,7	5,4	1,7	0,6	< 0,05	0,2	0,7
Wk 24		7,4	1	3,7	< 0,1	0,3	4	0,6	4,9	1,6	0,5	< 0,05	0,2	0,7
gemiddeld		7,5	1,2	4,6	< 0,1	0,4	4,6	1,2	5,6	1,9	0,7		0,3	0,8
stdev		0,3	0,2	0,8	0,0	0,3	0,7	1,0	0,5	0,3	0,2		0,1	0,2
	Nieuwe Waterweg													
Wk 11		7,2	1,2	4,3	< 0,1	0,3	4,5	0,8	6	2	0,7	< 0,05	0,3	0,8
Wk 13		7,3	1,8	6,5	< 0,1	0,2	7,5	3,8	6,9	2,5	1,3	0,2	0,3	1,3
Wk 16		7,4	1,3	5,2	< 0,1	0,3	5,1	1,2	5,5	2,5	0,9	< 0,05	0,3	1,1
Wk 22		7,4	1,3	5	< 0,1	0,7	5	1,1	5,4	2,3	0,9	0,1	0,2	1,1
Wk 24		7,2	1,2	4,4	< 0,1	0,1	4,6	0,9	4,8	2	0,7	< 0,05	0,2	0,9
gemiddeld		7,3	1,4	5,1	< 0,1	0,3	5,3	1,6	5,7	2,3	0,9	0,2	0,3	1,0
stdev		0,1	0,3	0,9	0,0	0,2	1,2	1,3	0,8	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2

Datum	Monster	Fe	Mn	Zn	B	Cu	Mo
		µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l
norm		4,48	4,55	3	20	1	1
Wk 11	Harnaspolder	2,7	5,1	1,4	22	0,1	0,17

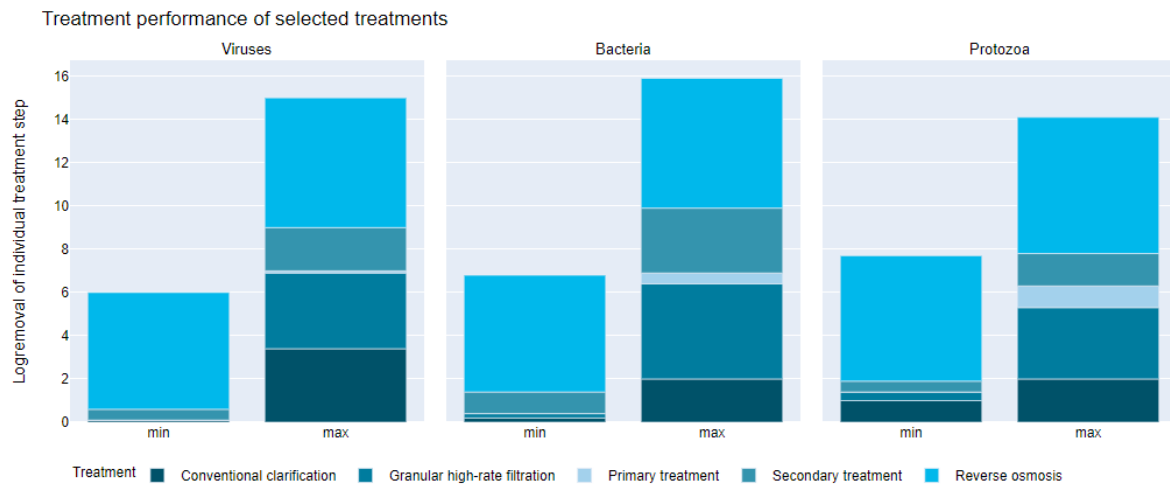


Wk 13	Harnaschpolder	2,5	2,4	0,2	12	< 0.1	<0.1
Wk 16	Harnaschpolder	2,6	2,6	0,2	13,7	< 0.1	< 0.1
Wk 19							
Wk 22	Harnaschpolder	4,3	2,4	0,1	9,7	< 0.1	< 0.1
Wk 24	Harnaschpolder	3	1,9	0,1	9,1	< 0.1	0,2
	gemiddeld	3,0	2,9	0,4	13,3		
	stdev	0,7	1,3	0,6	5,2		
Wk 11	Nieuwe Waterweg	2,5	3,1	0,2	13	< 0.1	<0.1
Wk 13	Nieuwe Waterweg	2,5	4	0,9	23	< 0.1	0,17
Wk 16	Nieuwe Waterweg	2,9	4,5	0,9	17,2	< 0.1	0,2
Wk 19							
Wk 22	Nieuwe Waterweg	2	3,8	1,1	15,6	< 0.1	0,2
Wk 24	Nieuwe Waterweg	1,8	3,6	1	14,2	< 0.1	0,2
	gemiddeld	2,3	3,8	0,8	16,6		0,2
	stdev	0,4	0,5	0,4	3,9		0,0

### III Resultaten QMRA behandelingsscenario's

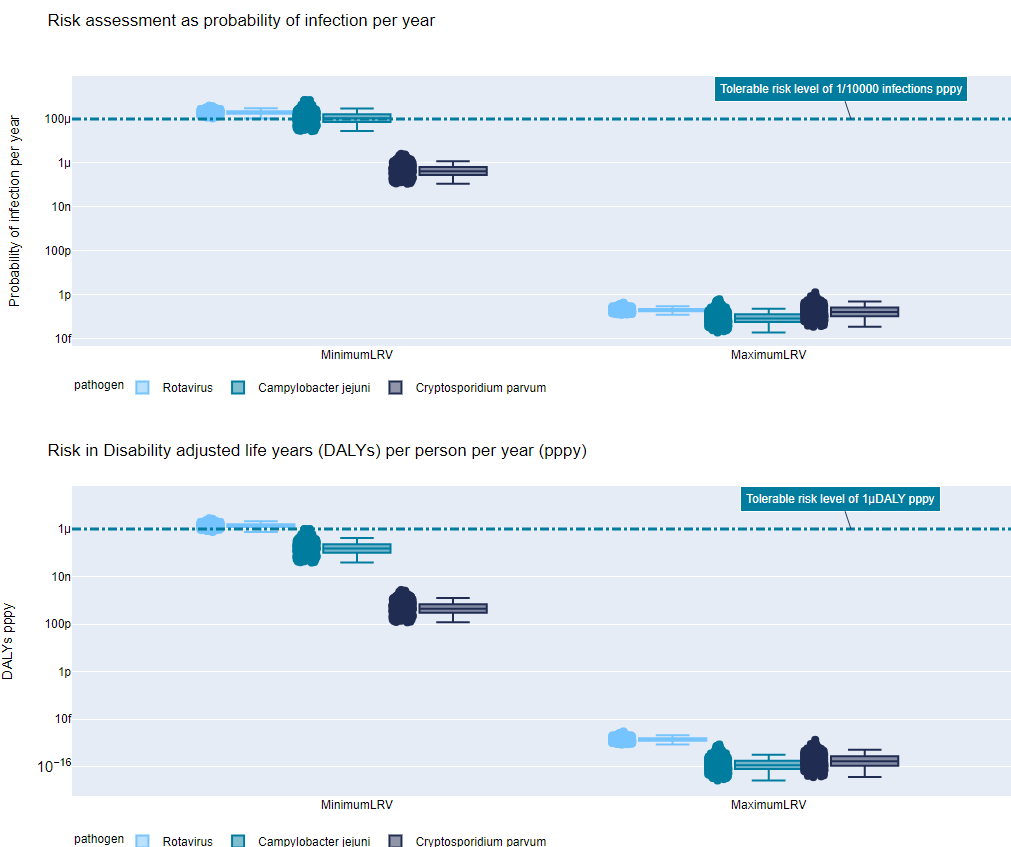
Er zijn van vijf waterbehandelingsscenario's QMRA's uitgevoerd om te bepalen of de behandeling voldoende is om de risico's acceptabel te laten zijn. Daarbij wordt uitgegaan van afvalwater in een communale zuivering die bestaat uit een voorbezinkstap, primaire en secundaire behandeling, met additionele waterbehandeling. Deze verschillende gekozen additionele behandeling is het verschil tussen de scenario's.

#### Scenario 1a) Snelle zandfiltratie – omgekeerde osmose (RO)



Bijlage Figuur 1: LRV van referentiepathogenen per zuiveringsstap, de RWZI met aanvullend een snel zandfilter en een omgekeerde osmose.

Voordat het effluent naar de RO kan, moet er eerst een grove filtratie plaatsvinden omdat de RO anders verstopt. Hier vindt al een (kleine) verwijdering van micro-organismen plaats. De behandeling van afvalwater in een RWZI resulteert in virussen verwijdering van maximaal 9-log. Door het toevoegen van omgekeerde osmose (reverse osmosis) als extra zuiveringsstap (De tool rekent met een minimum van 6 log voor virussen voor RO. Dat blijkt in de praktijk vaak terug te lopen tot 2,5 log, terwijl bij zeer zorgvuldige gekozen condities ook log7 gehaald kan worden (Hornstra, Rodrigues da Silva et al. 2019)) toe te voegen kan een maximale verwijdering van 15-log bereikt worden, zie Bijlage Figuur 1. Ook de verwijdering van bacteriën en protozoa wordt door omgekeerde osmose verbeterd waardoor het risico op infecties verlaagd wordt (Bijlage Figuur 2). Het behalen van deze maximale log reductie door alle zuiveringsstappen zal een zeer strikt ontwerp, bedrijfsvoering en bewaking vragen, wat in de praktijk doorgaans niet het geval is.

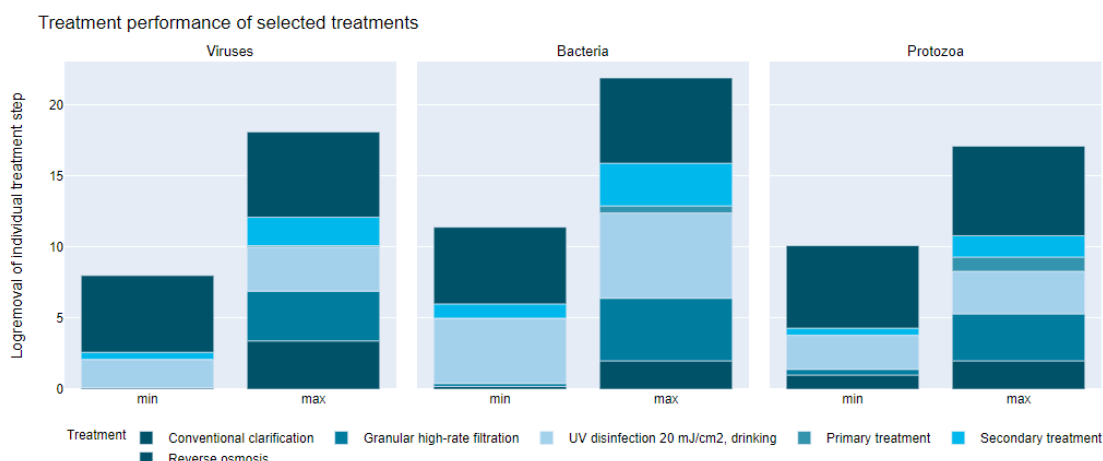


Bijlage Figuur 2: Infectierisico en DALY na de RWZI en een snelle zandfiltratie en omgekeerde osmose

De mate van verwijdering van virussen en bacteriën is onvoldoende om het infectierisico laag genoeg te krijgen.

**1b) grof filter (snel zandfilter) – omgekeerde osmose (RO) – UV desinfectie**

Een extra stap die toegevoegd kan worden, is een desinfectiestap met UV. Doordat omgekeerde osmose de risico's al erg verlaagt, hoeft er geen hoge dosis UV te worden gebruikt. RO verwijdert ook de meeste componenten die storend kunnen werken voor een UV, zoals deeltjes maar ook veel opgeloste organische stoffen die UV zouden kunnen adsorberen en daarmee de desinfectie minder effectief maken. Een dosis van 20 mJ/cm<sup>2</sup> kan dan al voldoende zijn om de risico's te verlagen tot een acceptabel niveau. Een hogere dosis kan worden gekozen om het slechter presteren van de andere stappen op te vangen (Bijlage Figuur 3).



Bijlage Figuur 3: LRV van indicatororganismen per zuiveringsstap, inclusief snelle zandfiltratie en RO en UV (20 mJ/cm<sup>2</sup>).

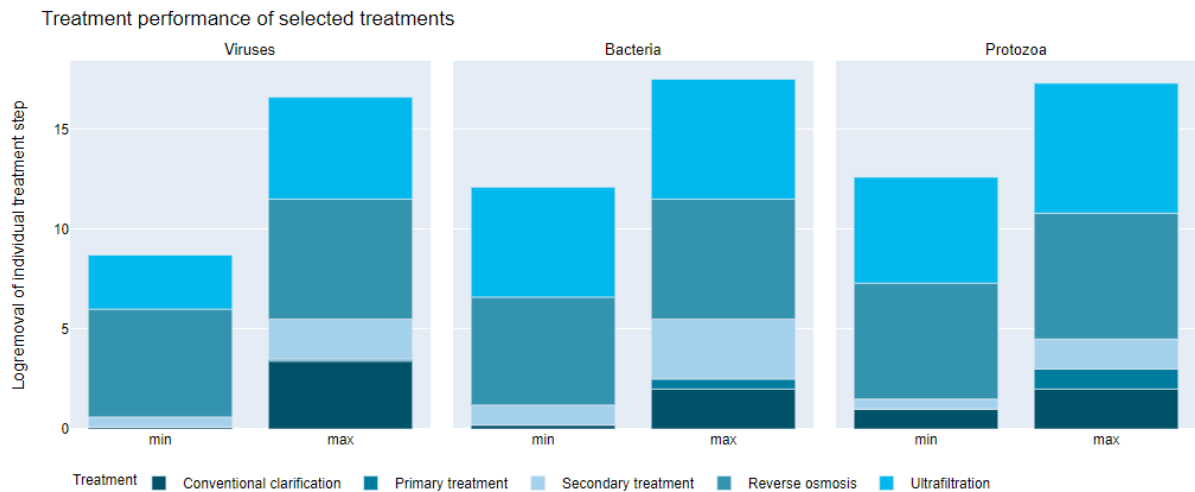


Bijlage Figuur 4: infectierisico en DALY na de RWZI en aanvullende zuivering met snelle zandfiltratie, RO en UV (20 mJ/cm<sup>2</sup>).

Na de RWZI en aanvullende zuivering met snelle zandfiltratie, omgekeerde osmose en UV desinfectie met 20 mJ/cm<sup>2</sup> is het risico op infectie, zelfs bij minimale LRV voldoende laag, en ook de DALY is acceptabel (Bijlage Figuur 4).

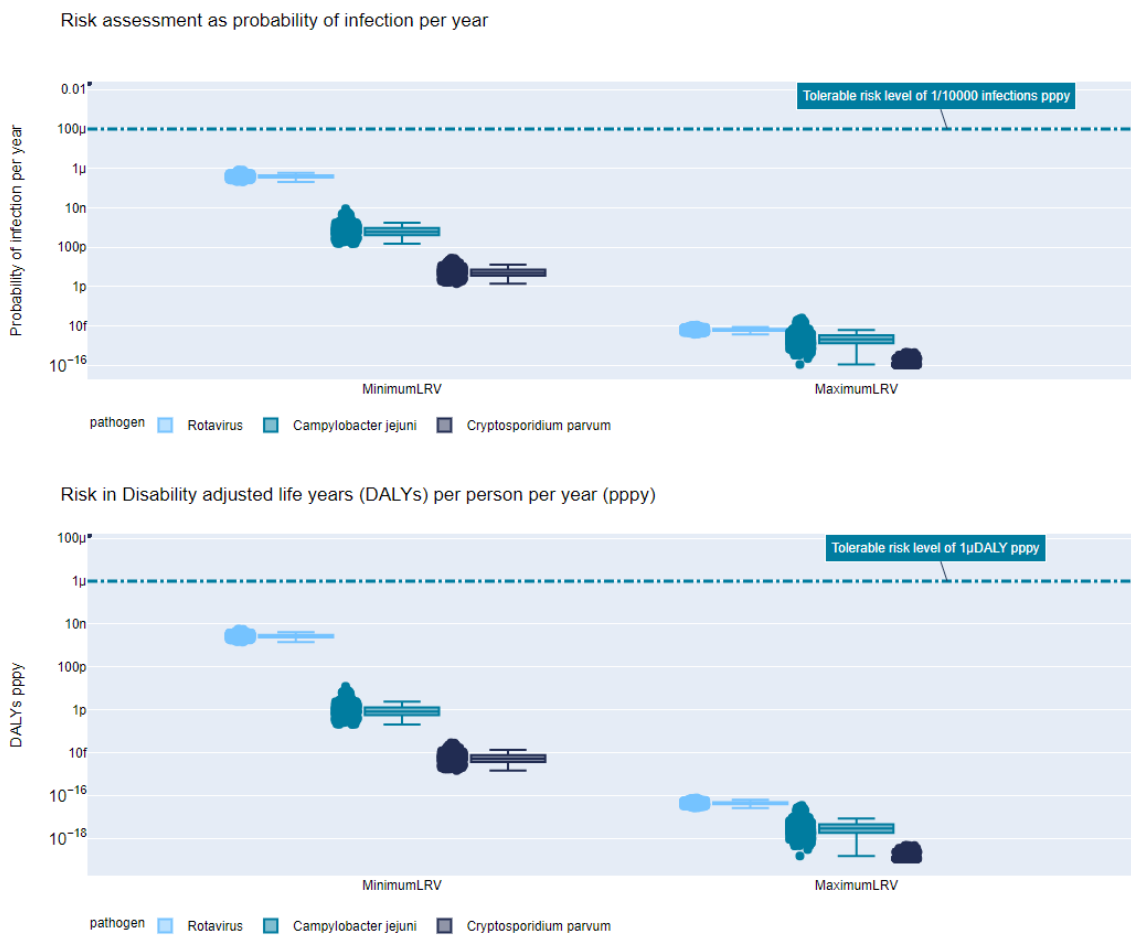
### 1c) ultrafiltratie – omgekeerde osmose

In plaats van te kiezen voor een extra desinfectiestap, kan er ook gekozen worden om het grove filter te vervangen door een fijner filter zoals een microfiltratie of ultrafiltratie. Met ultrafiltratie wordt een groter deel van de micro-organismen verwijderd, zie Bijlage Figuur 5.



Bijlage Figuur 5: LRV van indicatororganismen per zuiveringsstap, inclusief UF en RO.

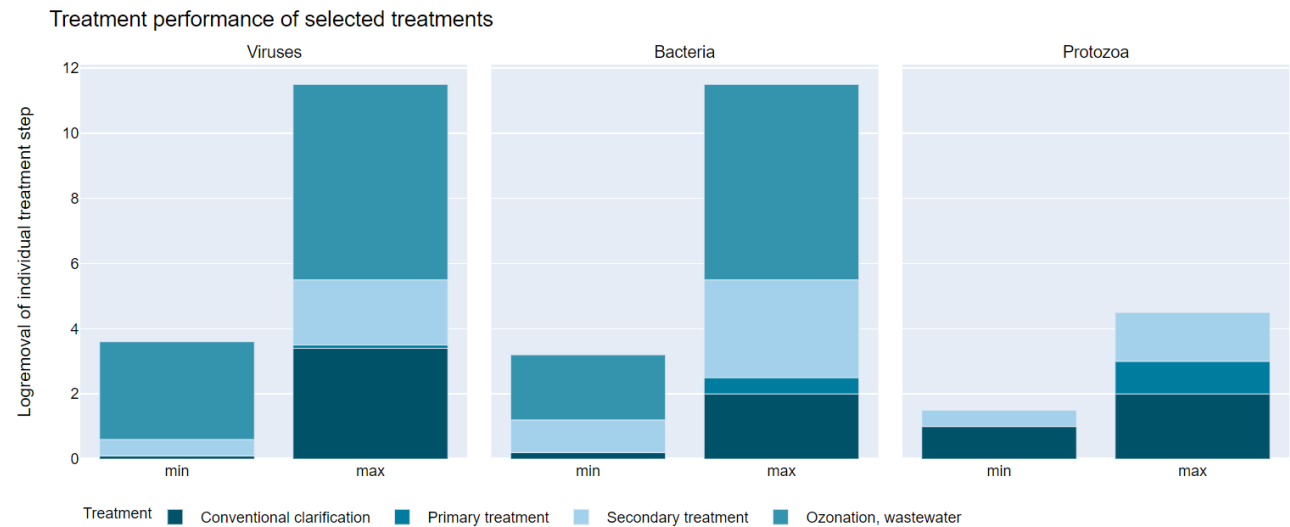
Dit geeft ook voldoende verwijdering om de risico's op infectie te verlagen tot een acceptabel niveau (zie Bijlage Figuur 6)



Bijlage Figuur 6: LRV van indicatororganismen per zuiveringsstap, inclusief UF en RO

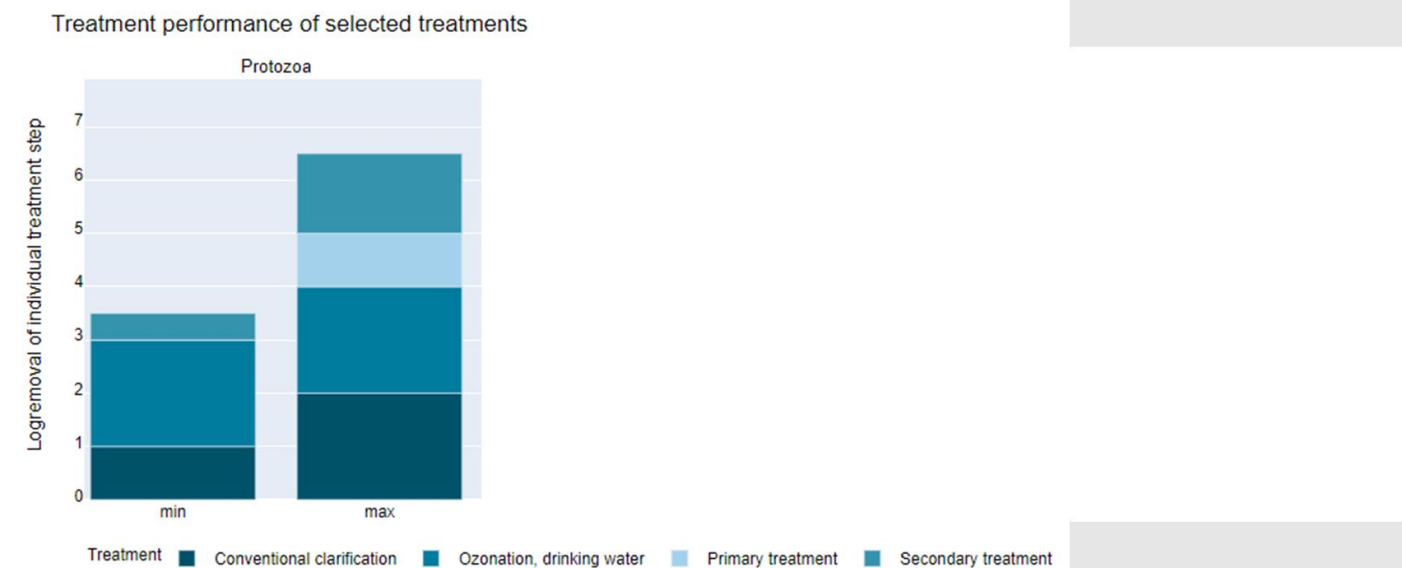
## 2a) poederkoldosering in de zuivering – ozon – ontzouten met elektrolyse

Doordat poederkooldosering een minimaal effect heeft op de microbiële risico's is dat niet meegenomen in de kwantitatieve microbiële risicobeoordeling. De simulatie is daarom alleen gedaan voor het toevoegen van ozon aan de RWZI.

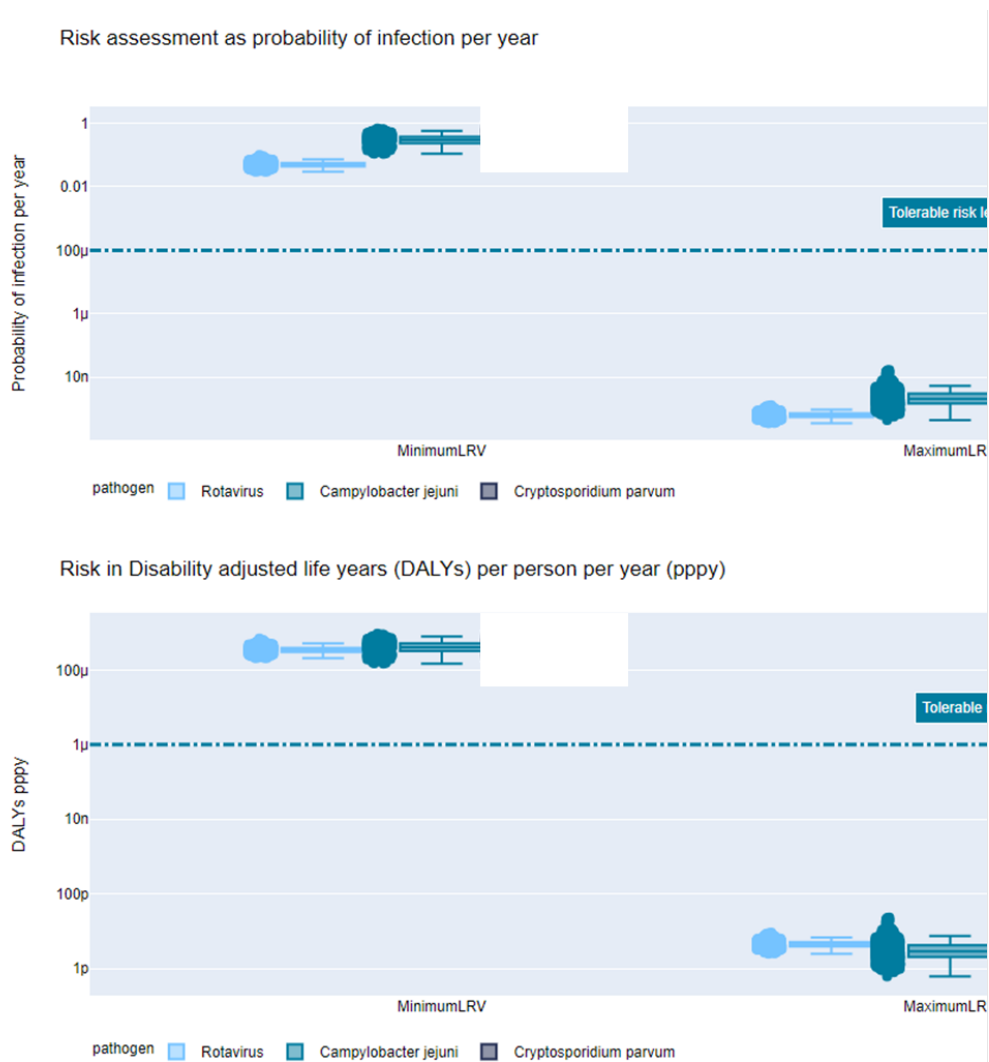


Bijlage Figuur 7: verwijdering van indicatororganismen per zuiveringsstap in de RWZI en ozon.

Wat opvalt is dat ozon (bijna) geen effect heeft op de verwijdering van protozoa (Bijlage Figuur 7). Dit komt omdat er geen data bekend zijn in de gebruikte database voor verwijdering van protozoa in afvalwater met ozon. In het algemeen is ozon minder effectief in afvalwater doordat een groot deel van de ozon verbruikt wordt voor afbraak van organische opgeloste componenten. Er zal dus een hoge ozondosering toegepast moeten worden. Wanneer wordt gekozen voor ozon - drinking water, wordt een logreductie van 2 verondersteld. Hierbij is verondersteld dat alle gedoseerde ozon gebruikt wordt voor de oxidatie/ activatie van micro-organismen. De totale reductie komt dan op min LRV=3,5 – max LRV= 6,5. Zie Bijlage Figuur 8.



Bijlage Figuur 8: verwijdering van protozoa per zuiveringsstap in de RWZI en ozon (drinkwater)



Bijlage Figuur 9: infectierisico en DALY na de RWZI en aanvullende zuivering met ozon (afvalwater), voor bacteriën en virus



Bijlage Figuur 10: infectierisico en DALY na de RWZI en aanvullende zuivering met ozon (drinkwater), voor protozoa

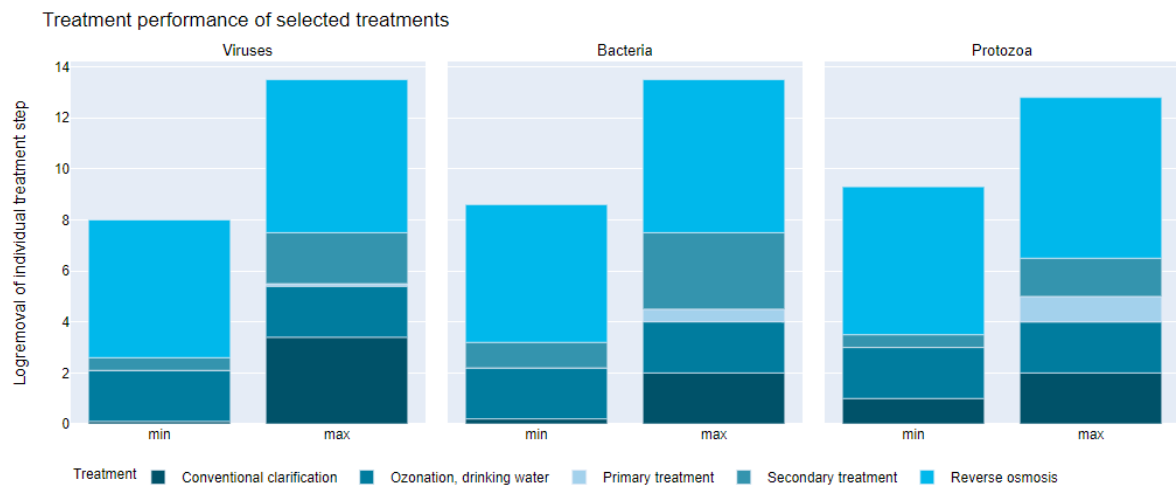
Doordat het risico op infectie, en de waarde voor DALY nog te hoog is bij minimale LRV, zal er een aanvullende stap nodig zijn (zie Bijlage Figuur 9 voor virussen en bacteriën en Bijlage Figuur 10 voor protozoa). Een elektrodialyse stap zorgt wel voor ontzouting (wat gevraagd wordt voor de tuinders) maar verlaagt het risico op microbiële infecties niet. Daarom zal er een andere barrière gekozen moeten worden.

## 2b) poederkoldosering in de zuivering – ozon – omgekeerde osmose

Na de ozon, kan een omgekeerde osmose geplaatst worden. Deze stap zorgt er ook voor dat er natrium en andere zouten verwijderd worden. Dat is ook een van de kwaliteitseisen van de telers, naast microbiële veiligheid. In de gebruikte tool voor kwantitatieve microbiële risico analyse wordt geen onderscheid gemaakt in de volgorde van de plaatsing. Dit is echter voor de bedrijfsvoering wel van belang, maar kan in de praktijk ook van belang zijn voor de microbiële risico's. De ozon zal ook reageren met organische stoffen in het water. Dat betekent dat er relatief meer ozon nodig is, terwijl de kleine organische componenten kunnen leiden tot extra fouling in het RO systeem, en deels ook door het membraan kunnen gaan en voor nagroei tijdens transport zorgen.

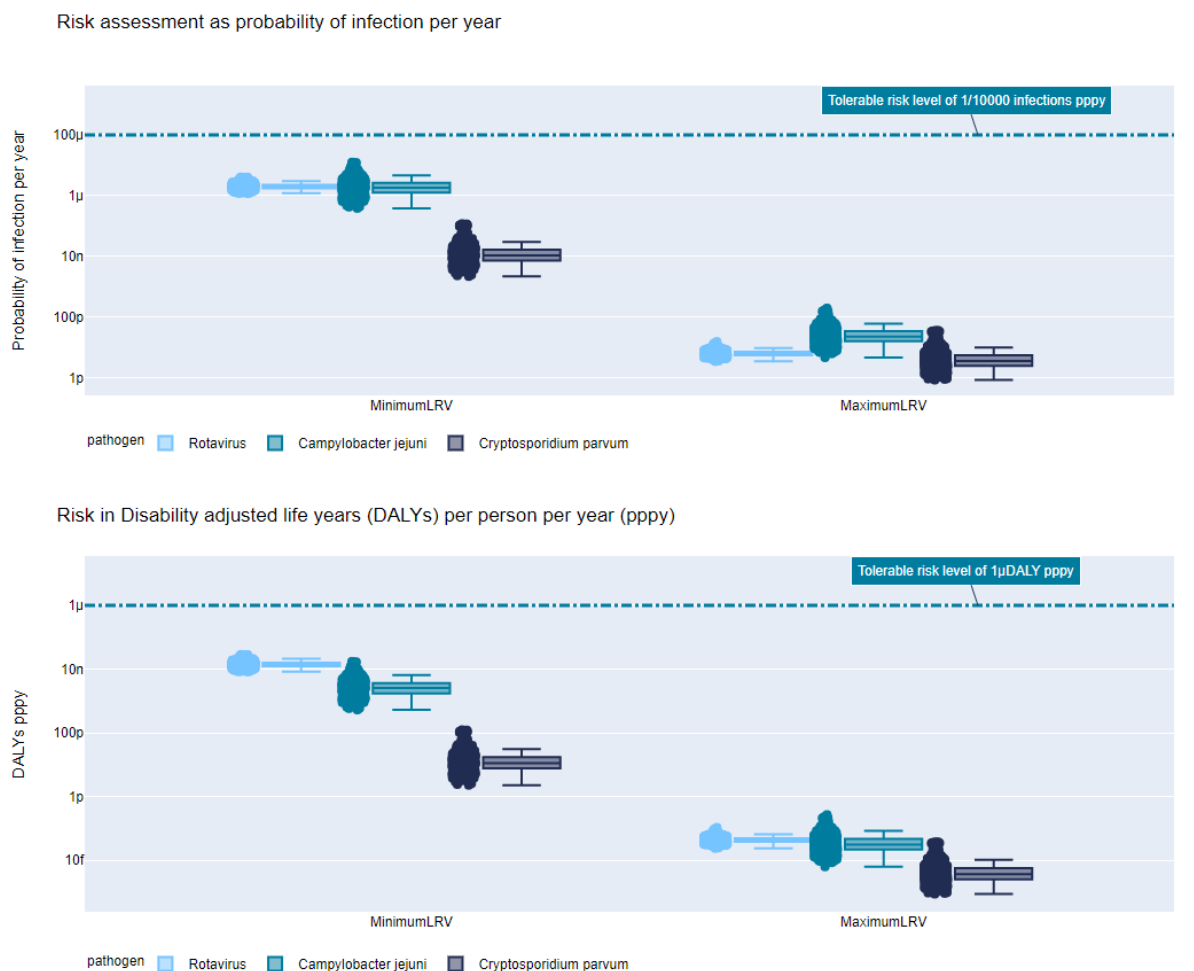
Door eerst de RO te plaatsen wordt eerst de organische stof en microbiële vervuiling verwijderd. De ozon dosering die volgt kan dan relatief klein zijn, vergelijkbaar met dosering bij drinkwater. De verwijdering per zuiveringsstap is weergegeven in Bijlage Figuur 11.





Bijlage Figuur 11: Log verwijdering van indicatororganismen in de verschillende zuiveringsprocessen in de RWZI, met RO en ozon

De kans op infectie en de waarde van de DALY wordt weergegeven in Bijlage Figuur 12. Ook bij minimale LRV worden alle drie de referentiepathogenen voldoende verwijderd om de kans op infectie acceptabel te laten zijn, en de waarde van DALY is ook voldoende laag.



Bijlage Figuur 12: infectierisico en DALY na de RWZI met als aanvullende zuivering RO en ozon (drinkwater)

## IV Effect-metingen met bioassays

Mogelijke risico's van mengsels van alle aanwezige (en actieve) stoffen kunnen in kaart gebracht worden met bioassays. Vanwege het kostenaspect zijn dit in totaal zo weinig mogelijk bioassays, die zo worden gekozen dat de effecten van verschillende soorten stoffen, met de meest relevante verschillende werkingsmechanismen, kunnen worden gedetecteerd. Hier wordt een voorstel gedaan voor een set bioassays voor effluent voor de irrigatie van de glastuinbouw. Hiervoor is het advies gevolgd dat is opgesteld door de Global Water Research Coalition (GWRC), die de toepasbaarheid van effectmetingen in de context van Water Safety Planning onderzocht (GWRC 2020). De GWRC beveelt in het geval van afvalwater en waterhergebruik voor niet-drinkbaar gebruik tests aan die verschillende stadia van de cellulaire toxiciteit omvatten. Dat wil zeggen omzetting van lichaamsvreemde stoffen (xenobiotisch metabolisme), effecten op moleculaire processen in cellen (receptorgemedieerde effecten) en de activatie van processen in een cel als reactie op stressfactoren zoals blootstelling aan chemische stoffen (adaptieve stressreacties) (Bijlage Tabel 3). Een typische testbatterij zou activering van de aryl hydrocarbon receptor (AhR; xenobiotisch metabolisme), activering van de oestrogeenreceptor (ER; receptorgemedieerde effecten) en oxidatieve stressrespons omvatten. Voor al deze zogenaamde eindpunten worden commercieel bioassays aangeboden, en zijn er ESWs beschikbaar (Neale, Escher et al. 2023)..

Daarnaast kan er nog aanvullend gemeten worden om de effectmetingen uit te breiden met specifiek relevante eindpunten voor de glastuinbouw context ([Error! Reference source not found.](#)). Zo wordt aangeraden om ook mutageniteit, een specifieke vorm van schade aan het DNA, te meten in het geval van hergebruik voor drinkbare toepassingen. Dit is zeer relevant bij toepassing van oxidatieve technieken, zoals ozon, UV en H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, vanwege de mogelijke vorming van mutagene bijproducten. Aangezien sommige producten uit de glastuinbouw uiteindelijk bedoeld zijn voor menselijke consumptie is de uitbreiding van de set bioassays met een test voor mutageniteit op zijn plaats. Hiervoor bestaan op het moment enkel voorlopige ESW (Reus, Hoondert and Shaikh 2023). Mutageniteit wordt traditioneel uitgedrukt als kwalitatief effect (d.w.z. een stof is wel of niet mutageen), waardoor de hoeveelheid kwantitatieve gegevens voor de afleiding van een betrouwbare ESW beperkt zijn. Echter, over het algemeen wordt elke detectie van mutageniteit gezien als onwenselijk in de context van menselijke blootstelling. Als alternatief voor een ESW wordt daarom in het geval van de Amesfluctuatietest een statistisch significant verschil ten opzichte van de negatieve controle (Heringa, Harmsen et al. 2011) gehanteerd als signaleringswaarde, of een meer dan twee keer verhoging ten opzichte van de 'baseline'<sup>6</sup>.

Naast eindpunten die relevant zijn voor de menselijke gezondheid kunnen er eindpunten worden toegevoegd die specifiek relevant zijn voor de gezondheid van de planten, zoals test voor algeninhibitie (bijv. fotosynthese remming) of groeiremming bij planten, die commercieel beschikbaar zijn. Voor deze bioassay, de Fytotox is echter geen effect-sigitaalwaarde beschikbaar, wat de risicobeoordeling bemoeilijkt.

Bijlage Tabel 3: Bioassays die toegepast kunnen worden voor de monitoring van de chemische kwaliteit van hergebruikt afvalwater

Eindpunt	Beschikbare bioassay	Signaalwaarde	Referentie
	<i>Basis set</i>		
Oestrogeenreceptorbinding	ER CALUX	0.25 ng 17β-estradiol equivalents/L	(Legler, van den Brink et al. 1999) (Been, Pronk et al. 2021)

<sup>6</sup> De 'baseline' wordt berekend door het gemiddelde van de drie replica's van de negatieve controle en de bijbehorende standaarddeviatie bijelkaar op te tellen.

Oxidatieve stress	Nrf2 CALUX	10 µg Curcumine equivalents/L	(van der Linden, von Bergh et al. 2014) (Reus, Hoondert and Shaikh 2023)
Arylhydrocarbonreceptorbinding	PAH CALUX	24.4 ng Benzo[a]pyrene (B[a]P) equivalents/L <sup>2</sup>	(Pieterse, Felzel et al. 2013)
Acute toxiciteit	Microtox	1264 µg virtual baseline toxicant equivalents/L	(Escher, Ait-Aïssa et al. 2018)
<i>Aanvullend</i>			
Mutageniteit	Ames fluctuatietest	Niet beschikbaar assayspecifieke criteria hanteren	(ISO 2012, Reifferscheid, Maes et al. 2012)
Algengroeiremming	Algatox	0.12 µg Diuron equivalents/L (milieu, niet humaan) <sup>4</sup>	(ISO 2012)
Remming plantengroei	Fytotox	Nee, assayspecifieke criteria hanteren >30% afwijking van de referentie-test	

PAH: polyaromatische koolwaterstof (in het Engels: poly aromatic hydrocarbon)

In het geval van effectmetingen geeft de GWRC uitgebreidere richtlijnen bij de overschrijding van een effectsignaalwaarde (GWRC 2023). Deze zijn als volgt:

*Indien bioassayrespons < ESW: Geen actie vereist; risico's worden verwaarloosbaar geacht. De testfrequentie kan worden verlaagd als de resultaten na enkele campagnes onder ESW blijven.*

*Indien bioassayrespons > ESW: Verdere actie is vereist indien bevestigd na validatie van de laboratoriumkwaliteitscontrole en hertesten.*

1. *Als bioassayrespons < 10×EBT: frequentere controle wordt aanbevolen totdat BEQ lager is dan EBT.*
2. *Indien bioassayrespons > 10×EBT, of tussen EBT en 10×EBT gedurende meer dan 6 tot 12 maanden: Verdere actie is vereist:*
  - a. *de gezondheidsautoriteiten moeten worden geïnformeerd;*
  - b. *er moet worden getracht de chemische stoffen te identificeren die bijdragen tot het effect; en*
  - c. *optimalisering van het behandelingsproces moet worden overwogen.*

Meer informatie en veelgestelde vragen over het gebruik van effectmetingen voor waterkwaliteitsbepaling worden behandeld in (Neale, Escher et al. 2023).

## V Resultaten fytotoxiciteit

### V.1 Inleiding

Onbehandeld afvalwater bevat verschillende biologische (pathogenen) en chemische risicostoffen die tijdens de afvalwaterbehandeling grotendeels verwijderd worden. Om behandeld effluent geschikt te maken voor irrigatie in de glastuinbouw moet het water verder behandeld worden, zoals bijvoorbeeld met omgekeerde osmose. Hoewel omgekeerde osmose en gelijkwaardige behandelingsmethoden een hoge verwijdering van de verblijvende risicostoffen gegarandeerd, bestaat de mogelijkheid dat kleine hoeveelheden van risicostoffen nog steeds in het gereinigd water te vinden zijn omdat ze tijdens de aanvullende waterbehandeling niet verwijderd worden. Enkele stoffen die aanwezig zijn in effluent en niet (volledig) verwijderd door omgekeerde osmose staan in Bijlage Tabel 4, met daarbij de mate van verwijdering door omgekeerde osmose.

Binnen deze praktische studie zijn er een aantal risicostoffen gekozen waarvan bekend is, dat ze in het afvalwater voorkomen (Watson database) en tegelijk niet 100% door omgekeerde osmose verwijderd worden. Een overzicht van de gemiddelde concentraties in heel Nederland van deze stoffen in behandeld afvalwater en hun percentage verwijdering is in volgend overzicht weergegeven (Bijlage Tabel 4,). De fytotoxkit methode is ontwikkeld voor het testen van groeiremming in substraten (Blok, 2008) en is een geschikte methode voor het monitoren van het milieukwaliteit. Ook binnen het project "Goed gietwater" zijn deze testen gebruikt om groeiremming van verschillende chemicaliën te testen (Blok, 2012).

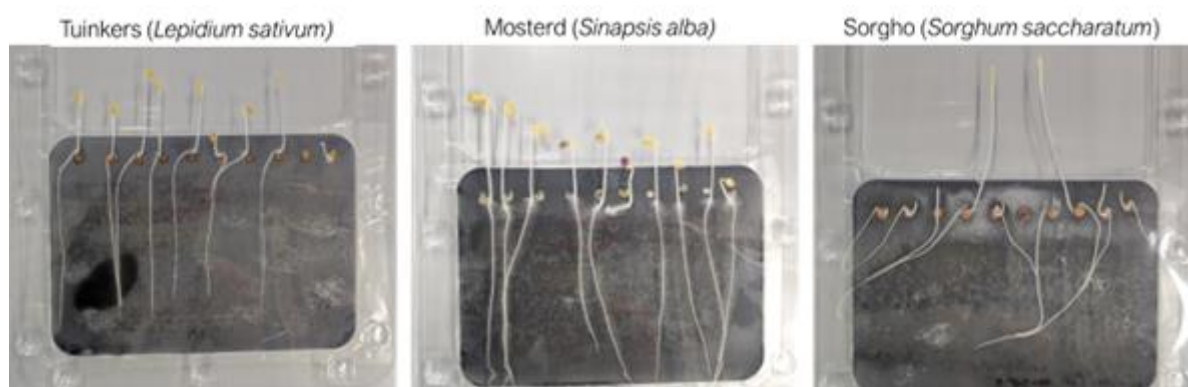
Bijlage Tabel 4: Risicostoffen in het afvalwater, verwijdering door omgekeerde osmose (RO) en fytotoxiciteit

Stof	Gebruik	Effluent concentratie watson database [ $\mu\text{g/L}$ ]	RO verwijdering	Fytotoxiciteit
<b>MTBE:</b> Methyl-tert-butylether	brandstofadditief	3.764	95.40% (1)	(4): laagste geteste concentratie van 370 mg/L had inhibitie van 4,6% in sla (5): kwantitatieve verandering van eiwitexpressie (in bonen)
<b>NDMA:</b> N-Nitrosodimethylamine	desinfectie bijproduct, carcinogenic	20-75 ng/L (sec. treated effluent, Spanje)	6.50% (1)	onbekend
1H-BT: 1H-Benzotriazol	Corrosie inhibitoren	4.579	75% (2) 15.6 % (3)	(6): Arabidopsis: beïnvloeding van hormonenhuishoud; assimilatie tot tryptophan en auxin planthormones (7): opname van zware metalen beïnvloedt; (8): 1-4 mg/L EC10 bij groenalgen; geen hormoonactiviteit
Metformine	diabetes medicament	2.414	87.3% (1) 80% (3)	(9): Positieve effect of kieming door productie van nitraationen;

	Literatuur 1: Ebrahimzade, 2021 2: STOWA, 2021 3: Brunner, 2020	4: Vosahlikova, 2006 5: Beltagi, 2007 6: LeFevre, 2015 7: Ran, 2023 8: Seeland, 2012 9: Chaabene, 2023
--	--	---

## V.II Materiaal en methoden

Voor de fytotoxiciteitstest zijn in de handel verkrijgbare kits van MicroBioTests (Gent, België) voor vloeistofmonsters gebruikt. Hier komen zaden in directe contact met water dat besmet is met chemicaliën in verschillende concentraties. Het effect op kieming en lengte van wortels en stengels van de planten in vergelijking met de controle laat zien of er sprake is van een fytotoxisch effect. Er zijn drie plantsoorten gebruikt: monocotyl *Sorghum saccharatum* (Sorgho), en de dicotylen *Lepidium sativum* (tuinkers) en *Sinapsis alba* (mosterd). Er is voor de volgende chemicaliën gekozen: N-Nitrosodimethylamine (NDMA), Metformin hydrochloride, 1H-Benzotriazole 99.5% en Methyl-tert-butylether (MTBE). De gebruikte chemicaliën zijn bij Boomlab (Meppel, Nederland) en Merck (Darmstadt, Duitsland) gekocht.



Bijlage Figuur 13: Controle planten op filterpapier en testplaten: tuinkers, mosterd en sorgho na drie dagen incubatie bij 25 °C

Er worden verschillende concentraties van de chemicaliënoplossingen in demiwater bereid (zie Bijlage Tabel 5). De concentraties zijn gekozen omdat in de literatuur bij deze concentraties effecten zijn beschreven (Bijlage Tabel 4). Echter zijn de geteste concentraties  $10^3$ - $10^5$  keer hoger dan in effluent. Het doel was om concentraties te testen waar een effect te verwachten was zodat duidelijk was dat de methode werkte, maar ook lagere concentraties die dichtbij de realiteit liggen. Er is ook een mix van alle vier chemicaliën getest omdat in het behandeld afvalwater verschillende chemische risicostoffen tegelijk kunnen voorkomen.

Bijlage Tabel 5: Geteste chemicaliën concentraties in de fytotoxtest

controle	Eenheid	NDMA	Metformine hydrochloride	1H-BT	MTBE	MIX (NDMA, Metformine, 1H-BT, MTBE)
demiwater	mg/L	0.01	5	5	5	0.5
	mg/L	0.1	50	50	50	5
	mg/L	5	150	500		

Op het filterpapier worden 20 mL van de oplossing opgebracht waarop per testplaat 10 zaden van een plantsoort geplaatst worden. De testplaat wordt gesloten om verdamping te voorkomen. Elke concentratie van de chemische stof wordt op 3 testplaten getest. Per concentratie zijn er in totaal 3 replicaten, dus 30 planten van een soort. Omdat er 3 plantsoorten getest worden, zijn in totaal 90 planten per concentratie getest. Bij elke test moeten ook controles gedaan worden. Hier wordt alleen demiwater op het filterpapier gepipetteerd. De testplaten worden voor 72 uur bij 25 °C incubéerd. Daarna worden er foto's van de platen gemaakt en om met behulp van het openbaar programma ImageJ (v.154g, Wayne Rasband and contributors of National Institutes of Health, USA) wortel- en stengellengtes gemeten. Statistische analyse is verder in het programma R (v4.3.0, The R Foundation for Statistical Computing) uitgevoerd. De inhibitie van stengel- of wortelgroei wordt als volgt berekend. "Chemicalieplant" zijn planten die met de chemische stof in contact waren:

$$\text{Inhibitie van stengel- of wortelgroei [in \%]} = (\text{Controleplant} - \text{chemicalieplant}) / \text{Controleplant} \times 100$$

### V.III Resultaten en discussie

Bijlage Tabel 6 geeft een overzicht van de percentage van groeiremming als gevolg van direct contact van zaden met demiwater gemengd met verschillende chemische risicostoffen. Er wordt de lengte van stengels en wortels van controleplanten met chemicaliën behandelde planten vergeleken. In sommige gevallen was er geen groeiremming, maar een verhoogde groei. Het is mogelijk dat de chemicaliën een groei bevorderende werking hebben. Echter kan het ook een defensieve reactie door de plant zijn omdat door een groter oppervlakte door de plant meer van de schadelijke stof weer naar buiten gepompt worden kan.

*Bijlage Tabel 6: Inhibitie van stengel-of wortelgroei in [%]. De groei van controleplanten wordt vergeleken met de groei van planten gegroeid op demiwater en verschillende concentraties van chemicaliën. Waardes groter dan 0 geven groeiremming veroorzaakt door de chemische stof aan. Waardes kleiner dan 0 bevorderden de groei van wortels of stengels van planten. Verder is met een ANOVA test berekende of het verschil tussen significant is en de p-waarde aangegeven*

	mg/L	N-Nitrosodimethylamine (NDMA)				Metformine hydrochloride		
		0.01	0.1	1	5	5	50	150
Lepidium sativum (tuinkers)	wortel	-5.02	-0.35		9.85	5.53	-6.61	-0.77
	stengel	12.7 3	-6.01		5.11	1.99	2.79	8.51
Significance ANOVA p-waarde	wortel							
	stengel							
Sinapsis alba (mosterd)	wortel	20.0 0	30.54	26.58	27.56	-3.02	3.48	12.36
	stengel	9.00	10.87	7.44	24.57	3.99	-3.14	4.35
Significance ANOVA p-waarde	wortel		0.0038	0.024	0.0002 9			
	stengel				0.0018			
Sorghum saccharatum (Sorgho)	wortel	5.14	19.8		19.89	1.20	-8.39	10.24
	stengel	7.81	21.9		40.41	9.77	11.88	34.34
Significance ANOVA p-waarde	wortel	0.00 28	0.0175 19					
	stengel		0.037		0.023			

	mg/L	1H-Benzotriazol (1H-BT)			Methyl-tert-butylether (MTBE)		MIX	
		5	50	500	5	50	0.5	5
Lepidium sativum (tuinkers)	wortel	-24.65	3.76	88.51	-19.06	-21.96	10.29	15.59
	stengel	-9.76	-0.40	79.20	-1.04	-13.41	2.95	0.70
Significance ANOVA p-waarde	wortel	0.00031		0.00992		0.0092		
	stengel			0.00057				
Sinapsis alba (mosterd)	wortel	1.04	29.59	82.44	-20.38	-37.48	5.52	13.01
	stengel	-5.46	22.55	48.35	-5.46	7.18	8.82	19.33
Significance ANOVA p-waarde	wortel		0.0035	2.2e-16		0.0033		
	stengel			0.018				0.017
Sorghum saccharatum (Sorgho)	wortel	-6.05	-1.66	27.10	-6.99	-4.62	4.18	7.15
	stengel	-14.29	12.97	39.82	-3.85	12.76	22.63	18.55
Significance ANOVA p-waarde	wortel							
	stengel							

Nu worden per stof de resultaten besproken. Daarna volgen de figuren die de resultaten illustreren.

### N-Nitrosodimethylamine (NDMA)

De meeste groeiremming was bij kieming van de planten op water besmet met NDMA te zien. Hoewel tuinkers bijna geen effecten liet zien (Bijlage Figuur 14), waren mosterd en sorgho gevoeliger voor NDMA. Vooral de wortels van planten gegroeid op water met chemicaliën waren significant korter dan in de controle. NDMA ontstaat tijdens een desinfectieproces waar onder andere chloor gebruikt wordt. Chloor wordt niet in de Nederlandse afvalwaterzuivering gebruikt, daarom zijn alleen heel lage concentraties van deze stof in afvalwater te verwachten (zie 20-75 ng/L in afvalwater in Spanje). De laagste geteste concentratie van 0.01 mg/L had alleen een kleine effect op het wortelgroei in sorgho, maar niet op de andere twee geteste planten.

### Metformine hydrochloride

De geteste concentraties (5-50 mg/L) hadden geen effect op tuinkers en mosterd. Alleen sorgho was gevoeliger voor metformine. De stengels van sorgho waren korter dan de controle planten (Bijlage Figuur 15), maar alleen bij de hoogste concentratie van 150 mg/L was er een groeiremming van de stengels groter dan 30%.

**1H-Benzotriazol (1H-BT)**

Er waren geen negatieve effecten op plantengroei meetbaar bij de laagste geteste concentratie van 5 mg/L 1H-BT. Echter waren de wortels en stengels van tuinkers op 5 mg/L 1H-BT langer dan in de controle planten (Bijlage Figuur 16). Er was ook een heel hoge concentratie van 500 mg/L 1H-BT getest, die bij alle drie plantsoorten groeiremming veroorzaakte. In tuinkers en mosterd waren deze verschillen zelfs significant.

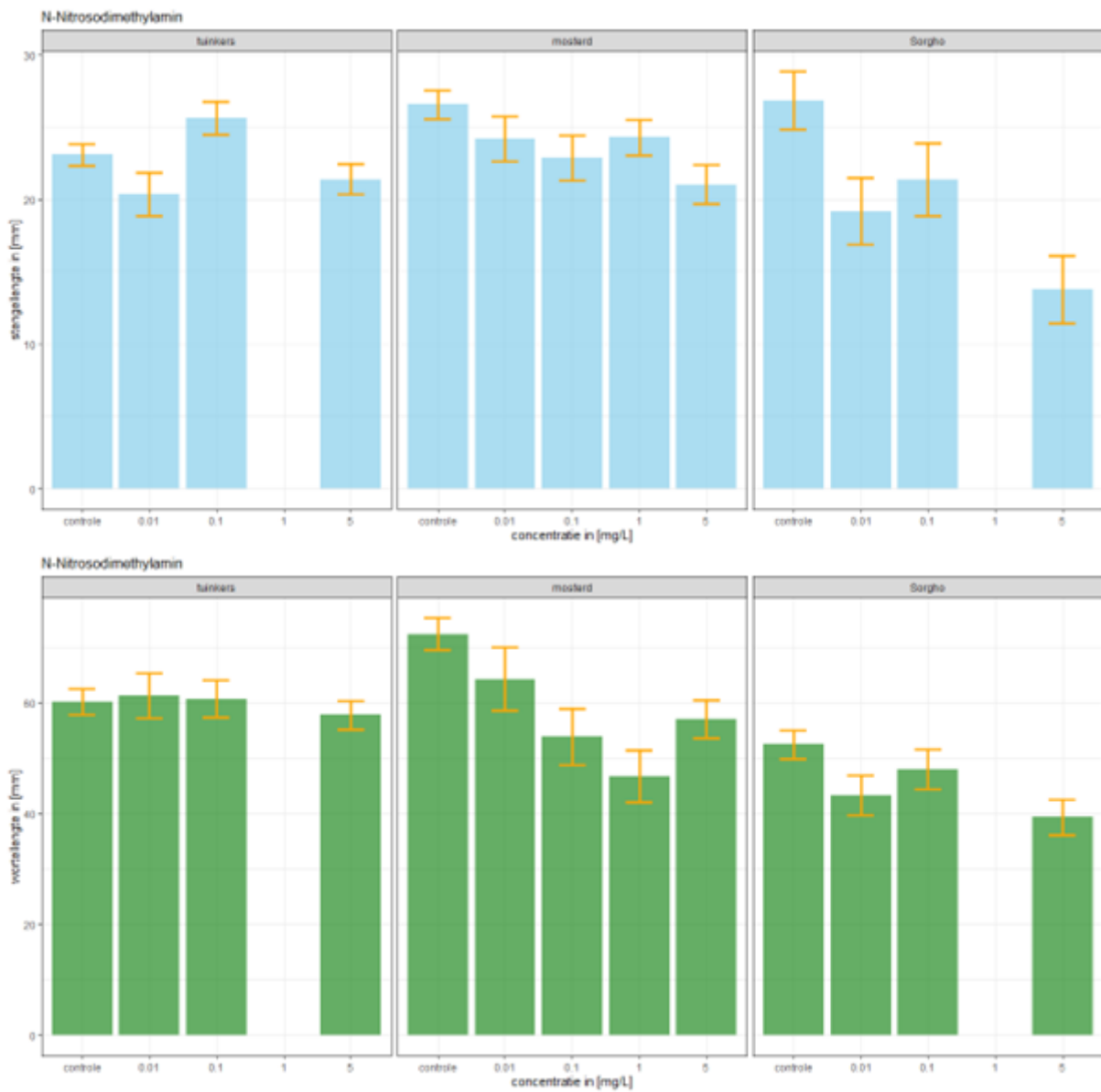
**Methyl-tert-butylether (MTBE)**

MTBE (5 en 50 mg/L) had geen negatieve effect, maar een groeibevorderende effect op de planten (Bijlage Figuur 17). Het is niet duidelijk of deze stof echter positief op planten werkt of het een stressreactie van de plant is als gevolg van direct contact van de zaad met MTBE besmet water.

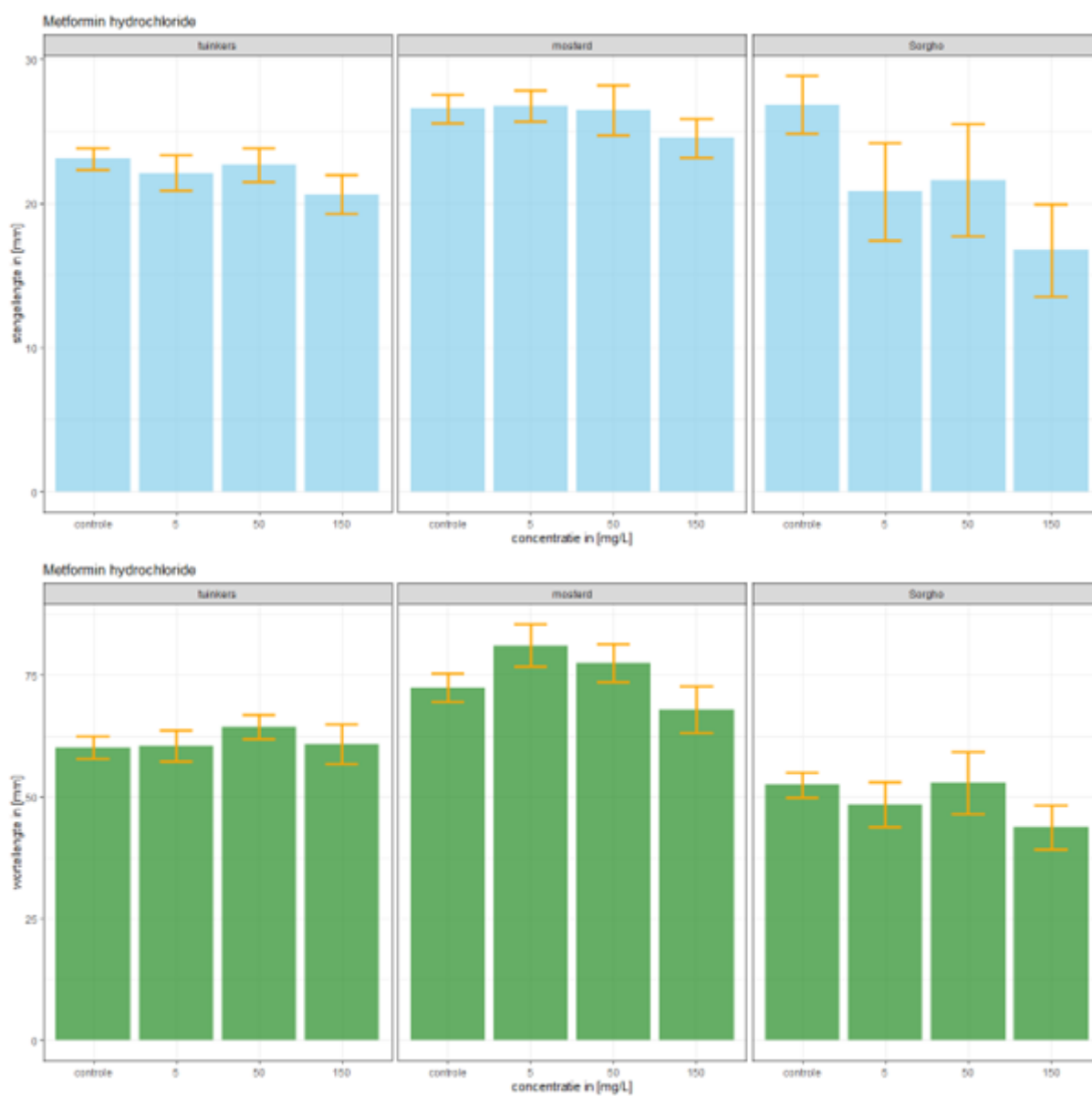
**MIX: NDMA, Metformine hydrochloride, 1H-BT, MTBE**

De groei van de zaden op een mix van alle vier chemicaliën veroorzaakte lichte groeiremming in alle drie plantsoorten maar de verschillen tot de controle planten waren niet significant (Bijlage Figuur 18). Hoewel de hogere concentratie meer groeiremming veroorzaakte, was alleen de stengellengte in mosterd significant verschillend met de controle planten.

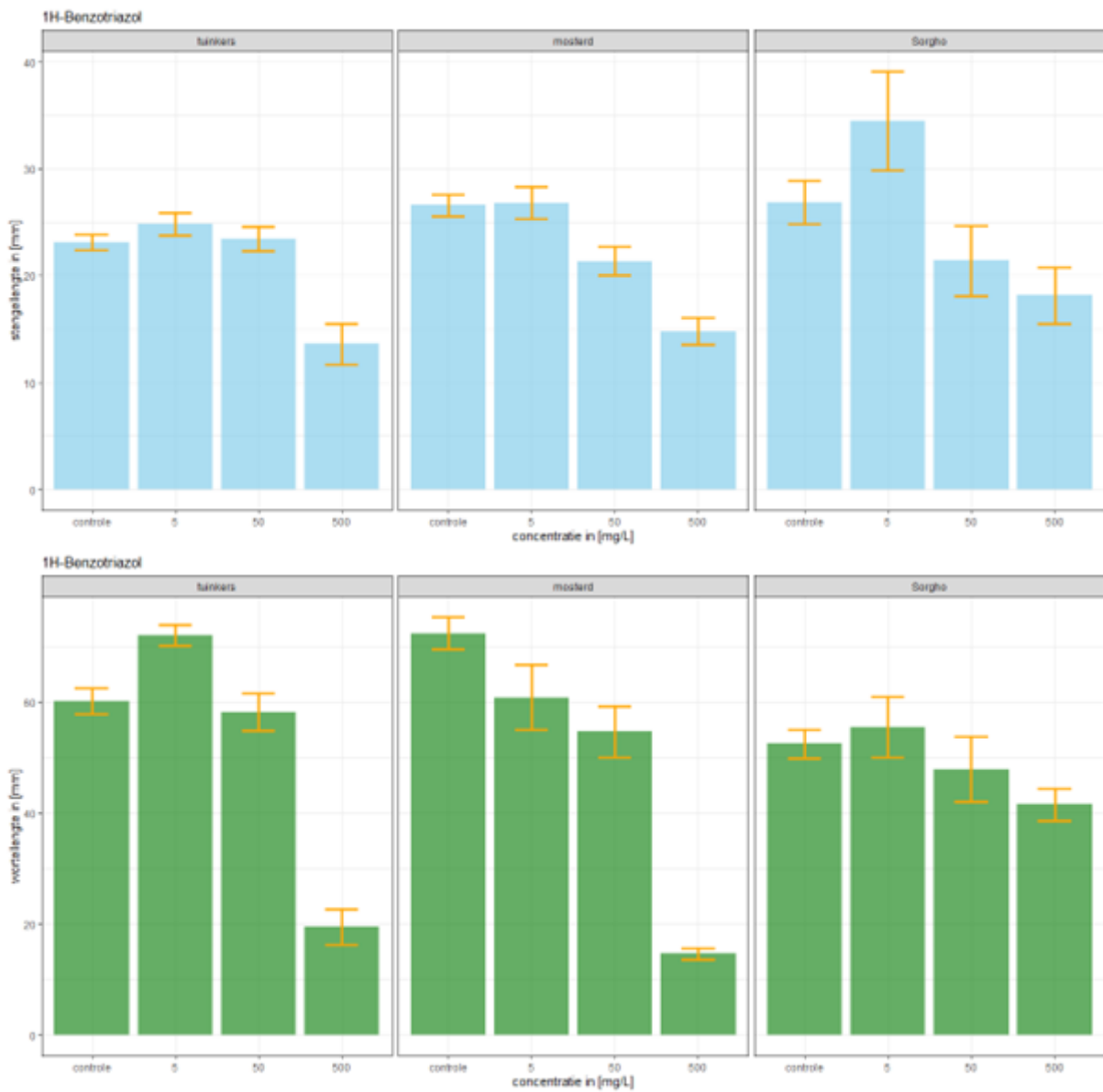




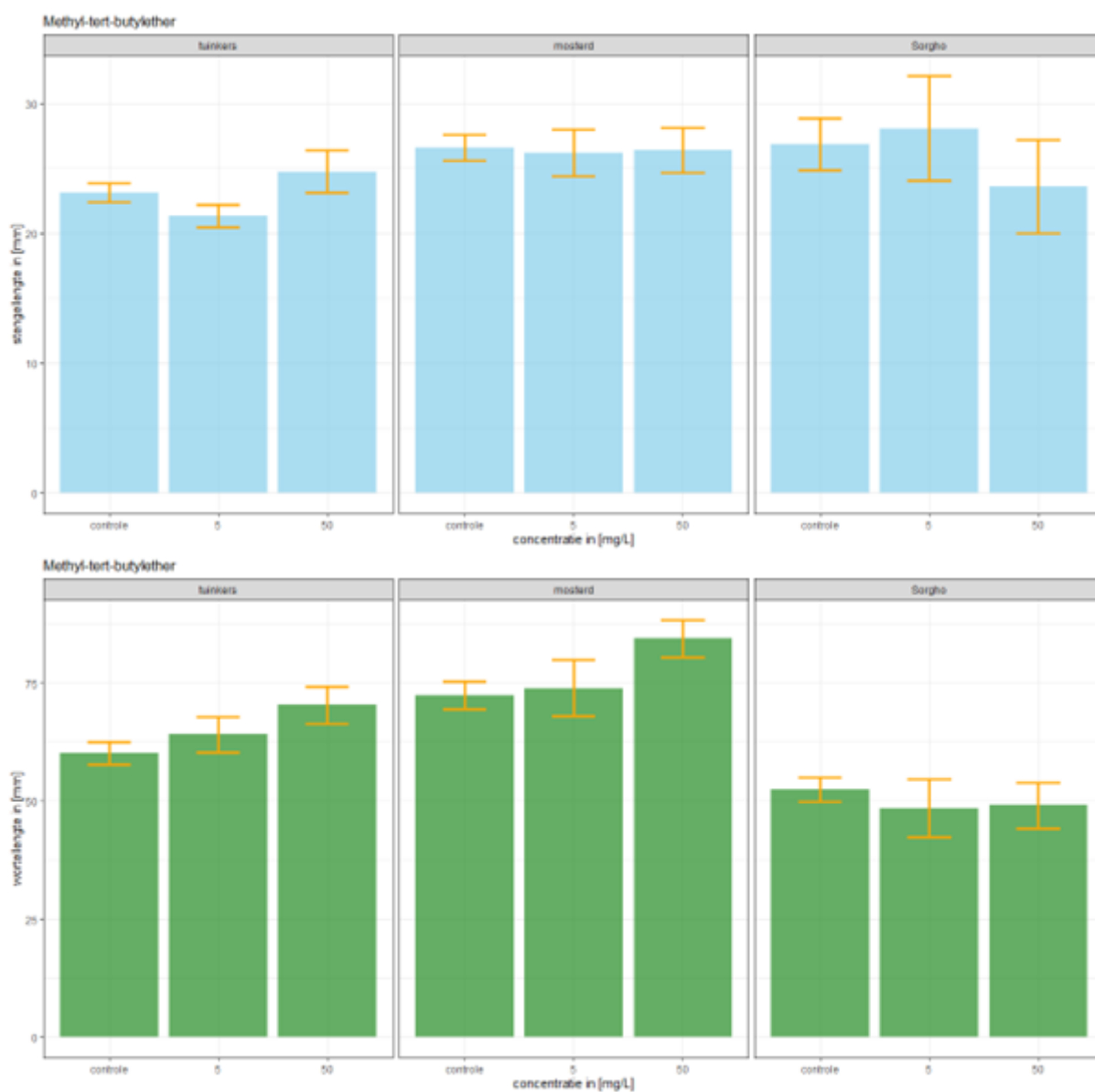
Bijlage Figuur 14: Wortel- en stengellengte van drie verschillende plantsoorten als gevolg van directe contact met N-Nitrosodimethylamine besmet water



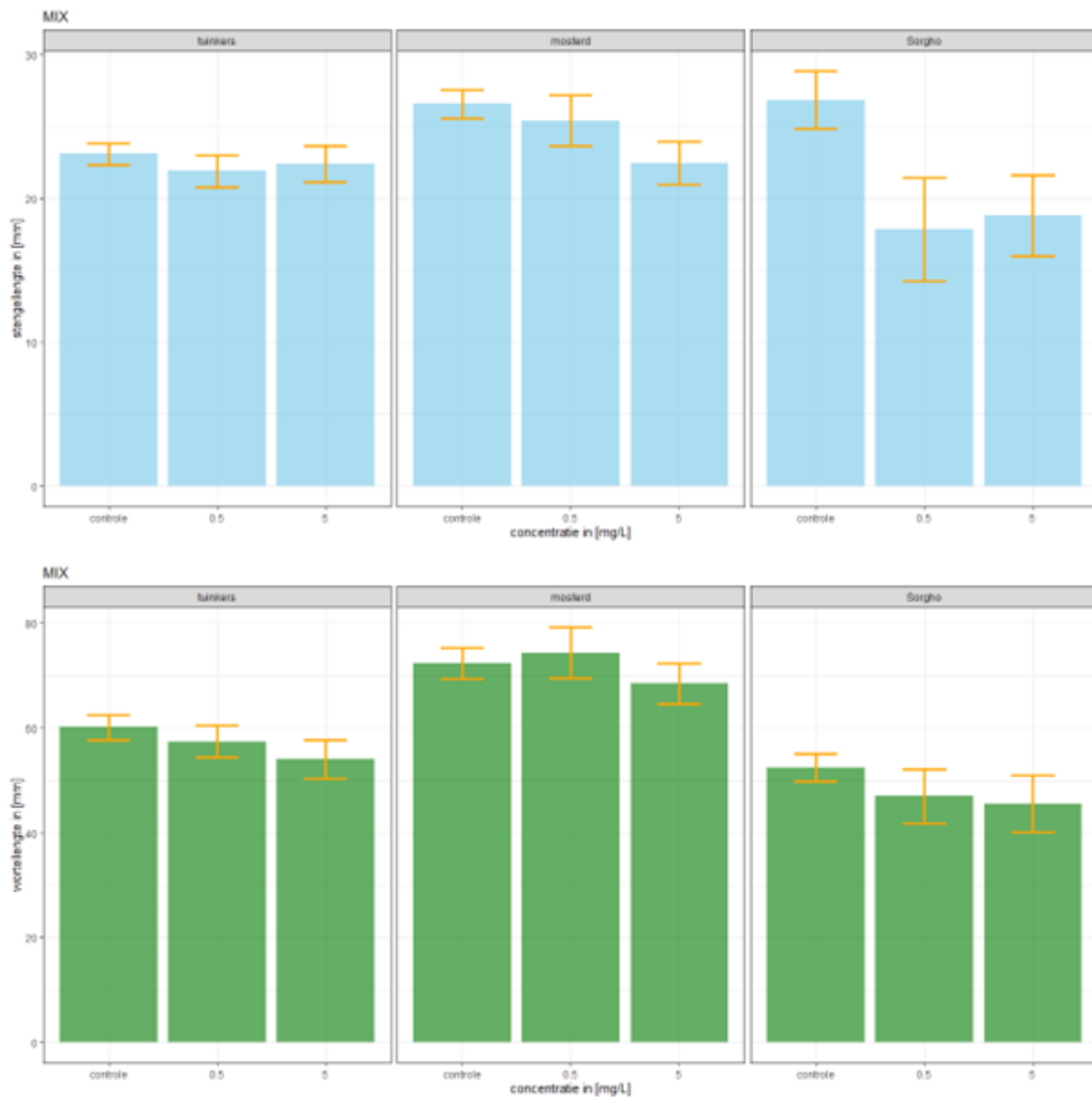
Bijlage Figuur 15: Wortel- en stengellengte van drie verschillende plantsoorten als gevolg van directe contact met Metformine hydrochloride besmet water



Bijlage Figuur 16: Wortel- en stengellengte van drie verschillende plantsoorten als gevolg van directe contact met 1H-Benzotriazol besmet water



Bijlage Figuur 17: Wortel- en stengellengte van drie verschillende plantsoorten als gevolg van directe contact met Methyl-tert-butylether besmet water



Bijlage Figuur 18: Wortel- en stengellengte van drie verschillende plantsoorten als gevolg van directe contact met een mix van vier chemicaliën (NDMA, Metformine hydrochloride, 1H-BT, MTBE) besmet water

## V.IV Conclusie

- Geteste plantsoorten verschillen in gevoeligheid afhankelijk van de geteste chemische risicostof
- Lage concentraties van de geteste stoffen, zoals in effluent, zullen geen negatief effect hebben op plantengroei
- Het gebruik van omgekeerde osmose om behandeld afvalwater verder te behandelen is een voldoende methode om de concentraties van risicostoffen te verlagen zonder gevolgen van fytotoxische effecten als het water voor irrigatie gebruikt wordt.
- De fytotoxtesten geven een goed beeld van direct effect van gecontamineerd irrigatie water. Door de relatief snelle tijd tot resultaat (72 uur), kan er met regelmaat een test uitgevoerd worden om te controleren of het behandelde effluent nog steeds voldoet op het gebied van groeiremming/ fytotoxiciteit.
- De fytotoxtesten kunnen alleen een toxisch effect op korte termijn weergeven.

- Lange termijn effecten van heel lage concentraties van chemische risicostoffen of een ophoging door de tijd zijn nog niet bekend.
- Het is ook belangrijk welke soort teelt gebruikt wordt (hydroponics, substraat, grondgebonden). Het substraat kan in wisselwerking met de chemische risicostoffen staan door hechting aan het materiaal, verhoging van de toxiciteit, of interactie met metalen

### Literatuur behorend bij Bijlage V

Ebrahimzadeh, Salma, et al. "Quantification and modelling of organic micropollutant removal by reverse osmosis (RO) drinking water treatment." *Journal of Water Process Engineering* 42 (2021): 102164.

STOWA (2021), rapport gidsstoffen. Bepaling verwijderingsrendement medicijnresten rwzi-afvalwater. Koepelvoorschrift en onderbouwende eindrapportage plus deelrapportages. Bepaling verwijderingsrendement medicijnresten rwzi-afvalwater. Koepelvoorschrift en onderbouwende eindrapportage plus deelrapportages | STOWA

Brunner, Andrea M., et al. "Integration of target analyses, non-target screening and effect-based monitoring to assess OMP related water quality changes in drinking water treatment." *Science of the total environment* 705 (2020): 135779.

Vosahlikova, Miluse, et al. "Effect of methyl tert-butyl ether in standard tests for mutagenicity and environmental toxicity." *Environmental Toxicology: An International Journal* 21.6 (2006): 599-605.

Beltagi, Mohamed S. "Phytotoxicity of methyl tert-butyl ether (MTBE) to common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Plants." *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences* 3.4 (2007): 214-219.

LeFevre, Gregory H., et al. "Rapid phytotransformation of benzotriazole generates synthetic tryptophan and auxin analogs in *Arabidopsis*." *Environmental science & technology* 49.18 (2015): 10959-10968.

Ran, Chunmei, et al. "Combined pollution effects of Cu and benzotriazole in rice (*Oryza sativa* L.) verified by split-root experiment." *Environmental Science and Pollution Research* 30.40 (2023): 91997-92006.

Seeland, Anne, et al. "Acute and chronic toxicity of benzotriazoles to aquatic organisms." *Environmental Science and Pollution Research* 19 (2012): 1781-1790.

Chaabene, R., L. Khannous, and Y. Samet. "Electrochemical degradation of aqueous metformin at boron-doped diamond electrode: kinetic study and phytotoxicity tests." *International Journal of Environmental Science and Technology* 20.5 (2023): 5169-5182.

## VI Monitoringsplan

Er is een monitoringsplan opgesteld met daarin de monitoring voor procesparameters, doelstoffenanalyse, bioassays en microbiologische monitoring. Bijlage Tabel 7 geeft een stukje van het monitoringsplan wat de procesparameters betreft.

*Bijlage Tabel 7: stukje uit het monitoringsplan*

Aanname: behandeling met grof filter, RO en actief kool									
parameter	frequentie van meten	locatie van meten	manier van meten	Op basis van wet/ regel	Streef waarde	Signalerings-waarde	eenheid	maatregel	opmerking
Proces parameters									
pH	doorlopend	in ruwe effluent en voor afleverpunt	online pH sensor	glastuinbouw norm	5.5-6.5	<5, >7		pH stellen	
EC	doorlopend	voor afleverpunt	online EC ensor	glastuinbouw norm	<0.2		mS/cm	geen gietwater naar kas brengen, RO controleren	
BZV	1x per week	voor afleverpunt		verordening (EU) 2020/741 van het Europees Parlement inzake minimumeisen voor hergebruik van water	<=10		mg/l		
TSS	1x per week	voor afleverpunt		verordening (EU) 2020/741 van het Europees Parlement inzake minimumeisen voor hergebruik van water	<=10		mg/l		

troebelingsgraad	doorlopend	na grof filter en voor afleverpunt	online meter	verordening (EU) 2020/741 van het Europees Parlement inzake minimumeisen voor hergebruik van water	<=5	NTU	filter terugspoelen/ vervangen	
Redox								
Keuze uit								
fluorescentie		voor en na RO	online meter van Sendot				RO membraan vervangen	TRL niveau erg laag
natuurlijke virussensor		Voor en na RO	online PCR meter				RO membraan vervangen	