

Ontsmetten van recirculatiewater in de aardbeienteelt

Literatuuronderzoek en testen met Xanthomonas

Auteurs: R. van den Broek¹, A. Evenhuis¹, J. Verhoeven¹,
J. van der Wolf², M. Krijger², P. Kastelein², P. van der Zouwen²

¹ PPO-agv

² PRI

© 2013 Wageningen, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO) onderzoeksinstituut Praktijkonderzoek Plant & Omgeving. 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 DLO.

Voor nadere informatie gelieve contact op te nemen met: DLO in het bijzonder onderzoeksinstituut Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, sector Akkerbouw Groene Ruimte en Vollegrondsgroenten

DLO is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Dit project wordt gefinancierd door:

- Elite certificering aardbei (Naktuinbouw);
- Stuurgroep Landbouw Innovatie Brabant (LIB);
- Waterschap Aa en Maas;
- Stichting Tuinbouw Proef- en Selectiebedrijf;
- Stichting ter bevordering van de tuinbouw in de Bommelerwaard (WTB).

Het onderzoek heeft plaats gevonden met medewerking van ZLTO.

Projectnummer:3250259600

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, onderdeel van Wageningen UR
Sector Akkerbouw Groene Ruimte en Vollegrondsgroenten

Adres : Edelhertweg 1, Lelystad
: Postbus 430, 8200 AK Lelystad
Tel. : +31 (0)320 - 29 11 11
Fax : +31 (0)320 – 23 04 79
E-mail : info.ppo@wur.nl
Internet : www.ppo.wur.nl

Inhoudsopgave

pagina

Inhoud

SAMENVATTING.....	5
SUMMARY	7
1. INLEIDING	9
2. METHODEN VAN ONTSMETTEN	11
2.1. Inleiding	11
2.2. Manieren van ontsmetten.....	12
2.2.1. Langzaam zandfilter.....	13
2.2.2. Snel zandfilter in combinatie met UV straling	17
2.2.3. Verhitte	19
2.2.4. Waterstofperoxide	19
2.2.5. Ozon.....	20
2.2.6. Moerasfilter.....	20
2.2.7. Toegepaste technieken	21
3. ONTSMETTEN VAN DRAINWATER BESMET MET XANTHOMONAS	23
3.1. Materiaal en methoden	23
3.1.1. Natriumhypochloriet.....	23
3.1.2. Clarmarin	23
3.1.3. Snel Zandfilter + hoge druk UV	24
3.1.4. Langzame zandfiltratie	25
3.2. Resultaat.....	26
3.2.1. Natriumhypochloriet.....	26
3.2.2. Clarmarin	26
3.2.3. Zandfiltratie + UV.....	27
3.2.4. Langzame zandfiltratie	27
3.3. Discussie en conclusies.....	29
LITERATUUR.....	31
BIJLAGE 1. EFFECTIEF VERWIJDERDE PATHOGENEN DOOR LANGZAAM ZANDFILTER (> 99.9%).	35
BIJLAGE 2. PATHOGENEN ONVOLDOENDE VERWIJDERD DOOR LANGZAAM ZANDFILTER (AFNAME < 99.8%).....	37

Samenvatting

Het meeste water dat in de aardbeienteelt gebruikt wordt voor de opkweek van trayplanten en voor de teelt van aardbeien op stellingen moet worden hergebruikt. Voor de stellingenteelt is lozen van het drainwater in de bodem alleen nog toegestaan bij het gebruik van langzaam werkende meststoffen. Per 1 januari 2013 gaat de regelgeving voor het gebruik van water vallen onder het Activiteitenbesluit Landbouw. Dit betekent dat er strenger wordt gecontroleerd op de naleving. Het overtollige drain en/of gietwater moet worden opgevangen en hergebruikt. De eenvoudigste en goedkoopste methode is dit water op te vangen en te gebruiken in een ander gewas (bijvoorbeeld gras, maïs, prei of fruitteelt). Wordt het water opnieuw gebruikt in de aardbeienteelt dan is het zinvol om het te ontsmetten om de kans op verspreiding van ziekten te voorkomen.

Vanuit de glastuinbouw zijn een groot aantal technieken bekend om dit water te ontsmetten zoals: langzame zandfiltratie, UV ontsmetting, verhitting, waterstofperoxide en ozon. In de boomteelt worden ook moerasfilters gebruikt. Elk systeem heeft zijn voor- en nadelen waardoor de keuze lastig is. De geschiktheid van de systemen voor de aardbeienteelt worden kort besproken. Vervolgens zijn een aantal ontsmettingstechnieken getest op *Xanthomonas fragariae*.

Met behulp van langzaam zandfiltratie worden de schimmels phytophthora en pythium goed tegen gehouden (reductie van meer dan 99.9%) en wordt verspreiding voorkomen. Dit geldt niet voor andere ziekten zoals fusarium, bacteriën, virussen en aaltjes. Ook is nagegaan of *Xanthomonas fragariae* in voldoende mate door het zandfilter wordt tegengehouden. In België wordt bij de teelt van aardbeien onder glas het langzame zandfilter in combinatie met het gewasbeschermingsmiddel Paraat naar alle tevredenheid ingezet bij recirculatie van drainwater in de stellingenteelt. Daarnaast wordt de combinatie langzaam zandfilter en UV ontsmetting regelmatig waargenomen. Bij de trayveldenteelt is het langzame zandfilter waarschijnlijk minder geschikt omdat de verspreiding van andere pathogenen niet wordt voorkomen. Het is een eenvoudige, goedkope, onderhoudsvriendelijke methode die relatief veel grondoppervlak vraagt. Dat deze methode niet alle micro-organismen dood kan ook een voordeel zijn. Zo is van pythium en phytophthora bekend dat zij in steriele omstandigheden veel sneller vermeerderen dan in een medium waarin andere micro-organismen aanwezig zijn. Deze zijn dus in staat om de ontwikkeling van ziekten te onderdrukken.

Met behulp van UV ontsmetting kunnen wanneer de dosis en de toedieningstijd voldoende hoog is alle schimmels, bacteriën, virussen en aaltjes gedood worden. Echter door het gebruik van veen en kokos in de aardbeienteelt is de transmissiewaarde (troebelheid) van het water hoog. Dit is op te lossen door, voordat het terugkomende water wordt ontsmet, "schoon" water toe te voegen zodat de transmissiewaarde verbetert. Dit leidt tot een hogere capaciteit van het UV apparaat en hogere energie kosten. Een andere mogelijkheid is dat afhankelijk van de transmissiewaarde het water sneller of langzamer door het UV apparaat stroomt. Het is een complexe, compacte installatie, wat regelmatig onderhoud vraagt en alle aanwezige micro-organismen dood.

Bij ontsmetting door verhitting wordt het water gedurende 30 seconden op een temperatuur van 95°C of gedurende 3 minuten op 85°C gehouden. Hierdoor worden alle micro-organismen gedood. Een nadeel van deze methode is dat er voor ontsmetting veel gas wordt verbruikt en dat voor gebruik het water moet worden aangezuurd. Het is een eenvoudige, compacte installatie, die wat onderhoud vraagt. Evenals UV ontsmetting is het een wat duurdere methode.

Bij ontsmetting met waterstofperoxide of ozon kunnen bij een juiste dosering alle micro-organismen gedood worden. De juiste dosering is afhankelijk van: de concentratie (hoeveelheid actieve stof), de doorstromingsnelheid (de contacttijd met de ziektekiemen) de organische stof gehalte van het retourwater en het schadelijke organisme dat gedood moet worden. Dit maakt de toediening dan ook lastig. In de aardbeienteelt in substraat kan evenals bij UV-ontsmetting de transmissiewaarde problemen opleveren. In tegenstelling tot andere chemische stoffen vormen ze geen bijproducten.

Bij het gebruik van het moerasfilter als ontsmettingsmethode is het niet duidelijk welke micro-organismen in voldoende mate worden tegengehouden. Meer onderzoek is noodzakelijk voordat dit systeem kan worden aanbevolen voor gebruik in de praktijk. Zowel bij de aardbeienteelt op stellingen als in de boomteelt (containerteelt) zijn er telers die dit systeem naar alle tevredenheid toepassen. Het is een eenvoudige, goedkope, onderhoudsvriendelijke methode die relatief veel grondoppervlak vraagt.

Voor de teelt van aardbeien op stellingen worden al een aantal ontsmettingssystemen in de praktijk toegepast zoals het langzame zandfilter, UV-ontsmetting en het moerasfilter (werking nog niet door onderzoek aangetoond). In België zijn er goede ervaringen opgedaan met de combinatie van langzaam zandfilter met het middel Paraat en langzaam zandfilter met UV-ontsmetting.

Bij recirculatie van drainwater kunnen ziekteverwekkers in het gewas terechtkomen. Eén van de pathogenen die mogelijk in drainwater aanwezig kunnen zijn, is *Xanthomonas fragariae* (Xf). In de literatuur zijn verschillende methoden beschreven om water te ontsmetten. Over de effectiviteit van deze methoden op deze bacterie is echter weinig bekend. Voor de aardbeienteelt is een betrouwbare methode voor hergebruik van drainwater een noodzaak. Een aantal van deze methoden zijn getest:

- Natrium hypochloriet doodde xanthomonas niet in voldoende mate in een dosering tot 10 ppm en een blootstellingstijd van 1 minuut. Een optimalisatie stap kan hier nog gemaakt worden.
- Clarmarin doodde xanthomonas volledig bij een dosering van 0.05% en hoger en een blootstellingstijd van 1 minuut. Uitgezocht moet worden of een doseringsverlaging mogelijk is en of de werking afdoende blijft in met meer organische stof vervuild drainwater.
- Stroomt xanthomonas besmet water door een systeem van een snel zandfilter en UV belichting dan is deze bacterie binnen 3 uur volledig gedood. Bij installatie van een dergelijk systeem moet er op gelet worden dat de transmissie van het drainwater voldoende hoog is en de lampen schoon blijven.
- Toepassing van een langzaam zandfilter leidt na 24 uur tot een afname van 99.6% van xanthomonas. Na 48 uur was de afname 99.9%. Informatie over overleving van xanthomonas in drainwater zou nuttig zijn om te bepalen of deze mate van doding voldoende is bij een langere verblijfstijd in het systeem. Tevens is het van belang te weten welke dichtheid aan bacteriën nodig is om een infectie in een aardbeienplant te krijgen.

Summary

In strawberry production most of the water for plant cultivation and for the production of new plants must be reused in the Netherlands. On 1 January 2013, the regulations for the use of water are changed and will be part of the national Agricultural Decision. This means more stringent checks will be taken on compliance by the strawberry growers. The excess drain and irrigation water has to be collected and reused. The simplest and cheapest method is to collect water and to use it in another crop (e.g. grass, corn, leeks or fruit). When the water is reused in strawberry cultivation, it makes sense to disinfect the water to prevent the spread of diseases.

In Dutch greenhouses a large number of techniques are used to disinfect this water such as slow sand filtration, UV disinfection, heating, hydrogen peroxide and ozone. In nursery stock also swamp filters are used. Each system has its pros and cons so the choice is difficult. The suitability of the systems for strawberry is briefly discussed.

Using slow sand filtration the fungus *Phytophthora* and *pythium* are retained firmly (reduction of more than 99.9%) and prevent spreading. Other diseases such as *fusarium*, bacteria, viruses and nematodes are insufficiently retained. For *Xanthomonas fragariae* it is not clear if it is sufficiently blocked by the sand filter. For field tray cultivation the slow sand filter is probably insufficient because the spread of other pathogens is not prevented. Slow sand filtration is a simple, inexpensive, low maintenance method but requires a relatively large surface area. That this method does not kill all the micro-organisms may also be an advantage. For instance, it is known that the fungi *pythium* and *phytophthora* under sterile conditions increase much faster than in the presence of other micro-organisms. They are able to suppress the developing disease.

UV disinfection is sufficient against all fungi, bacteria, viruses and nematodes when the dose and application time is high enough. In strawberry cultivation peat and coconut substrates are used resulting especially in the beginning in high transmission value (turbidity) of the water causing bad UV disinfection. This can be solved by adding "clean" water as a result of which the transmission value improves. Leading to a higher capacity of the UV disinfection, and higher energy costs. Another possibility is that, depending on the water transmission value the flow stream through the UV unit changes. It is a complex, compact installation, which needs regularly maintenance and can kill all the present micro-organisms.

Using heating disinfection the water is heated to 95°C for 30 seconds or at 85°C for 3 minutes. This method will remove all microorganisms. A disadvantage is that a lot of gas is used and the water must be acidified. It is a simple, compact and low-maintenance installation. Just as UV disinfection it is an expensive method.

Disinfection with hydrogen peroxide or ozone can kill all micro-organisms with proper dosage. The correct dosage depends on: the concentration (concentration active ingredient), the flow rate (the contact time with the micro-organisms) the transmission value of the return water and the organism that must be killed. This makes the application difficult. In the strawberry cultivation peat and coconut substrate are used resulting in bad transmission value (turbidity) of the water. Higher dosage is needed to kill the microorganism. In comparison with other chemical substances, they form no by-products.

Using a swamp filter as disinfection method, it is not clear which micro-organisms are sufficiently prevented. More research is needed before this system can be recommended for use in practice. It is a simple, inexpensive, low maintenance method, requiring a relatively large surface area.

For strawberries production a number of disinfection systems are used in practice by Dutch farmers as slow sand filter, UV disinfection and a swamp filter (function not yet proven by research. In Belgium, the slow sand filter in combination with the plant protection product dimethomorf is used to disinfect water for

recirculation in glasshouse strawberry production for recirculation. Also a combination of slow sand filtration and UV disinfection is used.

Through recirculation of drain water pathogens can be redistributed in the crop. *Xanthomonas fragariae* might be such an organism that is transferred through drain water. In literature various methods are described to disinfect drain water. However little is known of the efficacy of these methods to control *Xanthomonas fragariae*. For strawberry nurseries and strawberry production in general a reliable method is necessary for drain water disinfection so it can be safely re-used in the crop. Four methods were tested

- Sodium hypochloride did not control xanthomonas sufficiently until a dose rate of 10 ppm and 1 minute submission of Xanthomonas to the disinfectant. Perhaps increasing the dose rate or the exposure time will improve the efficacy of Sodium hypochloride to control Xanthomonas.
- Clarmarin controlled Xanthomonas completely at a dose rate of 0.05% and higher, when it was applied during 1 minute. It would be interesting to test lower dose rates of Clarmarin. It is necessary to test the product also in drain water with a higher organic matter content.
- Xanthomonas infested drain water which is led through a quick sand filter followed by UV irradiation controlled xanthomonas complete within 3 hours after inoculation of the bacterium. The transmission of the drain water must be high enough for UV to be effective and the lamps should remain clean.
- Application of the slow sand filtration of drain water containing xanthomonas led to 99.6% control after 24 hours and ~ 99.9% control after 48 hours. It is difficult to tell whether this level of control is sufficient in horticultural practise. Information on survival of xanthomonas in drain water and knowledge on the infection efficiency of xanthomonas would help to understand whether the control rate of slow sand filtration is sufficient.

1. Inleiding

Het meeste water dat in de aardbeienteelt gebruikt wordt voor de opkweek van trayplanten en voor de teelt van aardbeien op stellingen moet worden hergebruikt. Voor de stellingenteelt is lozen van het drainwater in de bodem alleen nog toegestaan bij het gebruik van langzaam werkende meststoffen. Per 1 januari 2013 gaat de regelgeving voor het gebruik van water vallen onder het Activiteitenbesluit Landbouw. Dit betekent dat er strenger wordt gecontroleerd op de naleving. Het overtollige drain en/of gietwater moet worden opgevangen en hergebruikt. De eenvoudigste en goedkoopste methode is dit water op te vangen en te gebruiken in een ander gewas (bijvoorbeeld gras, maïs, prei, fruitteelt). Wordt het water opnieuw gebruikt in de aardbeienteelt dan is het zinvol om het te ontsmetten om de kans op verspreiding van ziekten te voorkomen. Wat voor mogelijkheden er zijn en wat de voor- en nadelen zijn worden in dit literatuuronderzoek weergegeven.

Op initiatief van de aardbeiensector is literatuuronderzoek gestart en is nagegaan of met *Xanthomonas fragariae* besmet recirculatiewater met ontsmettingsmethoden voldoende gedood wordt. Bij de vermeerdering op de trayvelden moet de first flush opgevangen worden om zo de emissie van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen naar het oppervlaktewater zoveel mogelijk te voorkomen. Binnenkort zal de eerste 3 mm neerslag moeten worden opgevangen. Per ha trayvelden moet een bassin aanwezig zijn waarin minimaal 30 kuub water kan worden opgevangen. Ook het irrigatie water na bemesting of het afspoelen van een gewasbeschermingsmiddel dient opgevangen en hergebruikt te worden.

In het drainwater kunnen naast nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen ook ziekteverwekkers aanwezig zijn. Om het water te kunnen hergebruiken in de productieteelt of de plantopkweek zal het drainwater (recirculatiewater) ontdaan moeten worden van ziekteverwekkers. Hiervoor zijn verschillende methoden beschikbaar zoals:

1. langzaam zandfilter;
2. UV;
3. Verhitting;
4. waterstofperoxide;
5. Ozon;
6. Moerasfilter.

Ondanks dat de technieken beschikbaar zijn, wordt water in de aardbeienteelt nog weinig gerecirculeerd. Telers zijn nog niet overtuigd dat het hergebruikte water zodanig ontsmet kan worden dat het vrij is van ziekten (phytophthora en xanthomonas). Besmetting van het water met phytophthora en zeker met xanthomonas heeft verstrekende financiële gevolgen voor de bedrijven. Deze ziekten kunnen zich via het water verspreiden en zo gezonde planten aantasten.

Telers geven aan behoefte te hebben aan informatie over de effectiviteit en robuustheid van de diverse ontsmettingsmethoden. Deze informatie proberen we in deze literatuurstudie op een rij te zetten. Telers kunnen deze informatie gebruiken om te investeren in een voor hun bedrijf geschikt ontsmettingssysteem.

In de literatuur is weinig informatie te vinden over de werking van ontsmettingsmethoden op de bacterie *Xanthomonas*. Om meer inzicht te krijgen is drainwater van een aardbeienteler kunstmatig besmet met *Xanthomonas fragariae* en zijn vier perspectievolle methoden getest:

1. Natriumhypochloriet
2. Clamarin
3. Snel zandfilter + UV
4. Langzaam zandfilter

Door externe financiering was het mogelijk om dit onderzoek uit te voeren. Dit project is gefinancierd door:

- Elite certificering aardbei (Naktuinbouw);

- Stuurgroep Landbouw Innovatie Brabant (LIB);
- Waterschap Aa en Maas;
- Stichting Tuinbouw Proef- en Selectiebedrijf;
- Stichting ter bevordering van de tuinbouw in de Bommelerwaard (WTB).

Het onderzoek is uitgevoerd in nauw overleg met een klankbordgroep aardbei bestaande uit: aardbeientelers, PPO-AGV, DLV, LTO Vollegrondsgroente.net, ZLTO en het Waterschap Brabantse Delta.

2. Methoden van ontsmetten

2.1. Inleiding

In 2011 is een enquête gehouden onder Nederlandse aardbeientelers. Op 14% van het aardbeien areaal op stellingen wordt het water hergebruikt. Dit gebeurt via verhitting (29%), langzame zandfiltratie (29%) en geen ontsmetting, water wordt opgevangen en gebruikt voor een andere teelt (43%). De belangrijkste redenen die worden genoemd waarom niet gerecirculeerd wordt zijn: geen techniek beschikbaar die economisch rendabel is, de angst voor de verspreiding van ziekten en de kosten (van den Broek et al., 2012).

Bij recirculatie wordt het drainwater verzameld en hergebruikt. Het water wordt opgevangen, verzameld, gefilterd, ontsmet, gemengd met vers water en gevoed met meststoffen. Water en meststoffen worden hergebruikt, wat een kostenbesparing oplevert. Ontsmetting van water is noodzakelijk om verspreiding van eventueel aanwezige ziekten te voorkomen. Om het water te kunnen hergebruiken moet de kwaliteit van dit water goed zijn. Eisen die gesteld worden zijn:

- Geringe concentratie ballastzouten Na <0.5 en Cl <0.5 mmol/l (Ceustermans 2005);
- Vrij van schadelijke micro-organismen zoals schimmels, bacteriën (virussen en aaltjes). Dit is mogelijk via ontsmetten;
- Geen residuen van gewasbescherming in het drainwater;
- Het gebruik van drainwater moet niet leiden tot verstoppingen van de druppelaars. Aardbeien op stellingen worden vaak geteeld op veen wat leidt tot drainwater met een hoge mate van troebelheid. Er zijn allerlei deeltjes in het water aanwezig die tot verstoppingen kunnen leiden.

Tabel 1. Richtwaarden voor de kwaliteit van aanmaakwater bij hergebruik van drainwater (Ginderachter et al., 2006).

Parameter	Richtwaarde	
PH	> 5,0	
EC (mS/cm) bij 25 °C	< 0,55	
Element	Concentratie	
	In mmol/l	In mg/l
Kalium (K ⁺)	< 2,0	< 78
Magnesium (Mg ²⁺)	< 0,5	< 12
Calcium (Ca ²⁺)	< 2,0	< 80
Natrium (Na ⁺)	< 0,5	< 11
Ammonium-N (NH ₄ -N ⁺)	< 0,5	< 7
Silicium (Si)	< 0,4	< 11
Nitraat-N (NO ₃ -N ⁻)	< 0,5	< 7
Fosfor (P)	< 0,5	< 15
Chloriden (Cl)	< 0,5	< 18
Sulfaten (SO ₄ ²⁻)	< 0,5	< 48
Bicarbonaten (HCO ₃ ⁻)	< 4,0	< 244
	In µmol/l	In mg/l
IJzer (Fe ²⁺)	< 11	< 0,6
Mangaan (Mn ²⁺)	< 10	< 0,5
Koper (Cu ²⁺)	< 1	< 0,063
Zink (Zn ²⁺)	< 5	< 0,3
Boor (B)	< 25	< 0,3
Molybdeen (Mo)	< 0,5	< 0,05

Bij recirculatie van drainwater moet ophoping van ballastzouten in het water en het substraat vermeden worden. Daarom is de kwaliteit van het aan het drainwater toegevoegde water van zeer groot belang. Vaak wordt gebruik gemaakt van regenwater, dat weinig of geen ballastzouten en voedingselementen bevat. Bovendien wordt een drain aangehouden tussen de 20-30% om te voorkomen dat het zoutgehalte in het substraat stijgt. Regelmatig (om de 2 weken) wordt een wateranalyse uitgevoerd om een optimale bemesting te kunnen geven.

Verspreiding van ziekteverwekkers op het tuinbouwbedrijf zijn te voorkomen door preventieve maatregelen toe te passen zoals goede bedrijfshygiëne en het recirculatiewater te ontsmetten. Een besmetting kan op allerlei manieren worden veroorzaakt, bijvoorbeeld via besmet regen- of oppervlaktewater of via geïnfecteerd plantenmateriaal. Bij recirculatie is er in de aardbeienteelt een verhoogde kans op verspreiding van bodemziekten zoals phytophthora, verticillium, pythium, fusarium, bacteriën (xanthomonas), virussen en aaltjes. Een recirculatiesysteem bij de teelt van aardbeien op stellingen verschilt weinig van standaard recirculatiesystemen die in kassen gebruikt worden. De keuze uit de verschillende ontsmettingsmethoden hangt onder meer af van (Ceustermans 2005):

- De teelt, elke teelt heeft zijn eigen pathogenen;
- De teeltwijze qua substraat en qua toegepaste druppel/drainverhouding;
- De oorsprong en kwaliteit van het uitgangswater;
- De bedrijfssituatie, vooral wat betreft de infrastructuur en beschikbare ruimte;
- De investerings- en verbruiksopties.

Enkele nadelen van recirculatie zijn een groter risico op verspreiding van pathogenen door de voedingsoplossing en de ophoping van organische verbindingen tot fytotoxische niveaus. Organische verbindingen worden uitgescheiden als wortellexudaten door het gewas en door micro-organismen aanwezig in de wortelzone of in het teeltsysteem (Jung, 2003).

2.2. Manieren van ontsmetten

De eenvoudigste methode van hergebruik van het drainwater is om dit op te vangen en te gebruiken voor een ander gewas (gras, prei-, sla-, fruitteelt, etc.). Zeker als het water gegeven wordt aan gewassen die ongevoelig zijn voor bodemziekten die in de aardbeienteelt voorkomen (phytophthora en verticillium) kan dit een interessante optie zijn. Het water hoeft dan niet ontsmet te worden. Is ontsmetting wel noodzakelijk dan zijn er een aantal methodes mogelijk. De keuze van ontsmetting wordt onder andere bepaald door de benodigde capaciteit, de kostprijs en de beschikbare ruimte. Gebruikte ontsmettingsmethoden zijn:

1. Langzaam zandfilter
2. UV
3. Verhitte
4. Waterstofperoxide
5. Ozon
6. Moerasfilter

Deze methoden worden hieronder besproken.

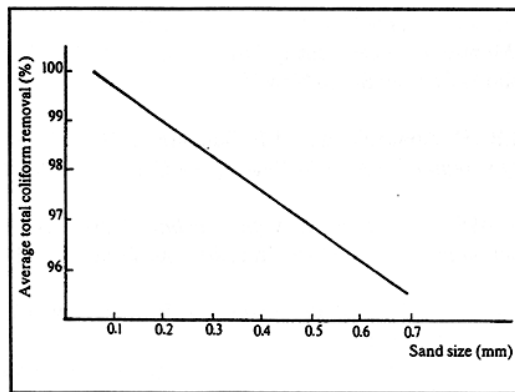
2.2.1. Langzaam zandfilter

Werking

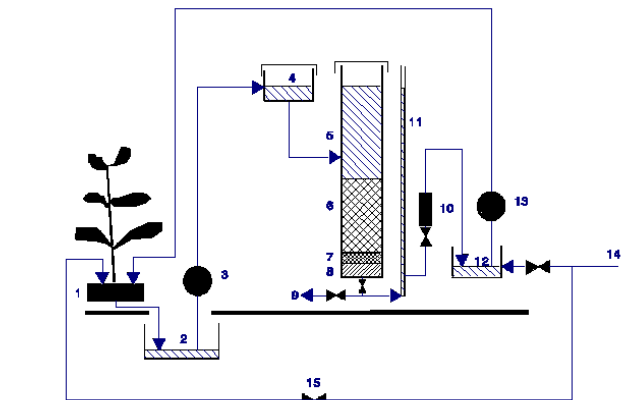
De werking van een langzaam zandfilter berust op zowel fysische als biologische processen (Barth, 1998). Naast zand kan ook Glaswol, Rockwool of PUR (polyurethane foam) worden gebruikt (Wohanka et al., 1995; van Os, 2001). In een nieuw zandfilter vestigen zich na enige tijd allerlei micro-organismen. Het zandfilter moet rijpen wat circa 4 weken duurt. De grootste activiteit zit in de bovenste laag van het zandfilter. De aanwezige micro-organismen zijn in staat om schadelijke schimmels en bacteriën af te breken (Ginderachter et al., 2006). Daarnaast is het zandfilter dusdanig opgebouwd dat het water wordt gezuiverd en gefilterd van ongewenste bestanddelen en pathogenen. De effectiviteit van het zandfilter is afhankelijk van:

- De stroomsnelheid van het water is waarschijnlijk de belangrijkste voorwaarde. Wohanka et al. (1999), van Os et al. (1999), Runia et al. (1997) en Logsdon et al. (2002) toonden aan dat een stroomsnelheid van 100 l/uur effectiever is dan 300 l/uur bij het tegenhouden van *Fusarium oxysporum f.sp. lycopersici*, *Phytophthora cinnamomi* en Tabak Mozaïek Virus. Echter dit effect werd later niet meer waargenomen door van Os et al. (2001). Zij concludeerden dat ook andere factoren belangrijk zijn (pathogeen, korrelgrootte, filtermedium, temperatuur en interactie tussen micro-organismen).
- Zandfractie (de maat en de uniformiteit van de zandkorrels). Onderzoek toonde aan dat fijner zand effectiever is tegen verschillende pathogenen (Runia et al., 1997; Van Os et al., 1998; van Os et al., 1999 en Logsdon et al., 2002). Ook de uniformiteit is belangrijk. Bij heterogeen zand gaan de kleine zanddeeltjes in de poriën van de grote deeltjes zitten en raakt het filter eerder verstopt.
- De verhouding van het zandoppervlak tot de hoogte van de zandkolom. Wohanka et al. (1999) toonde aan dat de verwijdering van de bacterie *Xanthomonas campestris pv. pelargonii* minder goed verloopt bij een kortere zandkolom (0.3 m < 0.6 m < 0.9 m).
- De omgevingstemperatuur. Bij een lage temperatuur, 0°C, is de biologische activiteit en ook de verwijdering van pathogenen gering (Logsdon et al., 2002), Poynter et al. (1977) en Bellamy et al. (1985) toonden aan dat de verwijdering van pathogenen door het zandfilter geringer is bij lagere temperaturen (5-8°C t.o.v. 16-18°C). Microbiële verwijdering is ongeveer 2,5 maal efficiënter bij een temperatuur van 21°C dan bij 5°C.
- Hoeveelheid zuurstof in het water. Voldoende zuurstof in het water stimuleert de activiteit van de organismen en de afbraak van pathogenen. Geforceerd beluchten heeft meestal geen effect omdat het drainwater vaak verzadigd is met zuurstof.
- Effect van de pH is nog niet geheel duidelijk. *Fusarium oxysporum* werd door het zandfilter in het lab beter verwijderd bij een pH van 7 in vergelijking tot een pH van 5 terwijl dit bij *Erwinia carotovora* precies andersom lag (beter bij een pH van 5 dan bij 7; Postma et al., 1999).

Al deze factoren gezamenlijk bepalen of micro-organismen in voldoende mate worden tegengehouden zodat verspreiding wordt voorkomen. Dit maakt het onderzoek en ook het interpreteren van het onderzoek vaak lastig (aantonen van effecten). Er zijn een zestal factoren waarmee gestuurd kan worden. Pakt de ene factor wat minder goed uit dan kunnen andere factoren dusdanig gestimuleerd worden dat het uiteindelijke resultaat hetzelfde blijft.



Figuur 1. Het effect van de korrelgrootte van het zand in een langzaam zandfilter op het % verwijderde coliforme bacteriën (Visscher et al. 1987).



Legend:

Nutrient solution drains from substrate 1 to recatchment tank 2. From here it is pumped (3) to the upper container 4, from which it flows to the sand filter. 5 is the supernatant water layer of 1 m upon the sand (6). The layer between 5 and 6 is called the Schmutz-decke or filter skin. 7 and 8 are the 10 and 15 cm gravel layers, respectively. Tap 9 is used for the initial filling of the filter. Flow meter 10 controls the filtration rate. Open pipe 11 measures the head loss. Container 12 collects the filtrate and mixes it with fresh nutrient solution (14). From here pump 13 supplies the solution to the plants. During maintenance, valve 15 is open and supplies the plants with fresh nutrient solution, excluding the use of the sand filter.

Figuur 2. Links een proefopstelling van een langzaam zandfilter, rechts een schematische weergave.

Een langzaam zandfilter verwijdert dus selectief pathogenen. Een stroomsnelheid van 100 liter/m²/uur veroorzaakt een betere verwijdering dan 300 liter/m²/uur). Ook een fijnere korrelgrootte van het zand (0.15-0.35 mm) verwijdert pathogenen beter dan middel (0.2-0.8 mm) of grof zand (0.5-1.6 mm; van Os et al., 1997). Bruins et al. (1996; 1997) toonden aan dat door het zandfilter de pH, EC, temperatuur, NH₄⁺, NO₃⁻ fosfor- en chloorconcentratie van het water niet verandert. De zuurstof- en ammoniumconcentratie van het water is in de ingaande stroom hoger dan in de uitgaande stroom na het zandfilter (Wohanka, 1995; van Os et al., 1996).

De opbouw van een langzaam zandfilter

Een langzaam zandfilter bestaat uit:

- een waterdichte silo;
- een laag drainwater;
- een filterbed, bestaande uit één of meerdere zandlagen;
- een drainagesysteem, bestaande uit grindlagen;
- een of meerdere watersilo's;
- een debietmeter.

De meestal ronde, waterdichte silo is gevuld met grindlagen en één of meerdere lagen gewassen zand. De functie van het grind is te voorkomen dat er zand in het drainagesysteem terecht komt. De zandlaag zuivert

het water van organische deeltjes en micro-organismen. De samenstelling van deze laag is cruciaal en het zand moet aan een aantal voorwaarden voldoen voor een optimale werking.

Bestrijding van micro-organismen

Een goede pathogeen bestrijding treedt op wanneer het aantal met 99.9% wordt gereduceerd (Runia, 1995). Phytophthora en pythium kunnen met een langzaam zandfilter volledig worden verwijderd. Tomaten Mozaïek Virus, aaltjes en bacteriën slechts gedeeltelijk (Wohanka, 1995, Wohanka et al., 1999; Van Os et al., 1997, 1998; Runia, 1996; Runia et al., 1997; Deniel et al., 1999). Aaltjes en virussen worden meestal onvoldoende verwijderd door een langzaam zandfilter. Ze worden initieel tegengehouden. Ze zakken heel langzaam door het filter en kunnen gedurende zeer lange tijd nog besmettingsgevaar opleveren (Ginderachter et al., 2006). De schimmel fusarium wordt aanvankelijk bovenin een langzaam zandfilter uit het water verwijderd. Fusarium zakt vervolgens heel langzaam door het zandfilter en levert zeer lange tijd nog besmettingsgevaar op (van Os et al., 1997). Uit onderzoek van drinkwaterbedrijven bleek dat ongeveer één op de honderd virussen, één op de tienduizend bacteriën en minder dan één op de honderdduizend parasitaire protozoa nog door zandfilters komen (Schijven et al., 2008). Een overzicht van pathogenen die door het zandfilter in voldoende of onvoldoende mate worden tegengehouden is te vinden in bijlage 1 en 2. Het voordeel van het langzaam zandfilter is dat het water niet steriel wordt zodat de aanwezige natuurlijke microflora in stand blijft (Van Os et al., 1997; Postma et al., 1999). Het is bekend dat bijvoorbeeld de schimmels pythium en phytophthora zich onder steriele omstandigheden veel sneller vermeerderen dan in een medium waarin andere micro-organismen aanwezig zijn. Deze zijn dus in staat om de ontwikkeling van ziekten te onderdrukken (van Os, 2001). Dit kan een voordeel zijn van een langzaam zandfilter dat selectief werkt en niet alle micro-organismen in het drainwater tegenhoudt.

Reductie gewasbeschermingsmiddelen en andere stoffen

Naast de reductie van pathogenen kan het zandfilter ook de concentratie van bepaalde stoffen reduceren, zoals enkele gewasbeschermingsmiddelen. Sommige middelen worden niet of nauwelijks afgebroken zoals Paraat (dimethomorf; tabel 2). Voor de zuivering van drinkwater wordt hier ook gebruik van gemaakt.

Tabel 2. Afname van de concentratie van benzeen-verbindingen en pesticiden na het passeren van een langzaam zandfilter; links gegevens van Hrubec, 1990 en Bruins et al., 1997, rechts naar gegevens van Bonné et al., 2000 (drinkwaterwinning).

Verbindingen	Afname %	Verbindingen	Afname %
% Benzeen			
p-dichlorobenzeen	80		
o-dichlorobenzeen	70		
m-dichlorobenzeen	20-40		
nitrobenzeen	70-80		
o-chloronitrobenzeen	40		
p-chloronitrobenzeen	60-80		
2,4-dichloroaniline	20-40		
Pesticiden			
Atrazin	0	Atrazin	> 99
Bentazon	0	Bentazon	> 99
MCPA	± 100	MCPA	> 99
2,4-D	± 100	Diuron	> 99
Mecoprop	± 100	Metamitron	> 99
Fenoprop	60	Metribuzin	> 99
TCA	50	Vinchlozolin	> 99
Dimethomorph (Paraat)	0		

Verstopping van het zandfilter

Door accumulatie van onzuiverheden (o.a. organisch materiaal en algen) in het zandbed neemt het poriënvolume geleidelijk af en vermindert de filtratie capaciteit van het drainwater. Het zandfilter moet vaker gereinigd worden naarmate meer organisch materiaal in het drainwater aanwezig is, de doorstroomsnelheid hoger is en/of het zand fijner en minder uniform is. Er bestaat een formule die de snelheid van het verstoppert door vuildeeltjes berekend aan de hand van bovengenoemde eigenschappen. Enkele voorbeelden staan in tabel 3 weergegeven (Nunnink, 1996). Bij hergebruik van restwater in de witlofteelt raakte het langzame zandfilter gemiddeld al na 15 dagen verstopt (Bruins et al., 1997). Om de filter te reinigen volstaat het meestal om de bovenste 1 à 2 cm van de zandlaag te verwijderen of de bovenste 3 à 5 cm van het zandbed om te woelen, zonder zand te verwijderen. Ook algen kunnen de werking van de zandfilter verstoren. Daarom is het aan te raden zandfilters af te dekken zodat de algen geen licht krijgen en hun groei beperkt blijft.

Tabel 3. De snelheid (aantal dagen) van het verstoppert van een zandfilter waarbij rekening gehouden wordt met de stroomsnelheid, de zandfractie en de waterkwaliteit (Nunnink, 1996).

Stroomsnelheid	Zandfractie	Water	Aantal dagen
300 l/uur	Middel 0.35-0.5 mm	Vuil	81
		Schoon	1100
100 l/uur	Middel 0.35-0.5 mm	Vuil	480
		Schoon	6600

Onderzoek

Vanaf 2010 doet PPO-AGV onderzoek naar hergebruik van water bij de teelt van aardbeien op stellingen (figuur 3). Hergebruik, is ook bij een zware *Phytophthora cactorum* aantasting mogelijk. Wel moet aan een aantal voorwaarden worden voldaan. Is een besmettingsbron aanwezig dan kan een behandeling met Paraat bij het planten verdere aantasting voorkomen. Ook een zandfilter helpt de ziektedruk en de verdere verspreiding te verminderen (van den Broek et al., 2012).



Figuur 3. Links proefopstelling van een langzaam zandfilter op PPO Vredepeel; rechts op de voorgrond aardbeiplanten aangetast door *Phytophthora* (onbehandeld), daarachter aardbeiplanten die één maal behandeld zijn met Paraat.

Bij de vermeerdering van aardbeien op trayvelden zijn de telers bang voor de verspreiding van de bacterie *Xanthomonas fragariae*. Dit is een quarantaine ziekte wat inhoudt dat onderzoek alleen mogelijk is als aan een groot aantal veiligheidseisen worden voldaan. Vanaf december 2012 wordt nagegaan of een langzaam zandfilter, een snel zandfilter met UV en andere ontsmettingsmogelijkheden een kunstmatige besmetting met *Xanthomonas fragariae* in voldoende mate kunnen tegenhouden (reductie van 99.9% of meer). De eerste resultaten staan in hoofdstuk 3.2.4.

2.2.2. Snel zandfilter in combinatie met UV straling

Snel zandfilter

De filterinstallatie kan gemaakt zijn van staal, kunststof of beton. Het werkingsprincipe is als volgt: het water stroomt onder druk van boven naar onder door een zandbed. Alle onzuiverheden die groter zijn dan de zandkorrels worden tegengehouden. Onzuiverheden die kleiner zijn dan de zandkorrels (algen) worden niet tegengehouden door het zandbed en worden door het water meegenomen. Omdat er bovenop het zandfilter onzuiverheden blijven liggen (waaronder ook fijn materiaal), wordt de bovenlaag fijnmaziger. Op die manier kunnen ook onzuiverheden die kleiner zijn dan de zandkorrels worden uitgefilterd. Na verloop van tijd wordt de bovenlaag helemaal ondoordringbaar en moet het filter gereinigd worden door terugspoelen.

Op de zandfilter zit vaak een 4-weg of een 6-wegkraan. Via deze kraan kan de waterstroom veranderen zodat het water van onder naar boven stroomt. Zo worden alle onzuiverheden die bovenop het zandbed liggen, opgetild en afgevoerd en wordt het zandfilter geschoond. Deze procedure noemt men terugspoelen.



Figuur 4. Lage druk UV-ontsmetter gebruikt bij recirculatie bij de teelt van aardbeien onder glas.

Werking UV ontsmetting

De UV-straling is het meest effectief bij een golflengte van 200 - 280 nm (van Os 2001). Het water stroomt langs een UV-lamp die voor de ontsmetting van het water zorgt. Een nadeel van UV ontsmetting is de afbraak van ijzerchelaat. Na ontsmetting is het nodig om de ijzerconcentratie te corrigeren.

UV straling wordt opgewekt door kwiklampen. Er zijn twee systemen hoge- en lagedruksystemen die ieder hun voor en nadelen hebben (tabel 4).

Tabel 4. Vergelijking lage- en hoge druk UV lampen (Vercamer, 2007).

(Jamart, 2002)	Lage druk UV	Hoge druk UV
Spectrum	Monochromatisch 253.7 nm	Polychromatisch 200 en 280 nm
Vermogen per lamp	tot 300 W	50 cm = 4 kW tot 100 cm = 8 kW
Debiet per lamp (m ³ /h)	0.05-1.5	1.5-30
Ruimtebezetting	Meerdere lampen in serie	Eén lamp (plaatsbesparing)
100 % energieopwekking	40% UV-C (36% 254 nm)	10% UV-C (8.3% 254 nm)
	45% warmte	75% warmte
	6.5% ozon	0.6% ozon
	3.5% zichtbaar licht	8.4% zichtbaar licht
Werkings temperatuur	40-50°C	600-800°C
Levensduur lampen*	8000 uur	5000 uur
Controle over systeem	Moeilijk: groter aantal lampen die niet allemaal kunnen voorzien worden van sensor	Gemakkelijk: slechts één lamp
Aankoop prijs	Lager dan hoge druk UV	Hoger dan lage druk UV

*Aantal uur gebruik met intensiteit van de lamp minimaal 75 % van de oorspronkelijke intensiteit

De mate waarin water UV-straling doorlaat noemt men de transmissie van het water. De transmissiewaarde of T10 waarde is het percentage kiemdodend UV-licht dat over is nadat het licht door een waterlaag van 10 mm is gegaan. Organische stoffen en ijzerverbindingen verminderen de transmissie van de voedingsoplossing en hebben dus een ongunstige werking op de doding van schadelijke organismen. In de aardbeienteelt zit, zeker direct na het opstarten van de teelt, veel organisch materiaal in het water. De T10 waarde van het drainwater is onvoldoende waardoor de kans bestaat dat de UV-straling de aanwezige micro-organismen niet volledig dood. Transmissie van het te ontsmetten water kan verhoogd worden door voorfiltratie met een multimediafilter (snelle zandfilter). Dit is meestal onvoldoende waardoor bijmengen van zuiver water noodzakelijk is. Ook het neerslaan van zouten op de UV-lampen kunnen een oorzaak zijn dat de aanwezige pathogenen niet volledig worden gedood. Het is belangrijk dat de lampen regelmatig worden schoongemaakt (van Os, 2001).

Met behulp van UV-straling kunnen gewasbeschermingsmiddelen worden afgebroken. De dosis ligt dan wel hoger dan bij het doden van pathogenen. Deze afbraak van gewasbeschermingsmiddelen werkt het beste in combinatie met waterstofperoxide of ozon (Slegers, 2010).

De efficiëntie van de UV ontsmetting is afhankelijk van:

1. De stralingsintensiteit (mW/cm^2);
2. De doorstromsnelheid (de contacttijd met de ziektekiemen);
3. De transmissie;
4. Het schadelijke organisme dat gedood moet worden.

Bestrijding van micro-organismen

Voor de bestrijding van schimmels en bacteriën wordt een dosis van $100 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ aangeraden. Voor een volledige ontsmetting waarbij ook virussen worden uitgeschakeld, is een dosis van $250 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ noodzakelijk (Runia, 1995). Bacteriën en eitjes van aaltjes worden relatief gemakkelijk afgedood (tabel 5). Bij een voldoende hoge dosis worden alle micro-organismen gedood.

Tabel 5. Letale UV-dosis voor enkele ziekteverwekkers (Wohanka 1992, Runia 1994).

Groep	Species	Structuur	Letale dosis (mJ/cm^2)
Bacteriën	<i>Corynebacterium fascians</i>		24
	<i>Erwinia chrysanthemi</i>		20
	<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>Pelargonii</i>		26
Schimmels	<i>Aspergillus niger</i>	conidia	550
	<i>Botrytis cinerea</i>	conidia	300
	<i>Ceratocystis fimbriata</i>	conidia	100
	<i>Cylindrocladium scoparium</i>	conidia	100
	<i>Fusarium culmorum</i>	macroconidia	100
	<i>Fusarium oxysporum</i>	microconidia	40
	<i>Penicillium</i> sp.	conidia	120
	<i>Phytophthora cinnamomi</i>	zoösporen	30
	<i>Phytophthora nicotianae</i>	mycelium, sporangien	70
	<i>Pythium ultimum</i>	mycelium, sporangien, oösporen	100
	<i>Rhizoctonia solani</i>	mycelium	120
	<i>Thielaviopsis basicola</i>	chlamydosporen	> 3.000
	<i>Verticillium dahliae</i>	microsclerotia	> 600
Virussen	tabakmozaïekvirus		440
	pepinomozaïekvirus		150
Nematoden		eitjes	9,2

2.2.3. Verhitting

Werking

Verhitting vernietigt de structuur van eiwitten en het DNA in ziektekiemen waardoor ze worden gedood. De temperatuur en de tijd dat deze temperatuur wordt aangehouden, zijn bepalend voor het doden van de micro-organismen. In de tuinbouw wordt meestal een warmtewisselaar gebruikt om het drainwater te verhitten. Er bestaan twee types warmtewisselaars. Het eerste type werkt met een ketel op de installatie, het tweede type met de bestaande ketel van de stookinstallatie. Bij het eerste type wordt het drainwater door twee warmtewisselaars verhit tot de gewenste temperatuur (95 °C). Deze temperatuur wordt gedurende 30 seconden aangehouden alvorens het water opnieuw snel af te laten koelen. De warmte die bij het terugkoelen vrijkomt, wordt gebruikt om onbehandeld water te verhitten. Op deze wijze worden alle organismen gedood: bacteriën, schimmels, virussen en aaltjes (Runia et al., 1988; Van Os, 2001). Bij het tweede type, dat via de ketel van de stookinstallatie werkt, wordt het water verhit tot 85 °C gedurende 3 minuten. Zo worden ook alle aanwezige organismen gedood (Runia, 1999). Wanneer geen virusbesmetting te verwachten is, is er voldoende doding door het aanhouden van een temperatuur van 60°C gedurende 2 minuten. De capaciteit van een verhittingsinstallatie varieert van 2,5 tot 15 m³ per uur. Nadelen van deze methode zijn:

- Bij ontsmetting wordt veel gas verbruikt daardoor is het een dure methode (tabel 2);
- De temperatuur van het ontsmette water stijgt;
- Er komt aanslag op de warmtewisselaar dat regelmatig met zuur gereinigd moet worden of het drainwater wordt continu aangezuurd (tot een pH van 4.0 – 4.3).

Pluspunt ten opzichte van UV-ontsmetting is dat deze methode veel minder gevoelig is voor de troebelheid of fijne vervuiling van het water (T10 waarde) en dat ijzerchelaat niet wordt afgebroken.

Tabel 6. Gasverbruik om 1 m³ water via verhitting te ontsmetten (Verhasselt, 2006).

Temp (duur)	95 (30 sec)	85 (3 min)	60 (3 min)*
Gasverbruik (1 m ³ water)	1.2 m ³	1 m ³	0.7 m ³
Reductie	-	20%	40%

*: wanneer geen virusaantasting is te verwachten.

Verhitting biedt geen oplossing voor de afbraak van gewasbeschermingsmiddelen. De stoffen vallen wel sneller uiteen, maar dat is nog altijd een kwestie van dagen. Ook in combinatie met waterstofperoxide voegt verhitting nauwelijks iets toe (Sleegers, 2010).

2.2.4. Waterstofperoxide

Ontsmetting met waterstofperoxide gebeurt door menging van waterstofperoxide met mierenzuur. De ontsmetting wordt veroorzaakt door de sterk oxiderende werking van waterstofperoxide. In vergelijking met andere chemische stoffen is waterstofperoxide volledig oplosbaar in water en vormt geen bijproducten. Het wordt gebruikt ter preventie van de microbiële groei in watersystemen en zorgt voor een stijging van het zuurstofgehalte in het water (na het uiteenvallen van zuurstof en waterstof). Waterstofperoxide is dus zeer goed afbreekbaar. Nadeel is soms de beperkte werking en het afbreken van het overige organische materiaal. De werking is afhankelijk van:

- De concentratie;
- De doorstromingsnelheid (de contacttijd met de ziektekiemen);
- De hoeveelheid organische stof in drainwater;
- Het schadelijke organisme dat gedood moet worden.

Voor een selectieve schimmelontsmetting wordt 100 ppm waterstofperoxide aanbevolen en voor een totale virus doding 500 ppm.

2.2.5. Ozon

Ozon is een onstabiel gas dat wordt gevormd door dissociatie van zuurstofmoleculen. Vanwege zijn instabiele karakter wordt ozon steeds ter plaatse gemaakt. Water wordt gedurende minstens 1 uur in een bassin van 1 - 2 m³ behandeld met behulp van een ozonsupplement (10 gram/uur/m³) waardoor de meeste organismen worden gedood (Runia, 1995). Vaak wordt een redoxwaarde van 750 mV aangehouden. Doordat allerlei stoffen in het water met ozon reageren levert deze redoxwaarde soms niet het gewenste resultaat. Verticillium veroorzaakte nog infecties na een behandeling van 210 minuten bij 20 gram ozon/uur (Runia, 1994). Ozon is een sterke oxidator (breekt de celwand van micro-organismen af, waardoor materiaal uit de cel lekt) en reageert met al het levende materiaal. Afhankelijk van de tijdsduur en de concentratie kunnen alle organismen in het water gedood worden (Runia, 1995). Een nadeel is dat ook organische deeltjes van het substraat en ijzerchelaat uit de meststoffen worden afgebroken (Van Os, 2001). Een voorbehandeling (b.v. filtratie) van het water is noodzakelijk, daarnaast wordt de pH van het te ontsmetten water verlaagd om zo de stabiliteit van ozon te vergroten. Voorzorgsmaatregelen zijn vereist en het gaat om een relatief dure techniek.

2.2.6. Moerasfilter

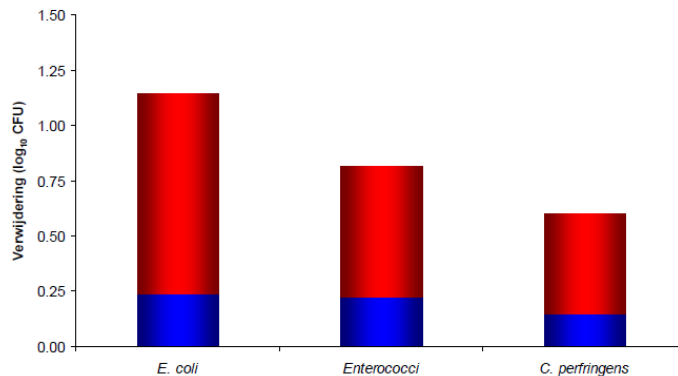
Zuiveringsmoerassen hebben een positieve invloed op de kwaliteit van het water uit de rioolwaterzuivering. Ze verminderen het nutriëntengehalte van het water, verhogen de biodiversiteit en verminderen de toxische effecten als het water tijdelijk van mindere kwaliteit is. Bovendien worden ziekteverwekkende micro-organismen effectief verwijderd (Foekema, 2012).

Een moerasfilter creëert een kunstmatige moeraszone waar planten met hun wortels rechtstreeks in staan. Water stroomt continue door een watergang waarin enkele watervalletjes zijn gecreëerd (meer zonlicht en lucht). In het water staan/drijven planten (opname voedingsstoffen). Hierlangs stroomt langzaam het water zodat bacteriën en planten voor een natuurlijke zuivering van het water zorgen. Deze planten behoren tot de groep der helofyten (gele lis, riet etc.). Deze techniek is oorspronkelijk bedoeld om afvalwater geschikt te maken voor lozing en wordt wel gebruikt in de boom- en aardbeienteelt in Nederland. Op dit moment is er nog weinig bekend over de werking tegen pathogenen. Uit onderzoek van Foekema (2012) blijkt dat een moerasfilter met een rietbeplanting een aantal in het water aanwezige bacteriën sterk kan reduceren. *Escherichia coli*, *Enterococci* en *Clostridium perfringens* worden door een moerasfilter voor meer dan 98% gereduceerd. Deze bacteriën worden als indicatorsoorten gebruikt om de hygiënische waterkwaliteit te bepalen van afvalwater of drinkwater (figuur 6). Voor recirculatiesystemen in de glastuinbouw wordt een reductie van 99.9% aangehouden (Runia, 1995). De vraag is of deze reductie voldoende is voor de teelt van aardbeien op stellingen.

Het is een eenvoudige en goedkope, onderhoudsvriendelijke methode die relatief een grote oppervlakte nodig heeft.



Figuur 5. Voorbeeld van een moerasfilter bij een aardbeiteler.

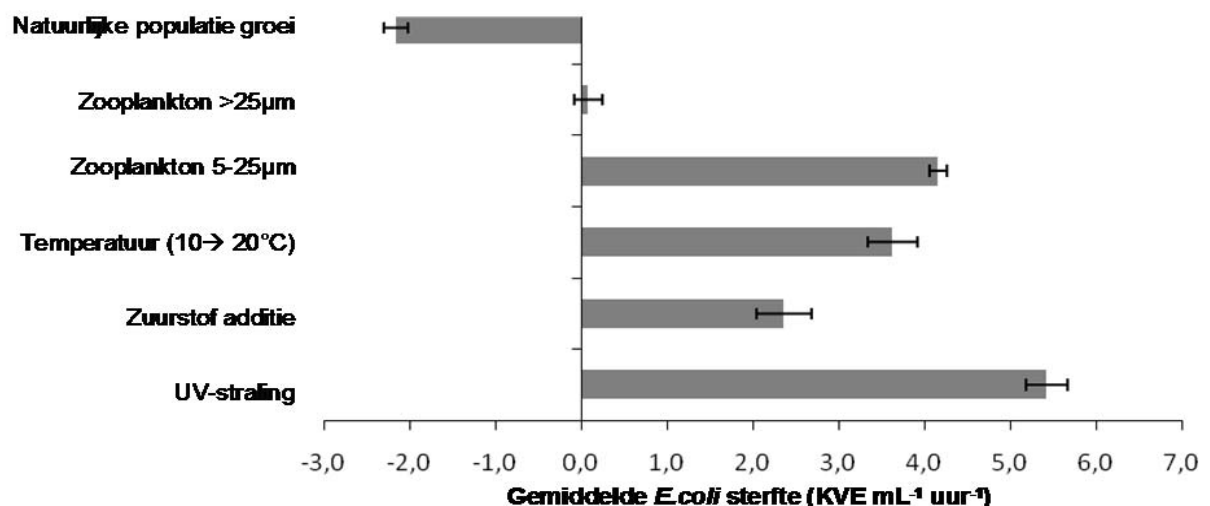


Figuur 6. Gemiddelde verwijdering van *Escherichia coli*, *Enterococci* en *Clostridium perfringens* na verblijf in bezinkvijvers (blauw) en een moerasfilter met rietbeplanting (rood; Foekema, 2012).

De werking van een moerasfilter is afhankelijk van een aantal factoren:

- Verblijftijd van het water voornamelijk in het moerasgedeelte (4-7 dagen). Van belang voor microbiële afbraak van o.a. schadelijke micro-organismen;
- Bevordering van zuurstofuitwisseling voor microbiële afbraak. Het verhogen van de zuurstof concentratie kan door mechanische beluchting, aanleggen van cascades of door extra waterplanten;
- Instraling van zonlicht (UV-straling dood micro-organismen). Dit is te vergroten door ondiepe gedeeltes (< 30 cm diep) of cascades aan te leggen;
- Verhogen van het moeras oppervlakte door ze groter te maken of door het inbouwen van kunstmatige honingraat-achtige constructies loodrecht op de stroomrichting, bijvoorbeeld met borstelmateriaal;
- Temperatuur;
- Aanwezigheid van verschillende soorten micro-organismen, noodzakelijk voor microbiële afbraak.

Zo kan de afbraak van de bacterie *Escherichia coli* door deze factoren in een figuur worden weergegeven (figuur 7).



Figuur 7. De invloed van verschillende factoren op de verwijdering van *E. coli* (Foekema, 2012).

2.2.7. Toegepaste technieken

Geleidelijk is er een verandering opgetreden. In eerste instantie waren alle ontsmettingstechnieken gericht op het doden van alle micro-organismen en het steriliseren van de voedingsoplossing (door verhitten, ozon

en UV). Tegenwoordig wordt aangenomen dat het niet verstandig is om al het leven in het water te doden. De van nature aanwezige micro-organismen kunnen een belangrijke rol spelen bij de onderdrukking van een ziekte (Postma, 1996; Postma et al., 1999; Waechter-Kristensen et al., 1994). Zo kan *pythium* zich erg snel verspreiden in een steriele omgeving en veel trager in een niet-steriele omgeving. Daarnaast spelen stoffen een rol die door wortels en/of micro-organismen worden uitgescheiden. Door opeenhoping van deze stoffen kunnen ze een stimulerende of remmende werking uitoefenen op de wortelgroei en/of de ziekte onderdrukking (Van Os, 2001).

De meest toegepaste technieken in Nederland zijn het langzame zandfilter, UV en verhitte. De voor en nadelen staan in tabel 7 samengevat (Ceustermans 2005, Ginderachter et al. 2006).

Tabel 7. De meeste gebruikte ontsmettingstechnieken in Nederland met de voor- en nadelen.

	Langzaam zandfilter	UV	Verhitting
Kostprijs	Laag	Hoog	Hoog
Energiekosten	Laag	Hoog	Hoog
Techniek	Eenvoudig	Complexe apparatuur	Eenvoudig
Onderhoud	Minimaal	Hoger	Hoger
Zuivering organisch mat	Ja	Nee	Nee
Verwijdering pathogeen	Gedeeltelijk	Volledig is mogelijk	Volledig is mogelijk
Bacterie, virus	Onvoldoende	Volledig is mogelijk	Volledig is mogelijk
Nuttige microflora	Overleeft	Wordt gedood	Wordt gedood
Noodzakelijke oppervlak	Groot (diameter 6.2m)	Gering	Gering
Voorfiltratie	Nee	Ja	Ja
Werking	Temp afhankelijk	Nee	Temp afhankelijk
Wachttijd na installatie	4 weken	Geen	Geen
Bestrijdingsmiddelen	Gedeeltelijk	Gedeeltelijk	Nauwelijks
IJzerchelaten	Blijven gelijk	Worden afgebroken	Blijven gelijk
Aanzuren water	Nee	Nee	Ja-> pH verlaging
Hogere watertemp.	Nee	verwaarloosbaar	Ja, ± 5°C

Kostenindicatie van de 3 ontsmettingssystemen

J. Noorden (DLV Plant) heeft een begroting gemaakt voor de verschillende ontsmettingssystemen die in onderstaande tabel zijn samengevat (http://www.dlvplant.nl/nl/core/media/file/Files_Corporate/Nieuwsberichten%202012/Teeltwinstdoorgoedwatermanagement_DLVPlant.pdf).

Tabel 8. Kostenindicatie voor 3 verschillende ontsmettingssystemen bij 2.5 ha aardbeien op stellingen, 2 teelten of een doorteelt bij een capaciteit van 12.5 m³ water/dag/ha.

	Langzaam zandfilter	UV	Verhitting
Capaciteit	3.4 m ³ /uur	2.9 m ³ /uur	3.0 m ³ /uur
Prijsindicatie	€ 33.000,-	€ 18.000,-	€ 24.500,-
Jaarkosten	€ 4.455,- (13,5%)	€ 3.330,- (18.5%)	€ 3.308,- (13.5%)
Variabele kosten	Gering (stroom+pomp)	€ 390,-	€ 780,-
Totale jaarkosten	€ 4.455,-	€ 3.720,-	€ 4.088,-

Volgens J. Noorden zijn de totale jaarkosten van 2.5 ha aardbeien op stellingen te vergelijken met de jaarkosten voor 1 ha trayvelden. De kosten van de aanleg van een langzaam zandfilter zijn sterk afhankelijk van de hoeveelheid arbeid die je er zelf instopt. Een deel van de aanleg is eenvoudig en kan in eigen beheer worden uitgevoerd. Deze berekeningen zijn gedaan aan systemen zoals deze bij aardbeientelers in de praktijk zijn aangelegd.

3. Ontsmetten van drainwater besmet met *Xanthomonas*

Bij recirculatie van drainwater kunnen ziekteverwekkers in het gewas terechtkomen. Door de telers wordt bij recirculatie van water in de opkweek van trayplanten de verspreiding van de bacterie *Xanthomonas fragariae* (Xf) als groot gevaar ervaren. In de literatuur zijn verschillende methoden beschreven om water te ontsmetten. Over de effectiviteit van deze methoden op Xf is echter weinig bekend. Voor de aardbeiteelt is een betrouwbare methode voor hergebruik van drainwater een noodzaak. Een aantal perspectievolle ontsmettingsmethoden zijn getest:

- Natrium hypochloriet;
- Clarmarin;
- Snel zandfilter + hoge druk UV;
- Langzaam zandfilter.

Naast de getoetste methoden zijn er nog andere methoden beschikbaar die niet getoetst zijn. Een aantal daarvan zijn beschreven in het voorgaande literatuuronderzoek.

3.1. Materiaal en methoden

Xanthomonas fragariae is een quarantaine organisme waardoor een groot aantal beperkingen worden opgelegd en gewerkt is volgens de quarantaine protocollen van Plant Research International. Het infectie materiaal is een GFP gemerkte stam, die onder UV licht groen kleurt. Dit maakt het mogelijk om kwantitatieve bepalingen te doen.

De proeven werden uitgevoerd met drainwater afkomstig van een aardbeibedrijf in de Betuwe. Bij dit bedrijf worden de aardbeien geteeld op kokos onder glas. Dit drainwater werd eind november opgehaald.

De mate waarin water UV-straling doorlaat noemt men de transmissie van het water. De transmissiewaarde of T10 waarde is het percentage kiemdodend UV-licht dat over is nadat het licht door een waterlaag van 10 mm is gegaan. Door Vos-Capelle werd de transmissie-waarde of T10 waarde van het drainwater vastgesteld op 49. Verondersteld wordt dat bij een T10 waarde hoger dan 15 het water voldoende doorzichtig is om met UV te kunnen werken. Dit water is gebruikt bij alle vier getoetste ontsmettingsmethoden.

3.1.1. Natriumhypochloriet

Natriumhypochloriet is het natriumzout van waterstofhypochloriet (NaOCl). In de vorm van een 5% oplossing in water (bleekwater) wordt het veelgebruikt als ontsmettingsmiddel voor sanitair. Een doseringsreeks van NaOCl van 0.1, 0.3, 1, 3 en 10 ppm werd gemaakt door deze toe te voegen aan kunstmatig besmet drainwater. Na 1 minuut werd een monster uit de suspensie getrokken. Van dit monster werd een verdunningsreeks van 1:10, 1:100, 1:1000, 1:10.000 en van de onbehandelde controle ook 1:100.000, 1:1.000.000, 10.000.000 en 100.000.000 uitgeplaat op selectief medium.

Na incubatie werd het aantal groen fluorescerende kolonies op de plaat geteld. Naast Xf groeiden ook andere organismen uit op de plaat. Ter bevestiging van de identiteit van de groen fluorescerende kolonies werd een voor Xf specifieke PCR analyse uitgevoerd. PCR (van Polymerase Chain Reaction), is een manier om uit zeer kleine hoeveelheden DNA (enkele moleculen) te vermeerderen tot er genoeg is om het te analyseren op soort bacterie.

3.1.2. Clarmarin

Het bevat de werkzame stoffen perazijnzuur en waterstofperoxide. Het middel is toegelaten als desinfectiemiddel ter bestrijding van bacteriën in oppervlakte-, regen- of bronwater in beregeningsinstallaties

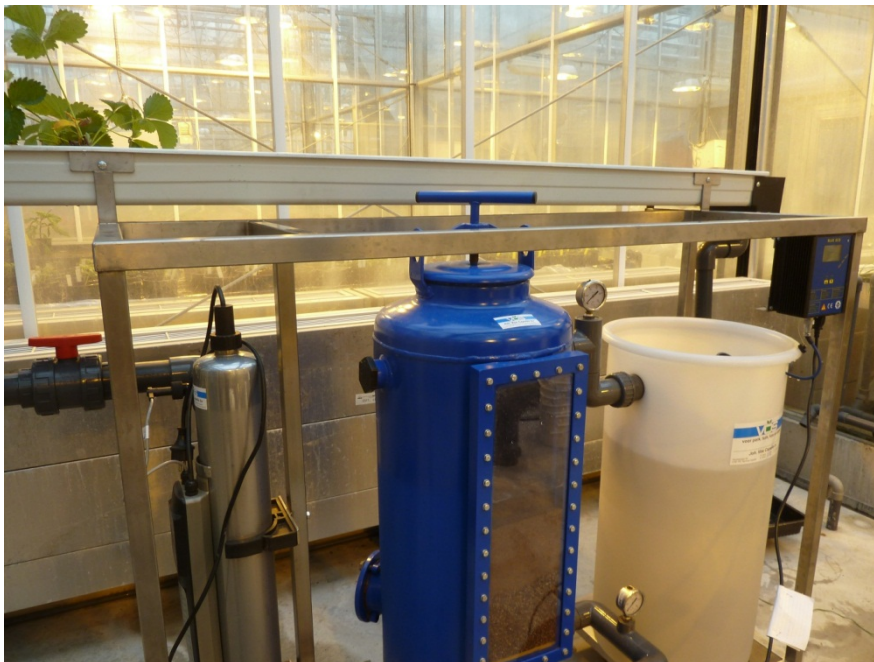
en spuitinstallaties. In deze test is een doseringsreeks van gemaakt van 5%, 1%, 0.5%, 0.1% en 0.05% door deze toe te voegen aan kunstmatig besmet drainwater. Na 1 minuut werd een monster uit de suspensie getrokken. Van dit monster werd een verdunningsreeks van 1:10, 1:100, 1:1000, 1:10.000 en van de onbehandelde controle ook 1:100.000, 1:1.000.000, 10.000.000 en 100.000.000 uitgeplaat op selectief medium.

Na incubatie werd het aantal groen fluorescerende kolonies op de plaat geteld. Naast Xf groeiden ook andere organismen uit op de plaat. Ter bevestiging van de identiteit van de groen fluorescerende kolonies werd een voor Xf specifieke PCR analyse uitgevoerd.

3.1.3. Snel Zandfilter + hoge druk UV

UV heeft een dodende werking op micro-organismen. Om te toetsen of dit ook effectief is tegen Xf is een test uitgevoerd in de kassen van Unifarm. Figuur 8 toont de proefopstelling. De bacteriesuspensie werd toegevoegd aan het reservoir (witte vat). Via een pomp wordt het drainwater + Xf door het snelle zandfilter geleid (blauwe vat). Vanuit het zandfilter gaat de suspensie daarna langs de UV-lamp (zilver kleurig omhulsel). Het drainwater komt vervolgens terug op de goot met aardbeien waarna het aan het eind van de goot terugloopt in het reservoir. Bij aanvang van de proef werd direct voor en na de inoculatie een monster genomen. Na 3, 6, 24 en 72 uur werden monsters genomen van het drainwater nadat deze de UV-lamp was gepasseerd.

Bij aanvang van de proef was de temperatuur van het drainwater 20°C. Nadat het water 24 uur langs de UV – lamp gelopen was, werd een temperatuur van 23°C gemeten.



Figuur 8. Opstelling waarmee de effectiviteit van het snel zandfilter + hoge druk UV op afdoding van XF in drainwater is getoetst.

Van dit monster werd een verdunningsreeks van 1:10, 1:100, 1:1000, 1:10.000 en indien nodig 1:1.000.000 en 100.000.000 uitgeplaat op selectief medium.

Na 1 week incubatie werd het aantal groen fluorescerende kolonies op de plaat geteld. Naast Xf groeiden ook andere organismen uit op de plaat. Ter bevestiging van de identiteit van de groen fluorescerende kolonies werd een voor Xf specifieke PCR analyse uitgevoerd.

3.1.4. Langzame zandfiltratie

Langzame zandfiltratie is een methode om ziekteverwekkers uit het drainwater te halen. Om te toetsen of dit ook effectief is tegen Xf is een test uitgevoerd in de kassen van Unifarm. Figuur 9 toont de proefopstelling. De bacteriesuspensie werd toegevoegd aan het reservoir (witte vat). Via een pomp wordt het drainwater + Xf boven in de PVC pijp (grijs) gepompt. In het onderste deel van de PVC-pijp is het zandfilter aangebracht. Vanuit de onderkant van het zandfilter gaat de suspensie via een snelheidsregelaar terug naar de goot met aardbeien. Aan het eind van de goot loopt het water dan weer in het reservoir. De installatie werd afgesteld op een doorstroomsnelheid van 100 l/ m²/ uur. De kolom werd gevuld met kwartszand S80 tot een hoogte van 100 cm. Op de goot werden aardbeiplanten gezet en het recirculatiesysteem werd eind oktober in werking gesteld, waardoor biologische activiteit in het langzame filter werd opgebouwd. De proef is in tweede instantie ingezet op 17 december 2012.

Bij aanvang van de proef werden direct voor en na de inoculatie monsters genomen van het drainwater in het reservoir. Na 1, 2, 3 en 7 dagen werden via een speciaal daarvoor geconstrueerd aftappunt monsters genomen van het drainwater nadat deze het langzame zandfilter was gepasseerd.



Figuur 9. Opstelling waarmee de effectiviteit van het langzaam zandfilter op afdoding van Xf in drainwater is getoetst.

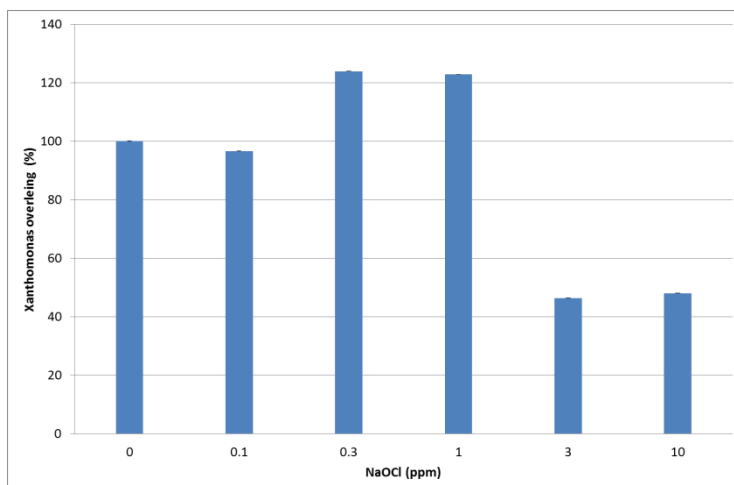
Van dit monster werd een verdunningsreeks van 1:10, 1:100, 1:1000, 1:10.000 en indien nodig 1:1.000.000 en 1:100.000.000 uitgeplaat op selectief medium.

Na 1 week incubatie werd het aantal groen fluorescerende kolonies op de plaat geteld. Naast Xf groeiden ook andere organismen uit op de plaat. Ter bevestiging van de identiteit van de groen fluorescerende kolonies werd een voor Xf specifieke PCR analyse uitgevoerd.

3.2. Resultaat

3.2.1. Natriumhypochloriet

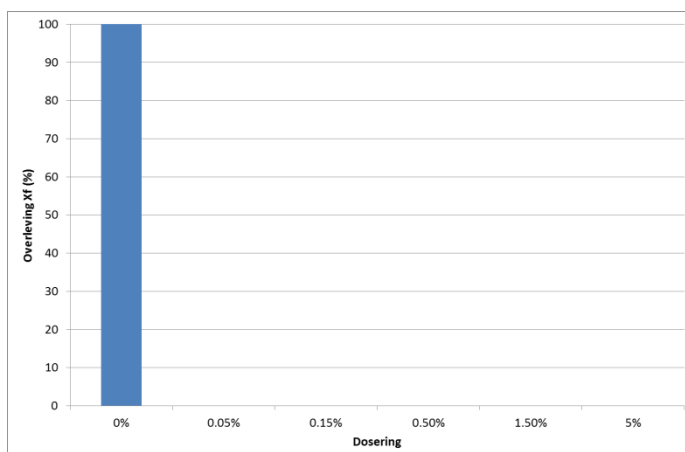
Een *Xanthomonas* suspensie werd gedurende 1 minuut blootgesteld aan 6 concentraties NaOCl van 0 tot 10 ppm. De aanvangsdichtheid was 1.5 miljoen kve / ml. Bij de hoogste dosering van 3 en 10 ppm was er sprake van een significante afname van het aantal overlevende Xf bacteriën ten opzichte van de onbehandelde controle in water (Figuur 10). De verwachting is dat de afname onvoldoende is om de verspreiding van de bacterie via het recirculatiewater te voorkomen.



Figuur 10. Effectiviteit van verschillende doseringen natrium hypochloriet (ppm) op overleving van Xanthomonas in drainwater als de bacterie suspensie 1 minuut blootgesteld werd aan het ontsmettingsmiddel. De XF dichtheid in water is op 100 % gesteld en komt overeen met 13.5 miljoen bacteriecellen / ml.

3.2.2. Clarmarin

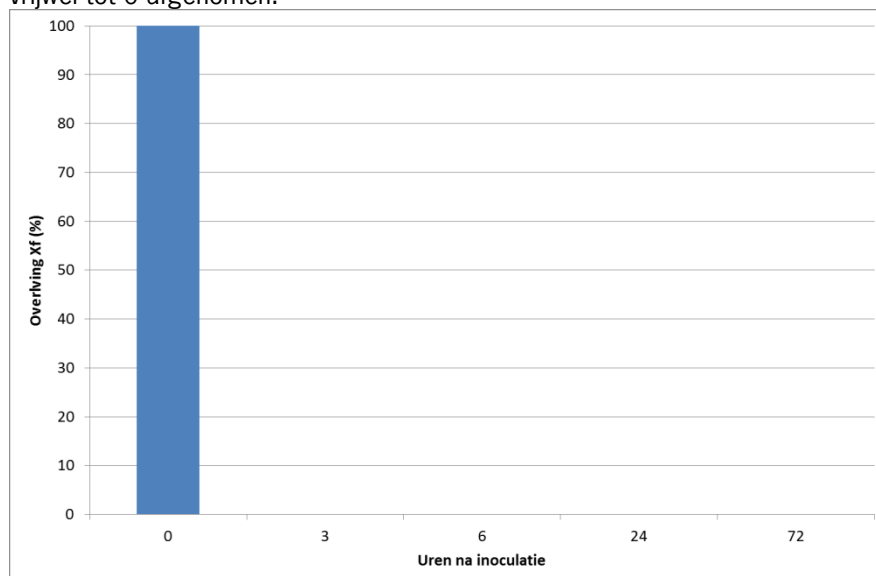
Een *Xanthomonas* suspensie van 27 miljoen kve / ml drainwater werd gedurende 1 minuut blootgesteld aan 6 concentraties Clarmarin van 0 tot 5%. Bij alle getoetste doseringen werd geen uitgroei van Xf meer vastgesteld (Figuur 11). Ook bij de laagste dosering wordt deze bacterie volledig gedood.



Figuur 11. Effectiviteit van Clarmarin op overleving van Xanthomonas in drainwater van aardbeien (TI-waarde 49) als de bacterie 1 minuut aan het ontsmettingsmiddel werd blootgesteld. Overleving van 100% komt overeen met 27 miljoen bacteriecellen / ml.

3.2.3. Zandfiltratie + UV

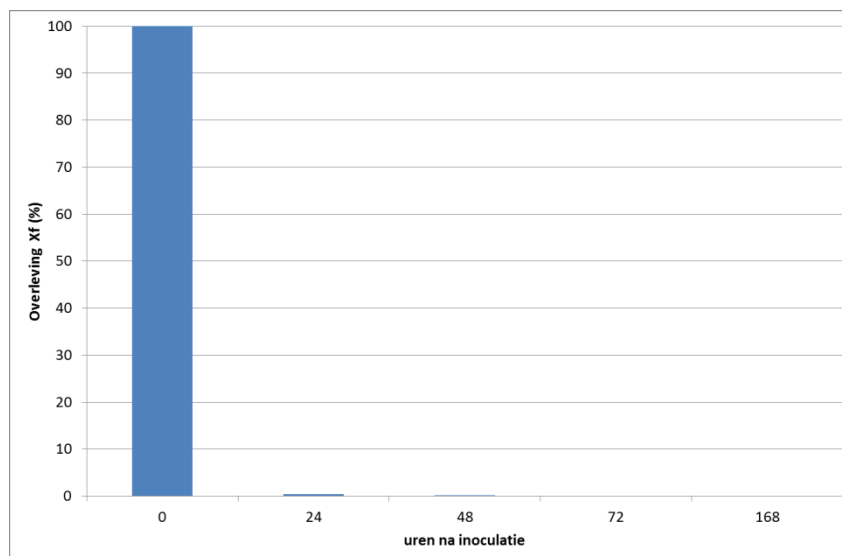
Voorafgaand aan de test bleek geen Xf in het reservoir aanwezig. Na inoculatie werd de Xf dichtheid in het reservoir vastgesteld op 57 miljoen kve / ml. Gedurende de proef werd 3, 6, 24 en 72 uren na de UV – behandeling geen Xf in het drainwater meer vastgesteld (Figuur 12). Ook het overige microbiële leven was vrijwel tot 0 afgenomen.



Figuur 12. Effectiviteit van snel zandfilter + hoge druk UV op de overleving van Xanthomonas in drainwater van aardbeien (TI-waarde = 49). Overleving van 100% komt overeen met 57.3 miljoen bacteriecellen per ml in het reservoir.

3.2.4. Langzame zandfiltratie

Voorafgaand aan de test bleek geen Xf in het systeem aanwezig te zijn. Na inoculatie is de Xf dichtheid in het reservoir vastgesteld op 270.000 kve / ml. Na 24 uur werden 260 Xf kve / ml aangetroffen in het water dat het zandfilter had gepasseerd (Figuur 13). Dit was een afname van 99.6% rekening houdend met het totale volume water in het systeem. Na 48 uur was de afname 99.9% en werden nog 17 kve van XF aangetoond. In de monsters van de latere monstertijdstippen werd Xf niet meer aangetoond.



Figuur 13. Effectiviteit van snel zandfilter + UV op de overleving van Xanthomonas in drainwater van aardbeien. Overleving van 100% komt overeen met 270 duizend bacteriecellen per ml in het reservoir.

3.3. Discussie en conclusies

Via recirculatie van drainwater is het theoretisch mogelijk om *Xanthomonas fragariae* te verspreiden. Bedenk echter wel dat, bij aanwezigheid van Xf op een trayveld, verspreiding via beregening of via machines etc., ook mogelijk is. Hygiënemaatregelen blijven onverminderd van kracht om Xf geen kans te geven. Het risico voor gebruik van recirculatie water in het geval van Xf op het perceel zou kunnen zijn dat de verspreiding versnelt over het hele veld zou kunnen plaats vinden. Methoden die Xf efficiënt uit het drainwater verwijderen zijn nodig om hergebruik van drainwater in de teelt van aardbeien mogelijk te maken.

In de onbehandelde controles kon steeds Xf worden aangetoond. Voor een goede schatting van de populatiedichtheid moeten de monsters verdund worden. Na uitplaten van onverdunde monsters groeien de aanwezige bacteriën door elkaar waardoor de kolonies niet individueel van elkaar te onderscheiden zijn zowel qua aantal als qua soort. In de negatieve controles werd geen Xf aangetoond, wat aan geeft dat er op voorhand geen Xf in de systemen aanwezig was.

Toepassing van Natrium-hypochloriet liet een lichte toename zien van het aantal kve bij 0.3 en 1.0 ppm ten opzichte van 0 en 0.01 ppm. De toename in overleving van Xf bij 0.3 en 1 ppm is waarschijnlijk een artefact veroorzaakt door de aanwezigheid van andere bacteriën in het drainwater. Bij 0 en 0.1 ppm remmen de achtergrond bacteriën de uitgroei van Xf, waardoor de telling lager uitkomt dan de werkelijke dichtheid. Bij 0.3 en 1 ppm is mogelijk een deel van deze achtergrond afgedood en kunnen meer Xf bacteriën uitgroeien tot kolonies. Natrium hypochloriet gaf bij 10 en 30 ppm een significante afname van Xf te zien. Deze was echter niet voldoende om het drainwater volledig vrij te maken van de bacterie. Opgemerkt moet worden dat Xf slechts gedurende 1 minuut blootgesteld werd aan een oplossing met NaOCl. In de praktijksituatie zal een ontsmettingsmiddel mee gedoseerd worden aan het drainwater en mogelijk langer dan 1 minuut actief zijn. De effectiviteit is echter ook afhankelijk van de hoeveelheid organische stof die in het drainwater aanwezig is. De proef geeft aan dat Natrium hypochloriet een effect heeft op Xf. Uitgezocht moet worden of in een meer praktische opstelling voldoende Natrium hypochloriet mee gedoseerd kan worden om Xf afdoende te doden, zonder schade aan de aardbeiplanten te veroorzaken.

Clarmarin heeft in Nederland een toelating voor de ontsmetting van oppervlakte-, bron- en regenwater. De dosering volgens het etiket is 0,03%. Voor het ontsmetten van installaties kan een hogere dosering worden aangehouden. Uit eerder onderzoek, met drainwater afkomstig van een aardbeienbedrijf, is gebleken dat Clarmarin in een dosering van 0,5% effectief (volledige doding) is tegen Xf (p.m. M. Tax; Bright Spark). In de proef bleek Clarmarin in de getoetste doseringen een volledige afdoding van Xf te geven. Dit geeft aan dat mogelijk met een nog lagere dosering kan worden volstaan.

Praktisch gezien, als een first flush van 3 mm water van een trayveld opgevangen moet worden voor recirculatie, moet 30.000 liter water per hectare ontsmet worden. Bij een effectieve dosering van 0,05% gaat het dan om 15 liter product. Opgemerkt moet worden dat het gebruikte drainwater relatief weinig vervuild was. Naarmate er meer organische stof in het water aanwezig is zal de effectiviteit van een product als Clarmarin afnemen. Uitgezocht zou moeten worden in hoeverre de dosering van Clarmarin verlaagd kan worden en wat het effect is van het middel bij toepassing op meer vervuild drainwater.

Toepassing van een snel zandfilter gevolgd door een hoge druk UV behandeling van het drainwater blijkt een effectieve methode. Bij de eerste monsternamen na 3 uur is geen levende Xf meer aangetroffen. In het reservoir is 24 uur na inoculatie nog wel Xf aanwezig. De T10 waarde van het gebruikte drainwater is 49. In de praktijk is deze waarde aan het begin van de teelt vaak veel lager. Als grenswaarde wordt een T10 waarde van 15 aangehouden. Wordt de waarde lager dan is het drainwater te vervuild om nog via de UV-methode te ontsmetten. In de praktijk zijn systemen beschikbaar waar bij het vervuilde drainwater schoon water wordt bijgemengd om ontsmetting van het water via UV mogelijk te maken. Dit zijn volledig geautomatiseerde systemen. UV-lampen zijn normaal uitgerust met een alarm systeem zodat bij uitval van de lamp(en) het recirculatieproces stopt totdat het probleem verholpen is.

Bij toepassing van een langzaam zandfilter blijkt, zowel na 24 uur als na 48 uur nog Xf in het filtraat (water dat door het zandfilter was gelopen) te kunnen worden aangetoond. Na 24 uur was de Xf dichtheid met 99,6% gedaald en na 48 uur met 99,9%.

Na drie en zeven dagen kon geen Xf meer in het water worden aangetoond. De vraag is gerechtvaardigd of een doding van 99,6% na 24 uur voldoende is om verspreiding te voorkomen. Een goede pathogeen bestrijding treedt op wanneer het aantal met 99,9% wordt gereduceerd (Runia, 1995). Na 48 uur was de afname beter, dit geeft aan dat in geval van Xf de verblijfstijd van het drainwater in het systeem voor hergebruik zo lang mogelijk moet worden gehouden. Zeker als je beziet dat na 3 en 7 dagen geen Xf meer kon worden aangetoond. In hoeverre er na 7 dagen nog Xf door het zandfilter kan komen is niet uitgezocht. Kastelein (p.m.) vond dat Xf in regenwater en leidingwater gedurende tenminste 48 uur kon overleven. Het is niet bekend hoe lang Xf kan overleven in drainwater. Verwacht mag worden dat er in drainwater meer biologische activiteit is als in regen- en leidingwater, maar wat dat betekent voor de overleving van Xf is niet uitgezocht.

In het onderzoek is gebruik gemaakt van een zandfilter met stroomsnelheid van 100 l/m²/uur, gebaseerd op de bevindingen van Runia et al 1987 en anderen. In deze opstelling komt dat neer op een stroomsnelheid van 3 l water per uur. Een zandfilter is effectiever naarmate de stroomsnelheid lager is en de verblijfstijd van de ziekteverwekker in het filter langer duurt. Een lagere doorstroomsnelheid betekent wel een lagere capaciteit. Praktisch gezien is er dan een groter zandfilter nodig.

Het werkingsprincipe van een langzaam zandfilter berust niet alleen op een fysieke barrière, maar heeft ook een microbiële werking (Barth, 1998). Micro-organismen, met name boven in het zandfilter concurreren met ziekteverwekkers en veroorzaken daarmee actief een afname in de populatiedichtheid van ziekteverwekkers (Ginderachter et al. , 2006) en mogelijk ook van bijvoorbeeld Xf. Indien een langzaam zandfilter geïnstalleerd wordt dan is het wenselijk dat de verblijfstijd van het drainwater in het systeem zo lang mogelijk is.

De verblijfstijd van het water kan verlengd worden door de zandkolom hoger te maken. Onderzoek met *Xanthomonas campestris f.sp. pelargoni* toonde aan dat de effectiviteit van een langzaam filter gebaseerd op steenwol van 30 cm 90,95% was. Bij 60 en 90 cm was dat respectievelijk 96,8% en 97,1%. In dit onderzoek werd gewerkt met een kolomlengte van 100 cm en kwartszand S80. Hoewel beide *Xanthomonas* soorten niet één op één vergeleken mogen worden zal ook bij Xf hetzelfde principe gelden dat naarmate de zandlaag hoger is en de zandfractie fijner het zandfilter beter z'n werking zal doen.

Opgemerkt moet worden dat de proeven eenmalig zijn uitgevoerd. Gezien de ervaringen met de getoetste systemen in de glastuinbouw zijn de resultaten in de lijn met de verwachting.

Conclusies

- Natrium hypochloriet doodde Xf niet in voldoende mate. Ook niet in de hoogste dosering van 10 ppm en een blootstellingstijd van 1 minuut. Een optimalisatie stap kan hier nog gemaakt worden.
- Clarmarin doodde Xf volledig bij een dosering van 0.05% en hoger bij een blootstellingstijd van 1 minuut. Uitgezocht moet worden of een doseringsverlaging mogelijk is en of de werking afdoende blijft in met meer organische stof vervuild drainwater.
- Stroomt *Xanthomonas*- besmet water door een systeem van een snel zandfilter en UV belichting dan wordt deze bacterie binnen 3 uur volledig gedood. Bij installatie van een dergelijk systeem moet er op gelet worden dat de transmissie van het drainwater voldoende hoog is en de lampen schoon blijven.
- Toepassing van een langzaam zandfilter leidt na 24 uur tot een afname van 99,6% van *Xanthomonas*. Na 48 uur was de afname 99,9%. Informatie over overleving van Xf in drainwater zou nuttig zijn om te bepalen of deze mate van doding voldoende is bij een langere verblijfstijd in het systeem. Tevens is het van belang te weten welke dichtheid aan bacteriën nodig is om een infectie te bewerkstelligen.

Literatuur

Barth G., 1998. Investigation of sand filtration for nursery recycling systems. Horticultural research & Development Corporation, 33 pp.

Bellamy, W.D., Hendricks, D.W., Logsdon, G.S. 1985. Slow sand filtration: influences of selected process variables. Jour. AWWA, 77(12), p. 62-66.

Berkelmann B., Wohanka W., 1995. Transmission of pelargonium Flower Break Virus (PFBV) by recirculating nutrient solutions with and without slow sand filtration. Acta Horticulturae 382, p. 256-262.

Bonné P.A.C., Beerendonk E.F., van der Hoek J.P., Hofman J.A.M.H. 2000. Retention of herbicides and pesticides in relation to aging of RO membranes. Desalination 132 (2000), p. 189-193

Bruins M.A., Willers H.C., Michielsen J.M.P.G., 1996. Verwijdering van plantpathogenen uit recirculatiewater in gesloten teeltsystemen door langzame zandfiltratie. DLO Instituut voor Milieu- en Agroecniek. Intern verslag. 48 pp.

Bruins M.A., van Os E.A. van Kruistum G., 2007. Technische haalbaarheid van het reinigen van restwater op het witlofbedrijf door langzame zandfiltratie. DLO Instituut voor Milieu- en Agroecniek. Intern verslag. 39 pp.

Calvo-Bado L.A., Morgan J.A.W., Sergeant M., Pettitt T.M. and Whipps J.M. 2003. Molecular Characterization of Legionella Populations Present within Slow Sand Filters Used for Fungal Plant Pathogen Suppression in Horticultural Crops. Applied and Environmental Microbiology, vol. 69 No.1, p 533-541.

Ceustermans N., 2005. Ontsmetting en hergebruik van drainwater bij de substraatteelt van vruchtgroenten. Een overzicht en enkele mogelijke ontsmettingstechnieken. Proeftuinnieuws 10-13 mei, p 24-25.

Deniel, F., Rey p., Tirilly, Y., 1999. Désinfection des solutions recyclées. Réussir Fruits & Légumes, No 172, p. 73-75.

Ehret D.L., Alsanius B., Wohanka W., Menziens J.G. Utkhede R., 2001. Disinfestation of recirculating nutrient solutions in greenhouse horticulture. Agronomie 21, p. 323-339.

Furtner, B. 2006. Abiotic and biotic factors in the nutrient solution and filter skin (Schmutzdecke) of slow filters integrated to closed hydroponic greenhouse systems: Potential predictors for assessment of efficacy. Licentiate thesis, 61 pp.

Garibaldi A., Minuto A., Grasso V., Gullino M.L. 2003. Application of selected antagonistic strains against Phytophthora cryptogea on gerbera in closed soilless systems with disinfection by slow sand filtration. Crop Protection, Volume 22, Issue 8, p. 1053-1061.

Ginderacher van N. and Liefferinge van J., 2006. Recirculatie van water in de glastuinbouw. Brochure Ministerie van Vlaamse Gemeenschap, 48 pp.

Foekema E.M., 2012. De invloed van moerassystemen op de milieukwaliteit van rwzi effluent en aanbevelingen tot optimalisering. IMARES rapport C005/12, 324 pp.

Hrubec J., Engelsman G. den, Groot A.C. de, Hartog R.S. den, Jong A.P.J.M. de, Koot W., Meiring H.D., Peters R., 1990. Gedrag van Enkele Gesubstitueerde Benzenen, Bestrijdingsmiddelen en Komplexvormers

Tijdens Langzame Zandfiltratie (Behaviour of Some Substituted Benzenes, Pesticides and Complexing Agents during Slow Sand Filtration), RIVM Report 714701001, 77 pp.

Jung, M.C.V. 2003. The role of selected plant and microbial metabolites in the nutrient solution of closed growing systems in greenhouses. Doctoral Dissertation, 45 pp.

Kubiak K., Oszako T., 2010. Slow sand filters for plant protection in nurseries. *Leone Prace Badawcze* (Forest Research Papers), Vol. 71 (4), p. 343–349.

Logsdon G.S., Kohne R., Abel S., LaBonde S., 2002. Slow sand filtration for small water systems. *J. Environ. Eng. Sci.*, p. 339–348.

Nunnink, 1996. Onderzoek slat bodem onder zandfilter uit. *Groenten+Fruit/ Glasgroenten*, week 21. P. 14-15.

Postma, J., 1996. Mechanisms of disease suppression in soilless cultures. *IOBC/WPRS Bulletin* 19(6), pp. 85-94.

Postma, J., E.A. van Os, G. Kritzman, 1999. Prevention of root diseases in closed soilless growing systems by microbial optimization. 51th International Symposium on Crop Protection, Gent, Belgium

Poynter, S.F.B. and Slade, J.S. 1977. The removal of viruses by slow sand filtration. *Prog. Water Technol.* 9(1), p. 75-88.

Runia W.T., van Os E.A., Bollen G.J., 1988. Disinfection of drainwater from soilless cultures by heat treatment. *Neth. J. Agric. Sci.*, p. 231-238.

Runia, W.T. 1994. Elimination of root infecting pathogens in recirculating water from closed cultivation systems by ultra-violet light radiation. *Acta Hort.*, 361, p. 361-371.

Runia, W.T. 1994. Disinfection of recirculation water from closed cultivation systems with ozone. *Acta Hort.*, 361, p. 388-396.

Runia, W. Th., 1995. A review of possibilities for disinfection of recirculation water from soilless cultures. *Acta Horticulturae* 382, p. 221-229.

Runia, W.T., Michielsen, J.M.G.P., van Kuik, A.J. & van Os, E. 1996. Elimination of root infecting pathogens in recirculating water by slow sand filtration. *ISOSC. Proceedings 1996*, P. 395-407.

Runia, W. Th. , J.J. Amsing, 1999. Disinfection of recirculation water from closed cultivation systems by heat treatment, *International Symposium on Growing Media and Hydroponics*, Greece.

Schijven JF , Colin M, Dullemeier Y, Hijnen WAM, Magic-Knezev A, Oorthuizen W, 2008. Verwijdering van micro-organismen door langzame zandfiltratie, RIVM- rapport 330204001, 41 pp.

Slegers, J., 2010. Water zuiveren moet, maar hoe? *Vakblad voor de Bloemisterij* 30, p. 34-35.

Ufer, T., Werres, S. K., Posner, M., and Wessels, H.P., 2008. Filtration to eliminate *Phytophthora* spp. from recirculating water systems in commercial nurseries. *Online. Plant Health Progress* doi:10.1094/PHP-2008-0314-01-RS.

Van den Broek, R.C.F.M.; Verhoeven, J.T.W.; Evenhuis, A., 2012. Zandfilter en aangepaste goot houden

Phytophthora in bedwang. Groenten & Fruit (2012)4. - ISSN 0925-9694, p. 40 - 41.

Van den Broek R., Verhoeven J., 2012. Teeltdegronduit. Emissie van nutriënten bij een aardbeienteelt op stellingen. Praktijkonderzoek Plant en Omgeving onderdeel van Wageningen UR, 27 pp.

Van Kuik, A.J., 1994. Eliminating Phytophthora cinnamomi in a recirculated irrigation system by slow sand filtration. Univ. of Gent, Med. Fac. of Agric. 59 (3a), p. 1059-1063.

Van Os, E.A., M.A. Bruins, J. Van Buuren, D.J. van der Veer and H. Willers, 1996. Physical and chemical measurements in slow sand filters to disinfect recirculating nutrient solutions. Proceedings 9th Int. Congress on Soilless Culture, Jersey, p. 313-328

Van Os, E., Amising J., Runia W., van Kuik, F., 1997. Zandfilters zijn hulp bij het verwijderen van schimmelsporen uit gietwater. De Boomkwekerij 7, p. 24-25.

Van Os, E.A., van Kuik, F.J., Runia, W.T. & van Buuren, J. 1998. Prospects of slow sand filtration to eliminate pathogens from recirculating nutrient solutions. Acta horticulturae 458, 377-382.

Van Os, E.A., Amising, J.J., van Kuik, A-J. & Willers, H. 1999. Slow sand filtration: A potential method for the elimination of pathogens and nematodes in recirculating nutrient solutions from glasshouse-grown crops. Acta horticulturae 481, 519-526.

Van Os, E.A., Bruins, M., Wohanka W. & Seidl R. 2001. Slow filtration: A technique to minimise the risks of spreading root-infecting pathogens in closed hydroponic systems. Acta horticulturae 559, 495-502.

Vercamer A., 2007. Integraal waterbeheer op land- en tuinbouwbedrijven. Uitgegeven door de Deputatie van de provincie Oost-Vlaanderen, 64 pp.

Verhasselt B., 2006. Verhitten van drainwater, een efficiënte ontsmettingstechniek. Verbondsnieuws 19, p 29-30.

Visscher, J.T., R. Paramasivam, A. Raman, and H.A. Heijnen 1987. Slow Sand Filtration for Community Water Supply. International Water and Sanitation Centre, The Hague.

Waechter-Kristensen, B., U.E. Gertsson and P. Sundin, 1994. Prospects for microbial stabilization in the hydroponic culture of tomato using circulating nutrient solution. Acta Horticulturae 361, pp. 382-387.

Wohanka, W., 1992. Slow sand filtration and UV-radiation: low-cost techniques for disinfection of recirculating nutrient solution on surface water. Proceedings 8th ISOSC – congress, South-Africa, 497-511.

Wohanka, W., 1995. Disinfection of recirculating nutrient solutions by slow sand filtration. Acta horticulturae 382, 246-251.

Wohanka W. H., Luedtke H., Ahlers H. and Luebke M., 1999. Optimization of slow filtration as a means for disinfecting nutrient solutions. Acta Hort. 481, 539-544

Bijlage 1. Effectief verwijderde pathogenen door langzaam zandfilter (> 99.9%).

Pathogeen	Opmerking	Auteur
Phytophthora aphanidermatum		Ehret et al., 2001
Phytophthora cinnamomi	Stroomsnelheid 100 l/m ² /uur, zand: 0.15-0.30 en 0.2-0.8 mm	Van Kuik, 1994, Runia et al., 1996, Bruins et al., 1996, van Os et al., 1999
Phytophthora cryptogea	Stroomsnelheid 200 l/m ² /uur, zand: 0.35 mm, 0.35-0.5 mm.	Barth, 1998, Wohanka, 1992
Phytophthora cryptogea	Stroomsnelheid 200 l/m ² /uur, zand: 0.2-2 mm	Garibaldi et al., 2003
Fusarium oxysporum	Stroomsnelheid 200 l/m ² /uur, zand: 0.35, 0.35-0.5 mm.	Barth, 1998
Fusarium oxysporum f. sp. pisi	Stroomsnelheid 100-300 l/m ² /uur, zand: 0.15-0.30	Runia et al., 1996
Fusarium oxysporum f. sp. cyclaminis	Stroomsnelheid 100-300 l/m ² /uur, reductie 99.9%	Wohanka 1995; Os van et al., 2001
Verticillium dahliae	Stroomsnelheid 100-300 l/m ² /uur, zand: 0.15-0.30	Runia et al., 1996
Thielaviopsis basicola	Stroomsnelheid 100-300 l/m ² /uur, zand: 0.15-0.30	Runia et al., 1996
Cylindrocladium scoparium	Stroomsnelheid 100-300 l/m ² /uur, zand: 0.15-0.30	Runia et al., 1996
Xanthomonas campestris pv. pelargonii	Stroomsnelheid 100-300 l/m ² /uur, reductie van 99.9-100%	Wohanka 1992; Os van et al., 2001

Door Logsdon (2002) aangegeven micro-organismen die door een langzaam zandfilter verwijderd worden (niet altijd effectief, effectief bij >99.9% removal).

Organism	Filtration rate (m/h)	Temperature (°C)	Removal percentage
Poliovirus	0.2	16 to 18	99.997 average
Poliovirus	0.4	16 to 18	99.865 average
Poliovirus	0.2	5 to 8	99.68 average
Poliovirus	0.5	5 to 8	98.25 average
Total coliform bacteria	0.12	17	97 average
Total coliform bacteria	0.12	5	87 average
<i>Giardia</i>	0.12	5 to 15	99.994 average
<i>Giardia</i>	0.4	5 to 15	99.981 average
<i>Giardia</i>	0.12	17	>99.93 to >99.99
<i>Giardia</i>	0.12	5	>99.92 to >99.99
<i>Giardia</i>	0.08	0.5	93.7
<i>Giardia</i>	0.08	0.5 to 0.75	99.36 to 99.91
<i>Giardia</i>	0.08	7.5 to 21	99.98 to 99.99
<i>Giardia</i>	0.3	4.5 to 16.5	>99.99
<i>Giardia</i>	0.4	4.5 to 16.5	99.83 to 99.99
<i>Cryptosporidium</i> oocysts	0.15 to 0.40	4.5 to 16.5	>99.99
<i>Cryptosporidium</i> oocysts	0.2	Not stated	99.8 to 99.99
<i>Cryptosporidium</i> oocysts	0.29	12 to 14	>99.99

Bijlage 2. Pathogenen onvoldoende verwijderd door langzaam zandfilter (afname < 99.8%).

Organisme	Pathogeen	Opmerking	Auteur
Schimmels	<i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. lycopersici	Stroomsnelheid 100 l/m ² /uur, zand: 0.15-0.30 en 0.2-0.8 mm	Runia et al., 1996
Schimmel	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. lycopersici	Stroomsnelheid 100 l/m ² /uur, zand: 0.15-0.35, 0.2-0.8 mm. Stroomt in lage concentratie uit zandfilter.	Bruins et al., 1996
Schimmel	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. lycopersici	Stroomsnelheid 100-300 l/m ² /uur, afname 99.1%	Os van et al., 2001
Schimmel	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. dianthi	Stroomsnelheid 5 m/dag	Runia, 1995
Schimmel	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. pisi	Afname 70-80%	Wohanka, 1995
Virus	Tomaatmozaïekvirus	Stroomsnelheid 100 l/m ² /uur, zand: 0.15-0.30. Afname 91-99%	Runia et al., 1996
Virus	Pelargonium Flower Break Virus	Stroomsnelheid 200 l/m ² /uur, afname 75%	Berkelmann et al., 1995, Runia et al., 1996
Virus	Tomaatmozaïekvirus	Stroomsnelheid 100 l/m ² /uur, zand: 0.15-0.35, 0.2-0.8 mm. Effluent kan planten infecteren. Na 18 dagen niet meer	Bruins et al., 1996
Bacterie	<i>Legionella cherrii</i>	Stroomsnelheid 0.15 m/uur	Calvo-Bado et al., 2003
Bacterie	<i>Rhizobium tumefaciens</i>	Afname van 71% na 48 uur	Kubiak et al., 2010
Bacterie	<i>Pseudomonas syringae</i>	Afname van 74% na 48 uur	Kubiak et al., 2010
Bacterie	<i>Xanthomonas campestris</i>	Afname van 70% na 48 uur	Kubiak et al., 2010
Bacterie	<i>Xanthomonas campestris</i>	Stroomsnelheid 100-300 l/m ² /uur, zand: 0.15-0.30 Afname 99%	Runia et al., 1996
Bacterie	<i>Xanthomonas campestris</i> pv pelargonii	Afname kleiner dan 99.9%	Wohanka et al., 1999
Aaltje	<i>Radopholus similis</i>	Stroomsnelheid 100 l/m ² /uur, zand: 0.15-0.35, 0.2-0.8 mm. Effluent kan planten infecteren.	Bruins et al., 1996, van Os et al., 1999