



Evaluatie zuiveringstechniek voor verwijdering gewasbeschermingsmiddelen uit lozingswater glastuinbouw

Beoordeling van vier technieken op effectiviteit in verwijderen gewasbeschermingsmiddelen uit lozingswater en toepasbaarheid in een glastuinbouwomgeving

Jim van Ruijven, Erik van Os, Marieke van der Staaij en Ellen Beerling



Referaat

Gewasbeschermingsmiddelen afkomstig uit de glastuinbouw worden door waterschappen in concentraties aangetroffen die de waterkwaliteitsnormen overschrijden. Om dit probleem op te lossen en de negatieve gevolgen die dit kan hebben voor de toelating van de middelen, is onderzoek uitgevoerd naar technieken die gewasbeschermingsmiddelen uit het lozingswater van glastuinbouwbedrijven kunnen verwijderen. Op basis van een longlist van potentieel geschikte zuiveringstechnieken, zijn vier technieken geselecteerd en getest op zuiveringseffectiviteit, toepasbaarheid in de glastuinbouw, en kosten: (1) elektrochemische flocculatie, (2) waterstofperoxide met lagedruk UV, (3) waterstofperoxide met middendruk UV en (4) ozon in combinatie met een actief koolstoffilter. Met ozon (zonder actief koolfilter) en met waterstofperoxide met UV (lagedruk en middendruk) wordt een gemiddelde zuiveringseffectiviteit van 80% bereikt. Ozon in combinatie met een actiefkoolfilter kan bij kortstondige belasting een zuiveringseffectiviteit van 100% halen. Bij langduriger belasting zal het actiefkoolfilter middelen doorlaten, waardoor de effectiviteit zal afnemen. Een actiefkoolfilter kan ook bij de andere technieken worden nageschakeld (niet getest). Elektrochemische flocculatie gaf een zuiveringseffectiviteit van 40%. Deze techniek is in de huidige pilotopstelling onvoldoende geschikt maar kan na doorontwikkeling mogelijk wel interessant worden. De toepasbaarheid van de overige drie technieken is over het algemeen goed. Kostenberekeningen (opgave door de bedrijven) laten zien dat waterstofperoxide met lagedruk UV de goedkoopste en ozon (zonder koolstoffilter) de duurste techniek is. Voor een bedrijf van 5ha bedragen de kosten €1,00-3,40 per m³ en €0,10-0,20 per m² per jaar. Gebruik van een actief koolfilter voegt daar nog ongeveer €0,16-0,70 per m³ en €0,01-0,03 per m² per jaar aan toe.

Abstract UK

Plant Protection Products (PPPs) used in greenhouse horticulture are found in surface waters in quantities that exceed the water quality standards. To solve this problem, a study has been carried out in which technologies are evaluated for their capacity to remove PPPs from greenhouse discharge water. Four technologies are tested on removal efficiency, applicability in horticulture and costs: (1) electrochemical flocculation, (2) peroxide with low pressure UV, (3) peroxide with medium pressure UV, and (4) ozone combined with an activated carbon filter. With ozone (without activated carbon) and peroxide with UV (low and medium) average efficiencies of 80% were obtained. Ozone combined with activated carbon can reach 100% efficiency at short loading periods. At longer loading periods efficiency will drop because of breakthrough of PPPs. Activated carbon filter can also be applied after the other technologies (not tested). Electrochemical flocculation gave an efficiency of 40%. The pilot setup of this technique was insufficient, but may well become suitable after further development. Applicability of the other three technologies is generally good. Calculations of costs (provided by the companies) show that peroxide with low pressure UV is the cheapest technology and ozone (without activated carbon) is the most expensive. For a company of 5ha costs are €1.00-3.40 per m³ and €0.10-0.20 per m² per year. Use of an active carbonfilter adds to this about €0.16-0.70 per m³ and €0.01-0.03 per m² per year.



© 2013 Wageningen, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO) onderzoeksinstituut Wageningen UR Glastuinbouw.

Wageningen UR Glastuinbouw

Adres : Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk
: Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk
Tel. : 0317 - 48 56 06
Fax : 010 - 522 51 93
E-mail : glastuinbouw@wur.nl
Internet : www.glastuinbouw.wur.nl

Inhoudsopgave

	Samenvatting	5
	Voorwoord	7
1	Introductie	9
	1.1 Aanleiding	9
	1.2 Zuiveringsonderzoek tot nu toe	9
	1.3 Aanpak en uitgangspunten	10
	1.4 Doel	10
	1.5 Afbakening	10
	1.6 Stuurgroep en Begeleidingscommissie	11
2	Materiaal en methoden	13
	2.1 Selectie van technieken en techniekleveranciers	13
	2.2 Experimentele infrastructuur	13
	2.3 Standaard Water en praktijkwater	14
	2.4 Experimentele opzet	14
	2.4.1 Zuiveringseffectiviteit	15
	2.4.2 Kosten	15
	2.4.3 Toepasbaarheid in glastuinbouw	17
3	Resultaten	19
	3.1 Zuiveringseffectiviteit	19
	3.2 Kosten	21
	3.3 Toepasbaarheid in de glastuinbouw	23
	3.3.1 Veiligheid	24
	3.3.2 Vorming van schadelijke restproducten	24
	3.3.3 Ontstaan ecotoxische stoffen	24
	3.3.4 Gebruiksgemak	24
	3.3.5 Ruimtegebruik	25
	3.3.6 Storingsgevoeligheid	25
	3.3.7 Hoeveelheid benodigde chemicaliën	25
	3.3.8 Onderhoud	25
	3.4 Invloed vervuiling op zuiveringseffectiviteit	25
4	Algemene discussie	29
5	Conclusies	31
	5.1 Zuiveringseffectiviteit	31
	5.2 Kosten	31
	5.3 Toepasbaarheid in glastuinbouw	32
6	Referenties	33
Bijlage I	Nadere toelichting technieken	35
Bijlage II	Infrastructuur waterzuiveringsonderzoek	39

Bijlage III	‘Standaard Water’ voor toetsing zuiverings-techniek voor lozingswater uit glastuinbouw	41
Bijlage IV	Samenstelling testwater	43
Bijlage V	Protocol beoordeling toepasbaarheid glastuinbouw	47
Bijlage VI	Biotoets voor analyse afbraakproducten In samenwerking met Ecofide, Weesp	49
Bijlage VII	Longlist potentiële zuiveringstechnieken voor verwijdering GBM uit lozingswater	53
	Gebruikte afkortingen	3 omslag

Samenvatting

In de glastuinbouw wordt bij de substraatteelten het drainwater in principe hergebruikt, hoewel er redenen zijn waarom dit niet altijd volledig gebeurt. Volgens de huidige emissienormen voor stikstof (Activiteitenbesluit Landbouw, per 1 januari 2013) mag er jaarlijks een vastgestelde maximale hoeveelheid per hectare geloosd worden. Deze emissienorm wordt in de loop der jaren aangescherpt en zal uiteindelijk in 2027 nagenoeg nul zijn, om aan de eisen van de Kaderrichtlijn Water te kunnen voldoen. Waterschappen treffen daarnaast ook gewasbeschermingsmiddelen (GBM) aan in het oppervlaktewater van glastuinbouwgebieden in concentraties die hoger zijn dan de waterkwaliteitsnorm (www.bestrijdingsmiddelenatlas.nl). Recente modelberekeningen laten zien dat emissiepercentages van GBM uit de kas aanzienlijk hoger kunnen zijn dan waar het toelatingsbeleid voor die middelen tot nu toe vanuit gaat (0,1% van de toegediende hoeveelheid). Als dit model in het toelatingsbeleid doorgevoerd wordt en de huidige lozingspraktijk en/of het middelengebruik niet wijzigt, gaat dit waarschijnlijk negatieve gevolgen hebben voor het beschikbare middelenpakket voor de glastuinbouw.

Het is daarom noodzakelijk om aan het terugdringen van de emissie van GBM apart aandacht te geven zodat de emissies teruggebracht worden in de richting van het oorspronkelijke uitgangspunt van 0,1% van de toegediende hoeveelheid middel. Naast alternatieven voor het gebruik van chemische GBM en spui-beperkende teeltstrategieën voor substraat- en grondteelten, zal gezien de urgentie van het probleem op korte termijn een zuivering van het lozingswater (oftewel spui) noodzakelijk zijn om de gewenste, aanzienlijke reductie van de emissie van GBM te bereiken.

Doel van het huidige onderzoeksproject is het selecteren en testen van enkele op (korte termijn) beschikbare technieken voor de verwijdering van GBM uit glastuinbouw lozingswater. Op basis van deze tests kunnen uitspraken gedaan worden over de zuiveringseffectiviteit, de kosten en de toepasbaarheid van de technieken in de glastuinbouw.

In fase 1 van het project heeft het Innovatiebureau Watertechnologie van NWP (Netherlands Water Partnerschip) een inventarisatie gehouden onder haar leden (watertechnologie bedrijven) om inzichtelijk te krijgen welke technieken in aanmerking komen om lozingswater uit de glastuinbouw te zuiveren van GBM. Dit heeft geleid tot een longlist met daarin een overzicht van technieken die beschikbaar zijn of op afzienbare termijn beschikbaar komen, en die in potentie geschikt zijn om GBM uit spuiwater te verwijderen. Deze longlist is vervolgens door de begeleidingscommissie (BCO) beoordeeld op beschikbaarheid, ingeschatte effectiviteit in verwijdering GBM, prijs en robuustheid. Op basis van advies van de BCO heeft de Stuurgroep van het project vier technieken aangewezen, waarvoor leveranciers zich konden aanmelden. In fase 2 zijn de volgende technieken nader getest op zuiveringseffectiviteit, kosten en toepasbaarheid in de glastuinbouw: elektrochemische flocculatie (ECF; Hellebrekers Technieken), H_2O_2 met lagedruk UV (LDUV; HortiMaX), H_2O_2 met middendruk UV (MDUV: Priva) en Ozon met een actief koolfilter (Van Antwerpen Milieutechniek).

De testomstandigheden zijn voor de verschillende opstellingen zoveel mogelijk gelijkwaardig gemaakt. Daarom zijn de tests waar mogelijk tegelijkertijd uitgevoerd, met hetzelfde uitgangswater. Er is er gewerkt met Standaard Water met een constante samenstelling van nutriënten, GBM en typische tuinbouwvervuilingen, om achtereenvolgende tests (ook die in de toekomst) met elkaar te kunnen vergelijken. Dit Standaard Water is een goede weergave van een zogenoemde *realistic worst case* spuiroom uit de glastuinbouw. Naast de experimenten met Standaard Water zijn de opstellingen ook drie keer getoetst met Standaard Water zonder organische vervuilingen en met water van een praktijkbedrijf (roos). De 12 GBM uit het Standaard Water worden gezien als representatief voor de middelen in de glastuinbouw, en zijn geselecteerd in overleg met o.a. LTO, waterschappen, en producenten van GBM.

In dit project is voor vier geselecteerde technieken de effectiviteit in het verwijderen van GBM uit glastuinbouw spuiwater bepaald onder gestandaardiseerde praktijkomstandigheden. Onze conclusies betreffen de opstellingen en instellingen zoals geleverd door de techniekleveranciers. Analyses van de uitgevoerde zuiveringsexperimenten leveren de volgende conclusies over de geselecteerde technieken op:

- De zuiveringseffectiviteit van Ozon zonder actief koolfilter (Van Antwerpen Milieutechniek), H_2O_2 + LDUV (HortiMaX) en H_2O_2 + MDUV (Priva) is tussen de 80% en 90%. Dit is de gemiddelde zuiveringseffectiviteit voor de middelen in het Standaard Water. Een vergelijkbare zuiveringseffectiviteit is bereikt met spuiwater afkomstig van twee glastuinbouwbedrijven met rozenteelt op substraat. De zuiveringseffectiviteit van ECF is ca. 40%. Een mogelijke oorzaak voor het lage rendement ligt in de ontwikkelingsstatus van de aangeleverde opstelling.
- Toevoegen van een actief koolstoffilter achter de ozoninstallatie verhoogt de zuiveringseffectiviteit naar 100% in deze kortlopende tests. Dit geldt voor alle middelen in het Standaard Water. Plaatsen van een actief koolfilter achter de andere oxidatietechnieken levert waarschijnlijk een vergelijkbaar resultaat op, maar dit is niet onderzocht. Kanttekening die geplaatst moet worden is dat de zuiveringseffectiviteit van actief kool lager wordt bij langduriger belasting. Realistisch gezien mag 100% verwijdering dus niet verwacht worden, maar eerder in de buurt van 95%, maar dit is afhankelijk van de vervangingssnelheid.

De kostenberekening van de technieken zijn gemaakt aan de hand van data aangeleverd door de techniekleveranciers. Zij hebben zich gebaseerd op een casusbeschrijving waarin de bedrijfsgrootte (5 of 30ha) en de afmeting van de spuiwaterstroom (500 of 1250m³/ha) onderdeel zijn van een gevoeligheidsanalyse.

- H_2O_2 + LDUV is de goedkoopste techniek, daarna H_2O_2 + MDUV en Ozon (zonder actiefkoolfilter) is de duurste volgens deze berekeningen. Voor een bedrijf van 5ha variëren de jaarkosten per m³ tussen 1,00 en 3,40€ en per m² van 10 tot 20 cent, afhankelijk van de hoeveelheid geloosd water en de techniek.
- Gebruik van een actief koolfilter achter Ozon (of achter H_2O_2 + UV) voegt daar ongeveer 16-70 cent per m³ en 1-3 cent per m² aan toe, bij vervanging na ongeveer 20.000 BVT (afhankelijk van de situatie, na 9 maanden tot 2,5 jaar). Dit is een aanname die niet in dit project is onderzocht. In de praktijk zal dit afhangen van de belasting van het filter (samenstelling en concentraties van de te verwijderen GBM, aanwezige vervuilingen) en welke zuiveringseffectiviteit minimaal gewenst is.
- Als de technieken toegepast worden op een bedrijf van 30ha, worden de jaarkosten aanzienlijk lager: 0,60 - €1,15 per m³ en per m² van ongeveer 3 tot 10 cent, afhankelijk van de hoeveelheid geloosd water en de techniek.
- UV en Ozon worden ook toegepast voor de ontsmetting van drainwater. Door een slimme combinatie van beide toepassingen (ontsmetting drain en zuivering spui) kan een aanzienlijke kostenbesparing worden bereikt.

Daarnaast is de toepasbaarheid van deze vier geselecteerde technieken in de glastuinbouw bepaald door een expertbeoordeling van de apparaten op veiligheid, restproducten, ontstaan ecotoxische stoffen, gebruiksgemak, ruimtegebruik, storingsgevoeligheid, benodigde chemicaliën en onderhoud. Uit de resultaten kan het volgende worden geconcludeerd:

- De toepasbaarheid in de glastuinbouw van Ozon met actief koolfilter, H_2O_2 + LDUV en H_2O_2 + MDUV is over het algemeen goed. De opstellingen kunnen worden geautomatiseerd in het productieproces, zijn relatief storingsongevoelig en hebben relatief weinig ruimte nodig.
- Er zijn aandachtspunten op het gebied van veiligheid bij het gebruik van ozon en H_2O_2 , maar deze punten lijken goed op te lossen.
- Bij oxidatietechnieken ontstaan mogelijk schadelijke afbraakproducten. In vervolgonderzoek zal duidelijk moeten worden hoe groot dit risico is en of actief kool dit voldoende kan ondervangen.
- De toepasbaarheid van ECF (Hellebrekers Technieken) is in de huidige vorm onvoldoende.

In vervolgonderzoek zal bekeken moeten worden wat de effectiviteit van de zuiveringstechnieken is bij andere (hogere) concentraties van gewasbeschermingsmiddelen. Ook zal de effectiviteit van het actiefkoolfilter in combinatie met oxidatietechnieken onderzocht moeten worden onder langdurige belasting, om een reële inschatting van de kosten en baten te kunnen maken. Tenslotte zal de efficiëntie (effectiviteit, kosten/baten) van het vaker behandelen van water onderzocht worden.

Voorwoord

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het Platform Duurzame Glastuinbouw en is gefinancierd door, en uitgevoerd in samenwerking met, een groot consortium van publieke en private partijen. Dit weerspiegelt het breed gedragen gevoel van noodzaak en urgentie om de emissies van gewasbeschermingsmiddelen vanuit de glastuinbouw aan te pakken.

Dit project is een plezierige en vruchtbare samenwerking gebleken tussen de glastuinbouw- en watertechnologiesector. De eerste fase van het onderzoek (opstellen van longlist van technieken en selectie) is uitgevoerd in nauwe samenwerking met eerst Ger Pannekoek en later Roy Neijland van het Innovatieprogramma Watertechnologie, behorende bij het Nederlands Water Partnership (NWP). Het onderzoek werd begeleid door een begeleidingscommissie (BCO) onder voorzitterschap van Guus Meis (LTO Noord Glaskracht), en bestond verder uit Hans Koolhaas (LKP Plants), Martijn Ammerlaan (Bleiswijkse Zoom), Bas Nanninga (Hoogheemraadschap van Delfland), Maarten Nederlof (Wetsus/CEW), Roy Neijland (NWP) en Freddy Dekkers (NWP). Wij zijn de leden van de BCO zeer erkentelijk voor de waardevolle rol die zij hebben gespeeld bij het voorbereiden van de adviezen voor de stuurgroep en de uitvoering van het onderzoek.

De stuurgroep met daarin de vertegenwoordigers van de financiers, heeft op basis van de adviezen van de BCO de te testen technieken en de bijbehorende technologieleveranciers geselecteerd. Wij danken de leden van de stuurgroep voor haar sturende en controlerende rol: Joke Klap (Productschap Tuinbouw; voorzitter), Folkert Folkertsma (ministerie van Economische Zaken), Ruud Teunissen (ministerie van Infrastructuur en Milieu), Jolanda Schrauwen (Hoogheemraadschap van Delfland, en mede namens Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard), Henk Ketelaars (Evides Waterbedrijf), Jan Bouwman (Syngenta, mede namens Bayer, Basf en Certis), en Aleid Diepeveen (Nederlands Water Partnership).

Hortimax, Priva, van Antwerpen Milieutechniek en Hellebrekers Technieken hebben de apparatuur geleverd en operationeel gehouden waardoor de tests konden worden uitgevoerd. Dank voor de prettige samenwerking en het verstrekken van relevante informatie waardoor het onderzoek goed kon verlopen. Met vertegenwoordigers van de gewasbeschermingsmiddelenproducenten Syngenta, Basf en Bayer (resp. Jan Bouwman, Klaas Jilderda en Tom Smit) zijn de resultaten en conclusies op stofniveau en voor het gehele middelenpakket besproken. Tot slot, het onderzoek had niet uitgevoerd kunnen uitvoeren zonder de uitstekende technische ondersteuning van onze collega's Rob Pret, Piet Koorneef, Kees Scheffers, Gerard van den Broek en Jan Willem de Vries, die er ook voor hebben gezorgd dat de infrastructuur van het IDC Water werd gerealiseerd.

Ellen Beerling,

mede namens Jim van Ruijven, Erik van Os en Marieke van der Staaij

Bleiswijk, 20 april 2013

1 Introductie

1.1 Aanleiding

In de glastuinbouw wordt bij de substraatteelten het drainwater in principe hergebruikt. Er zijn echter redenen waarom dit niet altijd volledig gebeurt: vanwege ophoping van natrium, voorkomen van of angst voor groeiremmende stoffen en ziekteverwekkers in het drainwater, onbalans in nutriëntensamenstelling en storingen of andere calamiteiten. Volgens de huidige emissienormen voor stikstof (Activiteitenbesluit Landbouw, per 1 januari 2013) mag er jaarlijks een vastgestelde maximale hoeveelheid per hectare geloosd worden. Deze emissienorm wordt in de loop der jaren aangescherpt en zal uiteindelijk in 2027 nagenoeg nul zijn, om aan de eisen van de Kaderrichtlijn Water te kunnen voldoen. Naast stikstof (en fosfaat) bevat het lozingswater echter ook gewasbeschermingsmiddelen (GBM). Waterschappen treffen GBM aan in glastuinbouwgebieden in concentraties die hoger zijn dan de waterkwaliteitsnorm (www.bestrijdingsmiddelenatlas.nl). Recente modelberekeningen van het RIVM en Wageningen UR Glastuinbouw (Vermeulen *et al.* 2010) laten zien dat emissiepercentages van GBM uit de kas aanzienlijk hoger kunnen zijn dan waar het toelatingsbeleid voor die middelen tot nu toe vanuit gaat (0,1% van de toegediende hoeveelheid). Zodra dit model in het toelatingsbeleid doorgevoerd wordt en de huidige lozingspraktijk en/of het middelengebruik niet wijzigt, gaat dit waarschijnlijk negatieve gevolgen hebben voor het beschikbare middelenpakket voor de glastuinbouw. Het is daarom noodzakelijk om aan het terugdringen van de emissie van GBM apart aandacht te geven zodat dit teruggebracht wordt in de richting van het oorspronkelijke uitgangspunt van 0,1% emissie.

Er wordt door de sector flink geïnvesteerd in het terugdringen van de emissie van nutriënten en GBM. Dit gebeurt onder andere door het ontwikkelen van alternatieven voor chemische GBM (geïntegreerde en biologische gewasbescherming) en spui-beperkende teeltstrategieën voor substraat- en grondteelten (onder andere in de Glastuinbouw Waterproof projecten). De verwachting is dat op termijn met deze aanpak de emissies aanzienlijk kunnen worden gereduceerd, maar dat dit gezien de urgentie, op dit moment onvoldoende is om de gevolgen van het wijzigen van het toelatingsbeleid te voorkomen. Een andere belangrijke ontwikkeling is dat een aanzienlijk deel van de glastuinbouwbedrijven inmiddels op de riolering is aangesloten en het lozingswater dus niet meer direct maar via afvalwaterzuiveringsinstallaties (AWZI) op het oppervlaktewater wordt geloosd. Deze AWZI's kunnen nutriënten goed verwijderen, maar zijn niet ingericht om GBM te verwijderen. Hierdoor blijft de belasting van het oppervlaktewater met GBM en overschrijdingen van de waterkwaliteitsnormen bestaan. Voor de korte termijn zal daarom een zuivering van het lozingswater (oftewel spui) noodzakelijk zijn om de gewenste, aanzienlijke reductie van de emissie van GBM te bereiken.

1.2 Zuiveringsonderzoek tot nu toe

Er wordt al enige tijd aandacht besteed aan mogelijkheden om spui te zuiveren van GBM (o.a. Vulto & Beltman, 2007). De effectiviteit van geavanceerde oxidatie (waterstofperoxide en UV) op het verwijderen van GBM uit spui is in de praktijk en op laboratoriumschaal onderzocht door Wageningen UR Glastuinbouw en partners (o.a. Van der Maas *et al.* 2012) en Bayer CS (T. Smit, pers. comm., 2010-2012). Met relatief hoge concentraties H_2O_2 en UV worden GBM met wisselende effectiviteit afgebroken. Sommige middelen blijken nauwelijks afgebroken te worden, terwijl andere middelen wel worden afgebroken, maar soms niet voldoende om onder de waterkwaliteitsnorm (MTR of MAC) te komen. Ook is er onderzocht wat de effectiviteit van koolstoffilters op het verwijderen van GBM uit de spuistroom van de glastuinbouw is (o.a. T. Smit, pers. comm., 2010-2012; Jansen *et al.* 2013). Met deze techniek zijn grote verschillen tussen de middelen, waarbij het filter voor sommige middelen al na korte tijd doorslaat.

In het project Glastuinbouw Waterproof substraat is door TNO en WUR Glastuinbouw onderzocht of zuiveringstechnieken kunnen bijdragen aan het vergaand hergebruik van drainwater, of zelfs het volledig sluiten van de waterkringloop. Met membraandestillatie en omgekeerde osmose is het mogelijk meer dan 80% van het water in de spui terug te winnen tot goed gietwater (Appelman *et al.* 2012). Er blijft echter een concentraat over met GBM en nutriënten dat afgevoerd moet worden of waar een toepassing voor moet worden gevonden. Op korte termijn lijkt dit daarom niet de oplossing voor het emissieprobleem (Balendonck *et al.* 2012).

Ook in andere tuinbouwsectoren wordt *et al.* enige jaren onderzoek naar zuiveringstechnieken voor de verwijdering van GBM gedaan. Voor spoelwater van spuitapparatuur zijn het biofilter en de fytobac ontwikkeld en getest (De Werd *et al.* 2012). Deze zijn zeer effectief, maar lijken vooralsnog niet geschikt voor de glastuinbouw vanwege de grote omvang van de spuistroom en de lage snelheid van afbraak. In de bollenbewaring is veel ervaring opgedaan met koolstofkaarsen voor het zuiveren van condenswater (Van der Lans *et al.* 2012) en in de fruitteelt is een zuiveringstechniek ontwikkeld met lamellenseparator, ozon en actief kool voor het zuiveren van fruitsorteerwater (Van Vliet *et al.* 2012).

In de watertechnologiesector is veel ervaring met genoemde technieken en zijn ook andere technieken ontwikkeld die in potentie geschikt zijn als zuiveringstechniek voor de glastuinbouw. Deze technieken worden bijvoorbeeld toegepast in de drinkwaterbereiding en de afvalwaterzuivering. Daarom is in de aanloop en tijdens dit project bewust de samenwerking gezocht met deze sector om de beschikbare en actuele kennis maximaal te kunnen benutten.

1.3 Aanpak en uitgangspunten

In fase 1 van het project is door NWP (the Netherlands Water Partnership) een inventarisatie uitgevoerd onder haar leden, om in kaart te brengen welke technieken interessant zijn voor de glastuinbouw. Dit leidde tot een longlist van beschikbare technieken die vervolgens door de begeleidingscommissie (BCO) is beoordeeld op beschikbaarheid, ingeschatte effectiviteit in verwijdering GBM, prijs en robuustheid. Op basis van advies van de BCO heeft de Stuurgroep van het project (zie hieronder) vier technieken aangewezen om in fase 2 nader te testen.

Om een gefundeerde conclusie te kunnen trekken welke van de vier technieken geschikt zijn voor gebruik in de glastuinbouw, is het noodzakelijk om deze onder dezelfde omstandigheden op semi-praktijkschaal te testen. Hierbij kunnen de voordelen van onderzoek op laboratoriumschaal en praktijkschaal worden gecombineerd. De geselecteerde technieken zijn daarom onder gestandaardiseerde omstandigheden getoetst, waarbij met behulp van protocollen een objectieve beoordeling en vergelijking is gemaakt. Door betrokkenheid van telers en toeleveranciers bij het project is de vertaalbaarheid van het onderzoek naar de praktijk gewaarborgd.

1.4 Doel

Doel van het onderzoeksproject is het selecteren en testen van enkele op (korte termijn) beschikbare technieken voor de verwijdering van GBM uit glastuinbouw lozingswater (spui). Op basis daarvan kunnen uitspraken gedaan worden over de zuiveringseffectiviteit, de kosten en de toepasbaarheid van de technieken in de glastuinbouw.

1.5 Afbakening

Een belangrijk uitgangspunt bij het onderzoek en de selectie van de technieken is dat de te testen technieken praktijkrijp zijn en dat de techniekleveranciers zelf bepalen wat de instellingen moeten zijn voor het verwijderen van de GBM. Er is geen techniekverbetering nagestreefd. Er is gewerkt met instellingen die door de leveranciers zijn aangeraden. Hierbij is verondersteld dat zij al voldoende inzicht hebben in de effectiviteit van de apparatuur en daarom een redelijke afweging tussen effectiviteit van zuivering en kosten kunnen maken.

De technieken zijn getest met een vooraf gedefinieerd water dat representatief is voor glastuinbouw spui water. Dit is het zogenoemde Standaard Water met daarin gedefinieerde concentraties micro- en macro-elementen, vervuilingen en GBM. Er zijn ook enkele tests uitgevoerd met praktijkwater roos (lozingswater afkomstig van een rozenkweker) en met Standaard Water zonder vervuiling, om een beeld te krijgen hoe dit Standaard Water zich verhoudt tot praktijkwater en om de invloed van vervuilingen op de werking van de technieken te kunnen onderzoeken. Dit laatste is uitgevoerd in opdracht van het ministerie van EZ (BO milieu en GBM).

1.6 **Stuurgroep en Begeleidingscommissie**

Begeleidingscommissie (BCO)

G. Meis	LTO Noord Glaskracht (voorzitter)
H. Koolhaas	LKP Plants, Potplantenteler
M. Ammerlaan	Bleiswijkse Zoom, Paprikateler
B. Nanninga	Hoogheemraadschap van Delfland
M. Nederlof	Wetsus tot 1 aug. 2012 / CEW na 1 aug. 2012
F. Dekkers	NWP / Mannen van de Wit
R. Neijland	NWP

Stuurgroep

J. Klap	Productschap Tuinbouw (voorzitter)
F. Folkertsma	Ministerie van Economische Zaken
R. Teunissen	Ministerie van Infrastructuur en Milieu
A. Diepeveen	Netherlands Water Partnership
H. Ketelaars	Evides Waterbedrijf
J. Bouwman	Syngenta, mede namens Bayer, Basf en Certis
J. Schrauwen	Hoogheemraadschap van Delfland (en B. Nanninga als vervanger na 1 oktober 2012), mede namens Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard

2 Materiaal en methoden

2.1 Selectie van technieken en techniekleveranciers

In fase 1 van het project 'Evaluatie technieken voor zuivering spui' heeft het Innovatiebureau Waternet van NWP een inventarisatie gehouden onder haar leden (watertechniek bedrijven) om inzichtelijk te krijgen welke technieken in aanmerking komen om lozingswater uit de glastuinbouw te zuiveren van GBM. Dit heeft geleid tot een longlist (zie Bijlage VII) met daarin een overzicht van technieken die beschikbaar zijn of op afzienbare termijn beschikbaar komen en die in potentie geschikt zijn om GBM uit spuiwater te verwijderen. Deze *longlist* is vervolgens door de begeleidingscommissie (BCO) beoordeeld op beschikbaarheid, ingeschatte effectiviteit in verwijdering GBM, prijs en robuustheid. Op basis van advies van de BCO heeft de Stuurgroep van het project vier technieken aangewezen om in fase 2 nader te testen (zie Tabel 1.).

Een persbericht is verstuurd via alle kanalen beschikbaar bij Wageningen UR Glastuinbouw en NWP, met de oproep aan techniekleveranciers om zich aan te melden om een opstelling uit deze lijst met technieken beschikbaar te stellen. Via een aanmeldformulier hebben geïnteresseerde techniekleveranciers de specificaties van de opstellingen aangegeven. De BCO heeft op basis van deze aanmeldformulieren en gesprekken met techniekleveranciers voor elke techniek een advies gegeven aan de stuurgroep ten aanzien van de leverancierskeuze. De Stuurgroep heeft op basis daarvan een keuze gemaakt (zie Tabel 1.). Werkingsprincipes van de technieken zijn uitgewerkt in Bijlage I.

Tabel 1. Geselecteerde zuiveringstechnieken en de daarbij geselecteerde techniekleveranciers. NB: in de tuinbouw wordt middendruk UV ook wel hogedruk UV genoemd

Naam techniek	Afkorting	Geselecteerde leverancier
Elektrochemische flocculatie	ECF	Hellebrekers Technieken
Waterstofperoxide in combinatie met middendruk UV-licht	H2O2-MDUV	Priva
Waterstofperoxide in combinatie met lagedruk UV-licht en voorfiltratie met zandfilter	H2O2-LDUV	HortiMaX
Ozon in combinatie met een actiefkoolfilter	OAK	Van Antwerpen Milieutechniek

2.2 Experimentele infrastructuur

De experimenten zijn uitgevoerd in het Innovatie en Demonstratie Centrum (IDC) Water, bij Wageningen UR Glastuinbouw te Bleiswijk. In het IDC Water is getest onder zoveel mogelijk gestandaardiseerde omstandigheden, in een situatie vergelijkbaar met de tuinbouwpraktijk, om een eerlijke vergelijking (nu en in de toekomst) tussen de technieken mogelijk te maken. De getoetste opstellingen waren bij elkaar in één kasruimte geplaatst, waar temperatuur en luchtvochtigheid geregeld werden door het openen en sluiten van luchtramen en scherminstallaties. In de gebruikte kasruimte zijn een aantal aansluitpunten aanwezig waar de testopstellingen aan werden gekoppeld en waarmee de rest van de water-technische infrastructuur verbonden was (zie voor overzicht Bijlage II). Via deze aansluitpunten werd het te testen water (zie Paragraaf 2.3) vanuit de 200m³ opslagtanks naar de opstellingen geleid. Eén van de opslagtanks bevatte schoon regenwater. Dit was het basiswater van waaruit het te testen water werd klaargemaakt. De nutriënten werden aan het water toegevoegd vanuit een A- en een B-mestbak, door middel van een puls-pomp. Water waaraan de meststoffen waren toegevoegd ging naar een volgende opslagtank, waar het door middel van een rondpomp-systeem gemengd bleef. De GBM en organische vervuilingen werden via een venturi-systeem aan dit rondpomp-systeem toegevoegd. Vanuit dit rondpomp-systeem werd het water naar de kasruimte getransporteerd, alwaar het door de technieken behandeld kon worden. Het effluent werd afgevoerd naar het riool.

2.3 Standaard Water en praktijkwater

De testomstandigheden zijn voor de verschillende opstellingen zoveel mogelijk gelijkwaardig gemaakt. Daarom zijn de tests waar mogelijk tegelijkertijd uitgevoerd, met hetzelfde uitgangswater. Ook is er gewerkt met water dat altijd dezelfde eigenschappen heeft, om achtereenvolgende tests (ook die in de toekomst) met elkaar te kunnen vergelijken. In het project 'Puntlozingen Glastuinbouw', gefinancierd door het ministerie van Economische Zaken, is in 2011 daarom een Standaard Water ontwikkeld (Jansen *et al.* 2013). Dit Standaard Water is een goede weergave van een zogenoemde *realistic worst case* spuiroom uit de glastuinbouw. Standaard Water heeft een vaste samenstelling aan nutriënten, organische vervuilingen en GBM. Het uitgangswater is altijd regenwater. De streefconcentraties van nutriënten en sporenelementen (Bijlage III) zijn in ons project bereikt via het doseren van meststoffen in het voedingswater met behulp van mestbak A en B. De streefconcentraties organische vervuilingen en GBM zijn in het laboratorium klaargemaakt en toegevoegd aan het water.

Naast de experimenten met Standaard Water zijn de opstellingen ook drie keer getoetst met Standaard Water zonder de organische vervuilingen en met water van een praktijkbedrijf (roos). Dit water is met een tankwagen opgehaald bij een rozenbedrijf, waarna het in één van de 200m³ opslag tanks van het IDC Water is gepompt. Deze tests zijn uitgevoerd om te kijken naar het effect van verschillen in samenstelling van het water, met betrekking tot nutriënten en organische vervuilingen. Het pakket aan GBM uit het Standaard Water is ook aan het praktijkwater toegevoegd, om de zuiveringseffectiviteit goed te kunnen vergelijken. De samenstelling van het water in de verschillende testruns is weergegeven in Bijlage IV.

2.4 Experimentele opzet

Er zijn negen testruns uitgevoerd met de vier geselecteerde technieken (zie Tabel 2.), maar niet altijd alle vier tegelijkertijd vanwege technische storingen aan een of meerdere technieken en vanwege het ontbreken van de LDUV-opstelling bij de start van de proeven.

Tabel 2. Uitgevoerde testruns met datum test en type water (SW = Standaard Water; PW = Praktijkwater; voor verdere afkortingen zie lijst voorin rapport).

Run 1.1	Run 1.2	Run 2.1	Run 2.2	Run 3.1	Run 3.2	Run 4.1	Run 4.2	Run 5.1
16 aug	21-23 aug	11-13 sept	19-20 sept	25 sept	27-28 sept	21-23 nov	27 nov	26 nov
SW zonder vervuiling	SW zonder vervuiling	SW met vervuiling	SW met vervuiling	PW roos	PW roos	SW met vervuiling	SW met vervuiling	PW roos
MDUV ECF	MDUV ECF OAK B	MDUV ECF OAK A OAK B LDUV (1-2 nov)	MDUV ECF OAK A OAK B	MDUV ECF OAK A OAK B	MDUV ECF OAK A OAK B	MDUV ECF OAK A OAK B LDUV	MDUV OAK A OAK B LDUV	MDUV OAK A OAK B LDUV

Elke run begon met het klaarmaken van het recept voor het te testen water door water vanuit de hemelwatersilo over te pompen naar de testwatersilo, met toevoeging van de benodigde nutriënten. Een dag voor de start van het experiment werden de GBM en de organische vervuilingen aan het te testen water toegevoegd, zodat dit voldoende gemengd kon worden om een zo uniform mogelijke oplossing te verkrijgen. De mix van GBM werd eerst in het laboratorium klaargemaakt in 2L water, waarna het via een venturisysteem aan het te testen water werd toegevoegd. De volgende dag werden de zuiveringstechnieken aangezet. Monsternamen in duplo van het influentwater en van de effluentwaters van iedere techniek vond in principe plaats na 0, 1, 4 en 8 uur na opstarten. Bij korte runs vond de monsternamen na 0, 1, 2 en 4 uur plaats. Na afloop van de run werd de testwatersilo indien nodig schoongespoeld met regenwater. De monsters (in donker glas) zijn direct bij 4 °C in het donker opgeslagen, totdat ze per koerier naar het analyselab werden opgestuurd. De geselecteerde technieken werden op drie categorieën beoordeeld: zuiveringseffectiviteit, economische haalbaarheid en toepasbaarheid in de glastuinbouw.

2.4.1 Zuiveringseffectiviteit

Hoofddoel van het onderzoek was het bepalen van de effectiviteit van het verwijderen van GBM uit het testwater, bij instellingen die techniekleveranciers zelf hadden gekozen (zie Tabel 5. in Hoofdstuk 3). We zijn er hierbij van uitgegaan dat de leveranciers al voldoende inzicht in de effectiviteit van hun apparatuur hadden om een redelijke afweging tussen effectiviteit en kosten te kunnen maken. Er zijn 9 runs uitgevoerd verdeeld over 5 series met verschillende watertypes, waarvan een aantal runs herhalingen zijn (zie Tabel 2.). Tabel 3. laat de verschillende monsternamepunten zien. De LDUV-opstelling is later beschikbaar gekomen dan de andere opstellingen, vanwege een verandering van techniekleverancier. Run 2.1 is voor deze opstelling begin november uitgevoerd. Na run 3.2 hebben de techniekleveranciers de gelegenheid gekregen om op basis van tussentijdse resultaten andere zuiveringsinstellingen te kiezen en eigen tests uit te voeren, voordat ons onderzoek werd voortgezet. Dit heeft in de meeste gevallen tot gewijzigde instellingen geleid.

Tabel 3. Monsternamepunten bij de onderzochte technieken.

Influent	Waterstofperoxide en middendruk UV	Waterstofperoxide en lage druk UV	Electro-chemische flocculatie	Ozon	Ozon en actief koolfilter
Influent	MDUV	LDUV	ECF	OAK A	OAK B
Monstername in aanvoer	Monsternamepunt achter H ₂ O ₂ + UV	Monsternamepunt achter zandfilter en H ₂ O ₂ + UV	Monsternamepunt na microfilter	Monsternamepunt tussen ozonunit en actief koolfilter	Monsternamepunt na ozonunit en actief koolfilter

Tijdens het uitvoeren van de experimenten zijn steeds meerdere monsters (zie Paragraaf 2.4) afgetapt van het influent en het effluentwater, die opgestuurd zijn naar Laboratorium Zeeuws Vlaanderen voor analyse op de twaalf werkzame stoffen van GBM uit het Standaard Water. De streefconcentraties zijn na de eerste run verhoogd tot 2 µg/L, omdat een aantal stoffen in deze concentraties te dicht op de rapportagegrens van het laboratorium zaten. Bovendien werd de berekende concentratie van 1 µg/L niet altijd gehaald.

De uitgangssituatie is bij de herhalingen steeds voor alle technieken hetzelfde gehouden, door de experimenten zoveel mogelijk tegelijkertijd uit te voeren voor de verschillende technieken. Er is voor gekozen om te rekenen met de gemiddelden van de influentmonsters per dag per testrun, omdat het influent monster per definitie niet de zelfde batch water is als die van het effluent monster. Met de analyseresultaten van de verschillende runs is voor elke stof in elk monster een zuiveringspercentage berekend met de formule:

$$\frac{(Ci(gem) - Ce)}{Ci} \times 100\%$$

Ci(gem) = gemiddelde concentratie in influent (gemiddeld per dag per testrun)
Ce = concentratie in effluent

Door al deze waarden per techniek te middelen over de verschillende typen water (Standaard Water zonder vervuiling, Standaard Water en praktijkwater), is een totale zuiveringseffectiviteit berekend per type water en kunnen de opstellingen op deze manier vergeleken worden.

2.4.2 Kosten

Er is een business case opgesteld om de kosten van de technieken op een eerlijke manier met elkaar te kunnen vergelijken. Deze business case is gebruikt door de techniekleveranciers voor het maken van een kostenberekening van hun techniek. De kosten zijn dus gebaseerd op inschattingen van de techniekleveranciers zelf en verder niet geverifieerd. De werkelijke kosten zullen in de praktijk met de leveranciers moeten worden vastgesteld. De business case is opgebouwd rond een rozenbedrijf, met een gevoeligheidsanalyse naar de afmeting en de hoeveelheid spuiwater per hectare per jaar (zie Tabel 4.).

Tabel 4. Oppervlakte van rozenbedrijf en hoeveelheid spuiwater per hectare en per jaar waarmee gerekend is in de case study.

		Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
Oppervlakte van bedrijf	ha	5	5	30	30
Spuiwater	m ³ /ha/jaar	500	1250	500	1250
Spuiwater totaal	m ³ /jaar	2500	6250	15000	37500

Er is gekozen voor een rozenbedrijf van 5ha en van 30ha, met een spuiroom van 500m³/ha/jaar of van 1250m³/ha/jaar (in totaal 4 situaties). Voor drie technieken is voor elke situatie berekend wat de kosten zijn per m³ behandeld water en per m² kasoppervlak (ECF is in deze berekeningen niet meegenomen, zie 3.2). Aannames daarin zijn een levensduur van de apparatuur van 10 jaar. De kostenposten zijn weergegeven in Tabel 5.

Tabel 5. De uitgangspunten voor de kostenberekening van de technieken.

Kostenpost	Kosten
Rente	2% van investering
Onderhoudskosten MDUV LDUV OAK	3% van investering 3-5% van investering 5-8% van investering
Afschrijving	10% van investering
Energie	€0,07/kWh
Waterstofperoxide (H ₂ O ₂)	€1,35/kg
Salpeterzuur	€0,59/kg
Afvoeren en regenereren actief kool	€3/kg
Vervanging actiefkoolfilter Case 1 (0,3m ³ , 0,5kg/L): Case 2 (0,3m ³ , 0,5kg/L): Case 3 (1,4m ³ , 0,5kg/L): Case 4 (1,4m ³ , 0,5kg/L):	Na 2 ½ jaar (60kg/j) Na 1 jaar (150kg/j) Na 2 jaar (350kg/j) Na 9 maanden (933kg/j)

Als kosten voor het afvoeren en regenereren van actief kool is gerekend met €3/kg, waarbij het oude systeem door de toeleverancier wordt omgewisseld voor een nieuwe. De vervanging van actief kool is niet proefondervindelijk bepaald, maar gebaseerd op praktijkonderzoek met actief koolfilters uitgevoerd door Bayer. In dit onderzoek werd tot 20.000 BVT (*bedvolumina treated*; = 20.000 keer de inhoud van het koolfilter) 80% of meer zuivering bereikt (pers. comm. T. Smit, 2012). Op basis hiervan is onze aanname dat het filter na 20.000 BVT moet worden vervangen. In onze situatie met een voorgeschakelde Ozonbehandeling kan het filter mogelijk langer mee, maar dat is niet onderzocht. Voor de vier cases betekent dit dat er gemiddeld per jaar een bepaalde hoeveelheid koolstof moet worden vervangen (zie Tabel 5.). Per kubieke meter gezuiverd water betekent dit een kostenpost van €0.14.

2.4.3 Toepasbaarheid in glastuinbouw

In samenwerking met de BCO is een beoordelingsprotocol opgesteld om de toepasbaarheid van de technieken in de glastuinbouw te evalueren. De technieken zijn beoordeeld op:

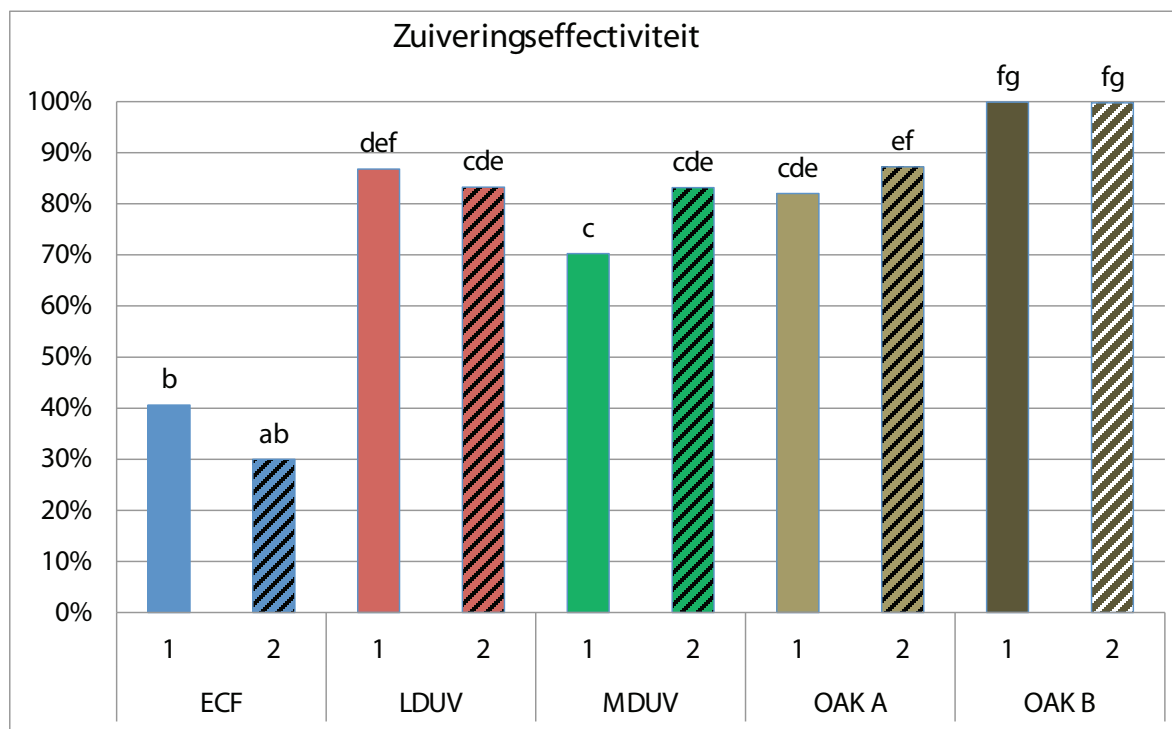
- veiligheid,
- ontstaan van reststromen en afbraakproducten,
- gebruiksgemak voor de teler,
- ruimtegebruik op het teeltbedrijf,
- storingsgevoeligheid,
- gebruik van chemicaliën,
- hoeveelheid onderhoud.

Voor elke categorie is een scoringsverdeling opgesteld. De technieken kregen in elke categorie een absolute score van 1 t/m 4 (zie Bijlage V voor het protocol). Alle leden van de BCO hebben de beoordeling individueel gedaan, waarna er een samenvatting van is gemaakt die door alle leden is geaccordeerd. Voor het onderdeel 'ontstaan van afbraakproducten' is aanvullend onderzoek uitgevoerd. Dit staat beschreven in Bijlage VI.

3 Resultaten

3.1 Zuiveringseffectiviteit

De totale zuiveringseffectiviteit is per techniek en per type water berekend. De resultaten van de tests met Standaard Water staan weergegeven in Figuur 1, waarbij ook een opsplitsing is gemaakt naar verschillende instellingen. De resultaten van de tests met praktijkwater en Standaard Water zonder vervuiling worden beschreven in paragraaf 3.4. In Tabel 6. is te vinden welke instellingen de technieken hebben gebruikt tijdens elke run.



Figuur 1. Zuiveringseffectiviteit gemiddeld over alle GBM, per techniek, met verschillende instellingen 1 en 2 (gearceerd) en getest met Standaard Water. Balken waar de zelfde letter(s) boven staan zijn statistisch niet significant verschillend van elkaar. NB Het actiefkoolfilter in de OAK B opstelling is in dit onderzoek slechts kort belast waardoor dit resultaat niet naar langdurig gebruik mag worden doorvertaald.

Tabel 6. Instellingen van de technieken per run.

	Run	Instelling 1	Run	Instelling 2
H2O2-MDUV	1.1 t/m 3.2	25ppm H2O2 + 250mJ/cm UV	4.1 t/m 5.1	50ppm H2O2 + 500mJ/cm UV
H2O2-LDUV	2.1	25ppm H2O2 + 250mJ/cm UV	4.1 t/m 5.1	50ppm H2O2 + 500mJ/cm UV
ECF	1.1 t/m 3.2	Geen ompoling	4.1	Wel ompoling
OAK	1.2	Hoge conc. O ₃	2.1 t/m 5.1	Lage conc. O ₃

Wanneer de resultaten van de ozoninstallatie *zonder* actief koolfilter (OAK-A) vergeleken wordt met die van de twee andere oxidatieve technieken (LDUV en MDUV), blijkt dat er weinig verschillen te zien zijn, vooral als de best scorende instellingen per apparaat worden vergeleken. De zuiveringseffectiviteit van de drie oxidatietechnieken (LDUV, MDUV, Ozon) zitten tussen de 80 en 90%. Bij alle vier technieken lijken andere instellingen gevolgen voor de effectiviteit te hebben, maar deze verschillen zijn niet statistisch significant en kunnen dus op toeval berusten. Dit betekent niet dat andere (hogere)

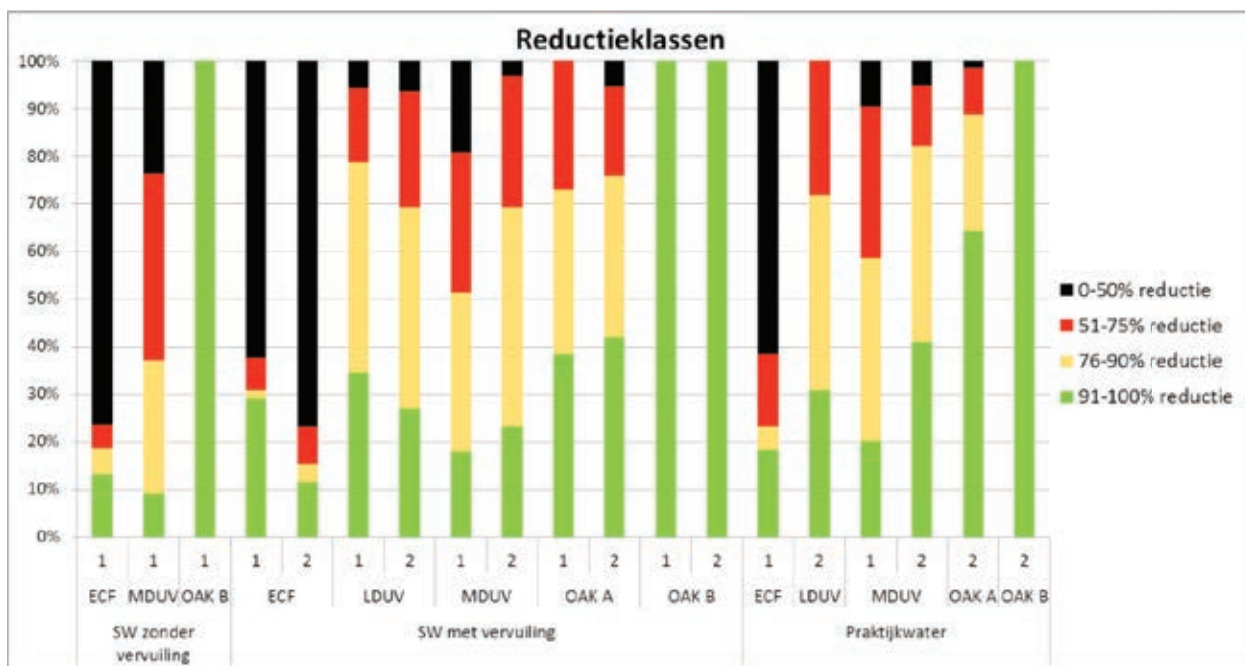
instellingen geen effect hebben, maar dat deze eventuele effecten niet aantoonbaar zijn omdat ze binnen de spreiding vallen dat dit type onderzoek met zich meebrengt.

Wanneer het actief koolfilter achter de Ozon wordt meegenomen in de analyse van de resultaten (OAK-B), wordt een verbetering van het resultaat tot 100% bereikt. Dit is significant verschillend van alleen Ozon (1^e instelling), LDUV (2^e instelling) en MDUV. Een kanttekening die bij de 100% zuivering geplaatst moet worden is dat dit resultaat bereikt is met een relatief kortlopende proef. Actief kool slaat door na kortere of langere tijd (afhankelijk van type en vracht GBM en belasting van spui met organische vervuilingen) en moet dan worden vervangen. Onze proeven zijn zodanig kort geweest dat dit doorslagmoment nog niet is bereikt. De verwachting is dat als in de praktijk het doorslagmoment moet worden voorkomen, het actiefkoolfilter zeer regelmatig moet worden vervangen, wat gevolgen heeft voor de kostprijs van de techniek. In vervolgonderzoek zal dit aspect nader onderzocht moeten worden.

De elektrochemische flocculatie-opstelling haalt maximaal 40% zuiveringspercentage. Dit is aanzienlijk minder dan de verwachting (meer dan 50%) en significant minder dan de andere drie opstellingen. Dit betekent niet noodzakelijkerwijs dat deze techniek niet geschikt is. Het onderzoek is met een laboratoriumopstelling uitgevoerd die niet volledig praktijkrijp was (zie ook Bijlage I). De relatief lage zuiveringseffectiviteit kan veroorzaakt zijn door:

- o Geen pH-regeling aanwezig op de opstelling, terwijl dit in een praktijksituatie wel aanwezig moet zijn.
- o Provisorische filtering bij Standaard Water zonder vervuiling. In de proeven daarna is een filter geplaatst maar de afmeting daarvan was te klein voor de volumestroom die bij monsternamen nodig was. Filter slibde hierdoor snel dicht.

De opstelling zoals hier getest haalt een te lage zuiveringseffectiviteit om geschikt te zijn voor het zuiveren van spuiwater van de glastuinbouw.



Figuur 2. Verwijdering van GBM, per middel per monster ingedeeld in een reductieklasse, waarbij het percentage van het aantal stoffen in een bepaalde klasse is weergegeven. NB Het actief koolfilter in de OAK-B opstelling is in deze proef slechts kort belast waardoor dit resultaat niet naar langdurig gebruik mag worden doorvertaald.

In Figuur 2. zijn de resultaten op een andere manier weergegeven, maar nu uitgedrukt in het percentage van het aantal stoffen dat in een bepaalde reductieklasse valt. Deze reductieklassen lopen van 0-50%, 51-75%, 76-90% en 91-100% effectiviteit in verwijdering van de middelen (klassen gebaseerd op www.bestrijdingsmiddelenatlas.nl). Deze weergave geeft een beeld van de effectiviteit van de zuiveringstechnieken op stofniveau en de variatie daarin, zonder op de individuele stoffen in te zoomen. Ook hier is te zien dat bij het actief koolfilter alle stoffen in de hoogste zuiveringsklasse vallen, terwijl zonder het filter slechts 40% (Standaard Water) tot 65% (praktijkwater) van de stoffen in deze hoogste zuiveringsklasse

vallen. Als verder per techniek naar de beste instellingen wordt gekeken, zien we dat de beste instellingen van MDUV, LDUV en Ozon (OAK-A) elkaar niet veel ontlopen: 70-80% van de middelen die in het Standaard Water zitten worden voor tenminste 76% verwijderd. Er is een kleine fractie middelen (2-5%) die voor minder dan 50% wordt verwijderd, maar met andere instellingen kan deze fractie groter (MDUV-1) of kleiner tot zelfs nul (OAK-A1) worden. Ook is duidelijk dat Ozon met actief kool (AOK-B) alle middelen er nagenoeg volledig (91-100%) uit verwijderd.

Als we op stofniveau inzoomen zien we de grootste verschillen bij ECF. Hier zien we dat het merendeel van de stoffen met 20-40% werden verwijderd. Daarnaast werden 3 stoffen zeer slecht verwijderd (0-20%), maar waren er ook 3 stoffen die zeer goed werden verwijderd (80-90%), gelijk of beter dan de oxidatietechnieken.

Wat verder opvalt is dat er twee stoffen zijn die met de oxidatietechnieken minder goed werden verwijderd (50-70%), terwijl twee andere stoffen juist beter werden verwijderd (80-100%) in verhouding tot de andere stoffen. Bij de helft van de stoffen zien we dat er een verschil in effect van type oxidatie is: Ozon (zonder actief kool; OAK-A) geeft bij vier stoffen een betere zuivering en bij één stof een minder goede zuivering dan de UV oxidatietechnieken.

De zuivering in deze kortlopende proef met Ozon + actief kool (OAK-B) is in bijna alle gevallen 100%, maar bij 2 stoffen is dat net iets minder. Deze stoffen zijn dus aangetroffen in het effluent, wat duidt op beginnende doorslag van het filter voor deze stoffen. Langlopende proeven met tijdreeksen zijn nodig om het doorslagmoment van de verschillende stoffen goed te kunnen vaststellen.

3.2 Kosten

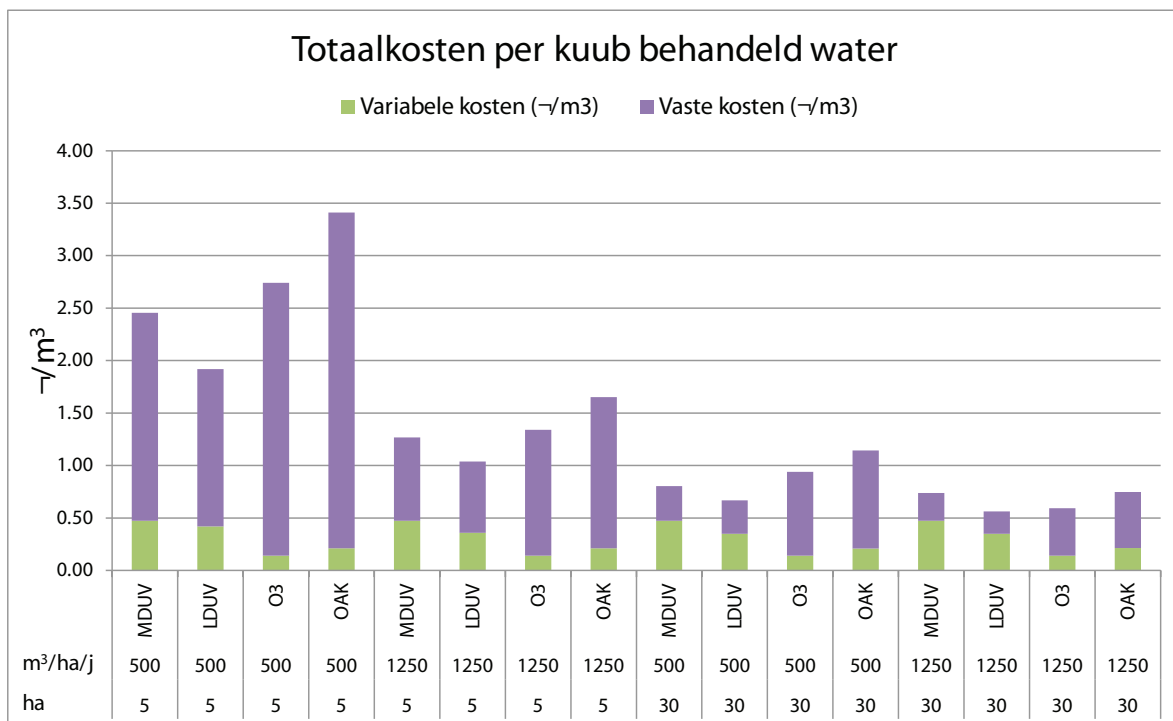
De kostenberekening van de technieken zijn gemaakt door de techniekleveranciers op basis van een casus, waarin de bedrijfsgrootte en de afmeting van de spuiwaterstroom onderdeel zijn van een gevoeligheidsanalyse. Er is in de berekeningen van uitgegaan dat de techniek alleen gebruikt wordt voor het zuiveren van spuiwater. UV en Ozon worden echter ook toegepast voor ontsmetting van het drainwater en slimme combinatie van beide toepassingen zorgt voor een aanzienlijke kostenbesparing. Dit is door ons echter niet doorgerekend¹. ECF wordt in deze analyse niet meegenomen, omdat de gegevens niet zijn aangeleverd door de toeleverancier. Bovendien is de zuiveringseffectiviteit van deze techniek in de geteste uitvoering zoveel lager dan van de andere technieken, dat het op dit moment niet interessant genoeg is om een economische berekening uit te voeren.

¹ Priva heeft dit voor MDUV wel doorgerekend en laat zien dat indien al een UV op het bedrijf aanwezig is de meerkosten voor de vier bedrijfssituaties tussen de € 0,43-0,71/m³ liggen.

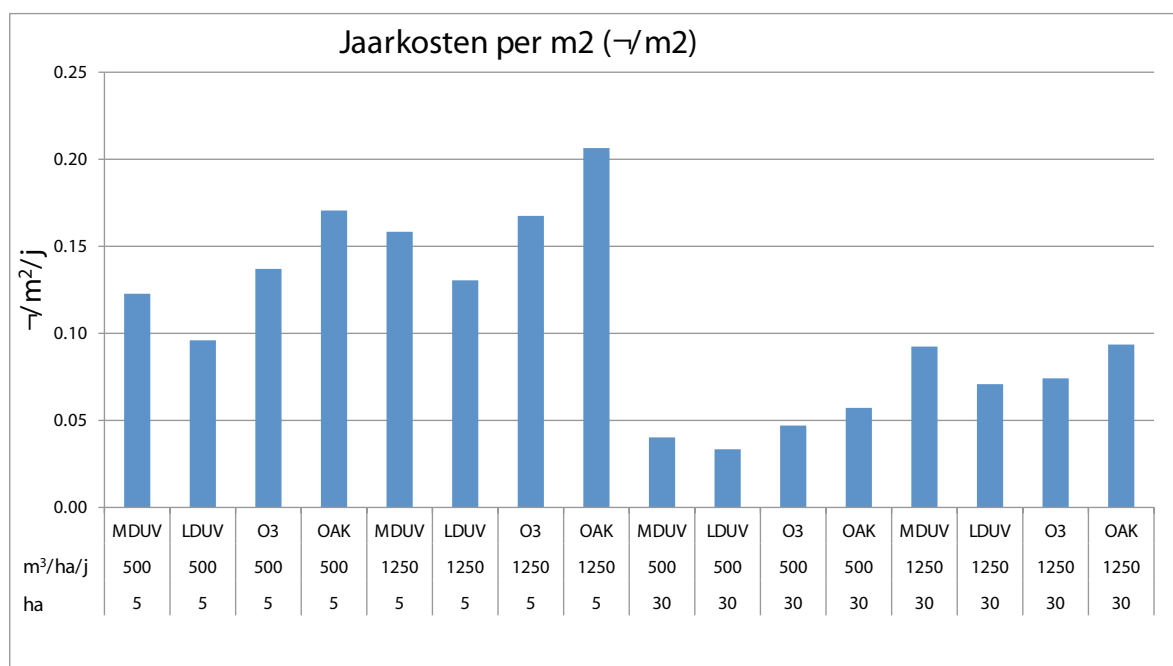
In Figuur 3. zijn de kosten per m³ behandeld water weergegeven, opgesplitst in variabele en vaste kosten. Hierin is te zien dat voor bijna alle situaties de kosten voor Ozon met actief koolfilter het hoogst zijn, maar het zuiveringsrendement ook significant hoger ligt dan voor de andere opstellingen. Ook de kosten voor Ozon zonder actief kool zijn in de meeste gevallen iets hoger en het zuiveringsrendement is niet aantoonbaar hoger. Er ook is een verschil te zien tussen de kosten voor een MDUV-opstelling en een LDUV-opstelling, waarbij de laatste lagere kosten heeft als gevolg van lagere investeringskosten en energiegebruik. Het verschil tussen de kosten voor de verschillende technieken wordt minder als er meer water wordt behandeld. Bij een bedrijf van 30ha en 1250m³ spui zien we daarnaast dat MDUV de hoogste kosten oplevert. Dit komt doordat er op dat moment twee opstellingen nodig zijn om de spuistroom te kunnen zuiveren.

De kosten voor het toevoegen van een actief koolfilter achter een zuiveringsopstelling zijn te vinden wanneer gekeken wordt naar het verschil tussen O₃ en OAK. Wanneer het actief koolfilter gecombineerd wordt met een andere opstelling, kan dit verschil in kosten worden doorvertaald naar die nieuwe combinaties, al zullen de kosten mogelijk iets afwijken.

In Figuur 4. zijn de kosten omgerekend naar kosten per m² kasoppervlak, waardoor het makkelijker wordt een vergelijking te maken met de andere kosten die gemaakt worden in de glastuinbouw.



Figuur 3. Kosten voor het behandelen van 1m³ spuiwater, opgesplitst in vaste en variabele kosten voor vier cases.



Figuur 4. Jaarkosten voor het behandelen van spuiwater per m2 kasoppervlak voor vier cases.

3.3 Toepasbaarheid in de glastuinbouw

De beoordeling van de toepasbaarheid in de glastuinbouw en de bijbehorende opmerkingen zijn weergegeven in Tabel 7. In de hierop volgende alinea's is dit per criterium toegelicht.

Tabel 7. Beoordeling van en opmerkingen bij de toepasbaarheid in de glastuinbouw

Techniek Criterium	H2O2-MDUV		H2O2-LDUV		O ₃ +kool		ECF	
Veiligheid	3	H2O2 + zuur	3	H2O2 + zuur	2	O ₃	3	Mogelijk H2 + Cl2 gas
Restproducten	3	Kwiklamp	3	Kwiklamp	3	Gebruikt koolfilter + kwiklamp	2	Slib + resten metalen platen
Ontstaan ecotoxische stoffen	?	Afbraakproducten GBM onduidelijk, nitriet en/of peroxide	?	Afbraakproducten GBM onduidelijk, nitriet en/of peroxide	?	Afbraakproducten GBM onduidelijk	3	Cl2-gas, H2-gas
Gebruiksgemak	4	Niveauregeling voor peroxide nodig	4		4	Mits geautomatiseerd opstarten	?	Pilotinstallatie getest
Ruimtegebruik	3		3		3		2	Grote nafiltering/ bezinktank benodigd
Storingsgevoeligheid	3	Gevoelig voor T10 fluctuaties in water	3	Gevoelig voor T10 fluctuaties in water, kan niet schakelen in lamp	3		?	
Benodigdheid chemicaliën	2	H2O2 + salpeterzuur	2	H2O2 + salpeterzuur	4		3	pH-regeling
Onderhoud	3	Vervangen lampen + H2O2	3	Vervangen lampen + H2O2	3	Vervangen koolfilter	3	Vervanging platen

3.3.1 Veiligheid

1 = onveilig, 2 = matig onveilig, 3 = veilig, 4 = heel veilig

Voor de veiligheid is vooral de omgang met chemicaliën van belang. Problemen door waterstofperoxide en zuur moeten met zorgvuldigheid worden behandeld, maar dit is gemakkelijk op te lossen. Vorming van waterstofgas en chloorgas kan voorkomen worden door de instellingen van de techniek goed te kiezen en goede ventilatie van de ruimte toe te passen. Voor ozon moeten zwaardere veiligheidsmaatregelen worden getroffen, enerzijds omdat het erg schadelijk is voor mensen en voor planten, anderzijds omdat ozon zwaarder is dan lucht en onderin de ruimte blijft hangen en daardoor moeilijk te ventileren is.

3.3.2 Vorming van schadelijke restproducten

1 = ernstig/veel schadelijke restproducten, 2 = matig/matige hoeveelheid schadelijke restproducten, 3 = weinig/kleine hoeveelheid schadelijke restproducten, 4 = geen schadelijke restproducten

Hierin is beoordeeld op de schadelijkheid, de hoeveelheid en de mogelijkheid tot verwerking/recycling van de gevormde restproducten. Voor de UV-technieken (en Ozon) geldt dat de gebruikte kwiklampen op een gegeven moment vervangen en afgevoerd moeten worden. De frequentie van vorming van deze restproducten is laag en de verwerkingsmethode goed ontwikkeld. Ditzelfde geldt voor het afvoeren van het vervuilde actief koolfilter: de toeleverancier vervangt het oude koolfilter door een nieuwe, waarna het oude filter wordt geregenereerd. Bij ECF ontstaat een continue stroom van vervuild slib, waarin alle middelen aanwezig zijn. Dit restproduct moet dus regelmatig en op een veilige manier afgevoerd en verwerkt worden. Ook zullen de overblijfselen van de metalen platen moeten worden afgevoerd.

3.3.3 Ontstaan ecotoxische stoffen

1 = veel zeer ecotoxische stoffen, 2 = matige hoeveelheid matig ecotoxische stoffen, 3 = weinig gering ecotoxische stoffen, 4 = geen ecotoxische stoffen

Bij de toepassing van oxidatietechnieken bestaat het risico dat er afbraakproducten ontstaan die (eco)toxisch zijn. Op verzoek van de Stuurgroep is hier aanvullend onderzoek voor gestart dat beschreven staat in Bijlage VI. Dit onderzoek is nog niet afgerond en er kunnen dus geen definitieve uitspraken gedaan worden. De verwachting is echter dat een aanvullend actief koolfilter deze afbraakproducten geheel of gedeeltelijk kan adsorberen (met ook hiervoor naar verloop van tijd doorslag). Een punt van aandacht is dat in de praktijk voor de UV-opstellingen een filter geplaatst wordt dat regelmatig moet worden gereinigd. Het filterspoelwater dient hergebruikt of behandeld te worden voor lozing vanwege de aanwezige GBM.

Bij gebruik van UV-lampen om vervuild water schoon te maken, wordt nitriet gevormd uit nitraat. Nitriet is een ecotoxische stof, die echter snel weer omgezet wordt in nitraat. Eventuele overblijfselen van peroxide zijn ook ecotoxisch, maar bij de juiste dosering is de hoeveelheid verwaarloosbaar.

3.3.4 Gebruiksgemak

1 = gebruiksonvriendelijk, 2 = redelijk gebruiksvriendelijk, 3 = gebruiksvriendelijk, 4 = zeer gebruiksvriendelijk

Mits er in de MDUV-opstelling een niveauregeling in de peroxidevoorraad wordt aangebracht, heeft de installatie een zeer hoog gebruiksgemak. Bij de LDUV-opstelling werden geen opmerkingen gemaakt (niveauregeling aanwezig). Wanneer de opstart van de ozon-unit wordt geautomatiseerd heeft ook deze opstelling een hoog gebruiksgemak. Over de ECF-opstelling worden geen uitspraken gedaan, omdat hier een pilotinstallatie is onderzocht.

3.3.5 Ruimtegebruik

1 = meer dan 8m², 2 = 4-8m², 3 = 2-4m², 4 = 0-2m²

Alle opstellingen zoals getest hebben een grondoppervlak van 2-4m² nodig. Bij de ECF-opstelling moet echter vermeld worden dat er in de praktijk nog een bezinkstelsel achter de opstelling aan moet komen, waardoor de benodigde ruimte een stuk groter wordt.

3.3.6 Storingsgevoeligheid

1 = zwaar storingsgevoelig, 2 = redelijk storingsgevoelig, 3 = licht storingsgevoelig, 4 = niet storingsgevoelig

UV-opstellingen zijn gevoelig voor fluctuaties in T₁₀-waarden van het te zuiveren water. Bij een verlaging in T₁₀-waarde zal een UV-opstelling de waterflow verlagen om toch dezelfde dosering aan UV-licht te garanderen. De MDUV-opstelling kan naast het schakelen in de waterstroom ook nog schakelen in de lampintensiteit. Er ontstaat een risico op storing wanneer de opstellingen niet in staat zijn de waterstroom verder te verlagen als de T₁₀-waarde van het water verder daalt. De capaciteit van de opstellingen wordt hierdoor wel verlaagd. Dit betekent ook dat bij gelijkblijvende flow de opstellingen minder effectief worden.

3.3.7 Hoeveelheid benodigde chemicaliën

1 = veel chemicaliën nodig, 2 = matig chemicaliën nodig, 3 = weinig chemicaliën nodig, 4 = geen chemicaliën nodig

De oxidatieve technieken zijn gebaseerd op het toevoegen van chemicaliën. Hierdoor zijn dus grote hoeveelheden chemicaliën benodigd. De ozon-opstelling voegt geen chemicaliën toe, maar maakt met behulp van elektriciteit in situ de benodigde chemicaliën. In een ECF-opstelling zijn chemicaliën nodig om de pH van het te zuiveren water geschikt te maken voor de techniek.

3.3.8 Onderhoud

1 = veel onderhoud, 2 = redelijk veel onderhoud, 3 = weinig onderhoud, 4 = geen onderhoud

Onderhoud is voor de verschillende technieken gelijkwaardig, er moeten met enige regelmaat onderdelen vervangen worden. Over de frequentie van vervanging van een aantal onderdelen kan op basis van de kortlopende proeven geen uitspraak worden gedaan.

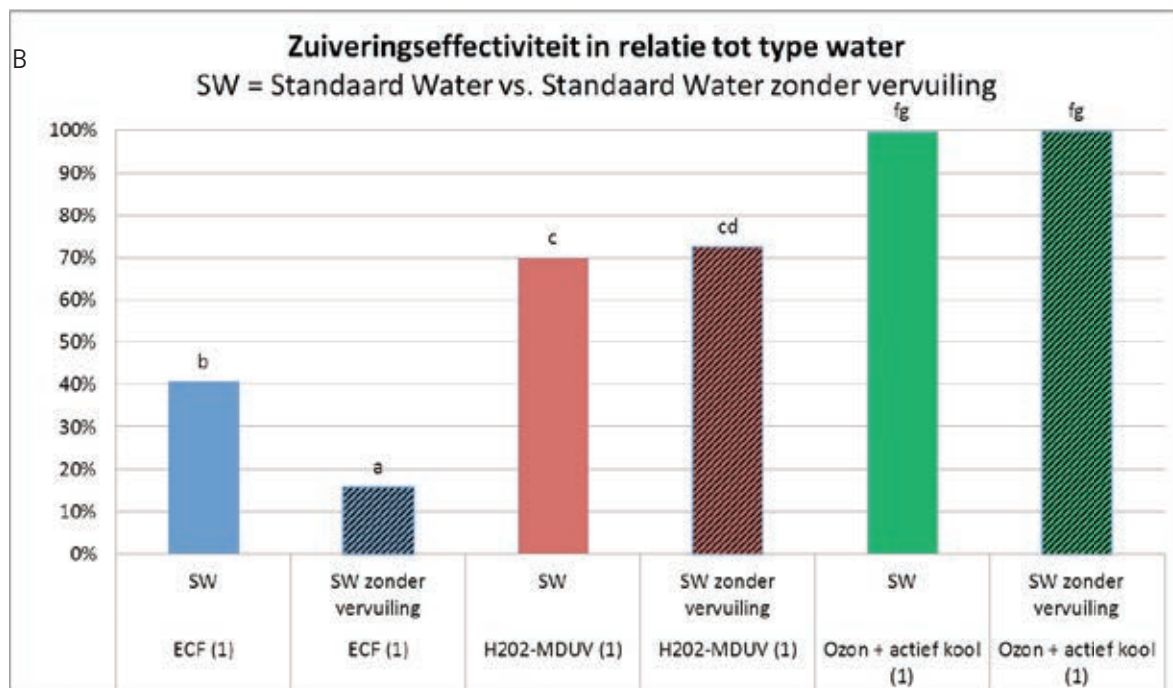
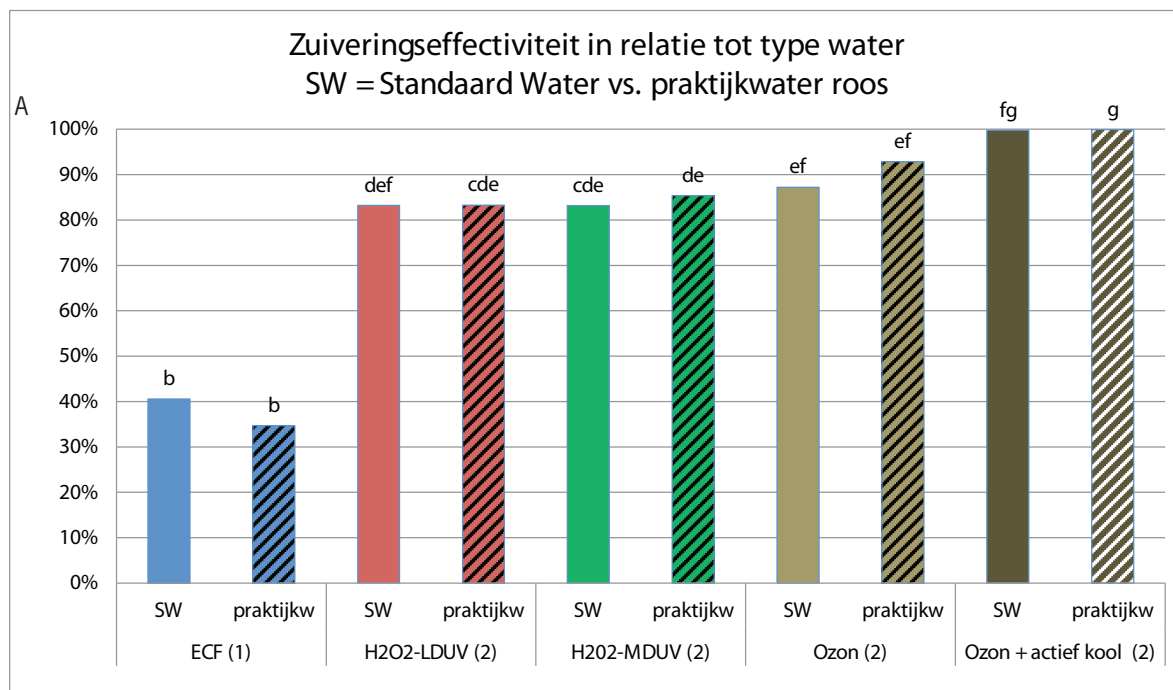
3.4 Invloed vervuiling op zuiveringseffectiviteit

De zuiveringseffectiviteit van de MDUV-opstelling is ongeveer gelijk voor elk type water (Figuur 5. a, b), ondanks het verschil in T₁₀-waarden (lichtdoorlatendheid) van het praktijkwater en het Standaard Water (Bijlage IV). De T₁₀-waarde van het water is voor UV-opstellingen één van de belangrijkste parameters, omdat deze waarde de mate weergeeft waarin het UV-licht in het water kan doordringen. Hoe hoger de T₁₀-waarde, hoe beter de transmissie van het licht door het water. De T₁₀-waarde van Standaard Water zonder vervuiling is 50%, voor Standaard Water 20% en voor praktijkwater 40%. De gelijkblijvende effectiviteit wordt veroorzaakt doordat deze opstelling zodanig is ontworpen dat bij meer vervuiling de stroomsnelheid van het water en de intensiteit van de lamp worden aangepast, waardoor de effectieve UV-dosis gelijk blijft. Ook voor de LDUV-opstelling geldt dat de zuiveringseffectiviteit niet vermindert bij een verlaging in T₁₀-waarde. De stroomsnelheid wordt ook bij deze techniek aangepast aan de T₁₀-waarde (de intensiteit van de lampen niet). Het lijkt er daarom op dat de verblijftijd in de MD- en LDUV-opstellingen lang genoeg zijn om de maximale afbraak van GBM te halen. Bij de LDUV-opstelling speelt daarnaast mee dat er een zandfilter voor is geplaatst waarmee (een deel van) de vervuiling verwijderd wordt (niet gemeten) voordat het water wordt behandeld. In de praktijk zal ook voor de MDUV installatie een filter geplaatst worden, omdat dit voor de huidige ontsmettingspraktijk ook noodzakelijk is.

De zuiveringseffectiviteit van Ozon zonder actief koolfilter (OAK-A) is iets lager bij Standaard Water dan bij praktijkwater (Figuur 5a). Dit ligt in de lijn van verwachting omdat het praktijkwater roos geen illiet bevat, in tegenstelling tot het Standaard Water en dus minder vervuiling waar Ozon mee kan reageren. Dit effect zien we in Figuur 2. ook terug, waar bij de proef met Praktijkwater door Ozon een hoger percentage middelen wordt verwijderd dan met de UV technieken (Ozon: 64%, UV: 30-40% meer dan 91% reductie). Bij Ozon met actief koolfilter (OAK-B) is geen effect van de vervuiling te zien (Figuur 5a en b). De invloed die de vervuiling heeft op doorslag van het actief kool is echter niet in deze kortlopende proef voldoende te beoordelen.

ECF werkt significant beter bij Standaard Water met vervuiling (40%) en praktijkwater (35%) in vergelijking met het Standaard Water zonder vervuiling (16%) (Figuur 5a en b). Dit ligt in de lijn van de verwachting bij deze techniek, omdat met meer vervuiling betere vlokvorming optreedt. Het verschil tussen Standaard Water met vervuiling en praktijkwater (overigens niet significant) kan verklaard worden door de lagere vervuilingsgraad van het praktijkwater. In praktijkwater afkomstig van een rozenbedrijf is de fractie illiet zeer klein.

Naast gevolgen voor effectiviteit kunnen vervuilingen ook een effect hebben op de robuustheid en de kostprijs van de techniek. De drie oxidatietechnieken kunnen de typische glastuinbouwvervuilingen goed aan, maar alleen langdurig gebruik kan hier pas uitsluitsel over geven. Vervuiling geeft een lagere T_{10} en dat vereist een langere doorlooptijd en dus een lagere flow voor de UV-installaties. De vervuilingen hebben waarschijnlijk gevolgen voor de kostprijs, maar dit is niet doorgerekend. Bij veel vervuiling zal een (zand)filter die zich voor de techniek bevindt vaker gespoeld moeten worden, en doseringen zullen worden aangepast. De verwachting is verder dat het koolfilter sneller zal moeten worden vervangen.



Figuur 5a en 5b. Zuiveringseffectiviteit gemiddeld over alle GBM, per apparaat bij één instelling en in relatie tot type water. Balken waar de zelfde letter(s) boven staan zijn statistisch niet significant verschillend van elkaar. A. Standaard Water vergeleken met praktijkwater (gearceerd),. B. Standaard Water vergeleken met Standaard Water zonder vervuiling (gearceerd). NB Het actiefkoolfilter in de OAK B opstelling is in dit onderzoek slechts kort belast waardoor dit resultaat niet naar langdurig gebruik mag worden doorvertaald.

4 Algemene discussie

Onder de geteste omstandigheden geven de drie oxidatietechnieken (Ozon voor het actief koolfilter, H_2O_2 + LDUV en H_2O_2 + MDUV) een zuiveringseffectiviteit van ongeveer 80-90% in het verwijderen van GBM. Wanneer een actief koolfilter nageschakeld wordt, wordt 100% verwijdering van alle werkzame stoffen mogelijk na behandeling met Ozon. Dit is echter alleen getest gedurende een relatief korte periode. Een zuiveringspercentage van 100% zal in de praktijk dus niet realistisch zijn, maar eerder uit komen rond de 95% (afhankelijk van vervangingsstnelheid kool). Uit ander onderzoek (o.a. T. Smit, pers. comm. 2010-2012; Jansen *et al.* 2013) blijkt dat actief koolfilters na verloop van tijd doorslaan. De snelheid waarmee dit gebeurd kan per werkzame stof nogal verschillen en hangt ook af van de mate van organische vervuiling van het drainwater omdat deze vervuiling concurreert met de GBM om de adsorptie aan actief kool. Om die 100% verwijdering te houden zal het actief koolfilter waarschijnlijk vaker moeten worden vervangen dan na 20.000 BVT (*bed volumina treated*) waar nu in de kostenberekening van is uitgegaan, en dat zal dus een kostenverhoging betekenen. De vraag is of dit wenselijk is in verband met de economische haalbaarheid van een brede implementatie van deze zuiveringstechnieken.

De verwachting is dat met een actief koolfilter achter de UV-technieken een zelfde zuiveringseffectiviteit (100% bij korte looptijd) bereikt kan worden, maar dit moet worden onderzocht. De middelen die nu na H_2O_2 - UV in het water achterblijven, komen in een wat andere verhouding voor dan na de behandeling met ozon, waardoor de werking van het actief koolfilter ook anders kan zijn. Ditzelfde geldt waarschijnlijk ook voor de (ecotoxische) afbraakproducten: na Ozon ontstaan mogelijk andere (hoeveelheden) afbraakproducten dan na H_2O_2 - UV en is er dus ook een afwijkende doorslag van het actief koolfilter te verwachten.

Het is ook de vraag hoeveel verwijdering van de stoffen nodig is. Bij het initiëren van dit onderzoek was het uitgangspunt van opdrachtgevers dat toepassing van zuiveringstechniek er toe moet leiden dat de emissie van GBM vanuit substraatteelten niet meer dan 0.1% van de toegediende stof is. Dit is immers het percentage waarmee bij de toelatingsbeoordeling van GBM wordt gerekend. In welke mate de zuiveringseffectiviteit van 80-90% voldoet aan deze eis zal per middel doorgerekend moeten worden met behulp van het nieuwe emissiemodel voor substraatteelten (=Waterstromenmodel + Stofstromenmodel + Sloopmodel; Vermeulen *et al.* 2010; van der Linden *et al.* 2013). Het ligt echter voor de hand dat 100% verwijdering niet noodzakelijk is. De noodzakelijkheid is een andere discussie waarbij een zorgvuldige afweging van verschillende belangen gemaakt moet worden.

Of de genoemde kosten acceptabel zijn voor telers hangt van veel factoren af, onder andere van de consequenties voor de glastuinbouw indien de technieken al dan niet worden toegepast (b.v. beschikbaarheid GBM, toekomstige heffingen op lozen). Een voordeel van de drie geteste oxidatietechnieken is dat deze ook voor de ontsmetting van recirculatiewater gebruikt kunnen worden - en wat UV betreft ook al veelvuldig toegepast wordt. Door de techniek ook voor deze toepassing te gebruiken zijn de meerkosten voor de zuivering van spuiwater aanzienlijk lager (niet berekend¹). De kans op succesvolle implementatie wordt hiermee vergroot. De verwachting is overigens dat de technieken verder geoptimaliseerd kunnen worden met gunstige gevolgen voor de kostprijs - effectiviteitsverhouding. Dit geldt zeker voor de combinatie van Ozon met actief koolfilter.

Verder blijkt dat bij een groter schaalniveau de kosten lager uitvallen. De vraag is of het toepassen van zuiveringstechnieken lokaal op het bedrijf de meest doelmatige oplossing is om de emissies te verminderen. De verwachting is dat op regionaal niveau de correcte toepassing van techniek beter te controleren is. Of regionale samenwerking goedkoper is, zal mede afhangen van de keuze van techniek en de mate waarin (onderdelen van) techniek al op de bedrijven zelf aanwezig is (UV- of Ozonontsmetter). Dit zal dan per situatie doorgerekend moeten worden. Het is ook nog zeer onduidelijk hoe wetgevende instanties met deze collectieve aanpak om zullen gaan.

Het zuiveringsonderzoek is uitgevoerd met 12 werkzame stoffen van de GBM die in het Standaard Water zitten en de bereikte zuiveringseffectiviteit geldt dan ook in principe alleen deze 12 stoffen. De vier betrokken GBM fabrikanten Syngenta, Certis, Bayer en BASF is de vraag voorgelegd in hoeverre deze resultaten door te trekken zijn naar de andere GBM. De bedrijven geven aan dat de resultaten op stofniveau niet zijn door te vertalen. Dus als een stof relatief minder

goed wordt gezuiverd door techniek x, dit niet perse ook hoeft te gelden voor een chemisch verwante stof. Wat wel kan, is het zuiveringsresultaat als geheel doortrekken naar de stoffen die niet in het Standaard Water voorkomen. Het belangrijkste argument hiervoor is dat de stoffen die in het Standaard Water zitten redelijk representatief zijn voor het volledige pakket aan stoffen die in de tuinbouw worden toegepast. De verwachting is dat andere stoffen ook tussen de 60-90% worden verwijderd.

5 Conclusies

5.1 Zuiveringseffectiviteit

In dit project is voor vier geselecteerde technieken de effectiviteit in het verwijderen van gewasbeschermingsmiddelen (GBM) uit glastuinbouw spuiwater bepaald onder gestandaardiseerde praktijkomstandigheden. Onze conclusies betreffen de opstellingen zoals geleverd door de techniekleveranciers. Analyses van de uitgevoerde zuiveringsexperimenten leveren de volgende conclusies over de geselecteerde technieken op:

- De zuiveringseffectiviteit van Ozon zonder het actief koolfilter (Van Antwerpen Milieutechniek), H_2O_2 + LDUV (HortiMaX) en H_2O_2 + MDUV (Priva) is tussen de 80% en 90%. Dit is de gemiddelde zuiveringseffectiviteit voor de middelen in het Standaard Water.
- Op stofniveau wordt 70- 80% van de middelen uit het Standaard Water voor ten minste 76% verwijderd met deze drie technieken. Een kleine fractie middelen (2-5%) wordt voor minder dan 50% verwijderd.
- Toevoegen van een actief koolstoffilter achter de ozoninstallatie verhoogt de zuiveringseffectiviteit naar 100% in deze kortlopende tests. Dit geldt voor alle middelen in het Standaard Water. Plaatsen van een actief koolfilter achter de andere oxidatietechnieken levert waarschijnlijk een vergelijkbaar resultaat op, maar dit is niet onderzocht. Kanttekening die geplaatst moet worden is dat de zuiveringseffectiviteit van actief kool lager wordt bij langduriger belasting.
- De zuiveringseffectiviteit van ECF (Hellebrekers Technieken) is ca. 40%. Dit is de gemiddelde zuiveringseffectiviteit voor de middelen in het Standaard Water. In theorie moet een veel hoger rendement mogelijk zijn (F. Dekkers, pers. comm. 2012). Een mogelijke oorzaak voor het lage rendement ligt in de ontwikkelingsstatus van de aangeleverde opstelling, een demomodel zonder nageschakelde filters en bezinkingsinstallatie en zonder pH-regeling.
- De zuiveringseffectiviteit is bepaald met Standaard Water, dat representatief is voor lozingswater uit substraatteelten. Een vergelijkbare zuiveringseffectiviteit is bereikt met spuiwater afkomstig van twee glastuinbouwbedrijven met rozenteelt op substraat.

5.2 Kosten

De kostenberekening van de technieken zijn gemaakt aan de hand van data aangeleverd door de techniekleveranciers. Zij hebben zich gebaseerd op een casusbeschrijving waarin de bedrijfsgrootte en de afmeting van de spuiwaterstroom onderdeel zijn van een gevoeligheidsanalyse.

- H_2O_2 + LDUV is de goedkoopste techniek, daarna H_2O_2 + MDUV en Ozon (zonder actiefkoolfilter) de duurste volgens deze berekeningen. Voor een bedrijf van 5 hectare variëren de jaarkosten per m^3 tussen 1,00 en 3,40€ en per m^2 van 10 tot 20 cent, afhankelijk van de hoeveelheid geloosd water en de techniek.
- Gebruik van een actief koolfilter achter Ozon (of achter H_2O_2 + UV) voegt daar ongeveer 16-70 cent per m^3 en 1-3 cent per m^2 aan toe, bij vervanging na ongeveer 20.000 BVT (afhankelijk van de situatie, na 9 maanden tot 2,5 jaar). Dit is een aanname die niet in dit project is onderzocht. In de praktijk zal dit afhangen van de belasting van het filter (samenstelling en concentraties van de te verwijderen GBM, aanwezige vervuilingen) en welke zuiveringseffectiviteit minimaal gewenst is.
- Als de technieken toegepast worden op een bedrijf van 30 ha in plaats van 5 ha, worden de jaarkosten aanzienlijk lager: 0,60 - €1,15 per m^3 en per m^2 van ongeveer 3 tot 10 cent, afhankelijk van de hoeveelheid geloosd water en de techniek.
- Er is in de berekeningen vanuit gegaan dat de technieken alleen gebruikt worden voor het zuiveren van spuiwater. UV en Ozon worden echter ook toegepast voor ontsmetting van het drainwater en slimme combinatie van beide toepassingen kunnen voor een aanzienlijke kostenbesparing zorgen. Dit is door ons echter niet doorgerekend¹.

5.3 Toepasbaarheid in glastuinbouw

Daarnaast is de toepasbaarheid van deze vier geselecteerde technieken in de glastuinbouw bepaald door een expertbeoordeling van de apparaten op veiligheid, restproducten, ontstaan ecotoxische stoffen, gebruiksgemak, ruimtegebruik, storingsgevoeligheid, benodigde chemicaliën en onderhoud. Uit de resultaten kan het volgende worden geconcludeerd:

- De toepasbaarheid in de glastuinbouw van Ozon met actief koolfilter (Van Antwerpen Milieutechniek), H_2O_2 + LDUV (HortiMaX) en H_2O_2 + MDUV (Priva) is over het algemeen goed. De opstellingen kunnen worden geautomatiseerd in het productieproces, zijn relatief storingsongevoelig en hebben weinig ruimte nodig.
- Er zijn aandachtspunten op het gebied van veiligheid bij het gebruik van ozon en H_2O_2 , maar deze punten lijken goed op te lossen.
- Bij oxidatietechnieken ontstaan mogelijk schadelijke afbraakproducten. In vervolgonderzoek zal duidelijk moeten worden hoe groot dit risico is en of actief kool dit voldoende kan ondervangen.
- De toepasbaarheid van ECF (Hellebrekers Technieken) is in de huidige vorm onvoldoende.

6 Referenties

- Appelman, A; Creusen, R; Jurgens, R; Medevoort, J van; Zijlstra, M; Os, E. van (2012).
Glastuinbouw Waterproof, substraatteelt - WP5-onderzoek fase 3 (pilotonderzoek membraandestillatie). TNO
Rapport
- Balendonck, J.; Feenstra, L.; Os, E.A. van; Lans, C.J.M. van der (2012).
Glastuinbouw Waterproof: Haalbaarheidsstudie valorisatie van concentraatstromen (WP6) Fase 2 - Desktop studie
afzetmogelijkheden van concentraat als meststof voor andere teelten. *Bleiswijk : Wageningen UR Glastuinbouw,
(Rapport GTB 1204)*
- Berckmoes (2011).
"Waar zijn de wortellexudaten naar toe? Onderzoek naar actief kool roept vragen op." Proeftuinnieuws 8: 21-22.
- Dillion Jr. R.C., E.A. Hiler, J.L. Peters (1975).
Electrochemical flocculation and chlorination for domestic water supplies. Texas Water Resources Institute
- Jansen, R.M.C.; J.P.M. van Ruijven, E.A. van Os, M. van der Staaij, C. Blok, A.A. van der Maas, E.A.M. Beerling (2013).
Verkenning naar zuiveringstechnieken voor verwijderen van GBM uit glastuinbouw spuiwater. *Bleiswijk : Wageningen
UR Glastuinbouw, (Rapport GTB 1231)*
- Lans, A.M. van der; Bisseling, E. (2012).
Filtratie van pirimifos-methyl uit condensvocht : Filtratie van condensvocht van bewaarcellen behandeld met
Actellic. *Lisse : Praktijkonderzoek Plant&Omgeving BBF*
- Linden, A.M.A. van der, Vermeulen, T, Ludeking, D.J.W., Cornelese, A.A., Os, E.A. van, Wipfler, E.L. (2013).
Authorisation assessment of plant protection products in substrate cultivation in the Netherlands. RIVM Report
607407005/2013
- Maas, A.A. van der; Os, E.A. van; Enthoven, N.; Blok, C.; Beerling, E.A.M. (2012).
Zuivering recirculatiewater in de rozenteelt, duurproef - Werkpakket 1: Voorkomen Groeiremming *Bleiswijk :
Wageningen UR Glastuinbouw, (Rapporten GTB 1198)*
- Vermeulen, T.; Linden, A.M.A. van der; Os, E.A. van (2010).
Emissions of plant protection products from glasshouses to surface water in The Netherlands *Bleiswijk :
Wageningen UR Greenhouse Horticulture, (Rapport / Wageningen UR Greenhouse Horticulture/RIVM rapport
GTB-1002/607407001)*
- Vliet, H.P.M. van; Wenneker, M.; Meulenkamp, R.J.A. (2012).
Waterbehandeling bij fruitsorteerinstallaties: ontwikkeling van een prototype. *De Bilt: Grontmij Nederland,*
- Vulto, V.C.; Beltman, W.H.J. (2007).
Overzicht van zuiveringsmethoden voor reststromen met bestrijdingsmiddelen. Wageningen UR - Alterra
Projectrapport 5233323/2
- Werd, H.A.E. de; Wenneker, M.; Looij, J.H.; Beltman, W.H.J.; Lans, A.M. van der; Huiting, H.F.; Bruine, J.A. de; Zeeland,
M.G. van (2012).
Biologische zuivering van water verontreinigd met GBM : onderzoeksresultaten 2008.t/m 2011.
Randwijk: Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, Bloembollen, Boomkwekerij & Fruit

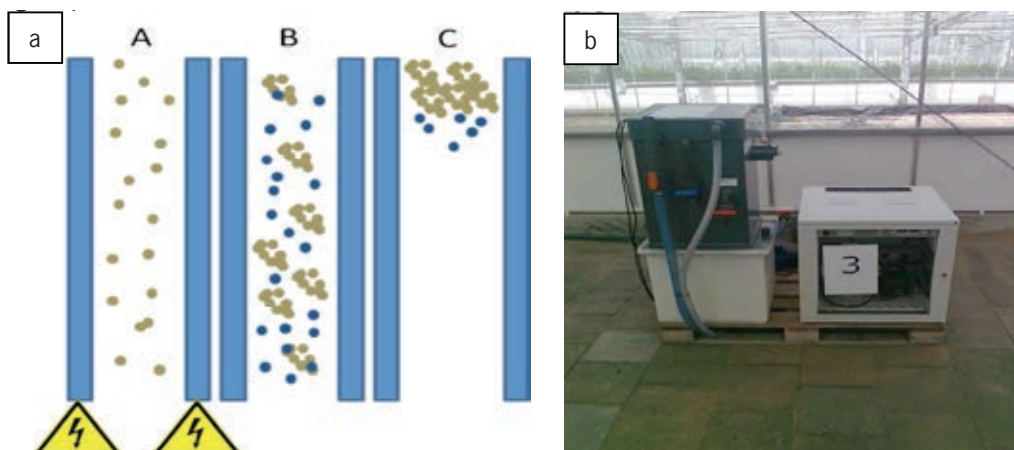
Bijlage I Nadere toelichting technieken

Elektrochemische flocculatie

In water opgeloste stoffen bezinken niet en filtratie is lastig vanwege de grootte van de deeltjes. Elektrochemische flocculatie (ECF) is een zuiveringstechniek die gebaseerd is op het veranderen van het oplossingsgedrag van geladen deeltjes (zie Figuur I.1). Bij het toepassen van ECF worden metalen platen (ijzer en aluminium) in de te zuiveren waterstroom geplaatst. Door stroom op de platen te zetten, gaan ze fungeren als elektrodes. Positief geladen ionen worden onder invloed van de elektrische stroom opgelost in het water, waar ze de ladingsbalans van de opgeloste deeltjes verstoren. Bij het gebruik van aluminium elektrodes, worden aluminium ionen toegevoegd aan het water door oxidatie van de anode (Dillion, 1975). Tegelijkertijd vindt aan de kathode elektrolyse van water plaats, waarbij hydroxide-ionen vrijkomen waarbij aluminiumhydroxide complexen worden gevormd ($\text{Al}(\text{OH})_3$). Deze positief geladen complexen neutraliseren de negatieve lading van stoffen in suspensie en zorgen voor het vlokken van deze stoffen. Daarnaast zijn de complexen (afhankelijk van de pH) slecht oplosbaar waardoor ook vlokken ontstaan; naast de genoemde ladingseffecten worden ook stoffen "ingevangen". De vlokken kunnen daarna door bezinking of filtratie worden gescheiden van het water. Door de reacties aan de elektrodes ontstaat vervuiling op de anode en de kathode. Dit is halverwege het onderzoek opgelost door het aanbrengen van een ompoolinstallatie, waardoor de kathode en de anode steeds worden omgedraaid en de vervuiling op de platen loslaat.

Eerder onderzoek heeft aangetoond dat ECF potentie heeft voor het verwijderen van GBM uit vervuild water (F. Dekkers, pers. comm., 2012). Dit onderzoek heeft laten zien dat ECF hoge concentraties GBM kan reduceren tot minder dan een procent van de uitgangswaarde. Huidig onderzoek met water uit de glastuinbouw moet aantonen dat de techniek ook geschikt is voor het verwijderen van lage concentraties GBM.

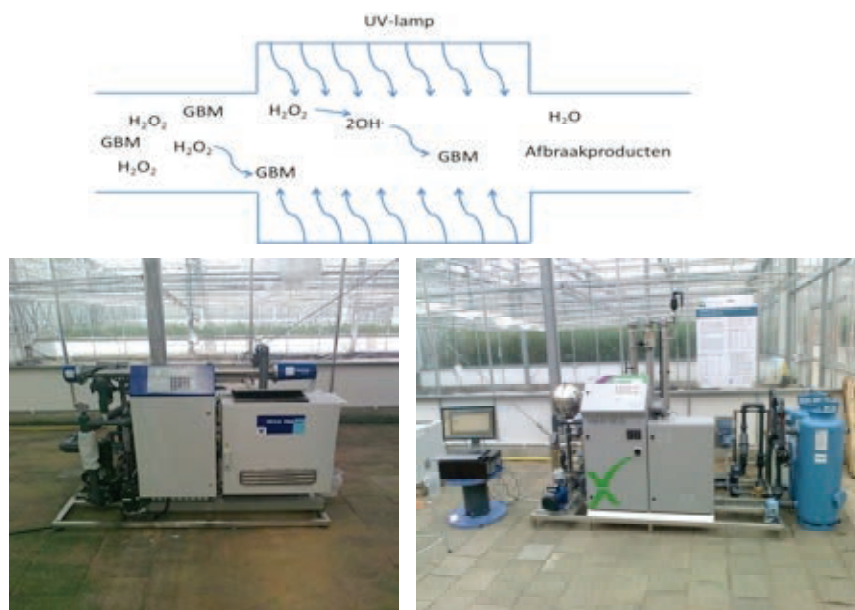
Hellebrekers Technieken is door de stuurgroep geselecteerd als techniekleverancier voor ECF. Zij hebben een demonstratiemodel omgebouwd tot bruikbare opstelling voor het uitvoeren van waterzuiveringsexperimenten. In eerste instantie ontbrak de laatste stap van het zuiveringsproces, doordat geen filterinstallatie en/of bezinktank is toegepast. Daarom is het water na behandeling handmatig gefiltreerd om de gevormde vlokken te verwijderen. Dit leverde echter teveel onzekerheden op voor de resultaten, waardoor ervoor is gekozen om toch een klein filter aan te brengen op de installatie.



Figuur I.1 a. Het vervuilde water komt langs twee metalen platen waar stroom op staat. Metaalionen komen in het water en verstoren de ladingsbalans van de opgeloste deeltjes, waardoor de deeltjes samenklonteren en gefilterd kunnen worden. b. ECF opstelling van Hellebrekers Technieken.

Waterstofperoxide met midden of lage druk UV

Geavanceerde oxidatie (H_2O_2 in combinatie met UV-licht) is een zuiveringstechniek die gebruik maakt van twee mechanismen, die per werkzame stof een verschillende bijdrage hebben. Enerzijds treedt fotolyse op onder invloed van UV, anderzijds worden door H_2O_2 te activeren met UV, hydroxylradicalen gevormd die een redelijke universele oxidatie-potentie hebben. Belangrijke parameters zijn derhalve de UV-dosis en H_2O_2 -concentratie. De H_2O_2 wordt gemengd met de verontreinigde waterstroom, waarna deze waterstroom langs een UV-lamp wordt geleid. Bij volledige afbraak van de middelen ontstaat water, CO_2 en altijd een aantal rest producten die bestaan uit de andere atomen die in de GBM-moleculen aanwezig zijn (zware metalen, bromiden, etc.). In de praktijk, bij de gebruikte doseringen, is echter geen sprake van volledige afbraak, waardoor er allerlei afbraakproducten ontstaan. Toevoegen van het waterstofperoxide zorg niet voor extra vervuiling van het milieu, wanneer dit volledig wordt afgebroken in het zuiveringsproces.



Figuur 1.2 a. Peroxide wordt toegevoegd aan de waterstroom, waar het onder invloed van UV-licht wordt omgezet in hydroxyl-radicalen, die reageren met de GBM. b. H2O2-MDUV opstelling van Priva c. H2O2-LDUV opstelling van HortiMaX.

De energie-output van een midden druk UV-lamp (MD-UV lamp), in de sector bekend als hoge druk UV, is veel hoger dan van een lage druk UV-lamp (LD-UV lamp), waardoor er minder MD-UV lampen nodig zijn om bij dezelfde waterstroom dezelfde UV-dosis te bereiken vanwege de lagere UV opbrengst per kWh energie die er in gestopt wordt. Het kost met een MD-UV lamp wel meer energie om deze dosis te bereiken. Een ander verschil is het spectrum dat door de lamp wordt uitgezonden. Een LD-UV lamp zendt alleen licht uit van 254nm, terwijl MD-UV het hele spectrum van 200-300nm uitzendt. Volgens de leverancier van de MDUV-techniek is de vorming van hydroxyl-radicalen golflengte afhankelijk en effectiever bij lagere golflengten, die in MDUV wel voorkomen. Daarbij speelt de UV-doorlaatbaarheid bij verschillende golflengten een rol. Dit maakt het moeilijk voorspelbaar of er in een bepaalde situatie een verschil is tussen MDUV en LDUV in de hoeveelheid geproduceerde hydroxyl-radicalen. Zeker is dat beide technieken hydroxyl-radicalen kunnen maken. Daarnaast heeft het verschil in golflengten een effect op de directe afbraak van organisch materiaal en GBM (fotolyse). De fotolyse is voor LDUV minder effectief.

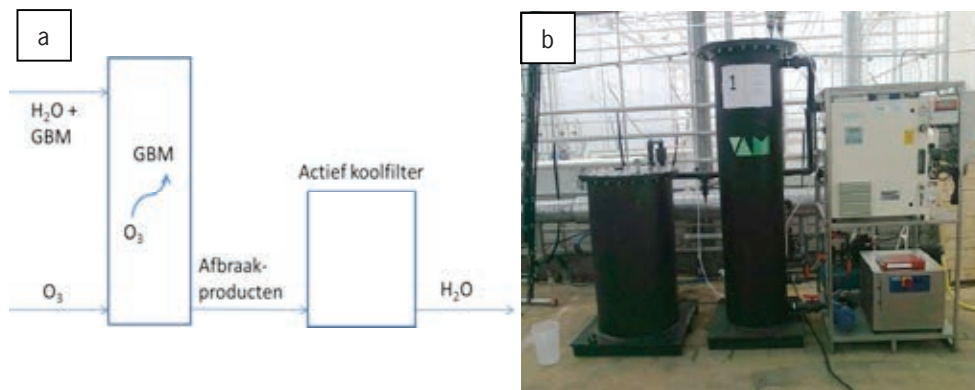
De T_{10} -waarde van het water is de waarde die de transmissie voor licht weergeeft door 10mm water. Voor deze zuiveringstechniek is de T_{10} -waarde erg van belang, omdat al het water een voldoende hoge UV-dosis moet krijgen. Een voldoende dosis wordt gerealiseerd door aanpassing van de stroomsnelheid (flow) (MDUV en LDUV) of de intensiteit van de lamp (MDUV). Door te zorgen dat de stroming turbulent is wordt zeker gesteld dat elk waterdeeltje dezelfde dosis UV licht krijgt.

Doordat deze technieken al veelvuldig worden toegepast in de glastuinbouw voor het ontsmetten van de recirculatiestroom op het bedrijf, is het een kleine stap naar het toepassen voor het zuiveren van spuiwater. Dit maakt UV-techniek een interessante optie, waardoor de al aanwezige apparatuur op een bedrijf efficiënter gebruikt kan worden.

De Stuurgroep heeft voor het testen van een opstelling met MDUV gekozen voor Priva als toeleverancier en met LDUV voor HortiMaX.

Ozon met actief koolfilter

Deze techniek maakt gebruik van de oxidatieve capaciteiten van ozon (O_3) om organische opgeloste stoffen af te breken. Ozon wordt in een generator aangemaakt met zuurstof uit lucht, waarna het in tegenstroom aan de waterstroom wordt toegevoegd. Na het reactievat gaat de waterstroom naar een kleine UV-lamp, om het restant van de aanwezige gassen af te breken, voordat het water naar het actief koolfilter gaat. In het actief koolfilter worden de niet afgebroken GBM en de afbraakproducten van GBM geheel of gedeeltelijk geabsorbeerd (onderwerp van studie; zie Bijlage VI). Afhankelijk van de concentratie vervuiling zal na verloop van tijd het actief koolfilter verzadigd raken, waarna het actief kool moet worden vervangen en/of geregenereerd.



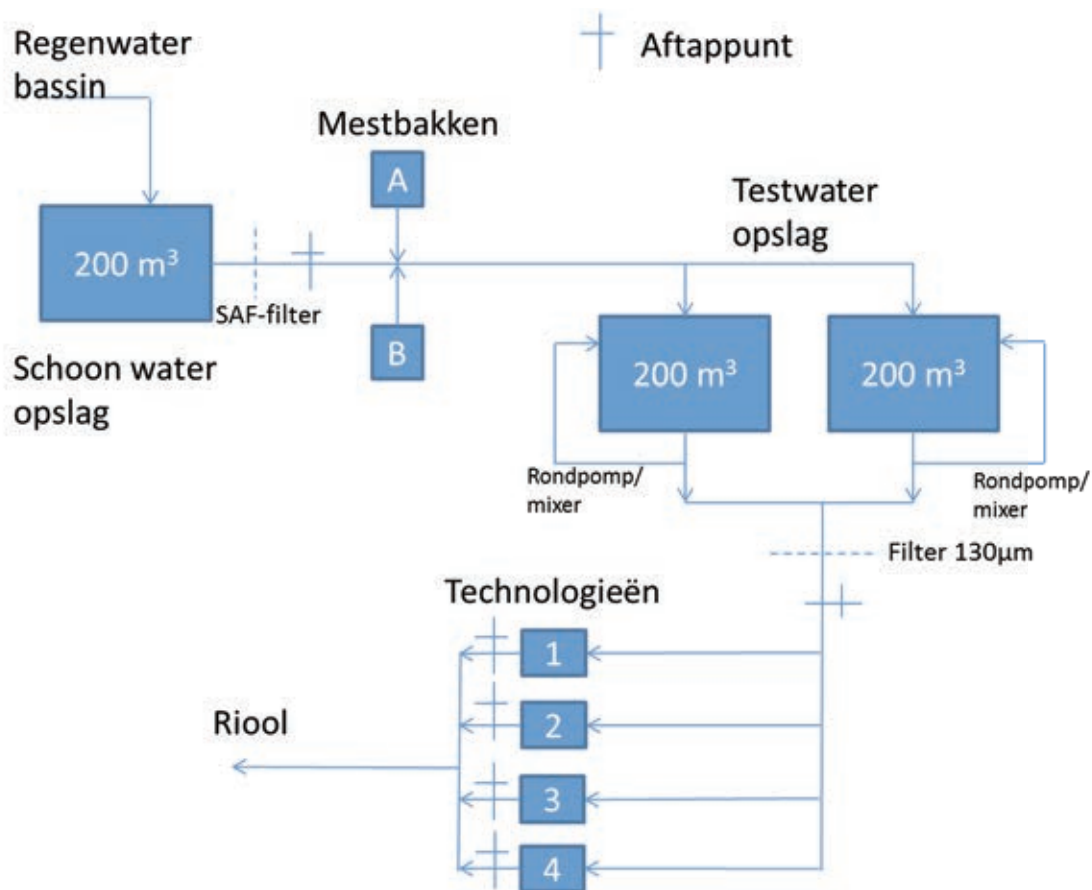
Figuur 1.3 a. Ozon wordt toegevoegd aan de vervuilde waterstroom, waar het de GBM afbreekt. De niet-afgebroken GBM en de afbraakproducten van GBM worden door het actief koolfilter geabsorbeerd. b. Opstelling van Van Antwerpen Milieutechniek B.V.

De stuurgroep heeft gekozen voor Van Antwerpen Milieutechniek als toeleverancier voor de combinatie van ozon en actief koolstof.

Bijlage II Infrastructuur waterzuiveringsonderzoek

Bij Wageningen UR Glastuinbouw, locatie Bleiswijk, is infrastructuur aangelegd om waterzuiveringsinstallaties op praktijkschaal te testen op geschiktheid voor gebruik in de glastuinbouw. Vanuit het bestaande regenwaterbassin wordt een extra opslag van 'schoon' water gevuld, om een voorraad te hebben voor droge periodes. Het testwater wordt vanuit deze opslag klaargemaakt voor gebruik, door het toevoegen van nutriënten uit mestbak A en B. Over beide silo's voor testwater is een rondpomp aangebracht om te zorgen voor het mixen van de ingrediënten van het testwater. De opslagtanks zijn buiten opgesteld, afgedekt met lichtdicht materiaal om de groei van micro-organismen tegen te gaan.

In de rondpompsystemen is een Venturi-ingang aangebracht, waar de GBM en de organische vervuilingen aan het water konden worden toegevoegd. De waterzuiveringstechnieken zijn vanuit de waterstroom van het rondpompsysteem gevoed met testwater. In de hoofdleiding naar de technieken toe (geplaatst in een kascompartiment) is een aftappunt aangebracht, wat als monsternamapunt fungeert voor het influentwater. In het kascompartiment zijn zes aansluitpunten voor waterzuiveringstechnieken en een punt waar de uitgaande waterstroom op het riool kan worden afgevoerd.



Figuur II.1 Infrastructuur waterzuiveringsproeven Wageningen UR Glastuinbouw locatie Bleiswijk.

Bijlage III 'Standaard Water' voor toetsing zuiverings-techniek voor lozingswater uit glastuinbouw

Roel Jansen, Erik van Os, Chris Blok & Ellen Beerling

april 2012

Inleiding

Om zuiveringstechnieken te kunnen beoordelen op geschiktheid voor de glastuinbouw is het noodzakelijk deze te toetsen met water dat representatief is voor de glastuinbouw. Het gaat hierbij om lozingswater van substraatbedrijven (groenten en bloemen). Het 'standaard water' wordt gebruikt om op een gestandaardiseerde en reproduceerbare manier technieken te evalueren. Dit water dient als standaard voor lozingswater uit substraatteelten en bevat nutriënten en sporenelementen, een zekere mate van vervuiling en GBM.

Nutriënten en sporenelementen

Standaard water bevat veel nutriënten en is een realistische worst case. Het is representatief voor de meest gangbare gewassen. Als zuiveringsapparatuur onder deze omstandigheden kan werken, dan kan het hoogstwaarschijnlijk andere (minder extreme) omstandigheden ook aan. Standaard water is eenvoudig te maken en reproduceerbaar.

Tabel 1. Samenstelling standaard water wat betreft nutriënten en sporenelementen.

Bepaling	Eenheid	Streef cijfer	grenzen
EC	mS/cm	3.0	2.5 - 3.5
pH		5.5	5 - 6
NH ₄	mmol/l	0.5	0.1 - 0.5
K	mmol/l	7.0	5 - 8
Na	mmol/l	6.0	1 - 8
Ca	mmol/l	8.0	5 - 8
Mg	mmol/l	3.5	2.5 - 4.5
NO ₃	mmol/l	17.0	13 - 21
Cl	mmol/l	6.0	1 - 8
SO ₄	mmol/l	6.0	3.5 - 6.5
HCO ₃	mmol/l	1.0	0.1 - 1.0
P (H ₂ PO ₄)	mmol/l	0.7	0.5 - 1.5

Bepaling	Eenheid	Streef cijfer	grenzen
Fe	μmol/l	50	40 - 60
Mn	μmol/l	20	15 - 25
Zn	μmol/l	5	3 - 10
B	μmol/l	50	35 - 65
Cu	μmol/l	2	0.5 - 3.5
Mb	μmol/l	1	0.5 - 1.5

Vervuilingen

Het is bekend dat zuiveringstechnieken verschillend gevoelig zijn voor vervuilingen. Problemen hierbij zijn dat levende organische vervuilingen als algen, bacteriën en schimmels niet in standaard hoeveelheden in de tijd voorkomen of te bewaren zijn. Groei en activiteit van deze organische koolstofbron hangt af van teveel slecht beheersbare factoren als temperatuur, minerale voeding, aard van de aangeboden organische voeding en een in de tijd veranderende samenstelling van de micropopulaties. Het is daarom niet zinvol algen, bacteriën en schimmels aan het standaard water toe te voegen als organische vervuiling. Biologische afbraakproducten (oa. van deze organismen, maar ook van wortels e.d.) zijn beter controleerbaar en te standaardiseren. Een maat voor organische vervuiling in het water is de TOC (total organic carbon, de hoeveelheid organisch gebonden koolstof). Een typische waarde voor tuinbouwwater is een TOC van 20 mg.L⁻¹ maar de waarden fluctueren en kunnen oplopen tot 100 mg.L⁻¹ (Berckmoes, 2011).

Voor het standaard water wordt uitgegaan van een TOC van 20 mg.L⁻¹; deze organische vervuiling bestaat uit fulvo- en humuszuren. Daarnaast wordt een minerale verontreiniging in de vorm van illiet klei toegevoegd.

Tabel 2. Samenstelling standaard water wat betreft verontreinigingen; TOC 20 mg/l.

Stof	Gekozen product	Leverancier	Concentratie
mineraal	Illiet	De kruiderie	6 mg.L-1
organisch	Fulvo en Humuszuren (Leonardiet)	Humatech/Bestebreurtje	20 mg.L-1

Gewasbeschermingsmiddelen (GBM)

Voor de keuze van GBM in het 'standaard water' zijn onderstaande selectiecriteria gebruikt:

- Het middel moet relevant zijn voor de KRW (en eventueel voor drinkwaternorm)
- Het middel moet aanwezig zijn in glastuinbouw lozingswater
- Het middel moet toegelaten zijn in Nederland
- Het middel moet detecteerbaar zijn met conventionele analytische technieken.
- De geselecteerde middelen moeten bij voorkeur afkomstig zijn van verschillende fabrikanten

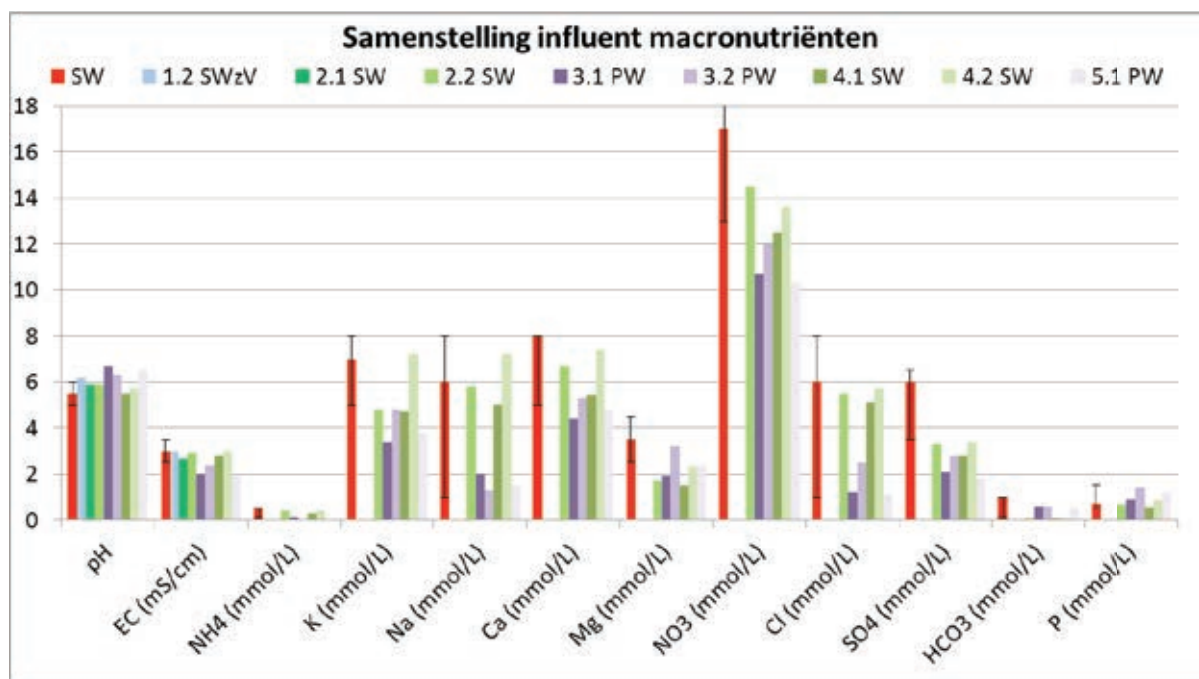
Er is een overzicht met 140 in de Nederlandse glastuinbouw gebruikte werkzame stoffen opgesteld. Samen met experts (Nefyto, LTO, WUR) zijn 12 werkzame stoffen geselecteerd (Tabel 3, 3e kolom). Aan het standaard water zullen deze stoffen geformuleerd worden toegevoegd, met andere woorden als beschikbaar product. In de 1e kolom staan de 11 producten die hiervoor zijn gekozen (1 product bevat 2 verschillende werkzame stoffen). De eindconcentraties van de werkzame stoffen in het Standaard water is 2 µg/L. [Uitzondering hierop is boscalid (4 µg/L) omdat deze alleen samen met kresoxim-methyl wordt geleverd en in Collis in 2x de concentratie van kresoxim zit.]

Tabel 3. geselecteerde stoffen en concentratie.

Geformuleerd product	Toevoegen aan 1000L	Type	Werkzame stof	Samenstelling
Ortiva	8 µL	vloeistof	azoxystrobin	250 g/L
Collis	20 µL	vloeistof	boscalid + kresoxim-methyl	boscalid: 200 gr/L kresoxim methyl: 100 gr/L
Topsin M	4 µL	vloeistof	carbendazim (afbraakproduct van thiofanaat-methyl)	500 g/L
Mesuroi	4 µL	vloeistof	methiocarb	50% methiocarb
Admire	2,6 mg	korrel	imidacloprid	70% imidacloprid
Rovral Aquaflo	4 µL	vloeistof	iprodion	500 g/L
Runner	8,4 µL	vloeistof	methoxyfenozone	240 g/L
Pirimor	4 mg	korrel	pirimicarb	50% pirimicarb
Plenum 50 WG	4 mg	korrel	pymetrozine	50% pymetrozine
Calypso	4,2 µL	vloeistof	thiacloprid	480 g/L
Rizolex	4 µL	vloeistof	tolclofos-methyl	500 g/L

Bijlage IV Samenstelling testwater

In de runs met Standaard Water is er naar gestreefd de verschillende nutriënten zoveel mogelijk binnen de marges zoals gedefinieerd in Bijlage III te houden. De fluctuaties in de samenstelling van de nutriëntenmatrix die te zien zijn in Figuur IV.1 en IV.2, zijn te wijten aan het handmatig vullen van de mestbakken en het in gebruik nemen van de nieuwe infrastructuur. In deze figuren is ook goed te zien dat er in de definitie van Standaard Water is uitgegaan van een realistisch worst-case scenario betreffende geloosde nutriënten. De pH is in het praktijkwater iets hoger dan in het Standaard Water, terwijl de EC iets lager is.

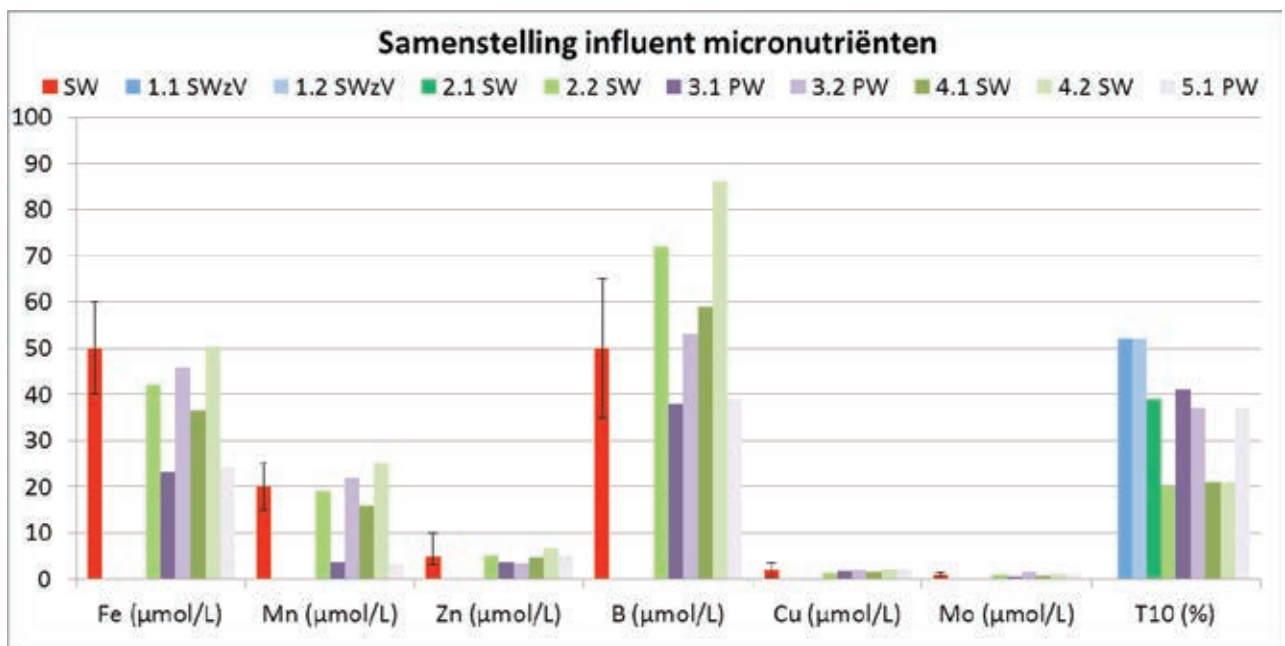


Figuur IV.1 Samenstelling van influentwater (pH, EC en concentraties macronutriënten), weergegeven per run, vergeleken met Standaard Water (haken geven bandbreedte in Standaard Water weer).

De grootste verschillen tussen Standaard Water en praktijkwater zijn te zien in de concentraties natrium en chloride, waarbij de concentraties van beide stoffen in het praktijk water een stuk lager zijn. Eén van de redenen om te spuien is een te hoog natriumgehalte in het recirculatiewater (voor roos is een concentratie van >4mmol/L vaak aanleiding om te lozen), maar daar is hiervan geen sprake. Het water dat uit het praktijkbedrijf is gehaald was dan ook geen water dat geloosd zou gaan worden, maar was recirculatiewater dat in principe om andere redenen geloosd had kunnen worden. Ditzelfde kan gezegd worden over de concentraties borium (stof die moeilijk wordt opgenomen door de plant en zich dus kan ophopen in het systeem) in het praktijkwater, zoals te zien is in Figuur IV.2.

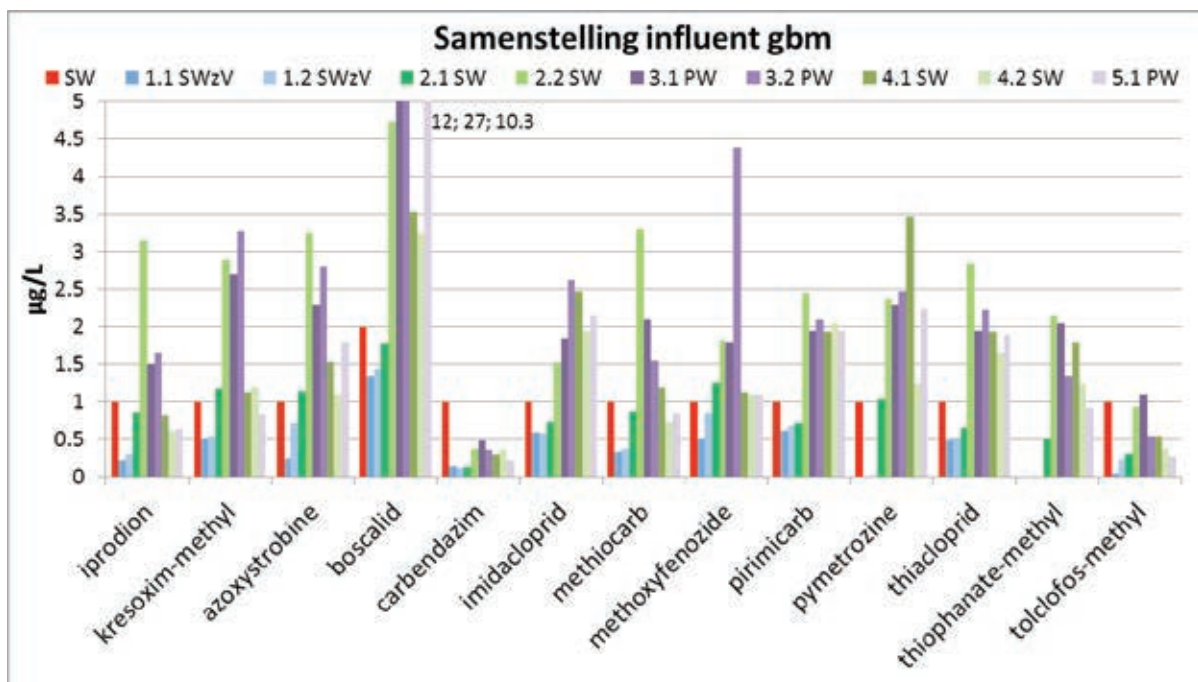
Er zijn ook grote verschillen waargenomen in de transmissiewaarden (T_{10} ; maat voor troebelheid) van de verschillende watersoorten. Te zien is dat het Standaard Water zonder vervuiling de hoogste waarde voor de doorlaatbaarheid voor UV-licht heeft, gevolgd door praktijkwater (waar organisch materiaal in is opgelost). De laagste waarde voor T_{10} wordt gevonden in het Standaard Water, waarbij de organische vervuiling in het praktijkwater wordt nagebootst door huminezuren en kleideeltjes aan het water toe te voegen. Dit verschil kan voor technieken die gebruik maken van UV-licht een verschil in zuiveringsrendement betekenen, wanneer onvoldoende maatregelen (voor een voldoende dosis UV licht) worden genomen.

De total organic carbon (TOC) van de verschillende types water is niet gemeten en wordt constant aangenomen. De TOC is een belangrijke parameter bij oxidatie, vanwege het afvangen van radicalen die gemaakt worden in het oxidatieproces.



Figuur IV.2 Samenstelling van influentwater (concentraties micronutriënten en T10) uit de verschillende experimenten, vergeleken met Standaard Water (haken geven bandbreedte in Standaard Water weer) (SWzV Standaard Water zonder Vervuiling; SW Standaard Water; PW praktijkwater).

Figuur IV.3 geeft de gemiddelde concentraties GBM in het influent water per testrun weer. De gemiddelde waarden zijn gebruikt om de onzekerheden in de analyses te verkleinen, omdat er voor verschillende stoffen gedurende een testrun behoorlijke fluctuaties zijn waargenomen. Daarin komt duidelijk één verschil naar voren tussen Standaard Water en praktijkwater. De concentratie boscalid is in de runs met praktijkwater een stuk hoger dan in het Standaard Water. Navraag bij de teler leert dat er een aantal dagen voor afname van het water gespoten is met Collis, wat dan ook duidelijk terug te zien is in de resultaten. Het lijkt er ook op dat er in run 3.2 in het uitgangswater methoxyfenozide (Runner) aanwezig was, omdat die concentratie ook iets hoger is dan gebruikelijk.



Figuur IV.3 Concentraties GBM in influent water voor alle runs, gemiddelde waarden per run (SWzV Standaard Water zonder Vervuiling; SW Standaard Water; PW praktijkwater) (SWzV Standaard Water zonder Vervuiling; SW Standaard Water; PW praktijkwater).

In Figuur IV.3 is ook duidelijk te zien dat de concentratie GBM in het influent water vanaf run 2.2 verhoogd is van 1 naar 2 µg/L (zie Hoofdstuk 2, paragraaf 2.4.1).

In september 2012 is het recept van het Standaard Water aangepast (II, Tabel IV.1) omdat sommige van de meststoffen in geconcentreerde vorm neersloegen.

Tabel IV.1 Concentraties meststoffen voor Standaard Water. I Gebruikt recept tot september 2012 II Gebruikt recept na september 2012

	I	II	
Kalksalpeter (L)	2558	2558	mg/L
Ammoniumnitraat (L)	78.2	78.2	mg/L
IJzerchelaat 7%	40.0	40.0	mg/L
Kalisalpeter	50.6	50.6	mg/L
Keukenzout	351.7	351.7	mg/L
Bitterzout	871.1	430.8	mg/L
Kalisulfaat	439.8	435.0	mg/L
Monokalifosfaat	96.2	95.2	mg/L
Mangaansulfaat	3.4	3.4	mg/L
Zinksulfaat	1.46	1.44	µg/L
Borax	4.82	4.77	µg/L
Kopersulfaat	0.51	0.50	µg/L
Natriummolybdaat	0.24	0.24	µg/L
kalibicarbonaat	0.10	0.01	µg/L

De GBM in het Standaard Water zijn een mix van stoffen met allerlei verschillende eigenschappen. Zo is deze mix representatief voor het middelenpakket dat gebruikt wordt in de glastuinbouw en voor het spectrum aan chemische en fysische eigenschappen uit de gebruikte middelen, waardoor verwijdering van deze stoffen uit de spuistroom een goed beeld geeft van de overall werking van de onderzochte technieken. Daarbij moet wel opgemerkt worden dat het middelenpakket continu aan verandering onderhevig is, waardoor de representativiteit van de mix in Standaard Water kan veranderen. In Tabel IV 2. zijn de streefconcentraties van de GBM in Standaard Water te vinden.

Tabel IV.2 Streefconcentratie van de verschillende werkzame stoffen uit de gekozen GBM.

Middel	Werkzame stof	Streefconcentratie (µg/L)
Ortiva	azoxystrobine	2µg/L (run 1: 1 µg/L)
Collis	boscalid	4µg/L (run 1: 1 µg/L)
	kresoxim-methyl	2µg/L (run 1: 1 µg/L)
Topsin M	carbendazim (afbraakproduct van thiofanaat-methyl)	2µg/L (run 1: 1 µg/L)
Mesuroi	methiocarb	2µg/L (run 1: 1 µg/L)
Admire	imidacloprid	2µg/L (run 1: 1 µg/L)
Rovral Aquaflo	iprodion	2µg/L (run 1: 1 µg/L)
Runner	methoxyfenozide	2µg/L (run 1: 1 µg/L)
Pirimor	pirimicarb	2µg/L (run 1: 1 µg/L)
Plenum 50 WG	pymetrozine	2µg/L (run 1: 1 µg/L)
Calypso	thiacloprid	2µg/L (run 1: 1 µg/L)
Rizolex	tolclofos-methyl	2µg/L (run 1: 1 µg/L)

Bijlage V Protocol beoordeling toepasbaarheid glastuinbouw

Techniek Criterium	H2O2-MDUV		H2O2-LDUV		O ₃ +kool		ECF	
Veiligheid								
Restproducten								
Ontstaan ecotoxische stoffen								
Gebruiksgemak								
Ruimtegebruik								
Storings- gevoeligheid								
Benodigdheid chemicaliën								
Onderhoud								

Veiligheid

1 = onveilig, 2 = matig onveilig, 3 = veilig, 4 = heel veilig

Vorming van schadelijke restproducten

1 = ernstig/veel schadelijke restproducten, 2 = matig/matige hoeveelheid schadelijke restproducten, 3 = weinig/kleine hoeveelheid schadelijke restproducten, 4 = geen schadelijke restproducten

Ontstaan ecotoxische stoffen

1 = veel zeer ecotoxische stoffen, 2 = matige hoeveelheid matig ecotoxische stoffen, 3 = weinig gering ecotoxische stoffen, 4 = geen ecotoxische stoffen

Gebruiksgemak:

1 = gebruiksonvriendelijk, 2 = redelijk gebruiksvriendelijk, 3 = gebruiksvriendelijk, 4 = zeer gebruiksvriendelijk

Ruimtegebruik:

1 = meer dan 8m², 2 = 4-8m², 3 = 2-4m², 4 = 0-2m²

Storingsgevoeligheid:

1 = zwaar storingsgevoelig, 2 = redelijk storingsgevoelig, 3 = licht storingsgevoelig, 4 = niet storingsgevoelig

Hoeveelheid benodigde chemicaliën:

1 = veel chemicaliën nodig, 2 = matig chemicaliën nodig, 3 = weinig chemicaliën nodig, 4 = geen chemicaliën nodig

Onderhoud:

1 = veel onderhoud, 2 = redelijk veel onderhoud, 3 = weinig onderhoud, 4 = geen onderhoud

Bijlage VI Biotoets voor analyse afbraakproducten

In samenwerking met Ecofide, Weesp

Inleiding

Bij de toepassing van zuiveringstechnieken, met name die technieken die gebruik maken van oxidatie, bestaat er een risico dat er afbraakproducten ontstaan die schadelijk zijn voor het watermilieu. Een indicatieve proef is uitgevoerd met watervlooien (*Daphnia magna*) om op een pragmatische manier inzicht te krijgen in eventuele ongewenste neveneffecten van het zuiveringsproces van de technieken, een zogenoemde biotoets. Het Standaard Water waar de zuiveringstesten mee worden uitgevoerd, bevat een mengsel van 11 GBM (12 werkzame stoffen) met daarin zowel fungiciden als insecticiden. Het gekozen testorganisme is gevoelig voor veel van deze stoffen, relevant voor het aquatisch ecosysteem en eenvoudig en goed gestandaardiseerd te gebruiken in het laboratorium.

Indien sterfte in de biotoets optreedt met het water na behandeling, kan dit veroorzaakt worden door resten van de GBM die niet door de techniek zijn verwijderd (zuiveringseffectiviteit), of door schadelijke stoffen die bij de behandeling van het Standaard Water zijn ontstaan (afbraakproducten GBM of anderszins). Op basis van de chemische analyse van de werking van een techniek, wordt in het laboratorium water klaargemaakt dat dezelfde hoeveelheid werkzame stoffen bevat als het effluent van de techniek ('nagemaakt water'). Hierin zijn geen afbraakproducten van de chemische middelen aanwezig. Het effect van dit water op de watervlooien wordt vergeleken met het effect van het directe effluentwater van de techniek. Wanneer de sterfte van de watervlooien door het directe effluentwater hoger is dan door het nagemaakte effluentwater, dan is er sprake van ongewenste afbraakproducten.

Aanpak en resultaten

In de bepaling van de zuiveringseffectiviteit is alleen gekeken naar de vermindering in de concentratie van 12 actieve ingrediënten uit het Standaard Water. De drie oxidatieve technieken breken deze GBM in kleinere delen (bij volledige oxidatie worden voornamelijk CO₂ en water gevormd), de zogenoemde afbraakproducten. De vorming van afbraakproducten is niet chemisch onderzocht, omdat er een zeer groot spectrum aan afbraakproducten uit deze twaalf ingrediënten mogelijk is. Om toch breed te kunnen kijken naar de aanwezigheid van afbraakproducten van GBM, is een biotoets met *Daphnia magna* uitgevoerd door Ecofide.

Pilottoets

In eerste instantie is een pilottoets uitgevoerd met in het laboratorium gemaakt Standaard Water, zoals te zien is in Tabel VI.1. Deze resultaten wijzen uit dat het gekozen testorganisme voldoende gevoelig is voor het aangeleverde Standaard Water. NOEC geeft de geteste concentratie aan waarbij nog geen effect op de watervlooien te zien is, LOEC geeft de geteste concentratie aan waarbij voor het eerst een effect te zien is en de EC₅₀-waarde is een berekende waarde waarbij 50% van de organismen de test niet overleeft. De EC₅₀-waarde van het mengsel in de pilot test ligt op 0,31%(volume) van de concentratie van het Standaard Water.

Biotoets 1

Het influent water liet in de eerste biotoets echter een geheel ander beeld zien dan bij de pilottest (zie Tabel VI.1). De LOEC komt overeen (verschil in waarde komt door verschil in testconcentratie), maar de berekende EC₅₀-waarde is aanzienlijk hoger. Op basis van deze resultaten blijkt de watervlo-biotoets nauwelijks gevoelig genoeg om het effect van afbraakproducten te kunnen bepalen. Discussie met Ecofide over het opmerkelijke verschil in effect van de influentwaters heeft aan het licht gebracht dat voor de pilot proef het Standaard Water gemaakt is met kraanwater en voor de biotoets met regenwater. Ecofide is bekend met het fenomeen dat in kraanwater stoffen kunnen zitten die dodelijk voor watervlooien zijn.

Tabel VI.1 Noec (geen observeerbaar effect concentratie), Loec (laagst observeerbaar effect concentratie) en EC50-waarden (concentratie met 50% sterfte van de organismen, met 95% betrouwbaarheidsinterval) met watervlooien (*Daphnia magna*) voor pilot biotoets met nagemaakt Standaard Water en eerste herhaling biotoets effluent.

	Pilot	Biotoets 1		
	Influent (vol%)	Influent (vol%)	Effluent O ₃ (vol%)	Effluent MDUV (vol%) zonder H ₂ O ₂
Noec	0.1	0.1	100	2
Loec	1	1	>100	20
EC₅₀ (95% bi)	0.31 (0.28-0.33)	>100	-	5.3 (4.1-6.8)

Geen van de geteste verdunningen van effluent water na ozon behandeling laat een effect in de biotoets zien. De Noec is 100 vol% en de EC₅₀ kan niet worden bepaald. Effluent water na MDUV behandeling liet een ander beeld zien. Voor alles moet een kanttekening worden geplaatst bij deze behandeling: gedurende de periode waarin bemonsterd is voor de biotoets is de H₂O₂-toevoer naar het apparaat tijdelijk onderbroken is geweest. Hierdoor is het een behandeling van uitsluitend UV licht geworden. We zien bij deze behandeling dat de EC₅₀ bij 5.3 vol% ligt, dus bij deze concentratie ging 50% van de watervlooien dood. In het effluent water na de MDUV behandeling zitten dus stoffen die schadelijk zijn voor watervlooien. Of dit afbraakproducten van GBM zijn, of andere stoffen die tijdens het zuiveringsproces ontstaan, blijkt niet uit deze proef.

Analyses met 'nagemaakte' oplossingen met alleen de GBM zijn niet uitgevoerd omdat de resultaten van de biotoets vragen oproepen en die eerst beantwoord moesten worden.

Biotoets 2

Om de gevoeligheid van de test te verbeteren, is er in biotoets 2 gewerkt met influent water met daarin extra GBM (in een oplopende reeks van 0.01 - 100x de concentratie aan werkzame stoffen). Er is tijdens deze biotoets zowel Standaard Water met als zonder GBM getest, om te kunnen bepalen of het effect van de H₂O₂ + MDUV behandeling wordt veroorzaakt door afbraakproducten van GBM of door andere oorzaken. Het effluent water met GBM is bemonsterd uit run 4 herhaling 1, voor het water zonder GBM is een extra run uitgevoerd.

In de biotoets treedt pas een duidelijk effect op indien het influent water een hogere concentratie aan GBM bevat dan in het Standaard water gebruikelijk is (zie Tabel VI.2). Bij een concentratie van vijf keer die van Standaard Water treedt de eerste sterfte op (Loec). Wat de H₂O₂+MDUV behandeling betreft zien we zowel een verhoogde sterfte in het effluent met en het effluent zonder GBM (in beide gevallen EC₅₀ rond 5 vol%). Het is dus aannemelijk dat de waargenomen sterfte in deze test (en ook in de 1^e biotoets) niet worden veroorzaakt door afbraakproducten van GBM, maar door andere stoffen die tijdens het zuiveringsproces ontstaan. Dit zou bijvoorbeeld een restant H₂O₂ of nitriet kunnen zijn.

Tabel VI.2 Noec (geen observeerbaar effect concentratie), Loec (laagst observeerbaar effect concentratie) en EC50-waarden (concentratie met 50% sterfte van de organismen, met 95% betrouwbaarheidsinterval) met watervlooien (*Daphnia magna*) voor tweede herhaling biotoets (effluent H₂O₂ + MDUV) in concentratiereeksen.

	Biotoets 2		
	Influent met extra GBM (vol%)	Effluent zonder GBM in influent (vol%)	Effluent met GBM in influent (vol%)
Noec	100	1	1
Loec	500	5	5
EC₅₀	223.6	3.5	6
<i>95% bi</i>		(2.8-4.6)	(4.1-8.7)

Vervolg

Uit dit onderzoek tot nu toe blijkt dat er een gevoeliger biotoets toegepast moet worden. Er kan bijvoorbeeld met andere toetsorganismen inline gewerkt worden of naar chronische effecten gekeken worden. Om eventuele risico's met het ontstaan van ongewenste afbraakproducten voldoende te kunnen inschatten, moeten de biotoetsen met hogere concentraties van GBM uitgevoerd worden. De concentraties in het Standaard Water zijn een gemiddelde van de concentraties die in spuiwater voorkomen; 100 keer hoger (en lager) komt echter ook geregeld voor.

Bijlage VII Longlist potentiële zuiveringstechnieken voor verwijdering GBM uit lozingswater

Lijst met technieken is door BCO beoordeeld op geschiktheid voor het doel van het project, namelijk op korte termijn beschikbaar en toepasbaar voor de verwijdering van GBM uit lozingswater van de glastuinbouw. Een beoordeling als ongeschikt betekent niet dat de techniek op zich ongeschikt is.

Techniek	Zuiverings-principe	Toelichting techniek	Beoordeling BCO
H2O2-UV (MD)	Oxidatie	De werking berust op 2 mechanismen die per stof verschillen in bijdrage. Enerzijds treedt er fotolyse op onder invloed van UV, anderzijds worden door H2O2 te activeren met UV, hydroxylradicalen gevormd die een redelijke universele oxidatie-potentie hebben. Belangrijke parameters zijn derhalve UV dosis en H2O2 concentratie	1- Korte termijn
H2O2-UV (LD)	Oxidatie	Gelijk aan MD/HD met dien verstande dat LD lampen een beperkter UV spectrum hebben. Met name de fotolyse is dan minder effectief (want golflengte afhankelijk), daartegenover staat dat met minder energie hydroxylradicalen worden geproduceerd.	1- Korte termijn
Actief koolstof	Adsorptie	Actief kool bevat verschillende groottes poriën (macro, meso en micro). Met name de microporiën zijn van belang voor adsorptie van GBM's. Grote moleculen (organische stof) blijven veelal hangen in de macroporiën. Wanneer macroporiën vol zitten met organische stof neemt adsorptiecapaciteit voor GBM's af.	1- Korte termijn
Elektro-chemische flocculatie	Adsorptie	Gevolgd door scheiding. Onedele elektroden via elektriciteit zorgen voor uitvlokking en adsorptie met ijzermatrix. Labtest op geconcentreerd afvalwater van zaadveredelingsbedrijf heeft verwijdering aangetoond (5 specifieke gbm). Door in situ driewaardig ijzer te maken ontstaat een vlokingsproces (ijzer vlokken). Contaminanten (en dus ook GBM's) worden ingevangen in de vlokken. Mogelijk speelt lading van de vlokken ook nog een rol afhankelijk van het type GBM.	1- Korte termijn
Bewegend Bed Adsorptie (BBA)	Adsorptie	Adsorptie in een zandfilter. Verbeterd zandfilter waarvan effectiviteit beperkt is. Adsorptie in een bewegend zandfilter om de stofoverdracht te verbeteren: Het BBA-concept berust op adsorptie in tegenstroom, waarbij het minst vervuilde water in contact staat met het minst beladen kool, wat theoretisch leidt tot effectieve adsorptie. Continue zandfilters zijn geschikt om actief kool in tegenstroom met het te behandelen water te brengen volgens het BBA concept. Hiertoe wordt het poederkool in het bovenste deel van het zandbed gebracht en daar homogeen over het oppervlak verdeeld. Het poederkool wordt in de poriën van het zandbed vastgehouden, en beweegt dus ook met dit zandbed in neerwaartse richting. Aangezien het water in opwaartse richting het zandbed/poederkool doorstroomt, wordt zo de tegenstroom- adsorptie gerealiseerd. Continue zandfilters worden al breed toegepast voor denitrificatie en defosfatering van effluent water (afzonderlijk of simultaan). Integratie van het BBA concept in continue zandfilters biedt hierdoor de mogelijkheid voor vergaande verwijdering van een breed spectrum aan verontreinigingen.	2 - middellange termijn
Mixed Matrix Mem-Adsorptie (MMA)	Adsorptie	Combinaties van matrixen met bredere werking door verschillende affiniteitsstoffen. Ultrafiltratie: matrix voor filter. Specifieke adsorbanten worden hierbij in de matrix van membranen ingebouwd. Adsorptie is zeer specifiek. Techniek wordt uitgetest voor effluent polishing. Biologische vervuiling van de actieve matrix kan een thema zijn. Dan regenereren met regeneratievloeistof.	2 - middellange termijn

Membrane Assisted Affinity Separation (MAAS)	Adsorptie	Adsorptie met fijne deeltjes, die vervolgens m.b.v. filtratie kunnen worden teruggewonnen. Verdere uitwerking biologische koolfilter (groter oppervlakte). Verbetering kool/zandfiltratie door groter oppervlak en fijnere adsorptie deeltjes.	3 - lange termijn
Titaniumoxide-UV	Oxidatie	Geavanceerde oxidatie met titaniumoxide als katalysator. Voordeel van deze techniek is dat geen chemicaliën (H ₂ O ₂) hoeft te worden toegevoegd. Zeer interessant op langere termijn.	3 - lange termijn
Affinity adsorption	Adsorptie	KWR labonderzoek. Alternatieve adsorbentia met specifieke functionele groepen. Is ontwikkeld voor het verwijderen van nieuwe residuen die niet met klassieke actief kool te verwijderen zijn (polaire stoffen). Werking is dat door specifieke functionele groepen aan adsorbentia te koppelen gbm's stofs specifiek verwijderd kunnen worden. Een mengsel van 'dedicated' adsorbentia leidt tot hoge rendementen. Vooral geschikt voor relatief schone stromen en hoge kwaliteitseisen. Aantrekkelijk als het palet aan te verwijderen stoffen beperkt is.	3 - lange termijn
Catalytic Membrane Contactor	Oxidatie	Oxidatie door nano Ag katalyse op membrane contactor met zuurstof inside. (EU voorstel ARTWATER)	3 - lange termijn
Elektro Spray verdamping - scheiding	Scheiding	In zogenaamde electrospray-componenten wordt bijvoorbeeld zeewater door elektrisch geladen naaldjes geleid, waardoor de zeewaterdeeltjes een positieve lading krijgen en zich opsplitsen in fijne druppeltjes. De resulterende mist van extreem kleine, geladen deeltjes verdampt heel snel door het grote oppervlak, waardoor positief geladen zoutwaterdeeltjes en een neutrale waterdamp overblijven. Een tweede elektrisch veld scheidt de waterdeeltjes van het zout. Op zelfde wijze zouden GBM uit water kunnen worden verwijderd - ontwikkelpad Wetsus.	3 - lange termijn
Keramische filtratie	Scheiding	Filters die heel specifiek en heel zuiver (maar wel duur) zijn. Voordeel van keramisch is robuustheid en resistentie tegen (reinigings)chemicaliën. Er worden nieuwe keramische nanofilters ontwikkeld. Ook hier geldt dat onderscheid van belang is tussen ultrafiltratie (verwijderen deeltjes in voorzuivering) en nanofiltratie (organische stof, GBM's).	nanofilters: 3 - lange termijn keramische ultrafilters: 4 - ongeschikt
Zeoliet/harsen	Adsorptie	Vervanger van actief kool, evt in combinatie met kool. Zeolieten werken net als kool (binding aan adsorptieplaatsen), werking hangt sterk af van kristalstructuur (bepaald door Si/Al-verhouding). Natuurlijk zeoliet werkt slecht maar is goedkoop, kunstmatige zeolieten zijn duur en werken veel beter. Kunstmatige zeolieten hebben nauw gedefinieerde sites. Effect op GBM niet bekend.	4 - ongeschikt
Multimedia filtratie	Adsorptie	Combinatie van zeoliet-achtige stoffen en kool. Praktijkervaring afvalwater polishing	4 - ongeschikt
Kat. Afbraak Buitenlicht	Oxidatie	Oxidatie met TiO ₂ onder invloed van UV uit daglicht. De werking berust erop dat met behulp van katalysatoren de werking van fotolyse beter wordt	4 - ongeschikt
Memstill	Scheiding	Membraandestillatie. Productie gezuiverd water wordt gerealiseerd via een aangelegd temperatuurverschil. Resterend concentraat met daarin GBM	4 - ongeschikt
Aquaver	Scheiding	Membraandestillatie met onderdruk. Resterend concentraat waarin GBM	4 - ongeschikt
Omgekeerde Osmose	Scheiding	Productie gezuiverd water wordt gerealiseerd via een aangelegd drukverschil. Bekende techniek in de glastuinbouw voor het verwijderen van Natrium uit grondwater voor verkrijgen goed gietwater Resterend concentraat waarin GBM	4 - ongeschikt
Ultrafiltratie	Scheiding	Ultrafiltratie verwijdert geen GBM's maar is wel geschikt als voorbehandeling (in plaats van een zandfilter, dus alleen zinvol als zandfiltratie niet afdoende werkt).	4 - ongeschikt
Nanofiltratie	Scheiding	Nanofiltratie verwijdert organische stof en een groot deel van GBM's (afhankelijk van molecuulgrootte en lading). Interessant als nanofiltratie capillair is, wellicht minder gevoelig voor vervuiling in vergelijking met spiraalgewonden nanofiltratie	4 - ongeschikt

Nanofiltratie+ kool	Scheiding	Combinatie nanofiltratie en actieve kool is zeer robuust. Nanofiltratie verwijdert organische stof en een groot deel van GBM's (afhankelijk van molecuulgrootte en lading), actieve kool dient als polishing (zie boven). Altijd restproduct	4 - ongeschikt
Electro-chemisch geactiveerd water (oa Aquaox, Aquanox, ECA Water)		Elektrochemisch geactiveerde oplossing van onthard leidingwater en keukenzout. De geactiveerde vloeistof bevat o.a. onderchlorig zuur, hypochloriet, ozon en waterstofperoxide. Deze chloorverbindingen zijn stabiel dan in andere chloorproducten (bv bleekwater) waardoor de werking 5 x sterker kan zijn vanwege langere duurwerking. Biologisch afbreekbaar en vervalt tot water. Wordt in glastuinbouw ontwikkeld voor toepassing in ziektebestrijding in gewas (verneveling) en ontsmetter drainwater. Effect op GBM onbekend.	4 - ongeschikt
Biofilter	Biologische afbraak	Biologische afbraak (anaeroob). Wordt al toegepast voor afbraak restanten spuitvloeistof in onbedekte teelten. Zeer effectief in afbraak insecticiden en fungiciden (>98%), minder voor herbiciden (maar minder relevant voor glastuinbouw). Voor glastuinbouw momenteel niet geschikt vanwege langzame doorlooptijd. Indien spuistroom (aanzienlijk) kleiner wordt zeer interessant.	4 - ongeschikt
Biorotor	Biologische afbraak	Biologische afbraak en filtering. De voor het zuiveringsproces verantwoordelijke bacteriën groeien als een biofilm op het dragermateriaal en breken de schadelijke bestandsdelen in het afvalwater af tot CO ₂ en water. Invloed GBM op denitrificatie? Biorotor is niet zo stabiel, C bron moet toegevoegd worden.	4 - ongeschikt
Gecombineerde algen/helofytenzuivering	Biologische afbraak	Gecombineerde algen/helofytenzuivering glastuinbouwgebied Deurne. Is idee stadium nog niet voorbij. Combinatie met wateropslag en oppervlaktewatergebruik.	4 - ongeschikt
MBR (met carrier polishing filters)	Biologische afbraak	Membraan bioreactor. Koppelt een biologisch actief slib systeem aan een membraanfiltratie. De membranen vervangen hierbij het bezinkingsbekken bij klassieke biologische zuivering en zorgen voor een scheiding van slib en effluent. Op deze wijze is een volledige retentie van zwevende stoffen gegarandeerd, waardoor de bezinking als limiterende factor voor slibconcentratie vervalt. In een membraanbioreactor kan aldus met beduidend hogere slibconcentraties (10 tot 20 g/l) en kleinere reactorvolumes gewerkt worden in vergelijking met de conventionele systemen.	4 - ongeschikt
BAKF	Biologische afbraak	Actief koolfilter waarbij je erop stuurt dat er biologie in zit.	4 - ongeschikt
Cavitatie	Oxidatie	het ontstaan, de groei en vervolgens het ineen klappen van zeer kleine belletjes of holtes op zeer korte tijd. Hierbij komt plaatselijk heel veel energie vrij. Praktijkervaring met aquacultuur voorkomen van infecties.	4 - ongeschikt
Capacitieve deionisatie	Scheiding	FTC techniek: Flow Through Capacitor system. FTC systeem bestaat uit 2 tegengesteld geladen elektrodes en anionische en cationische membranen. Als zout in de FTC cel komt gaan de ionen door de membranen naar de elektrodes. Het ontzoute water verlaat de cel.	4 - ongeschikt
Elektrodialyse	Scheiding	Vergl FTC Techniek	4 - ongeschikt
Verdamping / Galicos	Scheiding	GaLiCos: Gas Liquid Contact system. Indikken afvalwater. Werkt met vortex onderdruk. Warme luchtstroom over waterstroom, met goede verdampingsefficiency. Robuust. Kostprijs: energie (verdampen!). Kan dit met lozingswater glastuinbouw?	4 - ongeschikt

Gebruikte afkortingen

GBM	Gewasbeschermingsmiddelen
KRW	Kaderrichtlijn Water
BCO	Begeleidingscommissie onderzoek
TOC	Total organic carbon
ECF	Elektrochemische flocculatie
MDUV	Waterstofperoxide in combinatie met middendruk UV-licht
LDUV	Waterstofperoxide in combinatie met lagedruk UV-licht
OAK	Ozon in combinatie met een actiefkoolfilter
OAK A	OAK bemonsterd vóór actiefkool (alleen effect ozon)
OAK B	OAK bemonsterd na actiefkoolfilter (ozon + actiefkool)
Inf	Influent
SW	Standaard Water
PW	Praktijk Water

