



Actieve kool voor verwijdering gewasbeschermingsmiddelen

Uit lozingswater van de glastuinbouw

J.P.M. van Ruijven¹, M. van der Staaij¹, B. Eveleens-Clark¹, E.A.M. Beerling¹, N. Koeman² en L. Palmen²

Rapport WPR-726

¹ Wageningen University & Research, Business Unit Glastuinbouw, 2 KWR Watercycle Research Institute



Stichting
Programmafonds
Glastuinbouw



Ministerie van Landbouw,
Natuur en Voedselkwaliteit

Referaat

Zuivering met actief kool is in potentie een interessante techniek voor toepassing op lozingswater van de glastuinbouw. Doel van het project was het ontwikkelen en testen van een simpele en robuuste installatie op basis van poeder actief kool (PAC), die kan concurreren met alternatieve zuiveringstechnieken die reeds op de markt zijn. Een benchmark voor kosten van de installatie is berekend met een nieuw ontwikkelde rekentool (gekoppeld aan het model waterstromen), die voor situaties van individuele telers de investerings- en jaarkosten van de beschikbare zuiveringsinstallaties kan vergelijken. Deze rekentool is ook online beschikbaar gemaakt voor telers. De ontworpen installatie bestaat uit een doseerunit voor PAC, een geroerd reactorvat, een doseerunit voor vlokmiddel en nafiltratie met een doekfilter. Voor drie doseringen en drie contacttijden is voor SAE Super en Pulsorb WP235 het zuiveringsrendement bepaald. Verhogen van contacttijd en dosering verhoogt het zuiveringsrendement. Het gewenste zuiveringsrendement van 95% werd niet voor alle werkzame stoffen gehaald. Daarnaast was de toegepaste nafiltratie niet effectief genoeg en heeft nog optimalisatie nodig. Als spin-off van het project is inmiddels een installatie van WaterQ op basis van PAC en ultrafiltratie goedgekeurd voor het zuiveren van glastuinbouw lozingswater.

Abstract

Water purification using activated carbon is potentially an interesting technology for the removal of plant protection products from greenhouse discharge water. Goal of this project was development and testing of a simple and robust powdered activated carbon installation (PAC), that is competitive with already available technologies. A newly developed tool (connected with the 'model waterstromen') is capable of calculating a benchmark for cost of purification equipment for individual practical situations. This tool is publicly available online for growers. The developed installation consists of a PAC dosing unit, a stirred reaction tank, a dosing unit for flocculation of chemicals and filtration with a paper band filter. The purification efficacy is measured with this installation for three dosages and three contact times for SAE Super and Pulsorb WP235 PAC. Increasing the contact time and dosage increased the purification efficacy. The minimal purification efficacy of 95% was not reached for all active ingredients. In addition to that, chosen filtration needs optimisation to achieve a reasonable efficacy for application in practice. Project partner WaterQ in the meantime achieved an approval for an installation with PAC and ultrafiltration for purification of greenhouse discharge water as a spin-off from this project.

Rapportgegevens

Rapport WPR-726

Projectnummer: 3742232000

SPG-nummer: W15003

Thema: Duurzaam water en nutrientegebruik

DOI nummer: 10.18174/455147

Dit project / onderzoek is mede tot stand gekomen door de bijdrage van Stichting Programmafonds Glastuinbouw, Topsector Tuinbouw & Uitgangsmateriaal, TKI Watertechnologie en Provincie Zuid-Holland.

Disclaimer

© 2018 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Glastuinbouw, Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk T 0317 48 56 06, www.wur.nl/plant-research.

Kamer van Koophandel nr.: 09098104

BTW nr.: NL 8113.83.696.B07

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

Stichting Wageningen Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Adresgegevens

Wageningen University & Research, BU Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk

Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk

T +31 (0)317 48 56 06

Inhoud

	Voorwoord	5
	Samenvatting	7
1	Inleiding	9
	1.1 Achtergrond zuivering glastuinbouw	9
	1.1.1 Wetgeving	9
	1.1.2 Zuiveringstechnieken	9
	1.2 Doelstellingen	10
	1.3 Opzet	10
	1.4 Projectpartners	10
2	Rekentool kosten waterzuivering	13
	2.1 Inleiding	13
	2.2 Doel	13
	2.3 Uitvoering	13
3	Vorstudie: selectie actief kool en type installatie	17
	3.1 Verschijningsvormen actief kool	17
	3.2 Effectiviteit PAC en GAC	19
	3.3 Toepassingsmogelijkheden m.b.t. tuinbouw lozingswater	20
	3.4 Keuze voor pilot en kennisvragen	21
4	Pilotinstallatie PAC	23
	4.1 Basisontwerp pilotinstallatie	23
	4.2 Specificatie dosering, reactorvat en nafiltratie	23
	4.2.1 Dosering poederkool	23
	4.2.2 Reactorvat	24
	4.2.3 Nafiltratie	24
	4.2.3.1 Lamellenseparator	24
	4.2.3.2 Doekfilter	25
	4.2.3.3 Ultrafiltratie	26
	4.2.3.4 Conclusie nafiltratie	27
	4.3 Proefopzet pilotinstallatie	28
5	Resultaten tests	33
	5.1 Pilotinstallatie met SAE Super-PAC	33
	5.2 Pilotinstallatie met Pulsorb WP235-PAC	34
	5.3 Discussie	35
6	Conclusies & aanbevelingen	37
	6.1 Conclusies	37
	6.2 Aanbevelingen	38
	Literatuur	39
	Bijlage 1 Standaard Water	41

Voorwoord

Het initiatief voor dit project is in 2015 genomen, omdat vanaf 2018 glastuinbouwbedrijven verplicht worden lozingswater te zuiveren van gewasbeschermingsmiddelen. Ons doel was dan ook: nieuwe kennis en tools te ontwikkelen die telers (beter) in staat stellen om aan die zuiveringsverplichting te voldoen.

In dit project is kennis vanuit twee verschillende werelden, namelijk de Glastuinbouwsector en de Watertechnologiesector, samengebracht om dit doel te bereiken. Naast de kennisinstellingen Wageningen University & Research BU Glastuinbouw en KWR Watercycle Research Institute, zijn ook relevante ketenpartijen uit beide werelden betrokken: de technologieleveranciers VAM WaterTech, HortiMaX, Enthoven Techniek, WaterQ, en het laboratorium Groen Agro Control. De eindgebruikers waren via LTO Glaskracht vertegenwoordigd. Het centrale thema in dit project was het onderzoeken en ontwikkelen van actief koolfiltratie als technologie die aanvullend of concurrerend is met de bestaande zuiveringstechnologieën voor lozingswater in de glastuinbouw. Het onderzoek staat beschreven in twee rapporten:

- I. Actief koolfiltratie in de glastuinbouw, 2018. N. Koeman, L. Palmen, J. van Ruijven, KWR Watercycle Research Institute
Een voorstudie waarin de effectiviteit van verschillende actiefkoolsoorten is bepaald in relatie tot het tuinbouw lozingswater, en geanalyseerd is welk type kool (granulair of poeder) het meest geschikt is voor toepassing in de tuinbouw. Ook is het gedrag van gewasbeschermingsmiddelen in tuinbouwwater onderzocht omdat dit gevolgen kan hebben voor de benodigde voorfiltratie en aanwijzingen kan geven om de (kosten) effectiviteit van de zuivering te verhogen.
- II. Actieve kool voor verwijdering gewasbeschermingsmiddelen uit lozingswater van de glastuinbouw, 2018. J. van Ruijven, M. van der Staaij, B. Eveleens-Clark, E. Beerling, N. Koeman, L. Palmen, Wageningen University & Research, BU Glastuinbouw (voorliggend rapport).
De vervolgstudie waarin op basis van de resultaten van de voorstudie een zuiveringsinstallatie op basis van actief kool is ontwikkeld en vervolgens de pilotinstallatie is getest. Daarnaast staat in dit rapport de ontwikkeling van een beslissingsondersteunende tool beschreven, waarmee telers een onafhankelijk vergelijk kunnen maken van de kosten voor verschillende zuiveringstechnieken op basis van bedrijfsspecifieke gegevens.

De doelstellingen van het project zijn breed gedragen door sector en overheid. De volgende partijen willen we dan ook danken voor het financieel mogelijk maken van dit onderzoek: het ministerie van LNV (via Topsector Tuinbouw en Uitgangsmateriaal), het ministerie van EZ (via TKI Watertechnologie), Provincie Zuid Holland, de Stichting Programmafonds Glastuinbouw, en de partners in het project.

Namens het projectteam,

Ellen Beerling, Wageningen University & Research, BU Glastuinbouw
Luc Palmen, KWR Watercycle Research Institute

Samenvatting

Telers zijn per 1 januari 2018 verplicht hun lozingswater te zuiveren van gewasbeschermingsmiddelen. Aan deze wettelijke eis kan voldaan worden door: 1. Emissieloos telen; 2. Zuiveren met mobiele installatie; 3. Zuiveren met eigen, vaste installatie; 4. Zuiveringscollectief; 5. Stoppen met gebruik van gewasbeschermingsmiddelen. Zowel mobiele, individuele als collectieve installaties moeten goedgekeurd zijn volgens een vast meetprotocol, waarbij voor lozingswater dat qua samenstelling overeenkomt met een realistische worst-case scenario lozingswater (Standaard Water) ten minste 95% van de werkzame stoffen wordt verwijderd. Inmiddels zijn een aantal installaties beschikbaar op de markt die deze goedkeuring hebben. Kosten zijn een belangrijke factor in de keuze voor een zuiveringsinstallatie.

Doelen van het huidige project zijn

1. Het ontwikkelen van een tool voor het vergelijken van de jaarkosten van zuiveringstechniek voor specifieke situaties van telers;
2. Ontwikkelen van een zuiveringsinstallatie op basis van actief kool, waarmee het geëiste zuiveringsrendement van minimaal 95% per werkzame stof in Standaard Water gehaald kan worden en die qua kostprijs kan concurreren met reeds beschikbare, goedgekeurde technieken.

Een rekentool is ontwikkeld in Excel en is online beschikbaar voor telers (Leyh *et al.* 2018). In de tool is informatie opgenomen van de toeleveranciers van goedgekeurde zuiveringsinstallaties over de investeringskosten, gebruikskosten en onderhoud van de installaties. De rekentool bevat informatie over alle goedgekeurde capaciteiten (m^3/uur) zuiveringsinstallaties. De teler geeft aan of de gewenste installatie alleen het lozingswater moet zuiveren, of dat ook het recirculatiewater behandeld moet worden. Met het model waterstromen (Wageningen University & Research, 2018) wordt de totale hoeveelheid lozingswater berekend en de spreiding over het jaar, na invullen van details over buffercapaciteit, kwaliteit van het uitgangswater en de irrigatiestrategie. Het model heeft een nieuwe optie gekregen om een output-file te maken die deze gegevens geschikt maakt voor het rekenen met de ontwikkelde tool. De rekentool maakt op basis van al deze gegevens een overzicht van de investerings- en jaarkosten van de zuiveringsinstallaties van de verschillende toeleveranciers. Optioneel kan gerekend worden met een extra waterbuffer voor het te behandelen water, waarmee de benodigde zuiveringscapaciteit (m^3/uur) van de installatie kan worden verminderd. Aan de weergegeven kosten kunnen geen rechten worden ontleend. Het geeft een indicatie van de kosten die gemaakt moeten worden voor de verschillende installaties en kan een eerste selectie maken van toeleveranciers die voor de specifieke situatie geschikt zijn. De aangeleverde data door de toeleveranciers wordt niet gevalideerd.

Twee typen actief kool zijn beschikbaar voor het uitvoeren van waterzuivering: granulair (GAC) en poeder actief kool (PAC). GAC wordt in een filterbehuizing geplaatst en is daardoor immobiel. GAC is over het algemeen geschikt voor situaties met veel lozingswater, omdat het filter continu belast moet worden met water om dichtgroeien/dichtslibben te voorkomen. Een installatie met PAC kan aangeschakeld worden op het moment dat er lozingswater gezuiverd moet worden. Onder invloed van de zuiveringsplicht en de emissienormen stikstof is de verwachting dat de hoeveelheid (volume en frequentie) lozingswater sterk zal teruglopen de komende jaren, waardoor het niet waarschijnlijk is dat veel bedrijven nog voldoende lozingswater beschikbaar hebben voor een continue belasting van een GAC filter. Tests op laboratoriumschaal hebben aangetoond dat zowel met GAC (GAC 400 en HPC Super 830) als met PAC (SAE Super en Pulsorb WP235) het gewenste zuiveringsrendement van ten minste 95% per werkzame stof uit Standaard Water gehaald kan worden, afhankelijk van de dosering en de contacttijd. Daarom is ervoor gekozen om een installatie op basis van PAC te ontwikkelen.

Een PAC-installatie bestaat uit een doseerunit voor PAC, een (geroerd) reactorvat voor het halen van de contacttijd en een nafiltratie. Voor nafiltratie zijn een lamellenseparator (VAM Watertech), een doekfilter (30 μm , Enthoven Techniek) en een ultrafilter (0.01 μm , WaterQ) onderzocht. Bij de lamellenseparator en het doekfilter bleek toevoegen van een vlokmiddel noodzakelijk om PAC uit het water te kunnen filteren. Van de drie opties bleek het ultrafilter het meest effectief in het verwijderen van PAC, gebaseerd op deeltjestellingen van het onbehandelde en behandelde water. Een installatie met ultrafiltratie als nafiltratie is echter relatief duur en ingewikkeld, omdat het spoelwater van het filter verwerkt moet worden. Een doekfilter lijkt daarom het meest geschikt in een simpel en robuust systeem voor het verwijderen van PAC uit het behandelde water.

Een pilotinstallatie is gebouwd met een reactorvat met een mechanische roerder van 480 L, een vat voor toevoegen van een vlokmiddel (EFAFLOC 1976) van 100 L en een doekfilter (20 µm). Voor SAE Super en Pulsorb WP235 is voor drie doseringen (40, 80 en 160 mg/L) en drie contacttijden (40, 60 en 120 minuten voor 40 mg/L; 20, 40 en 60 minuten voor 80 en 160 mg/L) het zuiveringsrendement vastgesteld. Beide typen PAC lieten een oplopend zuiveringsrendement zien bij toenemende dosering en contacttijd. Het gewenste zuiveringsrendement werd echter niet voor alle werkzame stoffen gehaald. Dit effect wordt mogelijk veroorzaakt door een relatief lage turbulentie in het reactorvat, waardoor het transport van de werkzame stoffen uit de vloeistoffase naar de adsorptieplaatsen van het PAC langzamer verliep dan op labschaal. Een andere oorzaak kan liggen in het doseren van het vlokmiddel, dat desorptie van de werkzame stoffen vanaf het PAC kan veroorzaken. Daarnaast hebben deeltjestellingen laten zien dat ook de nafiltratie van het PAC uit het behandelde water met vlokmiddel en een doekfilter nog optimalisatie nodig heeft. Het type vlokmiddel en de manier van doseren (tijd na klaarmaken vlokmiddel) leek van invloed te zijn op de resultaten.

Als spin-off van het project heeft projectpartner WaterQ inmiddels een door de BZG goedgekeurde installatie op basis van PAC ontwikkeld, waarin ultrafiltratie als nafiltratie wordt toegepast. Ook zijn zij een traject gestart voor het goedkeuren van een installatie op basis van granulair actief kool.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond zuivering glastuinbouw

1.1.1 Wetgeving

De kwaliteit van het oppervlaktewater in glastuinbouwgebieden voldoet niet aan de eisen die er vanuit de Kaderrichtlijn Water (KRW, 2000) aan gesteld worden, zowel door overschrijdingen van de normen voor stikstof en fosfaat als voor gewasbeschermingsmiddelen. De Nederlandse glastuinbouwsector heeft daarom met de overheid afgesproken per 1 januari 2018 al het lozingswater (filterspoelwater en drain/drainagewater) te behandelen met een zuiveringstechniek die ten minste 95% van de werkzame stoffen van gewasbeschermingsmiddelen uit het water verwijdert (Hoofdlijnenakkoord, 2015). Telers kunnen aan deze wettelijke zuiveringsplicht voldoen door:

1. Emissieloos telen: teler heeft met het protocol 'Aanpak aantonen nul-lozing glastuinbouw' aangetoond bij het bevoegd gezag dat er geen water met meststoffen of gewasbeschermingsmiddelen wordt geloosd (Van Empel & Meis, 2017).
2. Opslaan van lozingswater en vóór lozing laten zuiveren door een goedgekeurde mobiele zuiveringsinstallatie.
3. Zuiveren van lozingswater met een eigen, vaste installatie die een goedkeuring heeft door de Beoordelingscommissie Zuiveringsinstallaties Glastuinbouw (BZG-lijst, Helpdeskwater, 2018-1). Toeleveranciers kunnen een goedkeuring van hun installatie krijgen door het bij een onafhankelijke instantie te laten testen volgens het 'meetprotocol zuiveringsinstallaties glastuinbouw' (Helpdeskwater, 2018-2), waarmee moet worden aangetoond dat alle 11 werkzame stoffen uit het toetswater (Standaard Water, Helpdeskwater, 2018-3) voor ten minste 95% worden verwijderd (ten minste 99.5% voor imidacloprid). Als de teler de installatie vervolgens bij de juiste instellingen (dosis UV, behandelcapaciteit, etc.) toepast en correct geïnstalleerd (juiste waterstromen), dan wordt voldaan aan de wettelijke eis en hoeft niet met metingen te worden aangetoond dat 95% zuivering wordt gehaald.
4. Zuiveren van lozingswater in een zuiveringscollectief met een gezamenlijke installatie die het lozingswater van meerdere telers zuivert. Die installatie moet aan dezelfde eisen voldoen als mobiele of individuele installaties.
5. Stoppen met het gebruik van organische gewasbeschermingsmiddelen (zowel middelen die zijn toegestaan in een gangbare als in een biologische teelt).

1.1.2 Zuiveringstechnieken

Met een zuiveringstechniek kunnen de werkzame stoffen op twee manieren uit het water verwijderd worden: door afbraak (chemisch of biologisch) of door filtratie. Afbreken van de gewasbeschermingsmiddelen (op basis van koolstofatomen, organische moleculen) kan bijvoorbeeld door het water te behandelen met ozon, waterstofperoxide, UV-licht of een combinatie van deze drie, waardoor de stoffen in het uiterste geval verbranden tot CO₂ en water. Voorgaand onderzoek heeft laten zien dat met dit type technieken een zuiveringsrendement van minimaal 95% haalbaar is (Van Ruijven *et al.* 2013; 2014; 2016). Continue dosering van deze stoffen aan het water waarborgt dat het zuiveringsrendement in de loop van de tijd niet afneemt.

Filtratie, bijvoorbeeld met omgekeerde osmose, produceert een schone waterstroom en een geconcentreerde waterstroom waarin zich ook de gewasbeschermingsmiddelen bevinden. Als deze geconcentreerde waterstroom geloosd wordt, wordt uiteindelijk nog steeds dezelfde hoeveelheid gewasbeschermingsmiddelen geloosd.

Daarom is deze techniek op zichzelf niet voldoende om aan de zuiveringsplicht te voldoen, maar kan het wel bijdragen aan het beter kunnen verwerken van de lozingsstroom. Met actief koolfiltratie ontstaat er geen geconcentreerde waterstroom, maar worden de gewasbeschermingsmiddelen door middel van adsorptie gebonden aan de kooldeeltjes. Deze kooldeeltjes moeten vervolgens wel verwerkt worden. Gebruikelijk is dat gebruikt actief kool wordt verbrand, waarbij de gewasbeschermingsmiddelen ook volledig worden afgebroken (CO₂ en H₂O). Eerder onderzoek met deze techniek heeft laten zien dat het in potentie mogelijk is om met deze techniek een zuiveringsrendement van >95% te halen. Echter, in de configuratie zoals getest leidde drukopbouw in de koolkolommen ertoe dat de filters slechts een korte levensduur hadden (Van Ruijven *et al.* 2016). Maar in potentie is toepassing van actief kool een simpele en goedkope manier om lozingswater te zuiveren.

Aangezien er al verschillende goedgekeurde (oxidatie)technieken op de markt beschikbaar zijn (Helpdeskwater, 2018-1), is een randvoorwaarde voor nieuwe technieken niet alleen dat deze technisch goed werkend zijn, maar ook concurrerend zijn en/of specifieke doelgroepen beter kunnen bedienen. Daarom wordt er in het in dit rapport beschreven onderzoek gezocht naar een goedkope toepassing van actief kool waarmee het geëiste zuiveringsrendement gehaald kan worden. Om een goede vergelijking te kunnen maken met andere technieken is een rekentool ontwikkeld. De rekentool maakt gebruik van gegevens van toeleveranciers van goedgekeurde zuiveringsinstallaties en van het Waterstromenmodel (Wageningen University & Research, 2018), waarmee iedere teler voor zijn situatie kan berekenen wat de kosten zijn voor de verschillende beschikbare zuiveringstechnieken.

1.2 Doelstellingen

1. Ontwikkelen van een rekentool voor het vergelijken van de kosten voor zuiveringstechniek voor individuele telers.
2. Ontwikkelen van een zuiveringsinstallatie op basis van actief kool, waarmee het geëiste zuiveringsrendement van minimaal 95% per werkzame stof uit Standaard Water gehaald kan worden en die qua kostprijs kan concurreren met reeds beschikbare, goedgekeurde technieken.

1.3 Opzet

In het project is een rekentool ontwikkeld voor het berekenen van de kosten van de verschillende goedgekeurde zuiveringstechnieken (Hoofdstuk 2). Hiermee kan een benchmark voor kosten berekend worden waarmee de te ontwikkelen installatie op basis van actief kool moet kunnen concurreren. Daarnaast wordt de rekentool ook beschikbaar gemaakt voor iedere teler om voor zijn situatie de verschillende beschikbare zuiveringsinstallaties te kunnen vergelijken.

Parallel is een installatie ontwikkeld op basis van actief kool voor het zuiveren van het lozingswater van glastuinbouwbedrijven, die een concurrerende kostprijs moet hebben ten opzichte van andere goedgekeurde zuiveringsinstallaties. Hier is binnen het project niet aan gerekend, maar wel rekening mee gehouden in het ontwerp van de pilotinstallatie. De lozingsfrequentie en -hoeveelheid is, naast de effectiviteit in het verwijderen van gewasbeschermingsmiddelen, gebruikt om te bepalen welke vorm actief kool (granulair of poeder) het meest geschikt is voor toepassing in een tuinbouwsituatie. De zuiveringseffectiviteit is voor beide typen actief kool op labschaal vastgesteld, evenals de benodigde contacttijd en dosering (Koeman *et al.* 2018). De resultaten van deze voorstudie zijn beschreven in Hoofdstuk 3. Op basis van deze resultaten is een ontwerp gemaakt voor een pilotinstallatie en getest op geschiktheid voor toepassing in de praktijk (Hoofdstuk 4 en 5).

1.4 Projectpartners

Dit project wordt uitgevoerd in een samenwerkingsverband tussen Wageningen University & Research Business Unit Glastuinbouw en KWR Watercycle Research Institute, en vier toeleveranciers: VAM Watertech, Enthoven Techniek, HortiMaX en WaterQ. Groen Agro Control is betrokken bij het project voor het uitvoeren van analyses.

De telers worden in het project vertegenwoordigd door LTO Glaskracht Nederland. Deze bedrijven hebben tijdens het onderzoek een bijdrage geleverd door het uitvoeren van tests en het aanleveren van apparatuur, en door inbreng van kennis over zowel watertechniek als glastuinbouw praktijksituaties.

De volgende partijen hebben het project financieel mogelijk gemaakt:

- Topsector Tuinbouw & Uitgangsmateriaal.
- TKI Watertechnologie.
- Provincie Zuid Holland.
- Stichting Programmafonds Glastuinbouw.

2 Rekentool kosten waterzuivering

2.1 Inleiding

Doel van het project is het ontwikkelen van een zuiveringsinstallatie voor het verwijderen van gewasbeschermingsmiddelen uit lozingswater op basis van actief kool, die competitief is met reeds goedgekeurde installaties. Om hiervan een inschatting te kunnen maken, moeten de kosten van de technieken op de BZG-lijst (Helpdeskwater, 2018-1) voor verschillende situaties berekend kunnen worden.

Telers die niet zijn aangesloten bij een collectief, moeten een keuze maken uit de lijst van goedgekeurde zuiveringsinstallaties om drain- en filterspoelwater (als gespoeld met bemest water) te kunnen blijven lozen. De kosten zijn een belangrijke factor in de keuze voor een bepaalde techniek. Hiervoor kunnen alle telers een offerte opvragen bij alle toeleveranciers voor hun specifieke situatie, maar het is voor de toeleveranciers op korte termijn niet haalbaar om dat voor alle telers uit te voeren.

2.2 Doel

Ontwikkelen van een tool voor het berekenen van kosten van zuiveringsinstallaties op basis van kosteninformatie van toeleveranciers, voor individuele situaties van telers.

2.3 Uitvoering

Een rekentool is ontwikkeld in Excel en is online beschikbaar (Leyh *et al.* 2018). In de tool is informatie opgenomen van de toeleveranciers van goedgekeurde zuiveringsinstallaties over de investeringskosten, gebruikskosten en onderhoud van de installaties.. De toeleveranciers hebben als input Tabel 1 ingevuld. Sommige telers zullen kiezen voor een installatie die zowel het lozingswater zuivert als het recirculatiewater ontsmet. Deze optie is ook opgenomen in de rekentool.

Tabel 1

Aangeleverde gegevens van toeleveranciers van goedgekeurde zuiveringsinstallaties.

Alleen zuivering lozingswater	
Type	
Capaciteit zuivering	m ³ /uur
Footprint installatie	m ²
Prijs (investering)	€
Elektriciteitsverbruik	kWh/m ³
Gebruikskosten (H ₂ O ₂ , zuur, etc.) excl. Elektriciteit	€/m ³
Jaarlijks onderhoud	€/jaar
Gecombineerde zuivering en ontsmetting recirculatiewater	
Capaciteit	m ³ /uur
Prijs (Investering)	€
Prijs ombouwen bestaande installatie (investering)	€
Elektriciteitsverbruik ontsmetten	kWh/m ³
Gebruikskosten ontsmetten	€/m ³
Onderhoud gecombineerd gebruik	€/jaar

De rekentool heeft ook input nodig over de specifieke situatie bij de teler. Daarom is een koppeling gemaakt met het model waterstromen (online beschikbaar, zie Wageningen University & Research, 2018). In dit model kan de situatie op het teeltbedrijf worden uitgetekend en daarmee kan de hoeveelheid lozingswater worden berekend en de spreiding over het jaar. Belangrijke informatie voor het berekenen van de hoeveelheid lozingswater zijn de afmetingen van de waterbuffers, de gebruikte waterbronnen en hun kwaliteit (concentratie natrium), de gebruikte filters en de manier van omgaan met spoelwater, het gewas en de irrigatiestrategie. Met het model kan een output-file gegenereerd worden, die als input dient voor de rekentool.

In de rekentool start de teler een nieuwe berekening. In het pop-up venster dat verschijnt, vult de teler vervolgens het rentepercentage in dat hij betaalt op zijn investering en de kosten voor elektriciteit. Ook kan ingevuld worden of er een ontsmetter op het bedrijf aanwezig is en bij welke toeleverancier deze installatie vandaan komt. Nu kan de output-file van het model waterstromen worden geopend. Er moet nog gekozen worden of de nieuwe installatie alleen het lozingswater moet zuiveren, of dat ook het recirculatiewater moet worden ontsmet. De laatste keuze die gemaakt moet worden is de mogelijkheid van het plaatsen van een extra buffer voor het te zuiveren water. Met deze buffer kan de benodigde capaciteit van een zuiveringsinstallatie verlaagd worden en daarmee de investering.

Het model berekent dan de capaciteit die nodig is voor het zuiveren van het lozingswater (en eventueel voor het ontsmetten van recirculatiewater). Daarna wordt per toeleverancier gekeken welke installatie geschikt is voor de benodigde capaciteit. Het resultaat van de berekening is een overzicht van de benodigde piekcapaciteit van de zuiveringsinstallatie en het totale volume van lozing en hergebruik van water. Verder is van alle installaties weergegeven wat de jaarkosten in de specifieke situatie zijn. In sommige gevallen is een installatie nodig met een capaciteit die niet bij iedere toeleverancier beschikbaar is. Vaak kan voor deze specifieke situaties wel een maatwerk offerte worden gemaakt door de ontbrekende toeleverancier. De kosten bestaan uit de directe kosten voor het aanschaffen van de installatie en de kosten voor het gebruik. Kosten voor het aansluiten en in gebruik stellen van de installatie worden niet berekend, omdat deze te specifiek zijn voor de situatie bij de teler.

Aan de weergegeven kosten kunnen geen rechten worden ontleend. Het geeft een indicatie van de kosten die gemaakt moeten worden voor de verschillende installaties en kan een eerste selectie maken van toeleveranciers die voor de specifieke situatie geschikt zijn. De aangeleverde data door de toeleveranciers wordt niet gevalideerd. Overigens is het niet altijd verstandig om voor de goedkoopste installatie te gaan, met name wanneer ook het recirculatiewater wordt behandeld kunnen extra functionaliteiten hogere kosten rechtvaardigen. De rekentool wordt zoveel mogelijk geüpdatet als er nieuwe goedkeuringen bij komen. De rekentool is te vinden via www.wur.nl/nl/Expertises-Dienstverlening/Onderzoeksinstituten/plant-research/glastuinbouw/show-glas/Beslissingsondersteunend-rekenmodel-zuiveringstechnieken.htm.

3 Voorstudie: selectie actief kool en type installatie

3.1 Verschijningsvormen actief kool

Organische verbindingen kunnen adsorberen aan actief kool, dat wil zeggen dat de organische verbindingen binden aan het oppervlak. Actief kool heeft een zeer groot oppervlak, doordat het materiaal bestaat uit zeer veel macro-, meso- en microporiën. De oppervlaktebinding vindt met name plaats in de microporiën van het materiaal en is afhankelijk van zowel de chemische als fysische eigenschappen van het oppervlak. Zowel de grondstof van het kool als het activatieproces bepalen deze eigenschappen. De adsorptie van organische verbindingen aan het actieve kool is afhankelijk van deze oppervlaktekenmerken en de samenstelling van het water, en zijn bepalend voor effectiviteit en kosten van de filtratie.

In waterzuivering wordt actief kool in twee vormen toegepast: granulair kool (GAC) en poederkool (PAC). De verschillen tussen beide vormen zijn uitgewerkt in Tabel 2.

Tabel 2
Verschillen tussen granulaire kool (GAC) en poederkool (PAC).

	GAC	PAC
Type kool	Granulair (korrel)	Poederkool
Type proces	Filterkolom, volgestort met granulaire kooldeeltjes. Het kool ligt vast, water stroomt erlangs. Water stroomt van boven naar beneden door de kolom. Terugspoeling is aan te raden, om verstoppingen op te heffen. Verstopping wordt veroorzaakt door deeltjes (mechanische verstopping) of biofilmvorming.	Poederkool wordt gedoseerd aan de waterstroom, waarna het in een reactorvat een contacttijd met het te behandelen water krijgt. Vervolgens moet het worden uitgefilterd.
Procesconfiguratie	Buffer – voorfiltratie – GAC1 – GAC2 (twee kolommen in serie) De twee kolommen zijn te bedienen als pseudo moving bed ¹ , waarbij het tweede filter als nafiltratie dient voor het eerste filter. Eerste filter dient vervangen te worden na verzadiging, tweede filter verplaatst naar plaats 1. Tevens spoelwateropvang / spoelwaterbehandeling nodig	Buffer – PAC doseersysteem – contactor – nafiltratie Tevens PAC opslagsysteem en PAC afvoersysteem nodig

¹ Bij toepassing van een pseudo moving bed staan twee kolommen met granulair actief kool achter elkaar geschakeld. De eerste kolom doet het meeste werk en vangt zowel de grote hoeveelheid organische last af als het grootste deel van de gewasbeschermingsmiddelen. Het tweede filter dient als veiligheidsmaatregel en vangt de stoffen af die door het eerste filter heen komen. Het eerste filter zal als eerste volledig beladen zijn en moet daarom als eerste vervangen worden. Daarna schuift het tweede filter naar voren en wordt het eerste filter. Een nieuw filter wordt geplaatst op de tweede plaats. Deze configuratie geeft ook de mogelijkheid om onderhoud uit te voeren en het proces toch door te laten lopen.

	GAC	PAC
Voorbehandeling	<ul style="list-style-type: none"> • Sterke voorkeur, aanbevolen. • Gebruikelijk bij total suspended solids (TSS) > 5 mg/L • Proces: Snelle zandfiltratie (typisch 5 – 10 m/h), langzame zandfiltratie (typisch 0,1 m/uur), doekfilter of meer geavanceerd (bv Galileo L systeem, o.b.v. ringfilters). • Eventueel 1^e kool GAC kolom als voorfilter in geval van pseudo moving bed principe. 	Niet noodzakelijk, kan efficiëntie verbeteren.
Nabehandeling	Niet nodig	Ja, zandfiltratie of UF of doekfilter (geen spoelwater) om gedoseerde PAC met de daaraan geadsorbeerde GBM uit het water te verwijderen. Eventueel vlokmiddel nodig om nafiltratie te verbeteren.
Beladingsefficiëntie ²	<ul style="list-style-type: none"> • Iets hoger dan PAC • Volledige belading niet mogelijk vanwege doorslag/desorptie 	Laag (ca 0,1%) door lage contacttijd
Doorslag ³	Doorslag is een risico. Tijdig kool vervangen. Pseudo moving bed operatie geeft speling hierin.	Poederkool is altijd vers. Dosering of contacttijd vergroten indien verwijdering niet gehaald wordt
Praktisch	Robuust <ul style="list-style-type: none"> • Vervangen filtercassette als doorslag optreedt 	Relatief veel handling Dosering vraagt aandacht Bijvullen van de voorraadsilo Juiste dosering
Afval / rest	<ul style="list-style-type: none"> • Kool onder bepaalde omstandigheden regenererbaar (tot. volume). Per teler waarschijnlijk te weinig volume, mogelijk per toeleverancier verzamelen en regenereren. Als regenereren niet mogelijk is, dient granulair actief kool als chemisch afval afgevoerd te worden. • GAC kolom en voorfiltratie dient teruggespoeld te worden, wat spoelwater genereert (typisch 2 – 5% van behandeld volume, per filter). Kwaliteit van dit spoelwater is onbekend. Er zou GBM geadsorbeerd kunnen worden aan deeltjes. 	Poederkool dient afgevoerd te worden, als chemisch afval.
Continuïteit	Continue bedrijfsvoering heeft de voorkeur. Stilzetten verhoogt risico op inklinken of dichtgroeien en daarmee blokkering van de doorstroom.	Dit systeem lijkt geschikter voor tuinders met een incidentele lozing (vanuit het oogpunt van procestechologie, niet vanuit praktijk/aandacht/handling).

² De beladingsefficiëntie is het percentage van de maximale adsorptiecapaciteit van het actieve kool dat wordt benut bij de toegepaste dosering en contacttijd.

³ Stoffen die niet verwijderd worden, doordat het granulair actief koolfilter volledig bezet is of de stof verdrongen wordt door een sterker bindende stof, komen met de waterstroom weer uit het filter. De doorslag wordt pas van belang als het zuiveringsrendement van 95% (of 99.5% voor imidacloprid) niet meer wordt gehaald.

Samenvattend:

Granulair actief kool is de meest geschikte vorm van toepassing op continue waterstromen die niet al te sterk vervuild zijn met deeltjes, zodat verstopping wordt voorkomen. Het granulair actief kool wordt in een kolom geplaatst waar het water doorheen stroomt, de te verwijderen stoffen worden gebonden aan het actief kool. Als de bindingsplaatsen vol zijn, komen de te verwijderen stoffen door het filter heen en moet het actief kool in de kolom vervangen worden. De contacttijd bepaalt de effectiviteit van de waterbehandeling. Een goede voorfiltratie voorkomt verstoppingen. Poeder actief kool is de meest geschikte vorm voor het behandelen van discontinue waterstromen met relatief veel vervuiling. Het poederkool wordt in de waterstroom gedoseerd en gemengd, waar het na de contacttijd weer wordt uitgefilterd. De contacttijd en de dosering bepalen de effectiviteit van de waterbehandeling.

3.2 Effectiviteit PAC en GAC

Zowel GAC als PAC kan geproduceerd worden uit verschillende grondstoffen, bijvoorbeeld houtsnippers of kokosnoten. De gekozen grondstof is, naast het activeringsproces, van belang voor de activiteit van het actief kool in het binden van organische moleculen en daarmee voor de effectiviteit in het verwijderen van gewasbeschermingsmiddelen uit water. De zuiveringseffectiviteit is een belangrijke factor in de keuze voor een type actief kool. Om deze keuze goed te kunnen maken, is op labschaal voor twee commercieel verkrijgbare soorten GAC en twee commercieel verkrijgbare soorten PAC door KWR de effectiviteit in het verwijderen van gewasbeschermingsmiddelen uit Standaard Water (Helpdeskwater, 2018-3, zie ook Bijlage 1) onderzocht. De gebruikte producten zijn uitgekozen op advies van de actief kool leveranciers:

- GAC:
 - GAC400 – Cabot Norit.
 - HPC Super 830 – Chemvicon.
- PAC:
 - SAE Super – Cabot Norit.
 - Pulsorb WP 235 - Chemvicon.

De laboratoriumtests zijn uitgewerkt in het rapport 'Actief koelfiltratie voor de tuinbouw' (Koeman *et al.* 2018). Uit deze tests blijkt dat het met beide typen kool mogelijk is om het gewenste zuiveringsrendement van 95% te halen. De dosering en de contacttijd zijn hierbij bepalend voor het uiteindelijk gehaalde zuiveringsrendement. In Tabel 3 is de benodigde hoeveelheid GAC/dosering PAC en contacttijd voor het behalen van het benodigde zuiveringsrendement voor alle individuele stoffen uit Standaard Water weergegeven.

Tabel 3

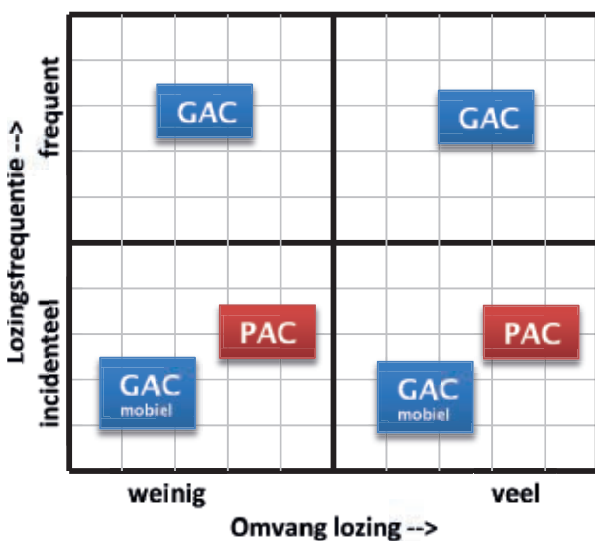
Contacttijd en dosering van de verschillende typen kool voor het behalen van het gewenste zuiveringsrendement van >95% voor alle werkzame stoffen uit Standaard Water.

Type kool	Benodigde contacttijd (min)	Benodigde dosering
Granulair kool		(g/m ³)
GAC 400 (Cabot Norit)	n.v.t.	391
HPC Super 830 (Chemvicon)	n.v.t.	116
Poederkool		(mg/L)
SAE Super (Cabot)	40	645
Pulsorb WP235 (Chemvicon)	40	45.8

3.3 Toepassingsmogelijkheden m.b.t. tuinbouw lozingswater

Voor de verkenning van toepassingsmogelijkheden van actief kool in de tuinbouw, is het verschil in noodzaak tot continue belasting (zie Tabel 2) zeer belangrijk. Als gevolg hiervan kan GAC (continue belasting) voor andere bedrijven interessanter zijn dan PAC (discontinue belasting mogelijk), en vice versa. Dit is afhankelijk van de lozingshoeveelheid en de spreiding van de lozing over het jaar, in relatie tot de beschikbare buffercapaciteit voor het te behandelen water van het bedrijf. Zo loost bijvoorbeeld bedrijf 1 wekelijks kleine hoeveelheden van bijvoorbeeld filterspoelwater. Hierbij is een relatief kleine buffer voldoende om een granulair actief koolfilter continu van water te kunnen voorzien. Bedrijf 2 loost bijvoorbeeld twee keer per jaar een grotere hoeveelheid drainwater om te verversen. Om deze hoeveelheid water te spreiden over het jaar is een grote buffercapaciteit nodig.

Bovenstaande zorgt voor een verdeling van teeltbedrijven in twee groepen: bedrijven die frequent lozen en bedrijven die incidenteel lozen. Voor incidentele lozers is PAC mogelijk interessanter dan GAC, voor frequente lozers ligt GAC meer voor de hand (zie Figuur 1).



Figuur 1 Toepassing van PAC en GAC (eventueel mobiel toegepast) voor teeltbedrijven die incidenteel of frequent en een kleine of een grote hoeveelheid water lozen.

De hoeveelheid lozingswater bepaalt vervolgens de benodigde capaciteit van de installaties en de buffergrootte. Voor incidentele lozers van grotere hoeveelheden water is het aanschaffen van een eigen PAC-installatie een aantrekkelijke oplossing, omdat de installatie alleen kosten maakt als er geloosd wordt en er geen grote buffersilo's nodig zijn. In dit geval is het overigens ook nuttig om een zekere buffering te hebben, om er voor te zorgen dat met de optimale installatiegrootte gewerkt kan worden. Belangrijk is wel dat er een eenvoudig en robuust systeemontwerp komt.

Indien incidentele lozers (zeer) weinig lozen kan een mobiele oplossing met GAC een goede oplossing zijn. Een centrale partij (bijvoorbeeld een loonwerker) zorgt voor monitoring en tijdige vervanging van het actief kool en voor een continue belasting van het filter. Kool kan bij voldoende grote hoeveelheid ook geregenereerd worden door de centrale partij. Voor kleine bedrijven zal het economische omslagpunt van PAC naar GAC-mobiel wel anders liggen dan voor grote bedrijven, vanwege beschikbare investeringsruimte. Voor bedrijven die regelmatig lozen is GAC een goede oplossing indien gecombineerd met een buffersilo.

Voor (grote) collectieven zijn beide systemen (GAC en PAC) een goede optie. Afvalwaterzuiveringen waar al aan slibverwerking wordt gedaan, kunnen relatief eenvoudig gebruik maken van PAC. Adsorptie aan actief kool is een evenwichtsreactie tussen de vloeistoffase en de vaste fase, waarbij bij evenwicht moleculen even snel adsorberen als desorberen. Als de concentratie van de geadsorbeerde stof in de vloeistoffase lager wordt, zal desorptie sneller plaatsvinden dan adsorptie en zal de stof netto weer vrijkomen uit het actief kool. Daarom moet bij het afvangen van actief kool in de slibafvang wel rekening gehouden worden met potentiële desorptie van GBM. Daarnaast geeft parallelle schakeling van GAC-kolommen mogelijkheden om een continue bedrijfsvoering te realiseren.

3.4 Keuze voor pilot en kennisvragen

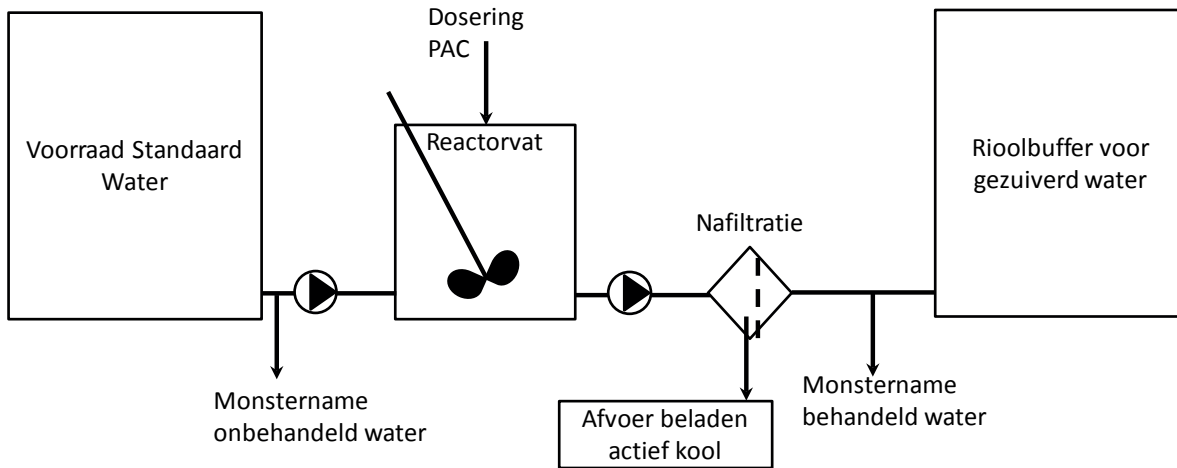
Een laatste punt van overweging is dat door de zuiveringsplicht en de vervolgstap naar een (nagenoeg) emissieloos teeltsysteem in 2027, telers kritisch hun eigen watersysteem en irrigatiestrategie tegen het licht houden. Waar voorheen relatief makkelijk water werd geloosd, soms ook onbewust via bijvoorbeeld het filterspoelwater, wordt nu zo veel mogelijk drainwater opgevangen en hergebruikt. Bij de ontwikkeling van mobiele zuiveringsinstallaties is een inschatting gemaakt van het lozingspatroon van telers, onder invloed van de zuiveringsplicht (Van Ruijven *et al.* 2017). Dit laat zien dat telers alleen nog incidenteel water lozen als ze echt niet anders kunnen, bijvoorbeeld bij een oplopende concentratie natrium.

Met deze ontwikkeling in het achterhoofd wordt een PAC-installatie voor steeds meer bedrijven interessanter, omdat zo'n installatie in staat is om alleen te draaien op de momenten dat er lozingswater is. De partners in het project hebben daarom een voorkeur uitgesproken voor het ontwikkelen van een systeem gebaseerd op poeder actief kool. Daarom is ervoor gekozen om in de pilotfase van dit onderzoek verder te gaan met het ontwikkelen van de toepassing van poeder actief kool. De belangrijkste kennisvragen die bij het ontwerpen van een nieuwe installatie opgepakt moeten worden zijn 1) de doseermethode en 2) de dosering van PAC aan het water, en 3) het verwijderen van PAC na vastgestelde behandeltijd. Het verwijderen van het poeder actief kool na de benodigde contacttijd is een essentiële stap. Als de kool met het water naar het riool wordt afgevoerd, worden de gewasbeschermingsmiddelen alsnog geloosd en kunnen door desorptie weer in het water terecht komen. De benodigde contacttijd, dosering en effectiviteit van nafiltratie is niet hetzelfde voor beide soorten PAC, daarom wordt met de pilot-installatie zowel getest met Pulsorb WP235 als met SAE Super.

4 Pilotinstallatie PAC

4.1 Basisontwerp pilotinstallatie

Voor een goed werkende installatie op basis van PAC zijn drie onderdelen essentieel: 1. Juiste dosering van PAC; 2. Mogelijkheid tot het genereren van de contacttijd; 3. Nafiltratie. In Figuur 2 is het basisontwerp weergegeven van een simpele, robuuste pilotinstallatie op basis van PAC, ontworpen in overleg met de betrokken toeleveranciers. De dosering van PAC aan het water, de uitvoering van het reactorvat en de uitvoering van de nafiltratie zijn hierbij nog niet gespecificeerd.



Figuur 2 Schematische weergave van de pilotinstallatie voor het testen van de effectiviteit op praktijkschaal van verwijdering van gewasbeschermingsmiddelen uit lozingswater met poeder actief kool.

4.2 Specificatie dosering, reactorvat en nafiltratie

4.2.1 Dosering poederkool

In de ideale situatie is de dosering van poederkool geautomatiseerd. Geautomatiseerde dosering van PAC wordt in waterzuiveringsinstallaties in de industrie regelmatig toegepast. Het droge poederkool wordt daarbij aan het water toegediend door middel van een trilzeef. De trilzeef zorgt ervoor dat er geen brugvorming (het aan elkaar plakken van poederkool) kan optreden, waardoor de dosering stopt. Dit is een relatief duur onderdeel van de installatie. Met de projectpartners zijn een tweetal alternatieven bedacht, die het systeem simpeler (qua techniek) en goedkoper maken:

- Oplosbare zakjes poederkool. In analogie met vaatwasblokjes, kunnen porties poeder actief kool aangeleverd worden in zakjes van oplosbaar plastic. De teler heeft vaste hoeveelheden PAC nodig per m^3 water, dus daar kan de afmeting van de oplosbare zakjes op worden aangepast. Per keer dat de installatie water gaat behandelen, moet de teler deze zakjes toevoegen aan het systeem. De leveranciers van actief kool zouden dit kunnen organiseren, of de toeleverancier die deze installaties in de markt gaat zetten.
- Slurryreactor. Voor de dosering van PAC kan ook een aparte geroerde slurryreactor worden gebruikt. PAC wordt handmatig afgewogen en aan een kleine hoeveelheid water toegevoegd. Let hierbij op stuiven van het actief koolpoeder. De afmeting van de slurryreactor wordt zo gekozen, dat de hoeveelheid slurry precies voldoende is om de volledige rioolwaterbuffer van de teler te behandelen. De teler voegt handmatig de juiste hoeveelheid PAC toe, die in de slurryreactor wordt gemengd met het water. Een doseerpomp zorgt voor toediening van de juiste hoeveelheid water met PAC.

4.2.2 Reactorvat

In het reactorvat moet de poederkool voldoende lange tijd aanwezig zijn om de adsorptie zo efficiënt mogelijk te laten plaatsvinden. Tijdens deze contacttijd moet het te behandelen water met PAC goed geroerd blijven, zodat de PAC niet bezinkt. De contacttijd is zowel met een batch als een continueactor te halen. In een batchreactor wordt het water in het reactorvat gepompt, waarbij de contacttijd start op het moment dat de PAC is toegediend. Na de contacttijd wordt het te behandelen water uit de reactor naar de nafiltratie gepompt. In een continueactor wordt het PAC in de waterstroom naar de reactor toe gedoseerd. Het reactorvat moet zo groot zijn dat de gemiddelde contacttijd gelijk is aan de gewenste contacttijd. Bijvoorbeeld bij een reactorvat van 1 m³ en een contacttijd van 1 uur, moet de doorstroomsnelheid 1 m³/uur zijn. Goede menging is in dat geval nog belangrijker, zodat de verblijftijdspreiding minimaal is en de verblijftijd van alle deeltjes zo dicht mogelijk bij de minimale contacttijd ligt.

4.2.3 Nafiltratie

De partners in het project hebben verschillende typen filtratie beschikbaar gesteld voor het verwijderen van PAC uit behandeld water. Voorbereidend op de pilottest, hebben de toeleveranciers tests uitgevoerd om de effectiviteit voor verwijdering van twee soorten PAC vast te stellen. Hiervoor is Standaard Water zonder gewasbeschermingsmiddelen gebruikt.

4.2.3.1 Lamellenseparator

VAM Watertech heeft een test uitgevoerd met een lamellenseparator (zie Figuur 3), voor beide typen PAC. De lamellen in de separator zorgen voor een vergroting van het effectieve bezinkoppervlak en een laminaire stroming. Beide effecten zorgen voor een verbetering van de bezinking van vaste delen uit het water. Toevoegen van een vlokmiddel zorgt ervoor dat kleinere deeltjes aan elkaar klitten en daardoor ook makkelijker bezinken. Het bovenstaande water met daarin veel minder deeltjes (en als het goed is geen PAC meer) kan worden afgevoerd. Het bezinksel (met daarin het actief kool) wordt aan de onderzijde van de separator afgevoerd als slib.



Figuur 3 Lamellenseparator van VAM Watertech.

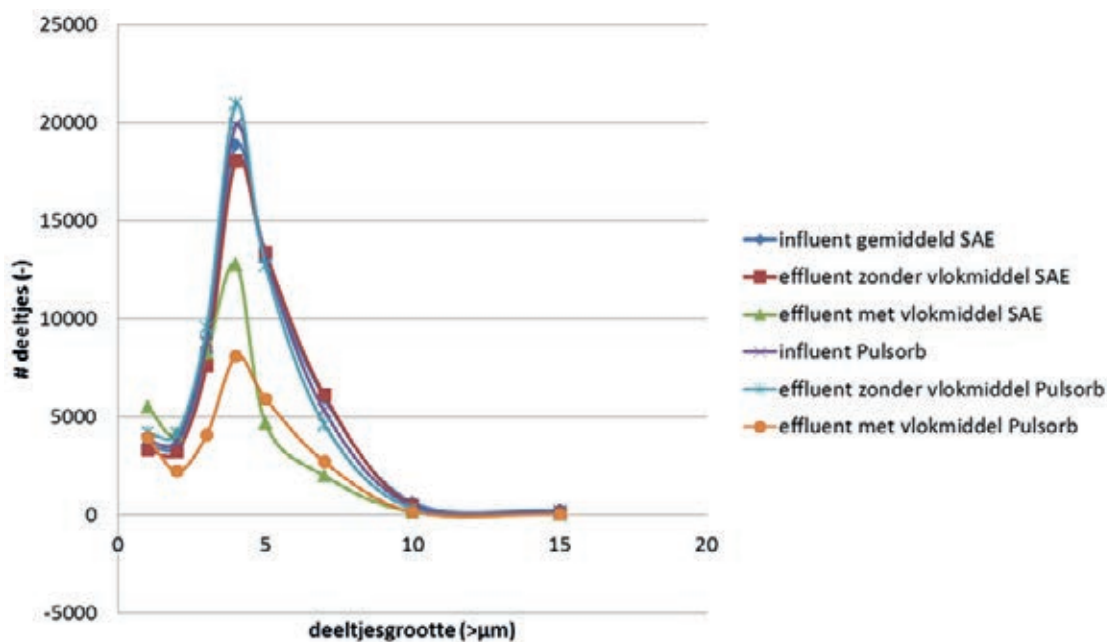
In een geroerde tank is 10 m³ Standaard Water klaargemaakt. Vervolgens is een suspensie gemaakt van 400 g PAC, die is toegevoegd aan het Standaard Water. De tank is geroerd met een capaciteit van 25 m³/uur, van onderin de tank naar boven. Na 45 minuten mengen is het water met 2 m³/uur naar de lamellenseparator gepompt. Het influent en effluent is bemonsterd voor meting van het aantal deeltjes om de effectiviteit van de filtratie vast te stellen. Vervolgens is aan het geroerde vat Vamfloc Combi Super en polymeer toegevoegd (vlokmiddel). Ook dit is over de separator heen gepompt en bemonsterd. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 4 en Figuur 4.

Tabel 4

Aantal deeltjes (#/mL) per diameterfractie voor en na filtratie door lamellenseparator.

Deeltjesgrootte (μm)	1	2	3	4	5	7	10	15
Influent SAE Super	3583	3547	8268	18866	13008	5949	628	219
Effluent SAE Super zonder vlok	3288	3232	7617	18031	13394	6117	479	117
Effluent SAE Super met vlok	5498	4109	8255	12763	4663	1993	160	29
Influent Pulsorb WP235	3791	3750	8777	19871	13130	5297	440	129
Effluent Pulsorb WP235 zonder vlok	4173	4135	9565	20935	12694	4607	290	58
Effluent Pulsorb WP235 met vlok	3945	2232	4079	8074	5926	2700	150	23

De dosering en de samenstelling van beide poederkolen zijn nagenoeg gelijk. Het is duidelijk te zien dat er zonder toevoeging van vlokmiddel nauwelijks deeltjes uit het water worden verwijderd (3%). Dosering van vlokmiddel zorgde ervoor dat er afhankelijk van de deeltjesgrootte 0 – 87% van de deeltjes werd verwijderd voor SAE Super en 0 – 82% voor Pulsorb. Hoewel het totaal aantal deeltjes in de monsters te hoog is voor een accurate meting, is wel duidelijk dat de dosering van vlokmiddel de verwijdering bevordert.



Figuur 4 Grafische weergave van deeltjestellingen (#/mL) in Standaard Water plus PAC (SAE Super en Pulsorb WP235). Effluent is behandeld met een lamellenseparator met en zonder toevoeging van Vamfloc CS vlokmiddel.

4.2.3.2 Doekfilter

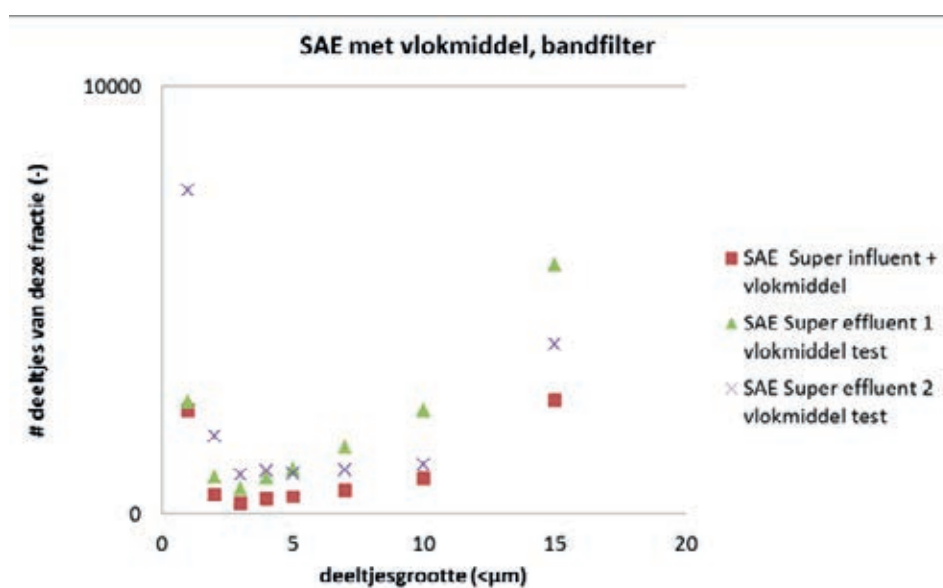
Enthoven Techniek heeft een test uitgevoerd met een doekfilter. Hiervoor is 1 m³ Standaard Water klaargemaakt, waaraan een suspensie van 40 g PAC is toegevoegd. De tank met Standaard Water is continu geroerd met een roermenger. Ook hier is gewerkt met en zonder vlokmiddel (EFAFLOC 1796), voor beide typen actief kool. Het water is over een doekfilter met een poriegrootte van 30 μm geleid. Monsternamen van het effluent zijn in tweevoud gedaan, eenmaal halverwege de te behandelen hoeveelheid, eenmaal aan het einde van de te behandelen hoeveelheid water. Monsternamen zijn uitgevoerd direct onder het doekfilter, niet uit de opvangbak onder het filterdoek. In Tabel 5 en Figuur 5 en 6 zijn de resultaten van deze test weergegeven. De concentraties in de monsters zijn te hoog voor een accurate meting. Alleen de effluent monsters met vlokmiddel bij SAE Super lieten een duidelijk lagere concentratie in deeltjes zien.

Tabel 5

Aantal deeltjes (#/mL) voor en na filtratie van poederkool met een doekfilter (30 µm).

Deeltjesgrootte (µm)		1	2	3	4	5	7	10	15
SAE	Influent + vlokmiddel	2432	450	262	344	399	558	819	2674
SAE	Effluent 1 + vlokmiddel	2638	868	589	838	1046	1567	2418	5834
SAE	Effluent 2 + vlokmiddel	7567	1819	913	1008	947	1031	1154	3965

Opvallend in Tabel 5 is dat het toevoegen van vlokmiddel aan het influent met SAE Super zorgde voor een sterke afname van het aantal deeltjes in de analyse. Het doekfilter van 30 µm haalde geen goede effectiviteit in het verwijderen van PAC als er geen vlokmiddel werd toegevoegd. Toevoegen van vlokmiddel zorgde er bij SAE Super voor dat een deel van de deeltjes werd verwijderd, maar niet in de buurt van een totale verwijdering van het PAC. Bij toepassing van Pulsorb voegde ook het vlokmiddel niets toe, al waren er bij de toeleverancier twijfels over de juiste toepassing van het vlokmiddel.



Figuur 5 Grafische weergave van de efficiëntie in het verwijderen van SAE Super met een doekfilter van 30 micron, met en zonder vlokhuipmiddel EFAFLOC 1796.

4.2.3.3 Ultrafiltratie

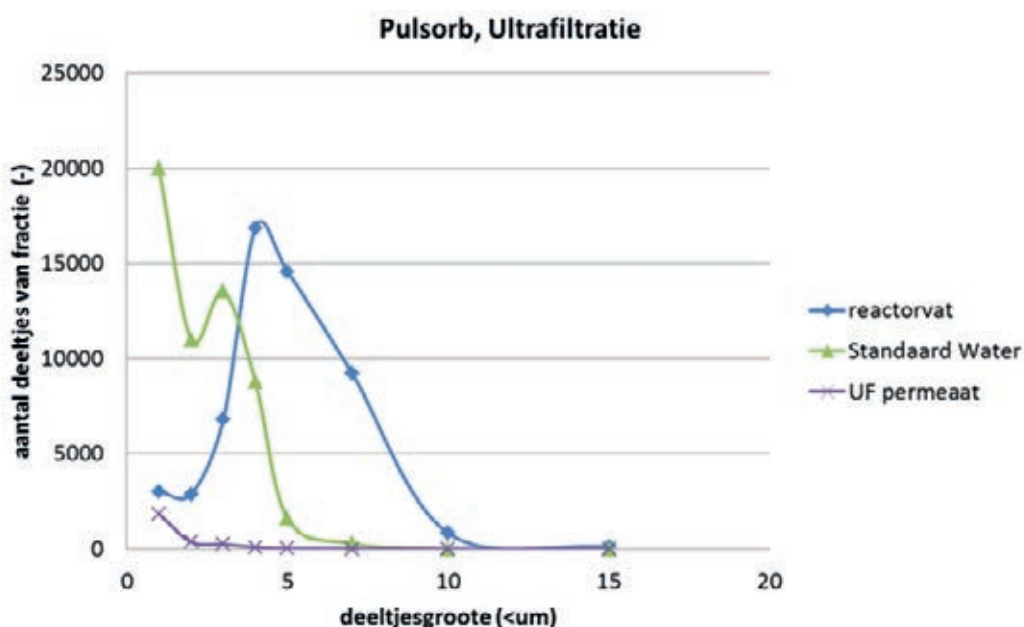
Samen met toeleverancier WaterQ is een test uitgevoerd naar de verwijdering van Pulsorb WP235 met behulp van ultrafiltratie (0.01 µm poriegrootte). In Tabel 6 en Figuur 6 zijn de resultaten van deze test weergegeven.

Tabel 6

Resultaten van deeltjestellingen (#deeltjes/mL) van een test met verwijdering van Pulsorb WP235 poederkool met ultrafiltratie (0.01 µm).

Deeltjesgrootte (µm)	1	2	3	4	5	7	10	15
Standaard Water (SW)								
*onbetrouwbare telling, te lage schatting	19994	11001	13527	8786	1596	298	11	8
SW + PAC Pulsorb								
*onbetrouwbare telling, te lage schatting	3016	2885	6814	16866	14577	9250	835	123
effluent	1845	382	260	110	27	10	1	1

Het toevoegen van PAC aan Standaard Water zorgde voor een verhoging van het aantal deeltjes, met name boven de 4 µm. Met de gebruikte ultrafiltratie werd het grootste gedeelte van alle deeltjes in het behandelde water afgevangen.



Figuur 6 Grafische weergave van de efficiëntie in het verwijderen van Pulsorb WP235 met ultrafiltratie (0.01 µm).

4.2.3.4 Conclusie nafiltratie

Drie verschillende opties voor nafiltratie zijn onderzocht: 1. Lamellenseparator; 2. Doekfilter 30 µm; 3. Ultrafiltratie 0.01 µm. Het aantal deeltjes in het onbehandelde Standaard Water bij een dosering van 40 mg/L was constant. Het is duidelijk geworden dat toevoegen van vlokmiddel een effectieve manier was om de efficiëntie van nafiltratie met een lamellenseparator en een doekfilter te verhogen. Bij SAE Super werken beide gebruikte vlokhulpmiddelen, voor Pulsorb WP235 werkte Vamfloc Combi Super beter dan EFAFLOC 1796. Het type vlokmiddel moet daarom goed worden afgestemd op het type PAC dat gebruikt wordt. Optimalisatie van de combinatie vlokmiddel en nafiltratie kan onderdeel zijn van vervolgonderzoek. Zowel met de lamellenseparator als met het doekfilter van 30 µm werd geen hoge verwijdering van deeltjes vastgesteld. Met ultrafiltratie werd een efficiënte nafiltratie aangetoond. In Tabel 7 zijn de voor- en nadelen van de drie onderzochte filtertypes weergegeven.

Tabel 7

Voor- en nadelen van nafiltratie met een doekfilter, een lamellenseparator en een ultrafiltratie.

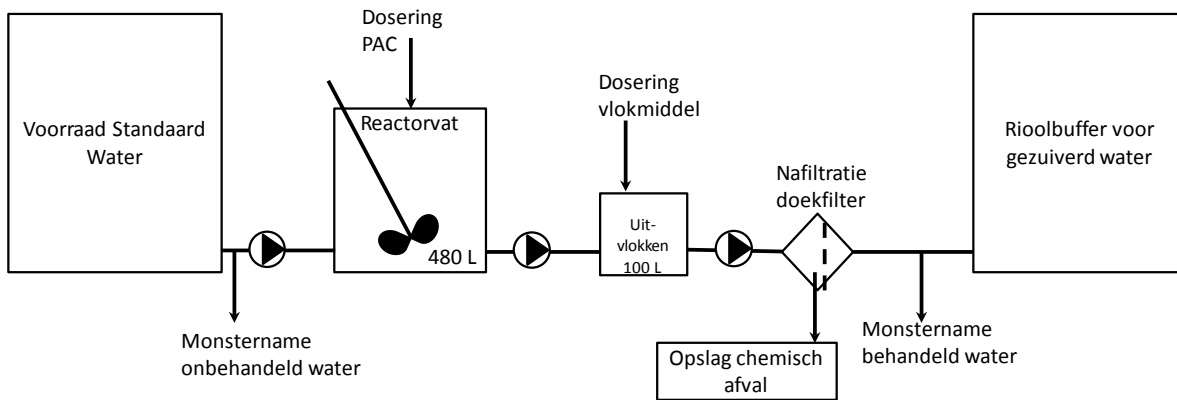
Type filter	Voordelen	Nadelen
Doekfilter	<ul style="list-style-type: none"> • Goedkope methode • Geen spoelwater • Droog afvoeren van PAC 	<ul style="list-style-type: none"> • Vlokmiddel nodig • Geen efficiënte verwijdering PAC vastgesteld
Lamellenseparator	<ul style="list-style-type: none"> • Verwijdering van PAC mogelijk 	<ul style="list-style-type: none"> • Grote installatie • Vlokmiddel nodig • Geen efficiënte verwijdering van PAC vastgesteld • Afvoer van waterig slib
Ultrafiltratie	<ul style="list-style-type: none"> • Goede verwijdering PAC vastgesteld • Geen vlokmiddel nodig 	<ul style="list-style-type: none"> • Relatief dure installatie • Spoelwater moet behandeld worden

De doelstelling van het project was het ontwikkelen van een simpele, robuuste installatie voor het verwijderen van gewasbeschermingsmiddelen met PAC. Daarom wordt gekozen voor het toepassen van een doekfilter als nafiltratiestap in de pilotinstallatie. Echter moet er voor toepassing in de pilotinstallatie en in de praktijk wel een verbeteringslag gemaakt worden in de efficiëntie van filtratie. Dit kan bereikt worden door te kiezen voor een fijner filterdoek en/of door optimalisatie van de toepassing van een vlokmiddel.

4.3 Proefopzet pilotinstallatie

Op basis van de resultaten van het in paragraaf 4.2 gepresenteerde onderzoek, is het basisontwerp van de pilotinstallatie uit Figuur 2 verder gespecificeerd in Figuur 7. Bij het ontwerp is uitgegaan van het uitvoeren van batchmatige zuiveringstests, omdat hierbij de gewenste contacttijd het beste in de hand gehouden kan worden. De pilotinstallatie bestond uit een RVS reactorvat met een maximale vloeistofinhoud van 480 L, met daarin een mechanische roerder met twee schoepen. Geautomatiseerde dosering van PAC aan het reactorvat was niet voorhanden. Bij doseren bleef het PAC bovenop het water van de reactor drijven. Daarom is de pomp voor het legen van het reactorvat gebruikt om water uit het reactorvat te pompen en bovenop het wateroppervlak weer op te brengen. Hiermee werd het PAC bevochtigd en in suspensie gebracht en kon het vervolgens door de mechanische roerder gemengd worden in het water. Tijdens de contacttijd is deze pomp ook gebruikt om extra menging te verkrijgen, door de pomp als circulatiepomp in te zetten.

De keuze voor het doekfilter als nafiltratie had als consequentie dat de dosering van een vlokmiddel noodzakelijk was. Hiervoor is een apart vat in de installatie opgenomen, zodat verschillende contacttijden in één batchrun toegepast konden worden. Het uitvlokken vond plaats in een vat van 100 L, met handmatige dosering en menging van het vlokmiddel. Vanuit het vlokvat viel het water van 30 cm hoogte op het doekfilter (25 µm). Het filterdoek slibde langzaam dicht, waarbij een vlotter ervoor zorgde dat het filterdoek doordraaide als de doorstroming te laag werd. Hierdoor kwam vers filterdoek beschikbaar, waardoor de doorstroming weer verhoogd werd. Vanuit de opvangbak onder het doekfilter werd het water naar de rioolbuffer voor gezuiverd water gepompt. Het verbruikte filterdoek werd apart opgevangen en is afgevoerd via een gecertificeerde verwerker. De pilotinstallatie is te zien in Figuur 7.



Figuur 7 Gespecificeerd ontwerp van de pilotinstallatie voor verwijdering van GBM uit Standaard Water met behulp van PAC.



Figuur 8 Pilotinstallatie voor zuivering Standaard Water met PAC. Rechts achterin het reactorvat, links het vlokvat, rechtsvoor het doekfilter.

De contacttijd van een batchrun is gestart op het moment dat alle PAC in suspensie gebracht was. Na het verlopen van de contacttijd werd 100 L overgepompt met de circulatiepomp naar het vlokvat (zwart in Figuur 8). De contacttijd in het reactorvat liep ondertussen door. In het vlokvat werd, tijdens het vullen, vlokmiddel aan het water toegevoegd, waarna de oplossing 15 minuten gestaan heeft met af en toe licht roeren, om een goede menging te krijgen met het te behandelen water. EFAFLOC 1796 is gebruikt als vlokmiddel. Er werd 200 mg EFAFLOC toegevoegd aan een liter demiwater, waarna het bij een laag toerental met een magneetroerder een half uur werd gemengd. Hierbij ontstond een dikke vloeistof. Per batch van 100 L water werd vervolgens 500 mL aangemaakt EFAFLOC toegevoegd (1 mg/l eindconcentratie).

Monsternamen van het influent is gedaan vanuit de voorraad Standaard Water. Behandeld water is bemonsterd uit de waterstroom onder het filterdoek, voordat het in de opvangbak terecht kwam. Alle monsternamen zijn in duplo uitgevoerd (2x 1 L). De monsters zijn nagefilterd met filterpapier van 0,45 µm, om ervoor te zorgen dat er geen restanten PAC meer in het monster aanwezig zouden zijn en daarmee het resultaat verstoren (de restanten zouden de adsorptie verder kunnen voortzetten, maar er kan ook desorptie optreden). Filtratie moet ook schade aan de analyseapparatuur voorkomen. Na filtratie zijn de monsters opgeslagen in donkere glazen flessen en bij 4°C weggezet. Analyse van de werkzame stoffen van GBM uit Standaard Water is uitgevoerd door Groen Agro Control, binnen 10 werkdagen.

Tijdens het uitvoeren van de test is 4x Standaard Water versie 2 (Bijlage 1) klaargemaakt: 20 november (4 m³, tank 1), 22 november (2 m³, tank 2), 23 november (2 m³, tank 3) en 28 november (2 m³, tank 4). Standaard Water is representatief voor een realistische worst-case samenstelling tuinbouw lozingswater en wordt ook gebruikt in het beoordelen van zuiveringsinstallaties voor het verkrijgen van een goedkeuring. Iedere keer is een monster in duplo van het onbehandelde water genomen. Voor het berekenen van het zuiveringsrendement is per werkzame stof een gemiddelde van deze vier analyses in duplo genomen als waarde voor de concentratie in het onbehandelde water. De monsters van het behandelde water (effluent) zijn in duplo genomen, waarna hiervan per instelling ook een gemiddelde concentratie is berekend. Daarnaast zijn alle behandelingen in duplo uitgevoerd, waarbij voor iedere werkzame stof per instelling een gemiddelde concentratie in het effluent is berekend. Met de gemiddelde influent concentratie en de gemiddelde effluent concentraties per instelling zijn de zuiveringsrendementen per instelling voor elke werkzame stof uit het Standaard Water berekend.

Er zijn twee typen PAC onderzocht in de pilottest (SAE Super en Pulsorb WP235). De dosering en contacttijd van de PAC is vastgesteld op basis van de labtests (Koeman & Palmen, 2018). Dit resulteerde in een reeks van verschillende doseringen en contacttijden, waarvan ingeschat werd dat ze net onder of net boven het gewenste zuiveringsrendement zitten. Voor beide typen PAC zijn drie doseringen en drie contacttijden aangehouden. Voor iedere dosering zijn twee batchmatige behandelingen uitgevoerd. In Tabel 8 is een overzicht weergegeven van de uitgevoerde batches, doseringen, contacttijden en monsternames. De beschreven contacttijd is de minimale contacttijd in de reactor, waarna gestart is met de nafiltratie.

Tabel 8

Overzicht van de uitgevoerde behandelingen met de pilotinstallatie voor behandeling van water met poeder actief kool.

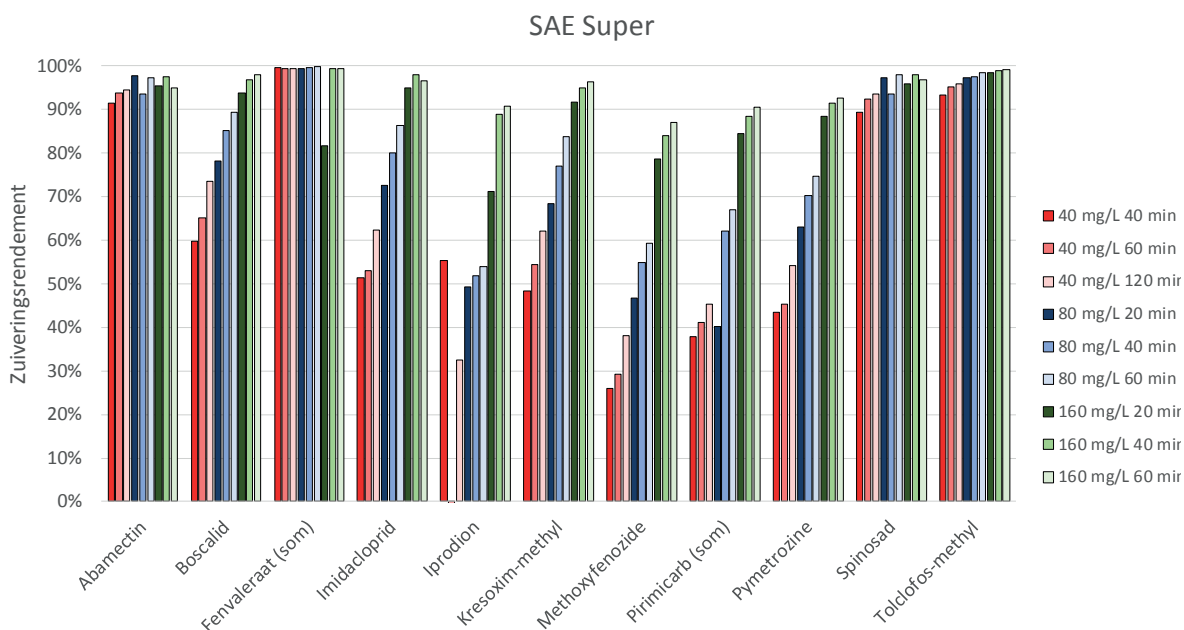
	Datum	Tank influent	Dosering (mg/L)	Contacttijd (min)
			SAE Super	
Batch 1	20-11-2017	1	160	20
				40
				60
Batch 2	21-11-2017	1	40	40
				60
				120
Batch 3	21-11-2017	1	80	20
				40
				60
Batch 4	21-11-2017	1	40	40
				60
				120
Batch 5	22-11-2017	2	80	20
				40
				60
Batch 6	22-11-2017	2	160	20
				40
				60
			Pulsorb WP235	
Batch 7	23-11-2017	2	40	40
				60
				120
Batch 8	23-11-2017	3	80	20
				40
				60
Batch 9	23-11-2017	3	160	20
				40
				60
Batch 10	29-11-2017	4	40	40
				60
				120
Batch 11	29-11-2017	4	80	20
				40
				60
Batch 12	29-11-2017	4	160	20
				40
				60

Om de effectiviteit van de filtratie en het toevoegen van vlokmiddel te bepalen, zijn deeltjestellingen uitgevoerd. Hierbij werd gebruik gemaakt van de deeltjesgroottemeter Pamas WaterViewer S/N 602-6 met sensor HCB-LD-50/50 en software geleverd door de leverancier van de meetapparatuur. Er stroomde 25 mL/min door het apparaat heen, waarbij iedere twee seconden een half uur lang deeltjes werden geteld in klassen met verschillende afmetingen (1, 3, 5, 10, 20, 45, 75 en 100 μm). Dit resulteerde per monster in een onderling vergelijkbare deeltjesgroottespreiding. Het Standaard Water bevat zonder toevoeging van PAC ook al een groot aantal deeltjes, met name illiet en humuszuren. Deze deeltjes vallen in dezelfde klassen als de toegevoegde PAC. Als het aantal deeltjes na filtratie is afgenomen, is niet bekend of deze afname is veroorzaakt door een afname van de hoeveelheid PAC, of door afname van de hoeveelheid humuszuren en illiet. Daarom kan er kwantitatief niets gezegd worden over de effectiviteit in de verwijdering van PAC en zijn de deeltjestellingen slechts een indicatie hiervan. Het laboratoriumonderzoek (Koeman & Palmen, 2018) heeft aangetoond dat er nauwelijks middelen worden geadsorbeerd aan illiet, dus voor de risico's van desorptie maakt het wel verschil of er illiet of PAC is verwijderd.

5 Resultaten tests

5.1 Pilotinstallatie met SAE Super-PAC

In Figuur 9 zijn de zuiveringsrendementen weergegeven van de geteste combinaties van dosering en contacttijd voor SAE Super. Het verhogen van de dosering en het verlengen van de contacttijd bij gelijke dosering zorgde voor een verhoging van het zuiveringsrendement. Het gewenste zuiveringsrendement van 95% per werkzame stof werd niet gehaald voor iprodion, methoxyfenozide, pirimicarb en pymetrozine. Ook het gewenste zuiveringsrendement van 99.5% voor imidacloprid werd niet gehaald. Bij de onderzochte instellingen zou bij een beoordelingstoets hiermee geen goedkeuring behaald worden. De resultaten van de pilottest blijven achter bij de resultaten van de labtests.



Figuur 9 Zuiveringsrendement met doseren van SAE Super poeder actief kool aan Standaard Water, nafiltratie met een bandfilter (25 μm) na flocculatie met EFAFLOC 1796.

Deeltjestellingen zijn uitgevoerd van het water na toevoegen van SAE Super en na nafiltratie van het water door het bandfilter (Tabel 9). Helaas is bij het gefilterde water de flocculatie in het monster doorgedaan, waardoor er te grote deeltjes zijn ontstaan voor het op een juiste wijze kunnen uitvoeren van deeltjestellingen, zodat er niets gezegd kan worden over de effectiviteit van filtratie. Dit geeft echter wel aan dat optimalisatie van de contacttijd met het vlokmiddel de filtratie effectiever kan maken.

Tabel 9

Overzicht resultaten deeltjestellingen (#deeltjes/mL) bij dosering van 160 mg/L SAE Super.

Deeltjesgrootte μm)	<1	1-3	3-5	5-10	10-20	20-45	45-75	75-100
SAE Super voor filtratie	1062033.1	121869.1	43805.9	10383.4	1970.4	707.9	599.8	574.1

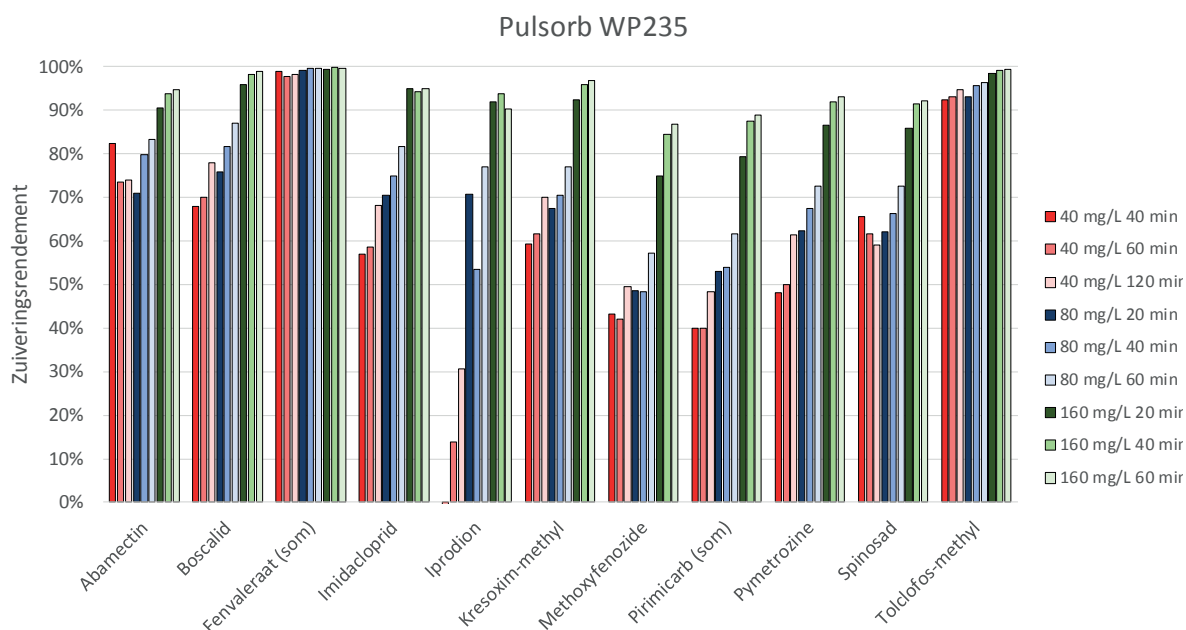
5.2 Pilotinstallatie met Pulsorb WP235-PAC

In Figuur 10 zijn de zuiveringsrendementen weergegeven van de verschillende combinaties van dosering en contacttijd van Pulsorb WP235 uit de pilottest. Het verhogen van de dosering en het verlengen van de contacttijd bij gelijke dosering zorgde voor een verhoging van het zuiveringsrendement. Het gewenste

zuiveringsrendement van 95% per werkzame stof uit het Standaard Water werd alleen gehaald voor abamectine, boscalid, fenvaleraat, kresoxim-methyl en tolclofos-methyl. Het gewenste zuiveringsrendement van >99.5% voor imidacloprid werd niet gehaald. Bij de onderzochte instellingen zou bij een beoordelingstoets hiermee geen goedkeuring behaald worden. De resultaten van de pilottest blijven achter bij de resultaten van de labtests.

Deeltjestellingen laten zien dat de flocculatie en nafiltratie van Pulsorb WP235 behoorlijk goed is gegaan (Tabel 10). Een zeer groot deel van de kleinste deeltjes werd verwijderd uit het water, ondanks dat deze deeltjes veel kleiner waren dan de filtratiegrootte van het bandfilter.

Het lijkt erop dat ook deze monsters na filtratie verder zijn gaan vlokken, omdat er meer grote deeltjes in het water zitten na filtratie dan voor filtratie. Er is een toename te zien van grotere deeltjes na filtratie.



Figuur 10 Zuiveringsrendement met doseren van Pulsorb WP235 poeder actief kool aan Standaard Water, nafiltratie met een bandfilter (25 µm) na flocculatie.

Tabel 10

Overzicht resultaten deeltjestellingen bij dosering van 160 mg/L SAE Super.

Deeltjesgrootte (µm)	1	3	5	10	20	45	75	100
Pulsorb voor filtratie	863889	100241	46267	8204	550	22	0	74
Pulsorb na filtratie	109091	14855	10485	8225	2349	187	31	502
Afname (%)	87	85	77	0	0	0	0	0

5.3 Discussie

Op basis van de labtests werd ingeschat dat een zuiveringsrendement van >95% gehaald kan worden voor alle werkzame stoffen uit Standaard Water, afhankelijk van de gedoseerde hoeveelheid PAC in combinatie met de contacttijd. Voor de gekozen combinaties van dosering en contacttijd werd ingeschat dat de laagste dosering en de kortste contacttijd net onder het gewenste zuiveringsrendement uit zouden moeten komen, terwijl langere contacttijd en hogere dosering boven het gewenste zuiveringsrendement zouden moeten uitkomen. In de pilottest is inderdaad gevonden dat zowel het verhogen van de contacttijd als het verhogen van de dosering het zuiveringsrendement verbetert (Figuur 9 en Figuur 10). De absolute waarden van de zuiveringsrendementen voor SAE Super en Pulsorb WP235 in de pilottest bleven echter achter op de resultaten van de labtests. Er zijn een aantal verschillen tussen de labtests en de pilottest die het lagere zuiveringsrendement uit de pilottest kunnen verklaren:

1. Turbulentie van menging in contactor. De turbulentie van menging zorgt voor de verdeling van het actieve kool, maar is daarnaast ook van invloed op de externe massa-overdracht van de bulk vloeistoffase naar de grenslaag om de actieve kooldeeltjes. De werkzame stoffen moeten uit de bulk vloeistof in de grenslaag komen, om uiteindelijk in de poriën van het actieve kool te kunnen diffunderen en daar te kunnen adsorberen. De diffusiesnelheid in de poriën is over het algemeen niet de snelheidsbepalende stap (McKay & Bino, 1988), maar met name de diffusie van de bulk vloeistof naar de grenslaag bepaalt de snelheid van het proces. De turbulentie in de pilotinstallatie was lager dan tijdens de labtests, zodat dit een verklaring kan zijn voor het verschil. Een grotere turbulentie van de vloeistoffase kan er voor zorgen dat deze snelheid hoger wordt.
2. Flocculatie en filtratie. In de labtests zijn de monsters direct gefilterd over een 0,45 µm filter. In de pilottest is eerst een vlokmiddel toegevoegd aan het water, waarna het water is gefilterd met een 25 µm filterdoek. Vervolgens is het water nog door een 0,45 µm filter heen gegaan, voor analyse van de werkzame stoffen door het onderzoekslaboratorium. Mogelijk heeft het vlokmiddel gezorgd voor partiële desorptie van de geadsorbeerde werkzame stoffen van het PAC (Purkait *et al.* 2007). Het gebruikte vlokmiddel bevat zowel anionische als kationische componenten en kan daarmee in staat zijn om geadsorbeerde stoffen te desorberen.

Opvallend tijdens de test was dat het poeder actief kool (voor beide soorten) in het vlokvat goede vlokken vormde, maar dat de filtratie niet alle vlokken heeft tegengehouden. Mogelijke oorzaak hiervoor is de hoogte waarvan het uitgevlokte water op het bandfilter is gevallen, zo'n 30 cm. Dit zorgde ervoor dat de vlokken uit elkaar geslagen werden en alsnog door het filterdoek heen gedrukt konden worden. Het op een andere manier opbrengen van het water op het bandfilter zou voor een betere werking kunnen zorgen. Het belangrijkste argument voor het gebruik van het bandfilter is dat er geen spoelwater vrijkomt. Spoelwater van andere filtertypes voor het verwijderen van PAC moet op een nette manier verwerkt worden, zodat de GBM niet alsnog in het milieu terecht komen. Het verwijderingsrendement van PAC met ultrafiltratie is een stuk beter dan voor het gebruikte bandfilter. Met een bandfilter komt het poeder actief kool met de daaraan geadsorbeerde GBM op het doek terecht, dat als steekvast materiaal kan worden afgevoerd. Overigens dient dit nog steeds op een nette manier verwerkt te worden, bijvoorbeeld door afvoer via een gecertificeerde afvalverwerker.

De techniek die in de praktijk gebruikt zal worden om het PAC uit het water te verwijderen moet nagenoeg al het actieve kool uit het water verwijderen. In Tabel 10 is te zien dat met name de kleine deeltjes door de gebruikte methode van flocculatie en filtratie redelijk goed verwijderd werden. De deeltjes die niet verwijderd werden door de filtratie, bevatten ook geadsorbeerde GBM. Deze deeltjes (en daarmee ook de gewasbeschermingsmiddelen) zouden met deze installatie geloosd worden. Dit is echter niet terug te zien in het berekende zuiveringsrendement, omdat de resterende deeltjes voor analyse zijn verwijderd met een 0,45 µm filter. Het daadwerkelijke zuiveringsrendement van de onderzochte pilotinstallatie zou daarmee een stuk lager worden. De analysecijfers laten dus eigenlijk alleen zien hoeveel gewasbeschermingsmiddelen er aan het PAC geadsorbeerd zijn, en daarmee uit de waterfase zijn verwijderd, niet hoeveel er absoluut door de pilotinstallatie is verwijderd.

Voor een praktijktoepassing van deze technologie is het van belang om voldoende turbulentie in de contactor te verzorgen, waardoor de contacttijd tussen het PAC en het te behandelen water zo kort mogelijk gehouden kan worden. Flocculatie kan een goed hulpmiddel zijn om het PAC samen te vlokken en simpele filtratie mogelijk te maken. Echter moet wel nog beter uitgezocht worden met welk vlokmiddel en met welke dosering en welke contacttijd tussen vlokmiddel en PAC moet worden toegepast om een optimaal effect te verkrijgen.

In de pilot test is het PAC met de hand afgewogen en toegediend aan het te behandelen water. Voor een robuuste, fool-proof installatie op teeltbedrijven moet hiervoor een goede oplossing ontwikkeld worden. Mogelijkheden hiervoor zijn:

- Oplosbare zakjes met vaste hoeveelheden poeder actief kool. Bijvoorbeeld zakjes die per 5 m³ aan het te behandelen water moeten worden toegevoegd. Als een teler dan een opslagtank vol heeft met te behandelen lozingswater, hoeft hij alleen de menging te starten en de zakjes toe te voegen om het zuiveringsproces te starten.
- Een kleine, geroerde slurrytank die poeder actief kool in een kleine hoeveelheid water in suspensie houdt. Deze suspensie kan met een doseerpomp in de juiste hoeveelheid worden toegevoegd aan het te behandelen water. Van belang hierbij is dat de teler wel de slurryreactor op tijd voorziet van nieuw poeder actief kool en water. Zolang er een slurry in de tank zit moet deze tank geroerd blijven om bezinking van het poeder actief kool te voorkomen.

Als spin-off van de resultaten van dit onderzoek heeft WaterQ twee installaties ontwikkeld die het wil toepassen voor de verwijdering van GBM uit glastuinbouw lozingswater. De eerste installatie is op basis van de dosering van PAC met een nafiltratie met ultrafiltratie (0.01 µm). Deze installatie is inmiddels goedgekeurd door de Beoordelingscommissie Zuiveringsinstallaties Glastuinbouw. De tweede installatie is op basis van een voorfiltratie met ultrafiltratie (0.01 µm) en behandeling met een GAC. Deze installatie zit nog in het proces van goedkeuring (maart 2018).

6 Conclusies & aanbevelingen

6.1 Conclusies

Kosten zijn een belangrijke factor in de keuze voor een zuiveringstechniek. In het in dit rapport beschreven project is de doelstelling het ontwikkelen van een simpele, robuuste zuiveringsinstallatie op basis van actief kool, die de concurrentie kan aangaan met de bestaande goedgekeurde zuiveringsinstallaties. Om de benchmark te bepalen voor kosten van waterzuivering, is er een rekentool ontwikkeld, die van alle goedgekeurde technieken de kosten voor specifieke situaties bij telers op een rij kan zetten. De rekentool is daarnaast beschikbaar gemaakt voor telers om voor hun eigen specifieke situatie een vergelijking van de kosten van de verschillende zuiveringstechnieken te kunnen maken. Hierbij kan gekozen worden voor een installatie die alleen het lozingswater zuivert, of voor een installatie die naast zuiveren van het lozingswater ook het recirculatiewater ontsmet. Ook kan er aangegeven worden of er ruimte is voor een extra waterbuffer.

Waterbehandeling met actief kool is in potentie een zeer geschikte en rendabele techniek voor het verwijderen van gewasbeschermingsmiddelen (GBM) uit glastuinbouw lozingswater. Met behulp van een deskstudy is vastgesteld dat voor de huidige markt voor het zuiveren van lozingswater het toepassen van poeder actief kool (PAC) het meest geschikt is. Waar granulair actief koolfilters (GAC) een continue doorstroming nodig hebben, kan een installatie op basis van PAC stilgezet worden op momenten dat er geen lozingswater beschikbaar is. De hoeveelheid lozingswater van de teeltbedrijven zal de komende jaren steeds verder afnemen onder invloed van de zuiveringsplicht en de emissienormen voor stikstof. Vooral voor teeltbedrijven die op dit moment de hoeveelheid lozingswater nog niet verder durven of kunnen beperken, maar dat de komende jaren stapsgewijs wel zullen gaan doen, is waterbehandeling met PAC zeer geschikt.

Op laboratoriumschaal is aangetoond dat voor twee typen PAC (SAE Super en Pulsorb WP235) adsorptie van ten minste 95% van de werkzame stoffen uit Standaard Water haalbaar is, waarbij de monsters zijn nagefilterd met 0,45 µm filterpapier. Daarmee is aangetoond dat de adsorptiecapaciteit (bij de juiste dosering en contacttijd van het PAC) voor beide typen PAC groot genoeg is om het gewenste zuiveringsrendement van ten minste 95% per werkzame stof te kunnen halen. De effectiviteit van de nafiltratie is daarom belangrijk om niet alsnog GBM te lozen met niet verwijderd PAC. Een lamellenseparator, een doekfilter (30 µm) en een ultrafiltratie (0.01 µm) zijn onderzocht op de verwijdering van PAC uit het behandelde water. Het rendement van nafiltratie van ultrafiltratie is het hoogst, maar dit filter heeft als grote nadeel dat het teruggespoeld moet worden om te kunnen blijven werken. Bij het terugspoelen van het filter komt een waterige stroom vrij met daarin alle gefilterde PAC, die vervolgens alsnog verwerkt moet worden. Dit maakt de installatie behoorlijk ingewikkeld. Het doekfilter haalde een beter rendement in verwijderen van PAC dan de lamellenseparator. Bij beide systemen is een vlokmiddel noodzakelijk om PAC uit het water te kunnen verwijderen. Na optimalisatie van vlokmiddel en nafiltratie zou een doekfilter geschikt kunnen zijn voor verwijdering van PAC.

Op basis van de resultaten op laboratoriumschaal is een ontwerp gemaakt voor een betaalbaar, robuust systeem om deze adsorptiecapaciteit om te zetten in een hoog zuiveringsrendement op grote schaal. Het ontwerp is omgezet in een pilotinstallatie, die bestond uit een reactorvat met mechanische roerder waaraan het PAC werd gedoseerd, een vlokvat voor toediening van vlokmiddel en een bandfilter met een poriegrootte van 25 µm. Met deze installatie zijn batchgewijze zuiveringstests uitgevoerd voor de twee typen PAC uit het laboratoriumonderzoek, combinaties van drie doseringen en drie contacttijden (40 mg/L met 40, 60 en 120 minuten, 80 en 160 mg/L met 20, 40 en 60 minuten). Er is aangetoond dat het verhogen van de dosering en het verlengen van de contacttijd het zuiveringsrendement van de installatie verhoogt. Voor geen van de gekozen instellingen is echter het gewenste zuiveringsrendement van ten minste 95% per werkzame stof uit het Standaard Water gehaald. Een verhoging van de turbulentie in de contactor tijdens de contacttijd kan ervoor zorgen dat het zuiveringsrendement voor de gekozen contacttijden omhoog gaat. Dit is in dit project niet onderzocht. Daarnaast was de effectiviteit van vlokmiddel en nafiltratie niet hoog genoeg, waardoor een deel van de geadsorbeerde GBM alsnog met het niet verwijderde PAC werd geloosd.

Als spin-off van het project heeft projectpartner WaterQ inmiddels een door de BZG goedgekeurde installatie op basis van PAC ontwikkeld, waarin ultrafiltratie als nafiltratie wordt toegepast. Ook zijn zij een traject gestart voor het goedkeuren van een installatie op basis van granulair actief kool.

6.2 Aanbevelingen

Met de kennis die is opgedaan in het onderzoekstraject, zou een praktijkschaal installatie op basis van PAC er anders uitzien dan de gebruikte pilotinstallatie. De dosering van PAC is een cruciaal punt. Het in droge vorm toevoegen van het poeder aan water vereist een relatief dure installatie met onder andere een trilzeef om brugvorming te voorkomen. Bovendien is een goede menging vereist om het PAC in suspensie te krijgen. Een mogelijke oplossing hiervoor is het gebruik van een klein geroerd vat met een hoge turbulentie, waar handmatig een slurry van PAC in wordt aangemaakt. Deze slurrytank moet continu geroerd blijven als het een slurry bevat, om bezinken van PAC te voorkomen. De afmeting van deze slurrytank is afhankelijk van de afmeting van de rioolwaterbuffer van de teler, de concentratie van de PAC in de slurry en de gewenste concentratie van PAC in het te behandelen water. Als de rioolwaterbuffer van de teler vol is, zou een nieuwe slurry aangemaakt moeten worden, die precies voldoende is voor het behandelen van de hoeveelheid water uit de rioolwaterbuffer. Een goedgekeurde behandelingsmethode door de Beoordelingscommissie Zuiveringsinstallaties Glastuinbouw bevat een vastgestelde hoeveelheid PAC per liter te behandelen water. Uit de slurrytank zou met een doseerpomp de gewenste hoeveelheid slurry aan het te behandelen water moeten worden toegevoegd. De doseersnelheid en de concentratie van de slurry zorgen voor de juiste hoeveelheid PAC in het water. De hoeveelheid PAC die gebruikt moet worden voor het eenmalig zuiveren van de rioolwaterbuffer zou in een stuksverpakking kunnen worden aangeleverd. De teler hoeft dan niet zelf het poederkool af te wegen.

Vervolgens zouden de contactor en het vlokvat gecombineerd kunnen worden. Na de gewenste contacttijd wordt met een doseerpomp de juiste hoeveelheid vlokmiddel toegevoegd en zou de roerder langzamer gezet moeten worden. Goede menging is belangrijk voor vlokmiddel, maar de vlokken moeten niet uit elkaar geslagen worden.

Na het uitvlokken van het PAC moet het behandelde water vanuit de bodem van de contactor direct op het bandfilter lopen, zonder dat het eerst een stuk naar beneden valt. De gevormde vlokken blijven zo aan elkaar plakken en gaan minder makkelijk door het filter heen. Voor het bandfilter moet een zo fijn mogelijk filterdoek gebruikt worden, waarmee in combinatie met het vlokmiddel nagenoeg alle PAC uit het water wordt verwijderd.

In plaats van een bandfilter kan ook een ander filtertype gebruikt worden, waarmee een fijnere filtratie gehaald wordt. Een voorbeeld van zo'n filter is een ultrafilter (ongeveer 0.01 μm poriegrootte). Nadeel van dit type filters is dat er filterspoelwater ontstaat in het filtratieproces, dat op een goede manier moet worden verwerkt. Het filterspoelwater kan bijvoorbeeld nog door een filterkaars heen gehaald worden en vervolgens worden teruggevoerd naar de vuil draintank. Daar krijgen de deeltjes nogmaals de kans om te bezinken en met het slib te worden afgevoerd. Op deze manier worden er ook geen met GBM beladen actief kooldeeltjes geloosd.

Literatuur

Helpdeskwater, 2018-1.

BZG-lijst en informatiebladen zuiveringsinstallaties glastuinbouw. Via <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/emissiebeheer/agrarisch/glastuinbouw/rendement/@178943/bzg-lijst/>

Helpdeskwater, 2018-2.

Meetprotocol testen zuiveringsrendement van zuiveringsinstallaties glastuinbouw. Via <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/emissiebeheer/agrarisch/glastuinbouw/rendement/@178939/meetprotocol-testen/>

Helpdeskwater, 2018-3.

Standaard Water. Via https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/emissiebeheer/agrarisch/glastuinbouw/rendement/?PagClsIdt=335257#PagCls_335257

Hoofdlijnenakkoord, 2015.

Hoofdlijnenakkoord waterzuivering glastuinbouw. Via <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2015/10/12/hoofdlijnenakkoord-waterzuivering-in-de-glastuinbouw>

Koeman, N., L. Palmen, J. van Ruijven, 2018.

Actief kool filtratie voor de tuinbouw. KWR Watercycle Research Institute.

KRW, Directive 2000/60/EC, 2000.

The EU Water Framework Directive. Via <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:32000L0060>

Leyh, R., J.P.M. van Ruijven, E.A. van Os, 2018.

Beslissingsondersteunende rekentool zuiveringstechnieken. Via <https://www.wur.nl/nl/Expertises-Dienstverlening/Onderzoeksinstituten/plant-research/glastuinbouw/show-glas/Beslissingsondersteunend-rekenmodel-zuiveringstechnieken.htm>

McKay, G., M.J. Bino, 1988.

Adsorption of pollutants from wastewater onto activated carbon based on external mass transfer and pore diffusion. *Water Resource*, Volume 22, No 3, pp 279-286.

Purkait, M.K., A. Maiti, S. DasGupta, S. De, 2007.

Removal of congo red using activated carbon and its regeneration. *Journal of Hazardous Materials* 145, pp. 287-295.

Van Empel, D., G. Meis, 2017.

Aanpak aantonen nul-lozing glastuinbouw. Via https://www.glastuinbouwwaterproof.nl/content/5Zuiveringsplicht/doc/Artikelen/170320_nullozing_werkwijze_def_PDG.PDF

Van Ruijven, J., E. Van Os, P. Vermeulen, 2017.

Mobiele waterzuivering glastuinbouw. Wageningen University & Research, Rapport GTB-1424.

Van Ruijven, J.P.M., E.A. van Os, M. van der Staij & E.A.M. Beerling, 2013.

Evaluatie zuiveringstechniek voor verwijdering gewasbeschermingsmiddelen uit lozingswater glastuinbouw. Wageningen UR Glastuinbouw, Rapport GTB-1222.

Van Ruijven, J.P.M., E.A. van Os, M. van der Staij & E.A.M. Beerling, 2014.

Evaluatie zuiveringstechniek voor verwijdering gewasbeschermingsmiddelen II. Wageningen UR Glastuinbouw, Rapport GTB-1334.

Van Ruijven, J.P.M., E.A.M. Beerling, M. van der Staij en E.A. van Os, 2016.

Evaluatie zuiveringstechniek voor verwijdering gewasbeschermingsmiddelen III. Wageningen UR Glastuinbouw, Rapport GTB-1414.

Wageningen University & Research, 2018.

Model waterstromen glastuinbouw, substraatteelt. Via <http://www.glastuinbouwmodellen.wur.nl/waterstromen/>

Bijlage 1 Standaard Water

In Tabel 11 wordt een overzicht gegeven van de nutriënten en sporenelementen met bijbehorende concentraties in het Standaard Water. Het streefcijfer is de waarde waarop gedoseerd moet worden, de grenswaarden geven aan binnen welke kaders de concentraties moeten vallen om van het water Standaard Water te maken. Houd hierbij rekening met de elementen die in het bronwater voorkomen. Er zit vrij veel natrium in de oplossing omdat dit in veel gevallen een reden voor lozen is. Ook sulfaat en fosfaat zijn betrekkelijk hoog (realistic worst case), omdat met zuiveren mogelijk neerslag van calcium met sulfaat of fosfaat kan ontstaan. Het ijzergehalte is op het niveau van de bloementeel, ongeveer 2x hoger dan in de groenteteelt. De pH van het Standaard Water is tussen de 5 en 6, omdat dit de meest gangbare pH is en er continu op deze waarde wordt gestuurd. Bicarbonaat wordt gebruikt om het Standaard Water de juiste pH mee te geven, waarna met keukenzout (NaCl) de EC op de juiste waarde wordt gebracht.

Tabel 11

Concentraties van meststoffen in Standaard Water.

Bepaling	Eenheid	Streef cijfer	Grens-waarden	Bepaling	Eenheid	Streef cijfer	Grens-waarden
EC	mS/cm	3.0	2.5 – 3.5	Fe (DTPA)	µmol/l	37.5	30 – 45
pH		5.5	5 – 6	Mn	µmol/l	20	15 – 25
NH ₄	mmol/l	0.5	0.1 – 0.5	Zn	µmol/l	5	3 – 10
K	mmol/l	7.0	5 – 8	B	µmol/l	50	35 – 65
Na	mmol/l	6.0	4 – 8	Cu	µmol/l	2	0.5 – 3.5
Ca	mmol/l	8.0	5 – 8	Mo	µmol/l	1	0.5 – 1.5
Mg	mmol/l	3.5	2.5 – 4.5				
NO ₃	mmol/l	17.0	13 – 21				
Cl	mmol/l	6.0	4 – 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				

Het is bekend dat zuiveringsinstallaties 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 (o.a. van deze organismen, maar ook van wortels e.d.) zijn beter controleerbaar en te standaardiseren, daarom worden fulvo- en humuszuren toegevoegd (zie Tabel 12).

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 15 mg/L, maar de waarden fluctueren en kunnen oplopen tot 100 mg/L (Berckmoes, 2011). Voor het Standaard Water wordt uitgegaan van een TOC van 10 mg/L; deze organische vervuiling bestaat uit fulvo- en humuszuren. Daarnaast wordt een minerale verontreiniging in de vorm van witte illiet klei toegevoegd.

Voor een test met actief kool zijn deze vervuilingen erg belangrijk, omdat deze kunnen zorgen voor verstoppingen in een granulair koolfilter.

Tabel 12

Concentraties organische en minerale vervuilingen in Standaard Water.

Vervuiling	Gekozen product	Concentratie	Vorm
mineraal	Illiet	6 mg/L	Gedroogd poeder
organisch	Fulvo en Humuszuren (Leonardiet)	10 mg/L	Gedroogd granulaat

Voor de keuze van gewasbeschermingsmiddelen in het Standaard Water zijn onderstaande selectiecriteria gebruikt.

Basiscriteria:

- Het pakket moet middelen bevatten met een zo breed mogelijk spectrum aan fysisch chemische eigenschappen.
- De gekozen middelen zijn representatief voor een groep.
- Het middel moet detecteerbaar zijn met conventionele analytische technieken.
- Het middel moet toegelaten zijn in Nederland vanwege de verkrijgbaarheid.

Bij de keuze is ook rekening gehouden met:

- Het middel kan in glastuinbouw lozingswater voorkomen.
- Het middel kan relevant zijn voor de kwaliteit van het oppervlaktewater.
- De geselecteerde middelen zijn bij voorkeur afkomstig van verschillende fabrikanten.

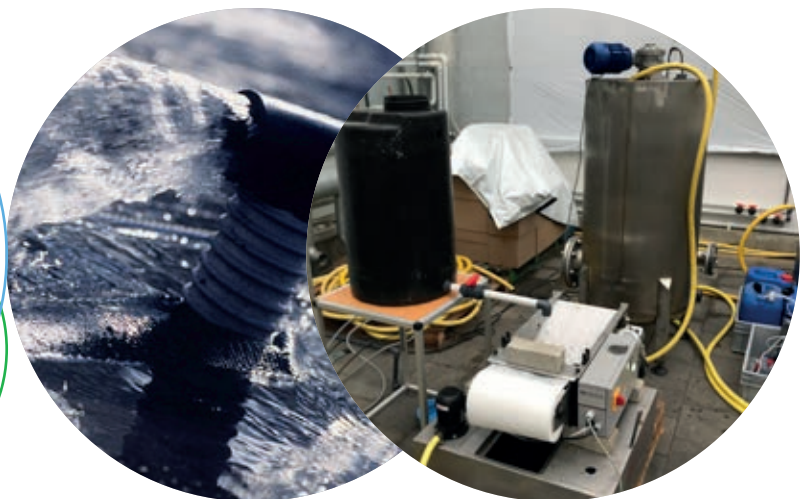
Er is een overzicht met 140 in de Nederlandse glastuinbouw gebruikte werkzame stoffen opgesteld. Samen met experts (Nefyto, LTO, Wageningen UR) zijn hieruit 11 werkzame stoffen geselecteerd (Tabel 13). Aan het Standaard Water worden deze stoffen als geformuleerd product toegevoegd, omdat ook de ballaststoffen een effect kunnen hebben op het zuiveringsrendement van de installaties. In de 1e kolom staan de 10 geformuleerde producten die zijn geselecteerd (1 product bevat 2 verschillende werkzame stoffen).

Tabel 13

Concentraties werkzame stoffen van gewasbeschermingsmiddelen in Standaard Water. Het geformuleerde product dat ook in de praktijk gebruikt wordt, wordt toegevoegd tijdens het klaarmaken van het water.

Geformuleerd product	Type	Werkzame stof	Concentratie in Standaard Water
Collis	vloeistof	boscalid + kresoxim-methyl	10 µg/L 5 µg/L
Vertimec	vloeistof	abamectine	50 µg/L
Sumicidin	vloeistof	esfenvaleraat	10 µg/L
Admire	korrel	imidacloprid	4 µg/L
Rovral Aquaflo	vloeistof	iprodion	50 µg/L
Runner	vloeistof	methoxyfenozide	10 µg/L
Pirimor	korrel	pirimicarb	2 µg/L
Plenum 50 WG	korrel	pymetrozine	50 µg/L
Tracer	vloeistof	spinosad	10 µg/L
Rizolex	vloeistof	tolclofos-methyl	3 µg/L

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen University & Research,
BU Glastuinbouw
Postbus 20
2665 ZG Bleiswijk
Violierenweg 1
2665 MV Bleiswijk
T +31 (0)317 48 56 06
F +31 (0) 10 522 51 93
www.wur.nl/glastuinbouw

Rapport WPR-726

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 5.000 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.