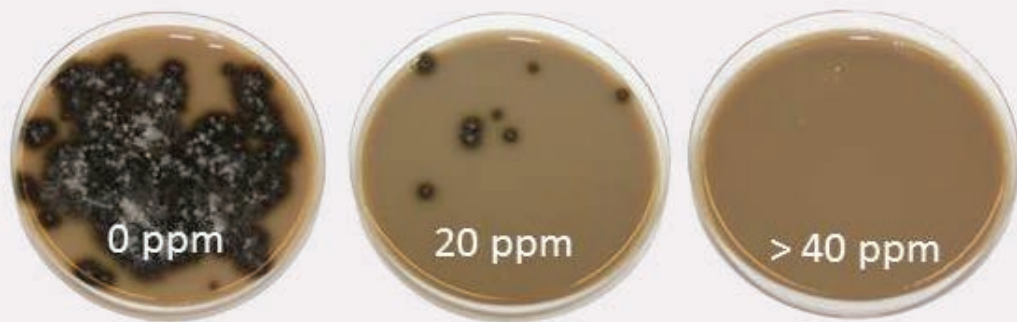




Ontwikkeling van veilige toepassingen voor gewasbehandelingen met electrolysewater in de glastuinbouw

Jantineke Hofland-Zijlstra, Rozemarijn de Vries, Chris Blok, Patricia de Boer, Marleen IJdo, Cora van den Bosch, Ariyati Ayik, Harry Bruning¹

¹ Wageningen Universiteit Agrotechnologie & Voedingwetenschappen, Sectie Milieutechnologie, Postbus 17, 6700 AA Wageningen



Referaat

Dit onderzoek had als doel om de werking van electrolysewater te verbinden met de chemische eigenschappen en op zoek te gaan naar veilige toepassingen als gewasbehandeling voor de glastuinbouwsector. Vijf producenten hebben voor dit onderzoek de gewenste samenstelling van electrolysewater aangeleverd. Alle producten met daarin 36-65 ppm vrij chloor waren binnen vijf minuten 100% effectief tegen de bacterie, *Erwinia chrysanthemi* en de schimmel, *Botrytis cinerea*. De grenzen van gewasschade in de kiemplantentest werden sterker bepaald door de hoeveelheid natriumzout en EC gehalte van de electrolysevloeistof dan de hoeveelheid vrij chloor. In een korte meedruppelproef met tomaat zijn verschillende concentraties vrij chloor (0, 4, 8, 20 ppm) gedoseerd aan het voedingswater. Er werd geen gewasschade gevonden of negatief effect op de wortelkolonisatie van *Trianum* door de geringe chloorwaardes (vrij en totaal) die na vier weken bij de druppelaar werden teruggemeten. Testen met gewasbehandelingen laten zien dat éénmalige behandelingen tot 300 ppm geen gewasschade geven. Bij meerdere toepassingen is groeiremming te voorkomen door lagere concentraties te gebruiken of blootstellingstijd te beperken. Electrolysewater kan een veilig en bruikbaar alternatief bij het terugdringen van het fungicidegebruik.

Abstract

The aim of this research was to investigate the effect of different chemical compositions of electrolysed water and develop safe applications for crop treatments in the horticultural sector. Five producers provided the desired compositions of electrolysewater. All products containing 36-65 ppm free chlorine were 100% effective within five minutes against the bacterium, *Erwinia chrysanthemi* and the fungal pathogen, *Botrytis cinerea*. The limits of crop damage in the seedling test were more strongly determined by the amount of sodium salt and EC content of the product than the amount of free chlorine. In the dripping irrigation test with a tomato crop different concentrations free chlorine (0, 4, 8, 20 ppm) were dosed. There was no crop damage found or negative effect on the root colonization of *Trianum* due to low chlorine values (free and total) that were found at the drippers after four weeks. Tests with crop treatments show that single treatments up to 300 ppm do not result in crop damage. When multiple applications are used it is recommended to use lower concentrations or reduce exposure times to prevent growth inhibition. Electrolysed water can be a safe and suitable solution in reducing fungicide use.

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

Wageningen UR Glastuinbouw

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

Inhoudsopgave

| | | |
|---|---|----|
| | Voorwoord | 5 |
| | Samenvatting | 7 |
| 1 | Inleiding | 9 |
| | 1.1 Achtergrond | 9 |
| | 1.2 Doelstellingen | 10 |
| | 1.3 Leeswijzer | 10 |
| 2 | Corrosierisico, biocidewerking en stabiliteit van neutraal electrolysewater | 13 |
| | 2.1 Inschatting corrosiesnelheid (mbv database) | 13 |
| | 2.2 Effectiviteitstest bacterie, <i>Erwinia chrysanthemi</i> | 15 |
| | 2.2.1 Doelstelling en opzet van de proef | 15 |
| | 2.2.2 Resultaten | 16 |
| | 2.2.3 Conclusie | 17 |
| | 2.3 Effectiviteitstest schimmel, <i>Botrytis cinerea</i> | 17 |
| | 2.3.1 Doelstelling en opzet van de proef | 17 |
| | 2.3.2 Resultaten | 17 |
| | 2.3.3 Conclusie | 18 |
| | 2.4 Stabiliteit electrolysewaterproducten | 18 |
| 3 | Risico op gewasschade | 19 |
| | 3.1 Testen met kiemplanten | 19 |
| | 3.1.1 Algemeen | 19 |
| | 3.1.2 Uitvoering biotoets (Fytotoxkit) | 19 |
| | 3.1.3 Resultaten biotoets op basis van vrij chloor | 21 |
| | 3.1.4 Resultaten biotoets op basis van zoutgehalte | 22 |
| | 3.1.5 Discussie en conclusie | 24 |
| | 3.2 Testen met slaplant | 26 |
| | 3.2.1 Kritische grenzen bij éénmalige dosering | 26 |
| | 3.2.1.1 Doelstelling en opzet van proef | 26 |
| | 3.2.1.2 Resultaten | 26 |
| | 3.2.1.3 Conclusie | 27 |
| | 3.2.2 Kritische grenzen bij meermalige doseringen | 27 |
| | 3.2.2.1 Proef met hoge concentratie vrij chloor | 27 |
| | 3.2.2.2 Resultaten hoge concentratie vrij chloor | 28 |
| | 3.2.2.3 Conclusies hoge concentratie vrij chloor | 29 |
| | 3.2.2.4 Proef met lage concentraties vrij chloor | 29 |
| | 3.2.2.5 Resultaten lage concentraties vrij chloor | 30 |
| | 3.2.2.6 Conclusies lage concentraties vrij chloor | 31 |
| | 3.3 Testen met gerbera | 31 |
| | 3.4 Testen met kalanchoë | 31 |
| 4 | Electrolysewater als meedruppelbehandeling in tomaat (kasproef) | 33 |
| | 4.1 Doelstelling en opzet proef | 33 |
| | 4.2 Resultaten | 34 |
| | 4.3 Conclusies | 36 |

| | | |
|-------|---------------------------------|----|
| 5 | Toepassingen in de naooft | 37 |
| 5.1 | Botrytis in gerbera | 37 |
| 5.1.1 | Doelstelling en opzet proef | 37 |
| 5.1.2 | Resultaten | 38 |
| 5.1.3 | Conclusies | 40 |
| 5.2 | Toevoeging aan fustwater | 41 |
| 6 | Discussie en Conclusie | 43 |
| 6.1 | Veiligheid voor gewas | 43 |
| 6.1.1 | Toediening aan voedingswater | 43 |
| 6.1.2 | Toepassing als gewasbehandeling | 44 |
| 6.2 | Veiligheid voor kasmaterialen | 45 |
| 6.3 | Veiligheid voor toedieners | 45 |
| 6.4 | Toekomstperspectief | 45 |
| 7 | Literatuur | 47 |

Voorwoord

Na twee jaar van hard werken met veel passie en toewijding aan het onderwerp wordt dit onderzoek afgesloten en is het nog niet duidelijk wat het perspectief zal zijn voor toepassingen van electrolysewater als gewasbehandeling. Ik hoop van harte dat de kennis die binnen dit onderzoek is opgebouwd ingebed gaat worden in de glastuinbouwsector en dat dit rapport nog meermalen zal worden geraadpleegd als naslagwerk. Het is ook duidelijk dat we nog maar aan het begin staan van het ontrafelen van de effecten van electrolysewater op plantniveau. Daar was binnen dit onderzoek nog te weinig ruimte voor. Dat er nieuwe milieuvriendelijke methoden van desinfectie zijn en dat deze met de juiste kennis binnen handbereik nu ook veilig toe te passen zijn als gewasbehandeling mag nu ondertussen wel duidelijk zijn. En ook dat het niet meer in de categorie 'vage wondermiddelen' gestopt mag worden, maar als serieus alternatief dient te worden overwogen voor het terugdringen van het middelengebruik.

Graag wil ik van de gelegenheid gebruik om alle mensen te bedanken die aan de totstandkoming van dit onderzoek hebben bijgedragen. De gewasmanagers roos van LTO Groeiservice wil ik bedanken voor het organiseren van de bco bijeenkomsten en hun positieve inbreng, eerst was dit John van der Knaap (2011- juni 2012) en later is dit overgenomen door Marc Hoogendoorn. Van het Productschap Tuinbouw wil ik Monique Compier en Helma Verberkt bedanken die als financiers dit project blijvend hebben ondersteund. De producenten van electrolysewater en hun toeleveranciers wil ik bedanken omdat die bereid waren om de vloeistof met de gewenste samenstelling voor de proef aan te leveren en hun openheid om ervaringen uit de praktijk te delen. Daarnaast wil ik ook leveranciers van vernevelapparatuur bedanken voor het beschikbaar stellen van apparatuur en hun tijd om Rozemarijn en mij met advies terzijde te staan. Dit project heeft tot een grotere verbondenheid geleid onder meer tussen producenten en ik zie het als een stap in de goede richting dat het Platform Electrolysewater daar een uitvloeisel van is geworden. Mijn collega's en bovenal de groep van Chris Blok wil ik bedanken voor hun aandeel in de uitvoering van de testen met kiemplanten en begeleiding daarvan. Dit koste veel meer voorbereiding en eigen uren dan op voorhand was ingeschat. Tot slot wil ik de leden van de begeleidingscommissie hartelijk bedanken voor hun inbreng. Een vaste kern bleef heel trouw over de twee jaren heen de bijeenkomsten volgen en de resultaten uit hun eigen praktijkervaringen hebben dit onderzoek mede vorm gegeven.

Jantineke Hofland-Zijlstra

Samenvatting

Dit onderzoek had als doel om de werking van electrolysewater te verbinden met de chemische eigenschappen en op zoek te gaan naar veilige toepassingen als gewasbehandeling voor de glastuinbouwsector. De kennisinventarisatie die deel uitmaakte van dit onderzoek is in 2011 als aparte publicatie verschenen. Dit rapport beschrijft de experimenten die in de afgelopen twee jaar bij de Wageningen UR Glastuinbouw zijn uitgevoerd. Deze zijn uitgevoerd onder een proefonthefing omdat de toepassingen om planten te desinfecteren niet zijn toegestaan. Ook is steeds gewerkt met NaCl als grondstof, omdat de toelating als biocide op dit moment alleen beschreven staat voor keukenzout. Om de risico's op corrosie te verkleinen is de keuze gemaakt om met neutraal electrolysewater te werken en waarvan het zoutgehalte zo gering mogelijk is. Een vijftal producenten heeft voor dit onderzoek de gewenste samenstelling van electrolysewater aangeleverd.

In de eerste fase van het onderzoek waar gekeken is naar de corrosieve eigenschappen van electrolysewaters blijkt dat dit nog steeds een punt van aandacht is waarmee rekening dient te worden gehouden bij het ontwerpen van toepassingen met electrolysewaterbehandelingen en de keuze van materialen. De biocidewerking van verschillende electrolysewater producenten is getest op de bacterie, *Erwinia chrysanthemi*. Alle producten met daarin 36-65 ppm vrij chloor waren in staat om binnen 5 minuten 100% bacteriedodend te bereiken. De onderlinge verschillen tussen de producten in EC, ORP en pH lijken voor de biocidewerking van ondergeschikt belang. De dosis-responstest met de schimmel, *Botrytis cinerea* gaf aan dat 100% sporendodend bereikt wordt vanaf 40 ppm vrij chloor.

De resultaten van de testen met kiemplanten hebben goede handvaten gegeven om veilige richtlijnen op te stellen voor toepassingen van electrolysewater zonder risico op gewasschade. De grenzen van gewasschade worden sterker bepaald door het zout en EC gehalte van de electrolysevloeistof dan de hoeveelheid vrij chloor. Hoe lager het zoutgehalte van de vloeistof, hoe lager het risico op gewasschade is. De hoeveelheid ppm vrij chloor is daarbij minder van belang. De EC van het voedingswater speelt daarbij ook een rol, maar ruwweg is te stellen dat sterke groeiremming (> 20%) optreedt als electrolysewater met meer dan 100 ppm vrij chloor in contact komt met kiemende plantenwortels.

In de meedruppelproef met tomaat waarbij electrolysewater met verschillende concentraties vrij chloor (0, 4, 8, 20 ppm) werd meegegeven aan het voedingswater werd geen gewasschade gevonden. De chloorwaardes (vrij en totaal) die na vier weken bij de druppelaar werden teruggemeten kwamen niet boven 1 ppm en bij de meeste behandelingen niet boven 0,2-0,3 ppm. Als gevolg hiervan werd er ook geen nadelige effecten gevonden op de kolonisatie van de *Trichoderma*. Bij het bestrijden van *Agrobacterium* in de substraatmat is het belangrijk om te zorgen dat er voldoende vrij chloor in contact komt met de bacteriën. Hiervoor is het belangrijk om de plekken te weten waar de bacteriën zich in het systeem het snelst vermeerderen en daar gericht op in te grijpen.

Bij toepassingen van electrolysewater om gewassen te beschermen tegen ziekteverwekkers is het belangrijk om onderscheid te maken tussen éénmalige toepassingen en frequentere behandelingen. Bij éénmalige behandelingen kan met relatief hoge concentraties vrij chloor (en EC) gewerkt worden. De test met slapplanten laat zien dat éénmalige behandeling met doseringen tot 300 ppm vrij chloor geen gewasschade geeft. Dit blijkt ook uit de testen met gerberabloemen waar met 80 en 280 ppm vrij chloor meer dan 90% van de *Botrytis* sporen worden gedood zonder dat er gewasschade te zien is. Dagelijkse behandelingen met ultrasone nevel met 50 ppm vrij chloor die 10 keer zijn gedoseerd over een periode van twee weken geven geen directe gewasschade in de vorm van afstervende bladweefsel, maar wel een zichtbaar verminderde groeikracht. Een vervolgtest liet zien dat de groeiremming was te voorkomen door de behandelmomenten te verminderen en de blootstellingstijd te verkorten. Proeven met verneveling van electrolysewater in een kas staan bij Wageningen UR Glastuinbouw in de planning voor 2013. Dan zal moeten blijken hoe groot de risico's zijn voor materialen in de kas en opstanden als met lage concentraties vrij chloor (< 10 ppm vrij chloor) en zoutgehaltes wordt gewerkt.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

De behoefte aan niet-chemische bestrijdingsmiddelen groeit. De beschikbaarheid van chemische middelen wordt steeds geringer door de hogere eisen die gesteld worden aan emissie in het milieu, residu en specificiteit. Daarnaast zijn belangrijke nadelen: een verminderde effectiviteit door resistentieontwikkeling, verbrandingsverschijnselen na toepassing, nadelige invloed op natuurlijke plaagbestrijders en frequente toediening kost vaak productie. Biologische gewasbeschermingsmiddelen zijn door de moeizame registratieprocedures nog maar beperkt beschikbaar. Toepassing van electrolysewater in de glastuinbouw zou een belangrijke aanvulling kunnen betekenen om onder meer het chemische middelengebruik terug te dringen. Daarnaast kan het tijdens de teelt één van de alternatieve vormen voor het gebruik van pijpzwavel om meeldauw te beheersen.

Electrolysewater wordt verkregen door keukenzout (NaCl) en onthard leidingwater via een electrolyseproces met elkaar te laten reageren waardoor een oplossing ontstaat met een hoog oxidatie-reductie potentiaal (ORP). Deze vloeistof kenmerkt zich door de aanwezigheid van vrij chloor (onderchlorig zuur en hypochloriet). Dit electrolysewater reageert vervolgens sterk met organisch materiaal waaronder schimmels en bacteriën. De werking hiervan is 5-10 keer sterker dan de afzonderlijke producten op basis van chloor of waterstofperoxide. Voor een teler in de praktijk betekent het dat hij één electrolyse-apparaat moet aanschaffen om het water te verkrijgen met een hoog redoxpotentiaal en een tweede apparaat om het water vervolgens te verspreiden (in de kas of in het naaogsttraject).

De toepassing van electrolysewater in de glastuinbouw staat nog maar aan het begin, maar is nog steeds volop in ontwikkeling. Sinds 1 december 2009 is het gebruik van anodische oxidatie op basis van NaCl toegestaan als biocide. Zodra planten behandeld worden met het oogmerk om deze te desinfecteren dan is het een gewasbeschermingstoepassing en is het niet toegestaan. Naar aanleiding van een succesvolle Arenasessie eind 2011 (Arkestein, 2012) is een platform van producenten opgericht die zich samen met LTO Groeiservice wil inzetten om het op termijn toepassingen met electrolysewater beschikbaar te laten komen als een toegelaten gewasbeschermingsmiddel voor de glastuinbouwsector. De overheid stimuleert de aanschaf van milieuvriendelijke apparatuur door subsidie hierop te verlenen via de MIA regeling (2012 en 2013). Een andere positieve ontwikkeling is dat in mei 2012 toelating is verleend voor het gebruik van het middel Ecapro in Ecapro apparatuur voor anodische oxidatie / elektrodiagramalyse van SKW Biosystems B.V., ter bestrijding van de Legionella bacterie en biofilm in waterleidingsystemen voor drinkwater in prioritaire instellingen (volgens artikel 35 van het Drinkwaterbesluit). Dit biedt wellicht ook nieuwe kansen voor toepassingen binnen de glastuinbouwsector.

In 2010 heeft bij Wageningen UR Glastuinbouw een brede screening plaatsgevonden met Aquanox (één van de producten op basis van electrolysewater) tegen ziekten, plagen en natuurlijke plaagbestrijders (Hofland-Zijlstra *et al.* 2010). Tegen plagen en natuurlijke plaagbestrijders werden in dit onderzoek geen negatieve effecten gevonden. Alleen een lichte gevoeligheid van spint voor een behandeling met electrolysewater, een insect die al snel reageert op vochtige omstandigheden. De bacterie die bladvlekkenziekte veroorzaakt in Phalaenopsis bleek onder labcondities met 70% af te nemen. Dit was in de kasproef echter onvoldoende om te voorkomen dat gezonde planten besmet raakten. Meerdere behandelingen zijn waarschijnlijk nodig om de bacterie voldoende terug te dringen. In de kasproeven zijn de beste resultaten tot dusver behaald met het bestrijden van echte meeldauw in een proef met potroos en komkommer. Bij toediening in de kasproeven is steeds gewerkt met drie behandelingen: via ultrasone verneveling, spuitbehandeling (50% Aquanox) en aangietbehandeling. Zowel ultrasone verneveling als spuitbehandelingen bleken een remmende werking te hebben op de ontwikkeling van echte meeldauw. De aangietbehandelingen gaven geen negatief effect op de plantengroei. In de naaogstfase is de ontwikkeling van botrytis op gerbera zeer goed te bestrijden als de plant wordt verneveld voordat de sporen zijn gekiemd. Ditzelfde werd ook aangetoond voor Poinsettia's die éénmalig met ultrasone nevel werden behandeld gedurende 15-30 minuten. In december is nog een extra proef met potroos afgerond. Hieruit kwam naar voren dat er geen verschil in biocidewerking was tussen een zure en neutrale pH. In alle gevallen waren de dagelijkse behandelingen het meest effectief. Bij de behandelingen met ultrasone verneveling was er een remming op de meeldauwontwikkeling van 50-70%,

terwijl de spuitbehandelingen met 50% Aquanox een volledig doding van meeldauw gaven. Bij de spuitbehandelingen was er alleen wel gewasschade zichtbaar aan de bladpunten.

Dit onderzoek had als doel om een aantal struikelblokken weg te nemen die bij bepaalde toepassingen in de weg staan. Eén daarvan is de corrosieve eigenschap van electrolysewater. In de literatuur wordt aangegeven dat electrolysewater bepaalde metalen zoals RVS-304 kan aantasten. Toevoegingen van bepaalde stoffen aan dit electrolysewater kunnen de corrosieve werking echter weer sterk reduceren. Hierop berust een Amerikaans patent waarbij geactiveerd water wordt gebruikt om medische instrumenten te desinfecteren. Het is nog onduidelijk welke van deze stoffen geschikt zullen zijn voor toepassing op gewassen in de glastuinbouw. Het is een belangrijke voorwaarde voor toepassing in de kas dat er geen corrosie mag optreden.

Opschaling - ultrasone verneveling is al wel zeer geschikt om bloemen in de naooft mee te behandelen, maar de specialistische apparatuur is op dit moment nog niet gereed voor grootschalige toepassing tijdens de teelt. Maximale capaciteit 2400 kuub/uur. Toediening via andere methoden van LVM/foggen/hogedruknevelleiding lijken niet geschikt, ondermeer vanwege een te grote druppelgrootte (> 5 micron) waardoor bladverbranding kan optreden en het risico van metaalcorrosie.

Geen nat gewas - Als alternatief voor ultrasone verneveling kan gewerkt worden met een spuitbehandeling waarbij het gedoseerd op het gewas wordt aangebracht, alleen hebben onder andere rozentelers de voorkeur voor een behandeling waarbij het gewas niet nat wordt.

Fytotoxiciteit - Tijdens een aantal behandelingen met de ultrasone nevel bleek er gewasschade op te treden bij jonge, kwetsbare planten (bv. komkommer). Dit moet worden ondervangen door duidelijke richtlijnen vanaf welk plantstadium er is te behandelen. Ook de spuitbehandelingen met 50% Aquanox gaven bij frequente dosering gewasschade. Optimalisatie is nodig middels bijvoorbeeld betere spuittechnieken of met zachtere uitgangproducten te werken.

In 2010 is bij Wageningen UR Glastuinbouw gewerkt met één producent die apparaten levert om dit water te produceren, maar er zijn in de afgelopen jaren meerdere producenten en toeleveranciers die electrolysewater op de markt brengen. Belangrijke verschillen zitten in zuurgraad van het product, het zoutgehalte, kwaliteit van het electrolyseproces en productiecapaciteit van de apparatuur. Binnen dit onderzoek is electrolysewater van verschillende producenten getest en beoordeeld op corrosiegevoeligheid, biocidewerking en fytotoxiciteit.

1.2 Doelstellingen

Dit onderzoek had de volgende doelstellingen.

- Kennisinventarisatie van toepassingen van electrolysewater uit de literatuur (Fase 1).
- Toepassingen van neutraal electrolysewater in de kas ontwikkelen zonder risico's op corrosie van kwetsbare onderdelen in de kas (Fase 2).
- Effectiviteit testen van verschillende soorten van neutraal electrolysewater tegen ziekten en het doormeten van chemische eigenschappen (oa. totaal en vrij chloor, en EC) (Fase 2).
- Ontwikkelen van praktijktoepassingen voor gewasbehandelingen van electrolysewater zonder risico van bladverbranding (Fase 3 en 4).
- Effect van meedruppelen van electrolysewater onderzoeken op bodemziekten, antagonistische schimmels en gewasontwikkeling (Fase 5).
- Ontwikkeling van praktische naoofttoepassing voor behandeling van bloemen, vruchtgroenten, bladgewassen en fustwater (Fase 6).

1.3 Leeswijzer

De kennisinventarisatie die in de eerste fase is uitgevoerd is niet in dit rapport opgenomen, maar als aparte publicatie verschenen in 2011 (Hofland-Zijlstra *et al.* 2011). In Hoofdstuk 2 worden de testen beschreven die gedaan zijn naar de

biocidewerking van verschillende electrolysewaterproducten en hun stabiliteit bij langere bewaring over een periode van 6 maanden. Ook zijn deze producten door Harry Bruning van Sectie Milieutechnologie (Wageningen Universiteit) via een database getoetst op hun corrosieve eigenschappen. Op basis van de informatie die uit de kennisinventarisatie naar voren kwam is wel aan de producenten gevraagd om voor dit onderzoek electrolysewater aan te leveren met een neutrale pH (6-7), ORP 700-800, NaCl gehalte: < 3 g/l en met 50 ppm vrij chloor om de risico's op corrosie zoveel mogelijk te beperken. In Hoofdstuk 3 is beschreven welke testen met kiemplanten en slaplanten zijn gedaan en hoe deze als leidraad kunnen functioneren voor veilige toepassingen van electrolysewater bij gewastoeepassingen. De toepassing waarbij electrolysewater is meegedruppeld met het voedingswater staat beschreven in Hoofdstuk 4. Hierin worden de resultaten besproken van een kasproef met tomaat en de effecten op de ontwikkeling van een ziekteoverbrengende bacterie in de substraatmat en kolonisatie van een antagonistische schimmel. In Hoofdstuk 5 is te lezen welke concentratie van vrij chloor het electrolysewater moet bevatten voor een optimale bestrijding van Botrytispokken op gerberabloemen in de naoogst. Het laatste discussiehoofdstuk gaat in op veiligheid voor het gewas, de kasmaterialen en toedieners en het toekomstperspectief van toepassingen van electrolysewater in de glastuinbouwsector.

2 Corrosierisico, biocidewerking en stabiliteit van neutraal electrolysewater

Aan de producenten van electrolysewaterfloeistof was gevraagd om materiaal aan te leveren met een neutrale pH (6-7), ORP 700-800, NaCl gehalte: < 3 g/l en met 50 ppm vrij chloor. Gedurende de testperiode zijn deze producten koel (4 °C) en in het donker bewaard en voorafgaand aan iedere test opnieuw doorgemeten.

2.1 Inschatting corrosiesnelheid (mbv database)

Dit onderdeel is uitgevoerd door Wageningen Universiteit, sectie Milieutechnologie door dhr. H. Bruning. De resultaten van corrosieberekeningen zijn uitgevoerd met OLIanalyzer software. In de berekeningen is een simulatie gedaan van een druppel EAW die verdampt op een RVS oppervlak. Het RVS corrodeert, en omdat door het verdampen de druppel steeds geconcentreerder in FAC wordt, neemt de corrosiesnelheid, dat is de snelheid waarmee de RVS dunner wordt, toe met het verdwijnen van het water. De resultaten staan in onderstaande grafieken.

De betekenis van de grafieken is de volgende: er wordt uitgegaan van 1 liter druppels, dat komt overeen met 55,55 mol water; alle grafieken starten derhalve aan de rechterkant bij water=55,55; van rechts naar links verdwijnt het water en neemt de corrosiesnelheid toe. Hoe sneller de snelheid toeneemt, des te corrosiever is het EAW. Voor de corrosieberekeningen is uitgegaan van RVS 304. In contact met puur water is de corrosiesnelheid $2,8 \cdot 10^{-3}$ mm/jaar. De temperatuur is 25 °C.

| | Total chlorine (mg/l) | FAC (mg/l) | EC | pH | ORP (mV) |
|---------------|-----------------------|------------|--------|-------|----------|
| NaOCl (1,25%) | 100 | 1.5 | 46.5 | 11.74 | 424 |
| Controle | 0 | 0 | 0.0282 | 8 | 280 |
| EAW 1 | 64 | 64 | 2.2 | 8.2 | 700 |
| EAW 2 | 50 | 49 | 1.38 | 7.3 | 805 |
| EAW 3 | 65 | 64 | 3.2 | 6.7 | 800 |
| EAW 4 | 68 | 65 | 1.4 | 6.3 | 868 |
| EAW 5 | 38 | 36 | 4.1 | 6.25 | 770 |
| EAW 6* | 69 | 45 | 0.22 | 6.07 | 585 |

Tabel 2.1. Meetgegevens van electrolysewatermonsters (gecodeerd als EAW). * Voor dit oxidatieve product zijn de chloorwaardes fout weergegeven. Deze moeten nul zijn, omdat het product geen chloor bevat. Deze fout werd pas na het inzetten van de test ontdekt en kon niet meer worden hersteld.

De gegevens van NaOCl (1,25%) zijn inconsistent: bij een gehalte van 1,25% zou de FAC 6000 mg/l moeten zijn i.p.v. 1,5. NaOCl is daarom nog niet meegenomen in de corrosieberekeningen.

De corrosie-berekeningen zijn gedaan met de concentraties in Tabel 2, die berekend zijn uit de gegevens van Tabel 1. NaOCl concentratie is berekend op basis van de FAC, NaCl op basis van (FAC-Total chlorine), HCl op basis van de pH.

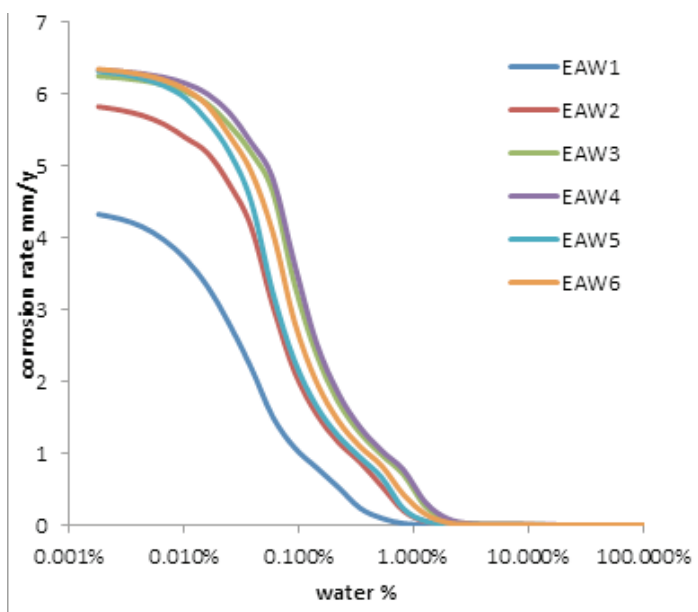
| | NaCl (mM) | NaOCl (mM) | HCl (mM) | pH |
|--------|-----------|------------|----------|------|
| EAW 1 | 0.00 | 1.81 | 0.32 | 8.2 |
| EAW 2 | 0.03 | 1.38 | 0.87 | 7.3 |
| EAW 3 | 0.03 | 1.81 | 1.58 | 6.7 |
| EAW 4 | 0.08 | 1.83 | 1.73 | 6.3 |
| EAW 5 | 0.06 | 1.02 | 0.97 | 6.25 |
| EAW 6* | 0.68 | 1.27 | 1.23 | 6.07 |

Tabel 2.2. Concentraties die gebruikt zijn in de corrosie-berekeningen. * zie opmerking Tabel 2.1.

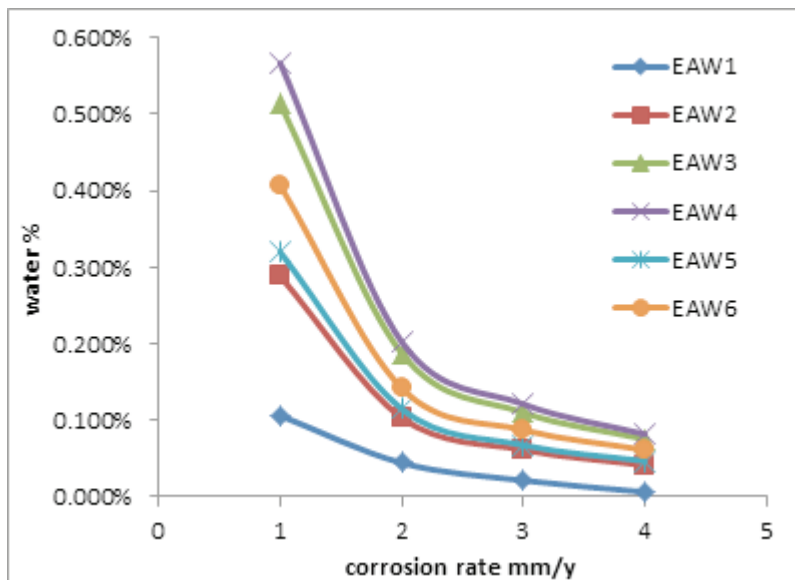
De op grond van Tabel 2.2. berekende EC en ORP komt niet overeen met de waarden in Tabel 2.1. Een verschil in EC duidt er op dat er nog andere componenten aanwezig zijn, b.v. opgelost CO₂. Het verschil in ORP is te verklaren uit het gegeven dat de oplossingen metastabiel zijn. In stabiele situatie zou het onderchlorig zuur gereageerd hebben met water en verdwenen zijn. Deze reactie is traag en derhalve is niet te voorspellen met een berekening wat de actuele ORP is.

Conclusie

Als je alle curves in 1 grafiek zet, zie je dat EAW1 zich duidelijk onderscheidt van de andere. Als je een corrosiesnelheid van >1 mm/jr als hoog beschouwt, dan zie je dat bij verdampende nevel EAW1 daar pas aankomt als 99.9% van het water verdampt is, en de andere al bij lagere waarden. EAW2 - EAW5 zijn dus 3 tot 6 maal langer hoog corrosief dan EAW1.



Figuur 2.1. Berekende corrosiesnelheid uitgedrukt in mm/jaar (mm/y) voor vijf verschillende electrolysewaters. De waarde voor EAW6 moet buiten beschouwing worden gelaten ivm een meetfout aan het chloorgehalte.



Figuur 2.2. Detailweergave van Figuur 2.1. tot aan corrosiesnelheid van 4 mm/jr. De waarde voor EAW6 moet buiten beschouwing worden gelaten ivm een meetfout aan het chloorgehalte.

2.2 Effectiviteitstest bacterie, *Erwinia chrysanthemi*

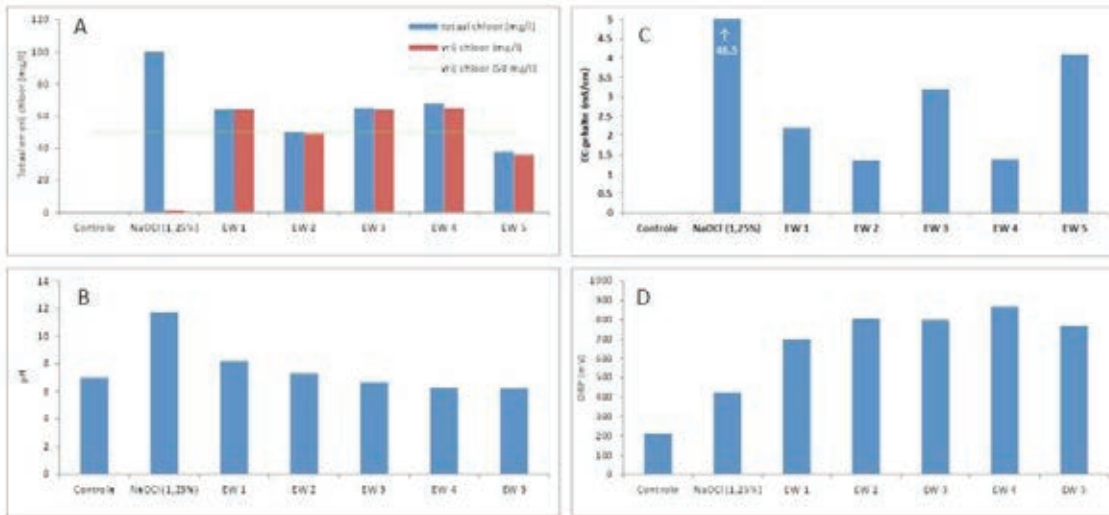
2.2.1 Doelstelling en opzet van de proef

Het doel van deze test was om de effectiviteit te testen van verschillende producten met neutraal electrolysewater om bacteriecellen van *Erwinia chrysanthemi* te doden bij een inwerktijd van 5 minuten.

Voor het inzetten van de test zijn alle aangeleverde producten vooraf doorgemeten op de hoeveelheid totaal en vrij chloor (onderchlorig zuur, HOCl en hypochloriet, OCl-) met een Palin ChloroSense apparaat. Verder is de pH, EC en ORP (oxidatie-reductiepotentiaal) bepaald.

In deze test is gewerkt met een isolaat van *Erwinia chrysanthemi* (afkomstig van PPO Lisse), een ziekteverwekker die in bollen voorkomt en die in eerdere testen zeer gevoelig is gebleken voor electrolysewater. De dag voordat de testen werden ingezet zijn steriele vloeibare voedingsbodems geïnoculeerd met een enkele *Erwinia* kolonie welke na een nacht incubatietijd bij kamertemperatuur voldoende verse bacteriën kon leveren voor de proef.

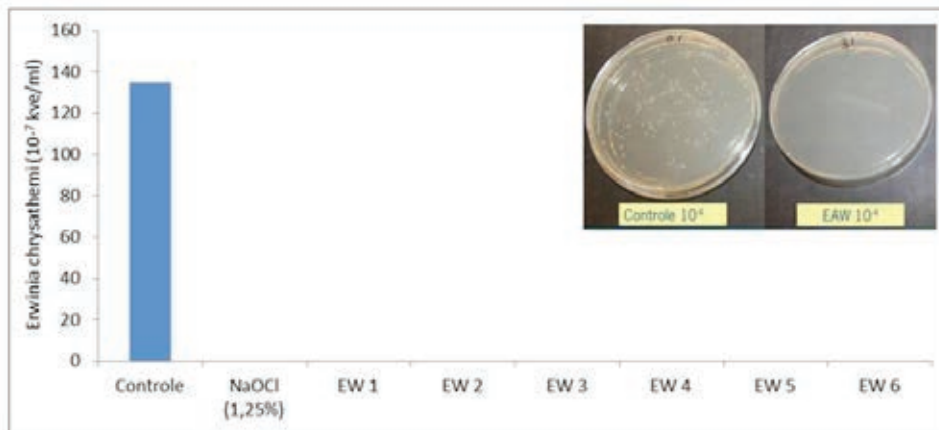
Op een testdag werd in een steriele buis in een verhouding van 1:9 de bacteriesuspensie (10^7 kve) gemengd met electrolysewater. Na vijf minuten inwerktijd werd de reactie gestopt door toevoeging van een neutraliserende buffer. Vervolgens verdund tot telbare concentraties 10^5 - 10^7 (dit was eerder al bepaald in een voortest) en in duplo uitgeplaat op een steriel voedingsmedium (NA). Na 1 dag incubatie bij kamertemperatuur werden de kolonievormende eenheden (kve) geteld bij de verschillende uitplaatverduningen van iedere behandeling.



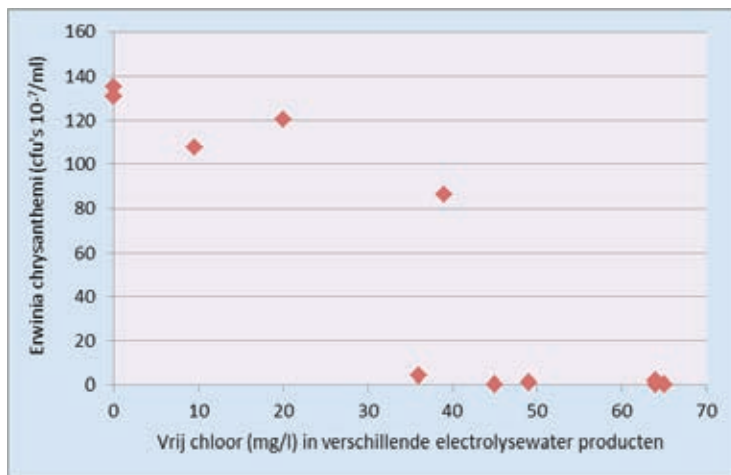
Figuur 2.3. Overzicht van concentraties van totaal en vrij chloor (A), pH (B), EC gehalte (C) en ORP waarden (D) in vijf geteste electrolysewater producten (EW 1-5), bleekwater (natriumhypochloriet, NaOCl) en demiwater (controle).

2.2.2 Resultaten

De effectiviteit van verschillende electrolysewater producten op *Erwinia chrysanthemi* bij een inwerktijd van 5 minuten zijn weergegeven in Figuur 2.4. Alle aangeleverde producten tonen een sterke bacteriedodende werking ten opzichte van de onbehandelde controle met steriel demiwater. Kritische grenswaarde voor 100% doding van *Erwinia chrysanthemi* ligt voor de meeste producten rond 45 ppm vrij chloor, terwijl één van de geteste producten, EAW 5 bij 36 ppm ook al volledige bacteriedoding gaf. De producten waren verschillend in EC- en pH waarden, maar de effectiviteit lijkt vooral te worden bepaald door de hoeveelheid vrij chloor. Zodra de producten getest werden met daarin lagere concentraties vrij chloor (bijv. door een extra verdunningsstap) dan liep de effectiviteit snel terug (Figuur 2.5.).



Figuur 2.4. Gemiddelde aantal kve van *Erwinia chrysanthemi* (10^7 /ml) bij een inwerktijd van 5 minuten met verschillende electrolysewater producten (EW 1-5) en een ander oxidatief product (EW 6).



Figuur 2.5. Correlatie tussen de afdoding van de bacterie, *Erwinia chrysanthemi* bij verschillende concentraties vrij chloor (mg/l) in electrolysewater producten van producenten.

2.2.3 Conclusie

In deze laboratoriumtest was het contact tussen het electrolysewater en de bacteriën optimaal. Alle aangeleverde neutrale electrolysewater producten met daarin 36 tot 65 ppm vrij chloor waren in staat om binnen 5 minuten 100% bacteriedoding te bereiken. De onderlinge verschillen tussen de producten in EC, ORP en pH lijken voor de biocidewerking van ondergeschikt belang.

2.3 Effectiviteitstest schimmel, *Botrytis cinerea*

2.3.1 Doelstelling en opzet van de proef

Het doel van deze test was om de effectiviteit te testen van verschillende producten met neutraal electrolysewater om sporen van de schimmel, *Botrytis cinerea* te doden bij een inwerktijd van 5 minuten.

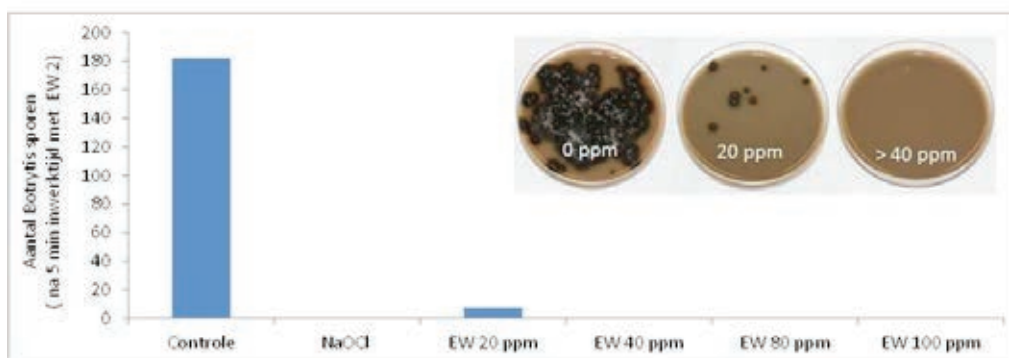
Bij deze test zijn niet alle producten van de producenten getest. Naar aanleiding van de test met *Erwinia* kwam naar voren dat de concentratie vrij chloor bepalend lijkt te zijn voor de effectiviteit. Daarom is besloten om met het product EW 2 (zie voor de eigenschappen van 50 ppm vrij chloor Figuur 2.3.) een dosis-responstest te doen waarbij *Botrytis* sporen zijn blootgesteld aan verschillende concentraties van vrij chloor in het electrolysewater.

Op een testdag werd in een steriele buis in een verhouding van 1:9 de suspensie met *Botrytis* schimmelsporen (10^4 kve/ml) gemengd met electrolysewater. Na vijf minuten inwerktijd werd de reactie gestopt door toevoeging van een neutraliserende buffer, deze is na 5 minuten in duplo uitgeplaat op een specifiek *Botrytis* medium (SBM). Na 2-3 dagen incubatie bij 22 °C werden de kolonievormende eenheden (kve's) geteld.

2.3.2 Resultaten

Met een concentratie van 40 ppm vrij chloor kiemen er geen sporen meer van *Botrytis* na een blootstellingstijd van 5 minuten (Figuur 2.6.). Bij een lagere dosering van 20 ppm zijn er enkele sporen in staat om te kiemen, maar wordt 96% volledig afgedood.

Deze uitslag komt goed overeen met de eerdere resultaten uit de test met *Erwinia chrysanthemi* en waardes uit de literatuur.



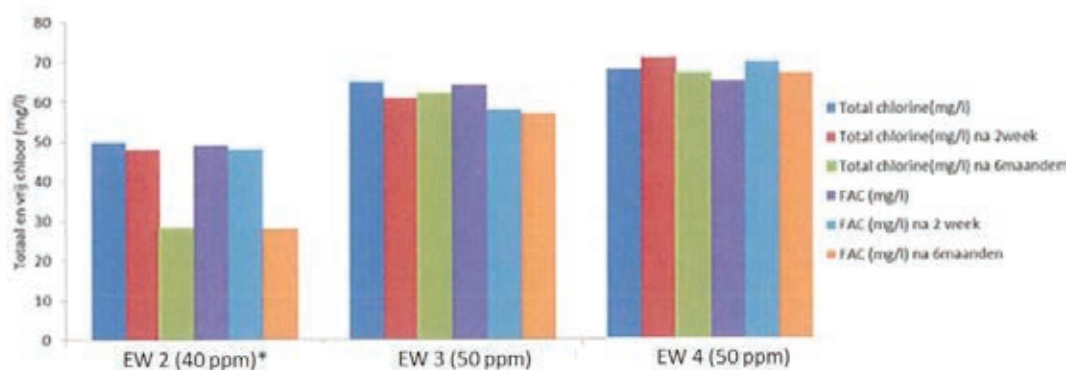
Figuur 2.6. Aantal sporen van *Botrytis cinerea* na behandeling met electrolysewater (EW 2) met verschillende concentraties vrij chloor (mg/l).

2.3.3 Conclusie

Bij maximale contactwerking in water zijn alle *Botrytis* sporen te doden met electrolysewater producten die circa 40 ppm vrij chloor bevatten. De LD₉₅ ligt lager bij 20 ppm vrij chloor.

2.4 Stabiliteit electrolysewaterproducten

Een aantal electrolysewaterproducten (EW 2, 3 en 4) zijn gedurende een periode van minimaal 6 maanden bewaard in het donker onder koele condities (4° C). De meeste producten waren opgeslagen met 50 ppm vrij chloor, maar enkele producenten leverden hogere concentraties aan. In Figuur 2.7. is te zien dat onder koele condities de hoeveelheid van de producten met lage concentraties zeer stabiel blijven met een zeer gering verval. Bij het onverdunde product van 400 ppm is na 6 maanden opslag de helft van het vrij chloor niet meer aanwezig in de vloeistof.



Figuur 2.7. Een overzicht van de gehalten van totaal chloor (total chlorine) en vrij chloor (FAC) in drie electrolysewaterproducten die na twee weken en 6 maanden gekoelde, donkere bewaring werden teruggemeten.

* EW 3 en EW 4 zijn opgeslagen bij een concentratie van 50 ppm, bij EW 2 is het product bewaard als 400 ppm en op de meetdagen na 2 weken en 6 maanden terugverdund naar 40 ppm om de waarden in de grafiek beter te kunnen vergelijken met de andere twee producten.

3 Risico op gewasschade

3.1 Testen met kiemplanten

Het verslag van dit onderdeel is opgesteld door Patricia de Boer (o.l.v. Chris Blok).

3.1.1 Algemeen

Door elektrolyse van onthard leidingwater en zout (NaCl) ontstaan onderchlorig zuur (HOCl) en hypochlorietionen (OCl⁻), samen vormen zij vrij chloor. Onderchlorig zuur is elektrisch neutraal en draagt dus niet bij aan de EC, hypochloriet is elektrisch negatief. De verhouding tussen onderchlorig zuur en hypochlorietionen is afhankelijk van de pH. De pH van de in de biotoets geteste oplossingen is op 5.5 gebracht, bij deze pH is het gehalte aan onderchlorig zuur groter dan 90%, terwijl de concentratie hypochlorietionen lager is dan 10%.

3.1.2 Uitvoering biotoets (Fytotoxkit)

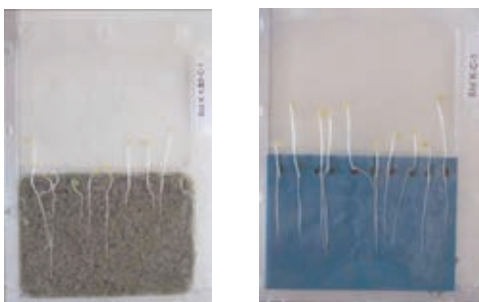
Datum uitvoering bepalingen: 9 t/m 12 juli (EW 3) en 17 t/m 20 juli (EW 4)

Uitvoerders: Cora van den Bosch, Rozemarijn de Vries en Ariyati Ayik

Via een biotoets (Fytotoxkit) is getest of groeiremming van kiemplanten optreedt bij opname van elektrolyse water. De biotoets is uitgevoerd met de testgewassen tuinkers, mosterd en Sorghum, met elektrolyse water EW 3 en EW 4. Uitgaande van oplossingen met 400 ppm vrij chloor is een concentratiereeks gemaakt in standaard komkommervoeding (StdK). In Tabel 3.1. zijn de kenmerken van het uitgangswater weergegeven, Tabellen 3.2 en 3.3 tonen de concentratiereeks.

Om een effect van de pH of EC op de kieming en groei van de testplanten te voorkomen, zijn de pH en EC van alle behandelingen gelijk gesteld. De pH van de oplossingen is op 5.5 gebracht. De biotoets wordt standaard uitgevoerd bij een EC van 2 mS/cm. Omdat het elektrolyse water zouten bevat en dus bijdraagt aan de EC is voor deze test een hogere EC aangehouden. De EC is voor EW 3 op 4.3-4.4 mS/cm en voor EW 4 op 3.0-3.2 mS/cm gebracht door toevoeging van standaard komkommervoeding. Omdat het elektrolyse water bijdraagt aan de EC is minder voedingsoplossing toegevoegd naarmate de hoeveelheid elektrolyse water hoger was.

Standaard wordt de test uitgevoerd door de zaden te leggen op met de testoplossing bevochtigd zaadtestpapier op een laag steenwolgranulaat (Figuur 1.). Omdat vrij chloor zal reageren met het zaadtestpapier is gekozen deze test uit te voeren zonder zaadtestpapier. Om een indruk te krijgen van eventuele afname van de concentratie vrij chloor is steenwolgranulaat in elektrolyse water gedrenkt en twee dagen donker, bij 5 °C bewaard. De concentratie vrij chloor in het elektrolyse water nam af van 2.8 ppm tot 2.4 ppm. Per concentratie zijn 4 herhalingen ingezet, elk met 10 zaden. Na een incubatieperiode van drie dagen is de spruit- en wortellengte van de zaailingen gemeten. De resultaten zijn statistisch geanalyseerd met behulp van een REML analyse (Student, $P < 0.05$).



Figuur 3.1. Standaard testmethode met blauw zaadtestpapier op een laag steenwolgranulaat (links) en de voor deze test gebruikte testmethode zonder zaadtestpapier (rechts).

Tabel 3.1. Eigenschappen van het gebruikte uitgangswater.

| Concentratie | | | | | | | | |
|--------------|----------|---------------------------------|----------|----------|----------|---------|---------|-----|
| Vrij chloor | | Totaal (vrij + gebonden) chloor | | Chloor | Natrium | EC | pH | |
| (ppm) | (mmol/l) | (ppm) | (mmol/l) | (mmol/l) | (mmol/l) | (mS/cm) | (mS/cm) | |
| EW 3 | 390 | 11.0 | 390 | 11.0 | 90 | 75 | 9.0 | 6.8 |
| EW 4 | 400 | 11.3 | 750 | 21.2 | 29 | 28 | 3.6 | 7.1 |

Tabel 3.2. Overzicht van de geteste concentratiereeks met EW 3.

| Concentratie* | | | | | | EC | | |
|---------------|----------|---------------------------------|----------|----------|----------|----------------|----------------|------------------|
| Vrij chloor | | Totaal (vrij + gebonden) chloor | | Chloor | Natrium | Eind-oplossing | EC-bijdrage EW | EC-bijdrage StdK |
| (ppm) | (mmol/l) | (ppm) | (mmol/l) | (mmol/l) | (mmol/l) | (mS/cm) | (mS/cm) | (mS/cm) |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0.2 | 0.2 | 4.3 | - | 4.3 |
| 15 | 0.4 | 20 | 0.6 | 16 | 13 | 4.4 | 1.6 | 2.6 |
| 68 | 1.9 | 75 | 2.1 | 31 | 26 | 4.4 | 3.2 | 1.0 |
| 187 | 5.3 | 190 | 5.4 | 37 | 30 | 4.3 | 3.7 | 0.6 |

Tabel 3.3. Overzicht van de geteste concentratiereeks met EW 4.

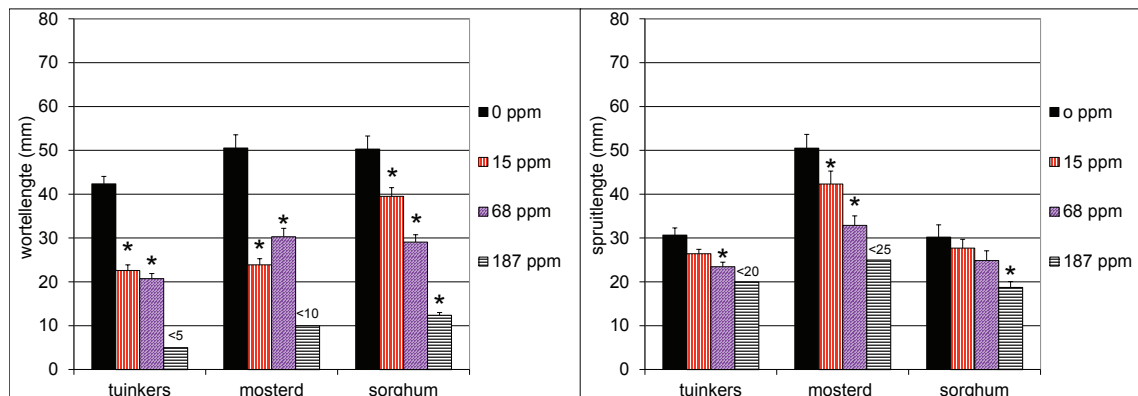
| Concentratie* | | | | | | EC | | |
|---------------|----------|---------------------------------|----------|----------|----------|----------------|----------------|------------------|
| Vrij chloor | | Totaal (vrij + gebonden) chloor | | Chloor | Natrium | Eind-oplossing | EC-bijdrage EW | EC-bijdrage StdK |
| (ppm) | (mmol/l) | (ppm) | (mmol/l) | (mmol/l) | (mmol/l) | (mS/cm) | (mS/cm) | (mS/cm) |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0.2 | 0.4 | 3.0 | - | 3.0 |
| ***5 | 0.1 | 64 | 1.8 | 8 | 8 | 3.2 | 1.0 | 2.2 |
| 19 | 0.5 | 40 | 1.1 | 10 | 9 | 3.0 | 1.2 | 1.7 |
| 77 | 2.2 | 100 | 2.8 | 12 | 11 | 3.0 | 1.4 | 1.5 |
| 106 | 3.0 | 120 | 3.4 | 15 | 15 | 3.2 | 1.9 | 1.2 |
| 160 | 4.5 | 180 | 5.1 | 17 | 16 | 3.2 | 2.1 | 1.0 |
| 240 | 6.8 | 240 | 6.8 | 20 | 20 | 3.2 | 2.5 | 0.5 |

* De hoeveelheid vrij chloor en totaal (vrij + gebonden) chloor is gemeten met een ChloroSense meter. Vrij chloor= totale concentratie onderchlorig zuur en hypochloriet. Totaal (vrij + gebonden) chloor= De totale concentratie vrij chloor en gebonden chloor. Chloor reageert met opgeloste organische en anorganische verbindingen in het water, deze verbindingen (waaronder chlooramines, chemische verbindingen met chloor, stikstof en waterstof) worden gebonden chloor genoemd. De elementen-concentratie in het uitgangswater is geanalyseerd door Groen Agro Control. De oplossing wordt in een ICP gebracht waarbij gemeten wordt in een plasma (geïoniseerd gas bij >5000 K). Dit is dus een bepaling van alle Chloor-atomen in het monster hoe ze ook in verbindingen gebonden zaten. Dit getal moet dus altijd hoger zijn dan welke andere bepaling van Chlooratomen ook (1 mmol Cl is 35.4 mg). Het niveau van de overige elementen in de oplossing is zeer laag.

*** De tuinkers zaden zijn niet gekiemd bij deze behandeling, de groei van mosterd en Sorghum was geremd. Het lijkt niet aannemelijk dat dit daadwerkelijk het gevolg was van de geteste concentratie. Om deze reden is gekozen de resultaten van de oplossing met 5 ppm vrij chloor niet weer te geven.

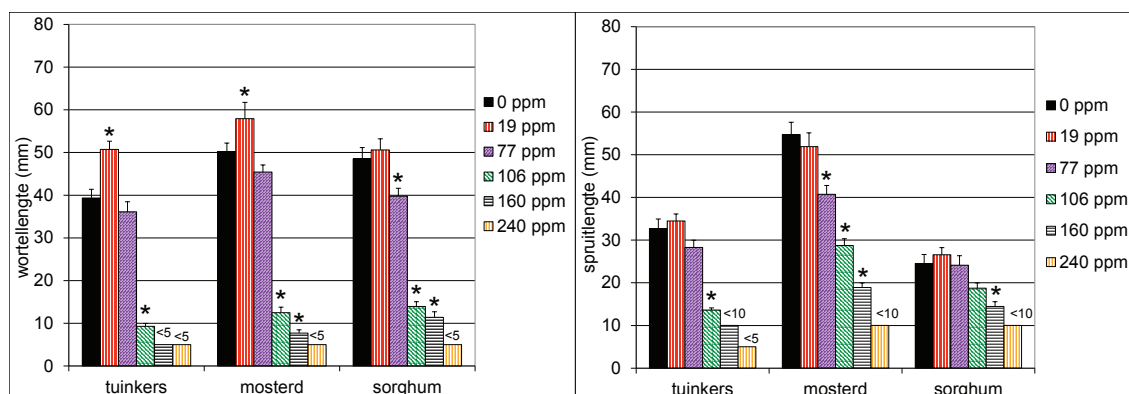
3.1.3 Resultaten biotoets op basis van vrij chloor

Bij EW 3 waren de wortels en spruiten significant in de behandeling met 15 ppm vrij chloor korter dan bij de controlebehandeling met 0 ppm vrij chloor (Tabel 3.3, Figuur 3.2.). Met name de groei van de wortels was geremd, de wortels van tuinkers, mosterd en Sorghum waren respectievelijk 47%, 53% en 21% korter dan bij de controlebehandeling. De wortels en spruiten waren korter naarmate meer elektrolyse water was toegevoegd.



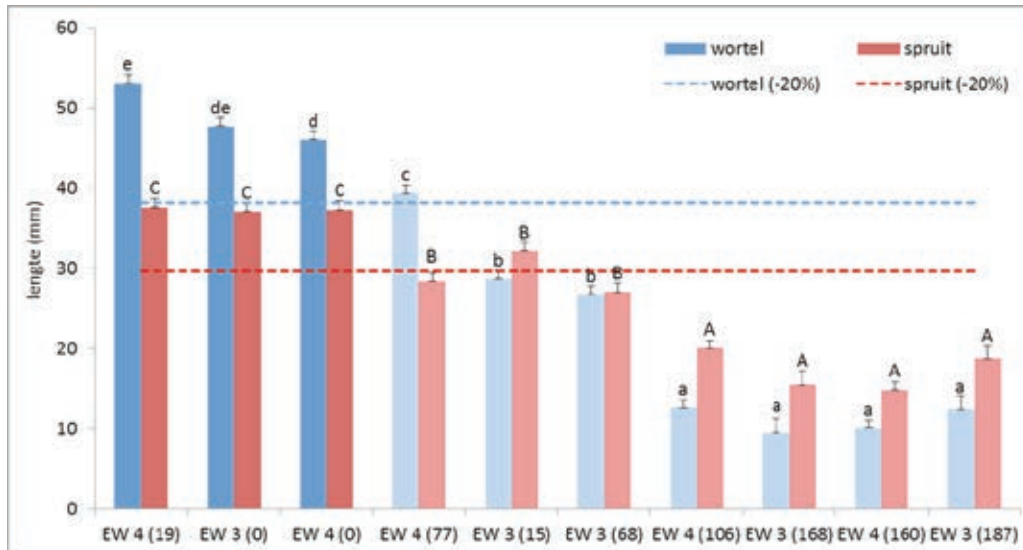
Figuur 3.2. Gemiddelde wortel- en spruitlengte van drie testgewassen bij EW 3, met verschillende concentraties vrij chloor. Foutbalken geven de standaardfout weer. Een * boven de kolom geeft een significant verschil met standaard komkommervoeding (0 ppm) aan ($P < 0.05$).

Bij EW 4 trad in de behandeling met 19 ppm vrij chloor geen groeiremming op (Tabel 3.4, Figuur 3.2.). De wortels van tuinkers en mosterd waren significant langer dan bij de controlebehandeling, dit verschil bedroeg respectievelijk 29% en 15%. Bij 77 ppm was met name de spruitlengte van mosterd korter dan bij de controle, het verschil bedroeg 26%. Bij 106 ppm vrij chloor trad bij alle testgewassen significante groeiremming op. Het effect op de wortelgroei was sterker dan het effect op de groei van de spruit. Het verschil in wortellengte met de controlebehandeling bedroeg respectievelijk 76%, 75% en 71% voor tuinkers, mosterd en Sorghum.



Figuur 3.3. Gemiddelde wortel- en spruitlengte van drie testgewassen bij EW 4, met verschillende concentraties vrij chloor. Foutbalken geven de standaardfout weer. Een * boven de kolom geeft een significant verschil aan ten opzichte van de standaard komkommervoeding (0 ppm) ($P < 0.05$).

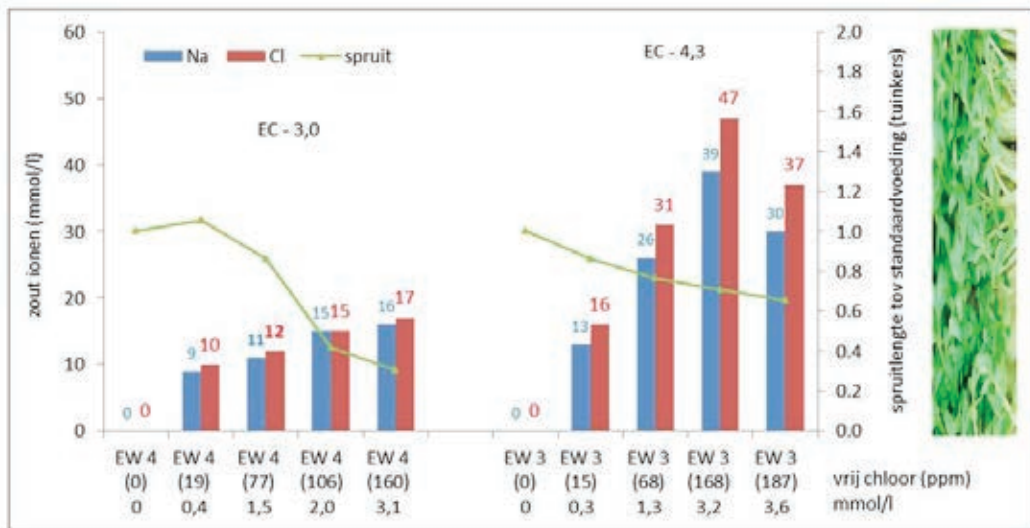
Figuur 3.4. geeft een overzicht van de wortel- en spruitlengtes waarbij de resultaten van alle drie toetsgewassen voor de verschillende behandelingen met electrolysewater zijn samengevoegd. Ook dan is er een significant effect op wortelgroei bij geringe doseringen EW 4 water met een laag EC gehalte dankzij de positieve uitslagen in de tuinkers en Sorghumtoets. Bij hogere concentraties vrij chloor (en zoutgehaltes) treedt er zichtbare remming op van wortel en spruit. In de fytotoxkits wordt meestal al regel gehanteerd dat pas bij 20% vermindering van groeikracht er van betrouwbare groeiremming mag worden gesproken. Dit blijkt voor onze dataset aardig te kloppen. Ruwweg vanaf 15 of 20 ppm tot 80 ppm vrij chloor is er sprake van 20-40% groeiremming. Bij waarden hoger dan 100 ppm kan er zelfs meer dan 40% groeiremming ontstaan en ook kieming verminderen of zelfs volledig remmen.



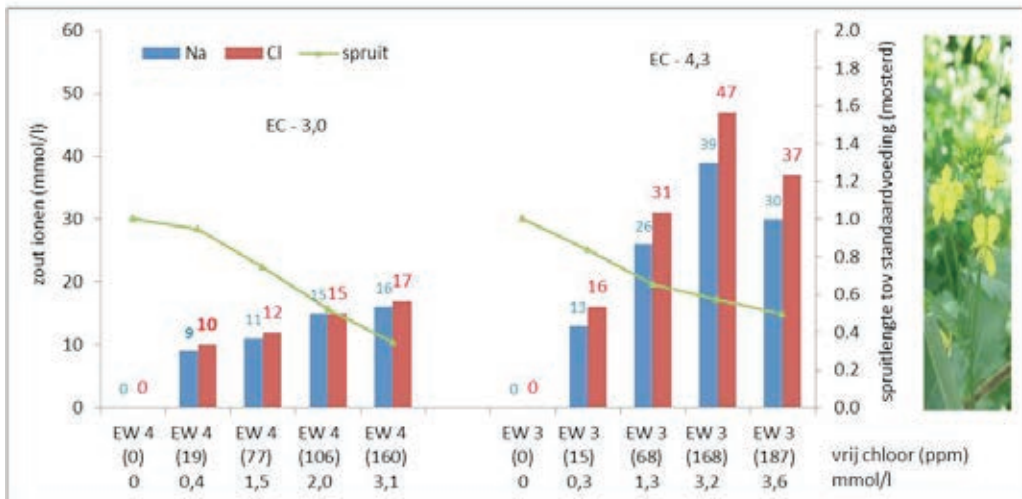
Figuur 3.4. Overzicht van de wortel- en spruitlengtes waarbij alle drie toetsgewassen voor de verschillende behandelingen met electrolysewater zijn samengevoegd.

3.1.4 Resultaten biotoets op basis van zoutgehalte

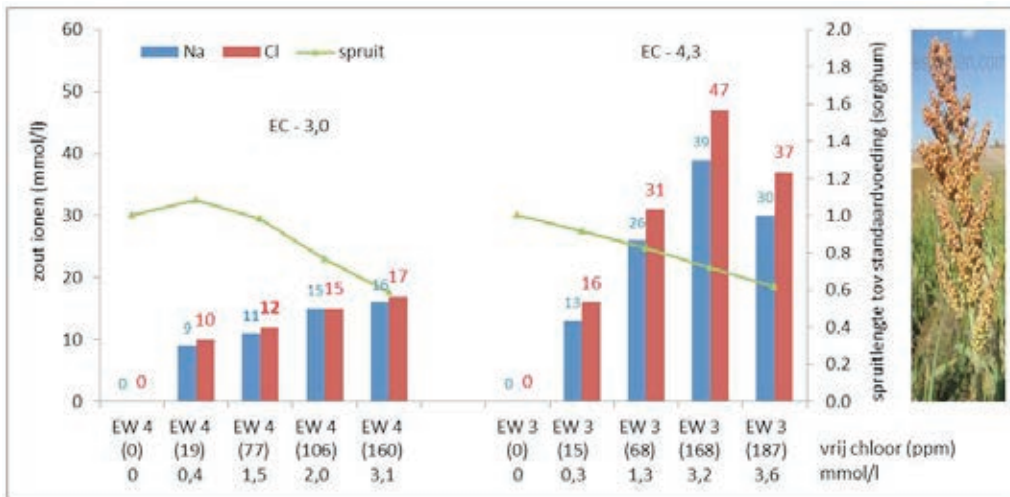
In deze paragraaf zijn de resultaten vertaald op basis van het zoutgehalte welke aanwezig was in de verschillende fytotoxkits als gevolg van de electrolysewaterbehandelingen. Er werd bij instellen van de proef voor gekozen om de vrij chloorniveaus als eindniveau in te stellen. Door een sterke reactie met voedingswater liepen hierdoor de zoutwaardes relatief hoog op. Daardoor zijn de lage grenzen die doorgaans in de praktijk bij het meedruppelen worden gedoseerd niet getest (< 15 ppm en 1 mmol NaCl/l). Zoals uit Figuur 3.5. tot 3.7 blijkt zijn de grenzen van gewasschade sterk afhankelijk van EC gehalte (Na, Cl) van electrolysewater, EC voedingswater en gewastolerantie. Bij het omrekenen van reële zoutgehaltes die meegegeven worden als startdosering (ipv eindconcentratie) en de gevonden grenswaarden voor gewasschade dan is er per product een goed advies op maat mogelijk voor elk product en per gewas als hiervan de zoutwaardes zijn doorgemeten. In Figuur 3.8. is een voorbeeld gegeven voor een tomatengewas. Voor het product EW 3 zal op basis van een praktijkdosering tot 40 ppm bij een korte blootstellingstijd nog geen risico op gewasschade te verwachten zijn, zelfs niet als deze hoge concentratie uit de druppelaar zou komen.



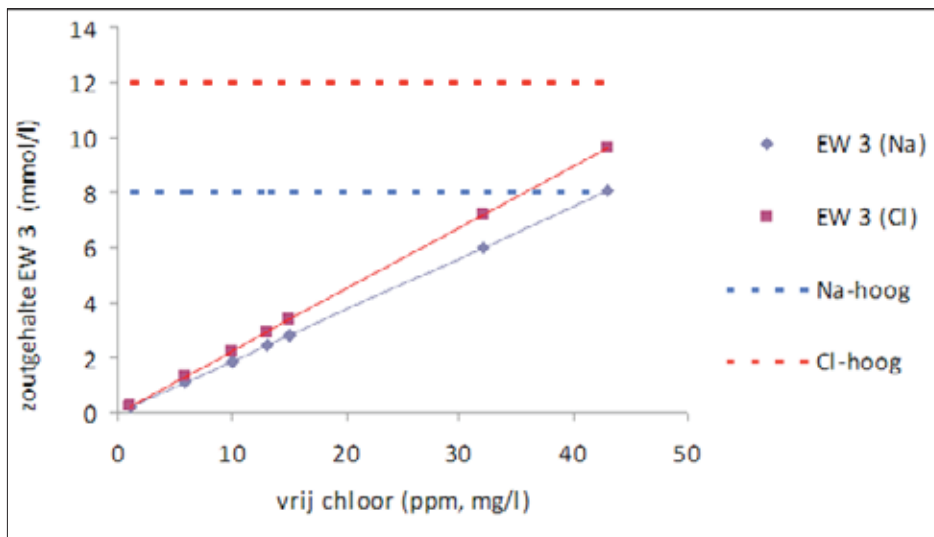
Figuur 3.5. Resultaten van de bio-toets met tuinkers met daarin de concentraties van natrium en chloorionen (mmol/l) voor EW 3 en EW 4.



Figuur 3.6. Resultaten van de bio-toets met mosterd met daarin de concentraties van natrium en chloorionen (mmol/l) voor EW 3 en EW 4.



Figuur 3.7. Resultaten van de biotoets met Sorghum met daarin de concentraties van natrium en chloorionen (mmol/l) voor EW 3 en EW 4.



Figuur 3.8. Ontwikkeling doseeradvies op maat mogelijk voor elk product en per gewas. In de grafiek is een voorbeeld gegeven voor tomaat: bij EW 3 tot 40 ppm nog geen risico op gewasschade te verwachten als deze hoge concentratie uit de druppelaar zou komen.

3.1.5 Discussie en conclusie

Bij EW 3 resulteerde de behandeling met 15 ppm vrij chloor in groeiremming bij alle testgewassen. Bij EW 4 resulteerde de behandeling met 106 ppm vrij chloor in groeiremming bij alle testgewassen, de behandeling met 77 ppm had alleen een negatief effect op de groei van de spruit van mosterd en de wortel van Sorghum. Opvallend is dat de wortels van tuinkers en Sorghum bij elektrolyse water van EW 4 met 19 ppm vrij chloor langer zijn dan bij de controlebehandeling. Mogelijk is dit het gevolg van een positief effect van chloor op de kieming of een positief effect van de ontsmettende werking van chloor. Anderzijds kan het gevolg zijn van een stressreactie van de wortels.

Het EC-effect kan groeiremming niet verklaren.

De EC beïnvloedt de groei. Bij EC waarden beneden een bepaalde waarde zal de opbrengst toenemen. Wanneer de EC een bepaalde maximum waarde overschrijdt, neemt de opbrengst af naarmate de EC verder toeneemt (Sonneveld en Voogt, 2009, p129-132). Om een EC-effect op de groei te voorkomen, was de EC van de oplossingen gelijk. Doordat elektrolyse water bijdraagt aan de EC, is bij de hoogste concentratie elektrolyse water minder voeding toegevoegd dan bij de laagste concentratie elektrolyse water. Er is minimaal 0.5 mS/cm aan standaard komkommervoeding toegevoegd. Wanneer deze hoeveelheid voeding beperkend is voor de groei, kan dit de groei bij hogere concentraties elektrolyse water hebben

beïnvloed. In een andere toets is een vergelijking gemaakt tussen de groei bij demiwater met (EC 2.2) en zonder standaard komkommervoeding. Het weglaten van voeding had geen significant effect op de wortellengte van de drie testgewassen. De spruiten van tuinkers en mosterd waren beide 32% korter dan bij de behandeling met voeding, er was geen effect op de spruitlengte van Sorghum. Een gebrek aan voeding kan de sterke groeiremming bij de behandelingen met hoogste concentraties elektrolyse water dus niet verklaren.

Invloed van zout op plantengroei

Het gevonden behandelingseffect op de groei kan het gevolg zijn geweest van verschillen in concentratie vrij chloor. Daarnaast kan de opname van hoge concentraties natrium een negatief effect hebben op de groei van gewassen. De natriumconcentratie was hoger bij EW 3 dan bij EW 4 (Tabellen 1-3). De natriumconcentratie was 13 mmol/l bij 15 ppm-EW 3, 11 mmol/l bij 77 ppm-EW 4 en 15mmol/l bij 106 ppm-EW 4. De gevoeligheid voor natrium verschilt per gewas. In de praktijk wordt een maximale natriumconcentratie van 4 mmol/l (roos), 6 mmol/l (paprika) of 8 mmol/l (tomaat, komkommer, aubergine) aangehouden, bij hogere waarden in het drainwater is het toegestaan om drainwater te lozen. Dit zijn 'veilige' waarden, hogere concentraties hoeven niet per definitie schade te geven. Of schade ontstaat is bovendien afhankelijk van de EC die wordt gegeven (Sonneveld en Voogt, 2009, p135-137). Zo leidde toediening van 10 mmol/l natrium tot een lagere opbrengst bij Bouvardia bij een EC van 2.0 mS/cm, bij een EC van 3.0 was het negatieve effect van natrium veel geringer. Bij de roos 'Frisco' is het effect van toediening van 10 mmol/l NaCl op de productie onderzocht bij twee EC-niveau's van 0.9 en 1.9 mS/cm (Baas en Van der Berg, 2004). Alleen bij lage EC (0.9 mS/cm) was er een negatief effect van NaCl op de productie. Bij de roos 'Madelon' zijn behandelingen met en zonder 12 mmol/l NaCl vergeleken, beide met een EC van 3.4, en was er geen significant effect van toevoeging van 12 mmol/l NaCl op de productie (Baas en Van der Berg, 2000). In veel andere onderzoeken, zoals de hier beschreven testen bij roos, is het effect van toediening van NaCl getest en was het niet mogelijk onderscheid te maken tussen natrium en chloor. In de onderzoeken met Bouvardia is onderscheid gemaakt tussen natrium en chloor en bleek met natrium toediening schade te veroorzaken, dit hoeft echter niet altijd het geval te zijn.

Toepassing van elektrolysewater in praktijksituatie

Doordat hoeveelheid vrij chloor afneemt na mengen met standaard komkommervoeding, is vooral bij oplossingen met lagere concentraties vrij chloor meer elektrolysewater toegevoegd dan op basis van de concentratie zou worden verwacht. Om tot een concentratie van 19 ppm vrij chloor te komen was de fractie 400 ppm EW 4 in de eindoplossing niet 5%, maar 33%. Hierdoor was de concentratie natrium in de te testen oplossing niet 1 mmol/l, maar 9 mmol/l. Bij toevoeging van elektrolysewater aan het voedingswater is het dus van belang om te weten hoeveel elektrolysewater is toegevoegd. Is dit gebaseerd op meting van de hoeveelheid vrij chloor in de eindoplossing of is een vaste fractie toegediend? In de praktijk wordt uitgegaan van toediening van maximaal 10 ppm vrij chloor aan het recirculatiewater (na UV ontsmetting). Door de reactie met komkommervoeding zijn geen behandelingen met lage concentraties vrij chloor getest. De hoeveelheid natrium dat per keer wordt toegevoegd zal dan niet heel hoog zijn, maar door ophoping van natrium in het systeem kunnen op termijn wel problemen ontstaan. Door in toepassingen waarbij elektrolyse water wordt opgenomen door de planten gebruik te maken van elektrolyse water op basis van een kaliumchloride, kan groeiremming als gevolg van een te hoge natriumconcentratie worden voorkomen.

Conclusies

Bij EW 3 ontstond groeiremming bij de drie testgewassen vanaf een concentratie van 15 ppm vrij chloor. Bij EW 4 resulteerde de behandeling met 19 ppm niet in groeiremming, maar vanaf 77 ppm werd de groei van de kiemplanten wel geremd. Verder is het op basis van deze test niet uit te sluiten of (vrij) chloor en/of een hoog natriumgehalte de oorzaak is geweest van de ontstane groeiremming. De hoeveelheid natrium in de behandelingen waarbij groeiremming ontstond was groter dan 10 mmol/l. Bij verschillende gewassen is bij deze concentratie groeiremming aangetoond. Door te sturen op hogere EC's zijn de negatieve effecten van natrium op gewasgroei te verminderen.

3.2 Testen met slaplanten

3.2.1 Kritische grenzen bij éénmalige dosering

3.2.1.1 Doelstelling en opzet van proef

Doelstelling was om te bepalen waar de kritische grenzen liggen voor gewasschade bij toediening van neutraal electrolysewater als éénmalige gewasbehandeling op jonge slaplanten.

Voor de proef zijn jonge slaplanten (cv. *Cosmopolia*) van 2 weken oud gebruikt. Deze waren voorbehandeld met Fubol Gold. Per behandeling zijn 10 planten ingezet. Voor de behandelingen met neutraal electrolysewater is gewerkt met dezelfde twee producten als die in de kiemplantentest zijn gebruikt (EW 3 en EW 4, zie Tabel 3.2. en 3.3 voor de zouteigenschappen). Het electrolysewater werd verdund met demiwater om de vrij chloor concentraties te verkrijgen van: 25, 50, 100 en 300 ppm (Zie Tabel 3.4.). Als controle (0 ppm) werden de planten behandeld met alleen demiwater. Bij alle electrolysewaterbehandelingen is als toedieningsmethode gewerkt met zowel spuit- als mistbehandelingen die via een ultrasone verneveling éénmalig werden toegediend met behulp van een mobiele ultrasone bevochtiger van B&B (druppelgrootte < 5 micron). Met een plantenspuit zijn de spuitbehandeling uitgevoerd waarbij ongeveer 1 ml/plant werd gedoseerd. Bij de ultrasone verneveling werd circa 6 ml/plant toegediend over een inwerktijd van 5 minuten. Bij deze inwerktijd was de lucht gedurende drie minuten verzadigd en was er sprake van lichte druppelvorming op de bladeren. Vier extra behandelingen met een milieuvriendelijke uitvloeier (Finish) zijn opgenomen om te onderzoeken of hierdoor de kans op gewasschade afneemt. Bij deze behandelingen werd bij de helft van de planten de Finish eerst gemengd met het electrolysewater (EW 3, 50 ppm) en daarna als spuit- of nevelbehandeling over de planten verspoten. Bij de andere helft van de planten werd Finish als nabehandeling toegediend nadat de slaplanten eerst met electrolysewater waren behandeld. De slaplanten werden gedurende de proefperiode in een klimaatkamer gezet bij 16 °C en RV 80%. Visuele waarneming op gewasschade vond plaats na 24 uur en 1 week.

Tabel 3.4. Overzicht van twee doorgemeten vloeistoffen (EW 3 en EW 4) waarmee de éénmalige doseringstest is uitgevoerd (pH waarde, EC waarde, vrij chloor en totaal chloor). De slatest met meermalige doseringen is alleen uitgevoerd met EW 3.

| | ORP (mV) | pH | EC (mS/cm) | Vrij chloor (gemeten ppm's, mg/l) | Totaal chloor (gemeten ppm's, mg/l) |
|----------------------------------|----------|-----------|-------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| EW 3 (gewenst chloor gehalte): | | | | | |
| 25 ppm vrij chloor | 771 | 6,3 | 0,68 | 27 | 27 |
| 50 ppm vrij chloor (plus Finish) | 826 | 5,8 (6,3) | 1,29 (1,34) | 58 (19) | 58 (20) |
| 100 ppm vrij chloor | 854 | 6,0 | 2,49 | 91 | 120 |
| 300 ppm vrij chloor | 900 | 6,2 | 6,96 | 290 | 320 |
| EW 4 (gewenst chloor gehalte): | | | | | |
| 25 ppm vrij chloor | 724 | 5,9 | 0,29 | 24 | 27 |
| 50 ppm vrij chloor | 776 | 6,3 | 0,55 | 50 | 56 |
| 100 ppm vrij chloor | 802 | 6,7 | 1,04 | 83 | 120 |
| 300 ppm vrij chloor | 845 | 7,0 | 2,95 | 290 | 330 |

3.2.1.2 Resultaten

Eénmalige behandelingen met ultrasone verneveling of spuiten met 25, 50, 100 of 300 ppm vrij chloor gaf bij deze partij slaplanten geen directe gewasschade na 24 uur of na één week (Figuur 3.9.). De extra behandelingen met Finish gaven

door het uitblijven van directe gewasschade geen verschil. Er is nog een extra test gedaan met de onverdunde vloeistoffen van 400 ppm, waarbij naast de nevel- en spuitbehandeling ook een aangietbehandeling (6-7 ml/plant) is uitgevoerd. Dit gaf geen directe schade.



Figuur 3.9. Foto links: slaplanten tijdens behandeling met ultrasone verneveling. Foto midden en rechts: geen zichtbare gewasschade één week na uitvoering van de behandelingen.

3.2.1.3 Conclusie

Eénmalige gewasbehandelingen met electrolysewater die zelfs hoge concentraties van vrij chloor bevatten (25-300 ppm) geven geen gewasschade op jonge slaplanten. Dit geldt ook voor aangietbehandelingen, maar daarbij is het minder duidelijk hoeveel chloor nog daadwerkelijk reageert met het wortelmilieu na verlies van activiteit door reactie met organisch materiaal.

3.2.2 Kritische grenzen bij meermalige doseringen

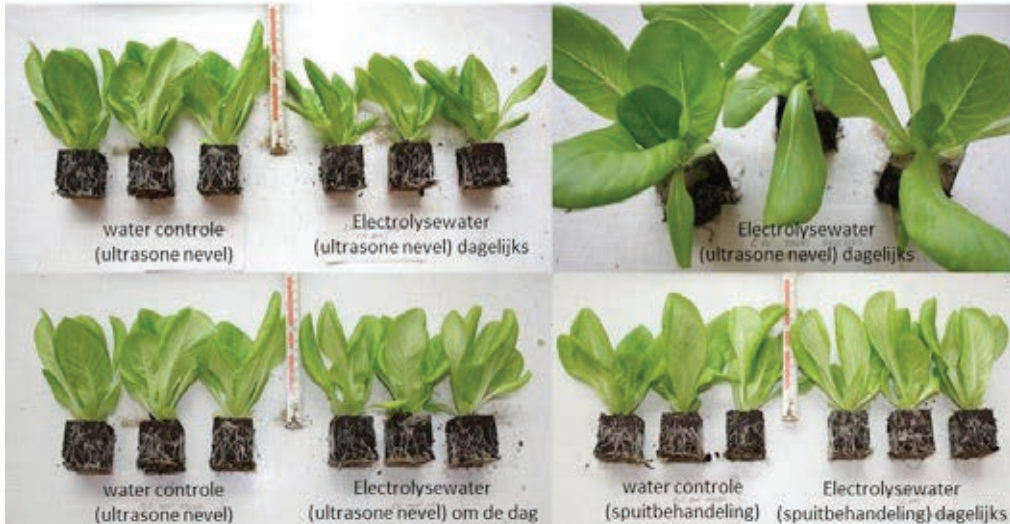
3.2.2.1 Proef met hoge concentratie vrij chloor

Doelstelling was om te bepalen waar de kritische grenzen liggen voor gewasschade bij toediening van neutraal electrolysewater met een hoge concentratie vrij chloor (50 ppm) bij meermalige gewasbehandelingen.

Voor deze test werd met dezelfde slacultivar *Cosmopolia* gewerkt als in de vorige test, afkomstig van dezelfde leverancier. Ook dit materiaal was voor aflevering al behandeld met Fubol Gold. Per behandeling werden dit keer 20 planten ingezet. Neutraal electrolysewater was in de eerste testserie afkomstig van één leverancier (EW 3), zie Tabel 1, maar later zijn deze testen ook herhaald met EW 4. Bij de meermalige behandelingen is gekozen voor één concentratie van vrij chloor (50 ppm) omdat in de labtesten een goede biocidewerking bereikt werd tegen zowel de schimmel, *Botrytis cinerea* als de bacterie, *Erwinia chrysanthemi*. In een periode van twee weken was de frequentie van toediening: dagelijks, om de dag of om de vier dagen (met uitzondering van de weekenden). Toediening gebeurde voor elke frequentiebehandeling als spuitbehandeling en ultrasone vernevelingsbehandeling (5 minuten). Bij de condities van de klimaatkamer werd gekozen voor een hogere temperatuur van 20 °C en gelijkblijvende van RV 80% ten opzichte van de voorgaande test, waarbij het gewas evt. wat zachter en gevoeliger wordt voor gewasbehandelingen. Na twee weken zijn er metingen gedaan aan de lengtegroei (cm) en vers gewicht (g) van de slaplanten. Tevens is er een gewasanalyse uitgevoerd op het plantmateriaal om eventueel te onderzoeken of het behandelde plantmateriaal meer natrium en chloor had vastgelegd na een behandeling met electrolysewater.

3.2.2.2 Resultaten hoge concentratie vrij chloor

Op het eerste gezicht waren er geen opvallende verschillen tussen de behandelingen zichtbaar ten aanzien van geelkleuring of het optreden van afstervende cellen, zoals dat eerder werd aangetroffen bij de schade na spuitbehandelingen met Aquanox in potrozen (Hofland *et al.* 2010). Bij de dagelijkse behandeling met ultrasone verneveling werd echter het verschil in gewasgroei met de controlebehandeling die met water verneveld was steeds duidelijker (Figuur 3.10.).

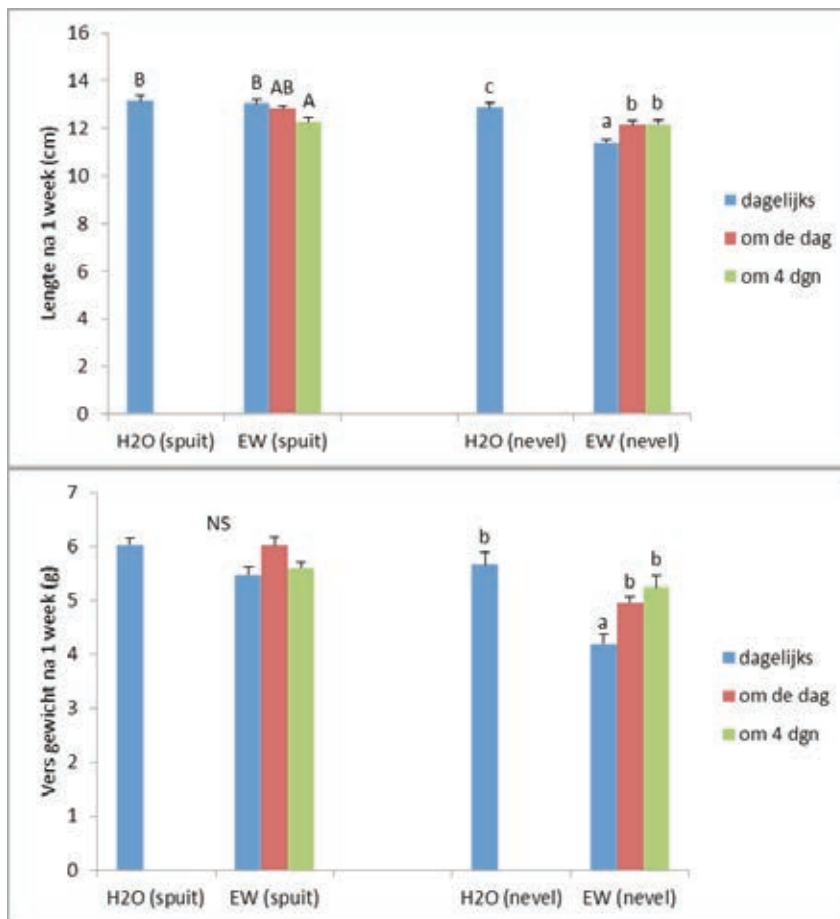


Figuur 3.10. Overzicht van de slaplanten twee weken na meermalige behandelingen met electrolysewater. De Foto linksboven laat het verschil zien in lengtegroei tussen de planten die dagelijks behandeld werden met ultrasone verneveling met electrolysewater in vergelijking met de controle planten die met alleen demiwater verneveld zijn. Foto rechtsboven laat zien dat de bladeren geen directe bladschade vertonen. Foto linksonder laat het verschil zien met planten die om de dag zijn behandeld. Slaplanten die dagelijks zijn bespoten met een plantenspuit, zowel met water als met electrolysewater, vertonen geen groeivermindering (rechtsonder).

Naar aanleiding hiervan is besloten om na de behandelperiode van twee weken zowel de lengtegroei te meten als het vers gewicht te bepalen. In Figuur 3.11. is goed te zien dat de dagelijkse behandelingen met ultrasone verneveling een remmend effect hebben gehad op de groei en vers gewicht van de slaplanten ten opzichte van de planten die verneveld waren met demiwater. Als de toedieningsfrequentie ruimer werd genomen was er nog steeds sprake van een verminderde (lengte-)groei.

Bij de spuitbehandelingen waren de slaplanten die om de dag of om de vier dagen waren bespoten opvallend genoeg minder lang dan de planten die vaker bespoten waren. Hier lijkt vooral de frequentere watergift via de behandelingen de groei te hebben gestimuleerd.

Het verschil tussen de spuit- en nevelbehandelingen is opvallend. Bij de huidige proefopzet en gekozen inwerktijd is er sprake van een verschil in hoeveelheid water die gedoseerd is, maar dat geeft tussen de controlebehandelingen met water geen verschil, alleen als er met electrolysewater is verneveld. Omdat sprake is van een duidelijke effect van frequentie van toediening is lijkt het aannemelijk dat er meer chloor of natriumionen zijn opgenomen door de slaplanten in de nevelbehandelingen. Van alle behandelingen zijn vijf planten bewaard voor gewasanalyse. Deze toonden geen verband met een hogere vastlegging van natrium of chloor in de behandelingen met groeiremming.



Figuur 3.11. Gemiddelde lengte (cm) en vers gewicht (g) één week na behandelingen met electrolysewater (dagelijks, om de dag of om de vier dagen). De staafjes op de balkjes geven de standaardfout weer. Betrouwbare verschillen tussen de spuitbehandelingen zijn weergegeven met verschillende hoofdletters en tussen de behandelingen met ultrasone verneveling met kleine letters (ANOVA, Tukey's test, $P < 0,05$).

3.2.2.3 Conclusies hoge concentratie vrij chloor

Toediening van electrolysewater met 50 ppm vrij chloor (EC van 1,29 mS/cm) als spuitbehandeling geeft geen schade bij frequente dosering, maar toediening van eenzelfde concentratie via ultrasone verneveling gedurende een periode van twee weken geeft wel een vermindering van groei. Waarbij zeer frequente, dagelijkse behandelingen met ultrasone verneveling meer groeiremming geeft ten opzichte van een behandeling om de dag of om de vier dagen. Er lijkt hierbij sprake van een duidelijke dosis-repons reactie. Op basis van deze test is besloten om nog een extra frequentietest in te zetten met EW 4 welke een lagere EC waarde had ten opzichte van EC 3 en tevens de behandelings- en concentraties met vrij chloor te verlagen.

3.2.2.4 Proef met lage concentraties vrij chloor

Doelstelling was om te bepalen waar de kritische grenzen liggen voor meermalige gewasbehandelingen bij toediening van neutraal electrolysewater met lagere concentraties vrij chloor (<50 ppm) zonder risico op groeiremming.

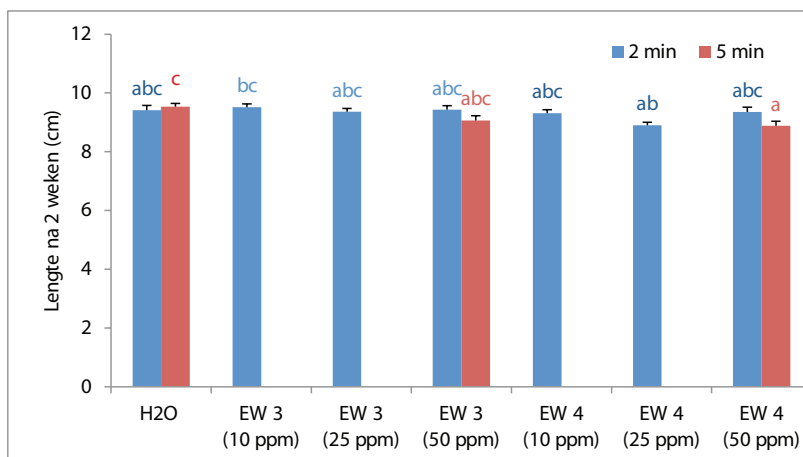
In deze test zijn de gewasbehandelingen uitgevoerd met zowel EW 3 als EW 4. Per behandelingen zijn 20 slaplanten (cv. Cosmopolia, leverdatum:) gebruikt. Gedurende 5 dagen (ma-vr) zijn de planten dagelijks verneveld met electrolysewaterproducten met 10, 25 of 50 ppm vrij chloor. De behandelings- en vernevelingsperiode werd verkort van 5 minuten naar 2 minuten tot en RV van 98% was bereikt. Als positieve controle werden ook de behandelingen meegenomen die bij de vorige test resulteerde in groeiremming (EW 3 - 50 ppm, 5 minuten vernevelingsperiode).

De volgende behandelingen zijn ingezet:

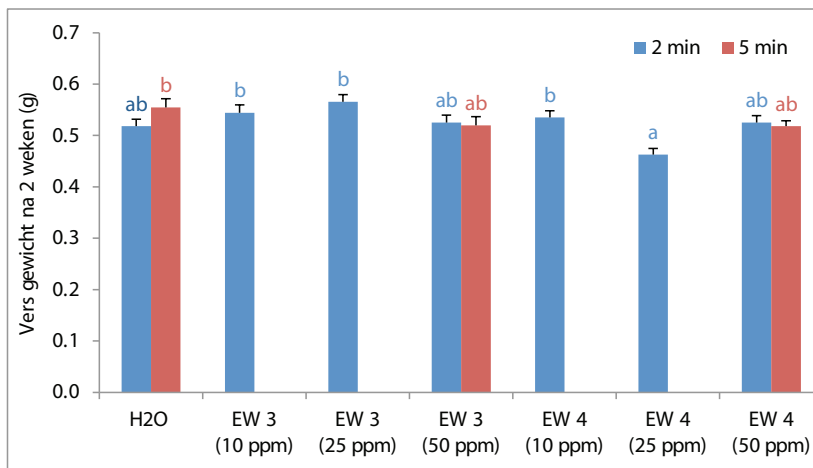
- 0 ppm water (2 minuten)
- EW 3 en EW 4: 10, 25 of 50 ppm water (2 minuten)
- EW 3 en EW 4: 50 ppm water (5 minuten)

3.2.2.5 Resultaten lage concentraties vrij chloor

De testperiode was nu korter, in plaats van 10 nevelbehandelingen waren er in deze proef 5 nevelbehandelingen uitgevoerd. Opnieuw laat echter de behandeling waarbij 5 minuten is verneveld met EW 3 een duidelijke trend zien naar een lagere lengtegroei en gewicht ten opzichte van de onbehandelde controlebehandeling (Figuur 3.12. en 3.13). Het verkorten van de behandelingstijd in de behandeling met 50 ppm vrij chloor lijkt zowel bij EW 3 als EW 4 de groeiremming te voorkomen. Bij toetsing met een tweeweg ANOVA waarbij de resultaten worden gecombineerd van EW 3 en EW 4 wordt de vernevelingstijd als een significant verschil aangegeven bij de lengtegroei ($P < 0,05$). Bij verkorten van de behandelingstijd is er bij EW 3 dan ook geen effect meer te zien van de lagere concentraties vrij chloor, omdat alle behandelingen net zo goed groeien als de controlebehandelingen. Bij EW 4 lijkt er bij de behandeling met 25 ppm sprake van een verminderde gewasgroei, maar deze trend zet zich niet door bij de behandeling met 50 ppm. Herhaling van de test met meer nevelbehandelingen zal nodig zijn om hier verdere uitspraken over te kunnen doen.



Figuur 3.12. Gemiddelde lengte (cm) van jonge slaplantjes na 5 dagelijkse gewasbehandelingen met ultrasoon verneveld electrolysewater (EW 3 of EW 4) met daarin 10, 25 of 50 ppm vrij chloor. Daarbij zijn bij de behandelingen met 50 ppm vrij chloor 2 tijdsduren van behandeling getoetst (2 en 5 minuten). De staafjes op de balkjes geven de standaardfout weer. Betrouwbare verschillen tussen de behandelingen zijn weergegeven met verschillende letters (One way ANOVA, Tukey's test, $P < 0,05$).



Figuur 3.13. Gemiddeld vers gewicht (g) van jonge slaplanten na 5 dagelijkse gewasbehandelingen met ultrasoon verneveld electrolysewater (EW 3 of EW 4) met daarin 10, 25 of 50 ppm vrij chloor. Daarbij zijn bij de behandelingen met 50 ppm vrij chloor 2 tijdsduren van behandeling getoetst (2 en 5 minuten). De staafjes op de balkjes geven de standaardfout weer. Betrouwbare verschillen tussen de behandelingen zijn weergegeven met verschillende letters (One way ANOVA, Tukey's test, $P < 0,05$).

3.2.2.6 Conclusies lage concentraties vrij chloor

Veilige gewasbehandelingen lijken mogelijk te zijn bij het verkorten van de behandelingstijd van 5 naar 2 minuten zelfs in de behandeling met een relatief hoog percentage vrij chloor (50 ppm). Over de invloed van EC gehalte van de producten met electrolysewater op gewasgroei is nog geen duidelijkheid verkregen, hiervoor zijn uitgebreidere testen noodzakelijk met meer dan 5 behandelrondes.

3.3 Testen met gerbera

In het hoofdstuk van de naooogstbehandeling worden de resultaten met verneveling van gerberabloemen uitgebreid behandeld. Bij twee verschillende cultivars (Kimsey, kleinbloemig en Rich, grootbloemig) werd bij eenmalige blootstelling tot 300 ppm vrij chloor geen gewasschade waargenomen.

3.4 Testen met kalanchoë

In de periode dat dit onderzoek liep naar effecten van electrolysewater op gewasgroei is er door Juliette Pijnacker in het kader van een PT Project (Bestrijding van Sciaridae) ook een behandeling getoetst met electrolysewater. De aangeleverde vloeistof (aangemaakt met KCl) is ten tijde van de proef doorgemeten en had de volgende waarden: pH 6.7, ORP 850 mV, EC 5,9 mS/cm en 174 ppm vrij chloor. Per plant werd 17,3 ml aangegoten.

Het electrolysewater is gedurende zes weken wekelijkse aangegoten bij Kalanchoë planten. Na de derde aangietbehandeling was er duidelijke gewasschade opgetreden (Figuur 3.14.). De insecten blijken echter in deze proef ongevoelig voor behandeling met electrolysewater. Ook in eerder onderzoek werden er weinig effecten gevonden op insecten (Hofland-Zijlstra *et al.* 2010).



Figuur 3.14. Gewasschade bij Kalanchoë na 3 wekelijkse aangietbehandeling met electrolysewater met daarin veel te hoge EC (5,9) en vrij chloorwaardes (174 ppm).

De resultaten van dit onderzoek bevestigen heel mooi de grenswaarden die ook uit de resultaten met de kiemplanten naar voren kwamen. Aangietbehandeling met producten die meer dan 40 ppm vrij chloor bevatten en te hoge EC waardes (ongeveer >5,0) zijn niet bevorderlijk voor de vitaliteit van het gewas (zie ook Figuur 3.8.). Veilige toepassingen zijn wel mogelijk binnen deze grenswaarden.

4 Electrolysewater als meedruppelbehandeling in tomaat (kasproef)

4.1 Doelstelling en opzet proef

Doelen:

- Effectieve en veilige doseringen van electrolysewater als meedruppelbehandeling vaststellen. Zonder risico voor het gewas (wortel en blad).
- Verlies van effectiviteit bepalen in reactie op organische vervuiling aanwezig in waterleidingen.
- Effectiviteit vaststellen tegen overmatige wortelgroei (in bassin, biofilm en in de mat)
- Nevenwerking vaststellen op gunstige microorganismen (Trianum)

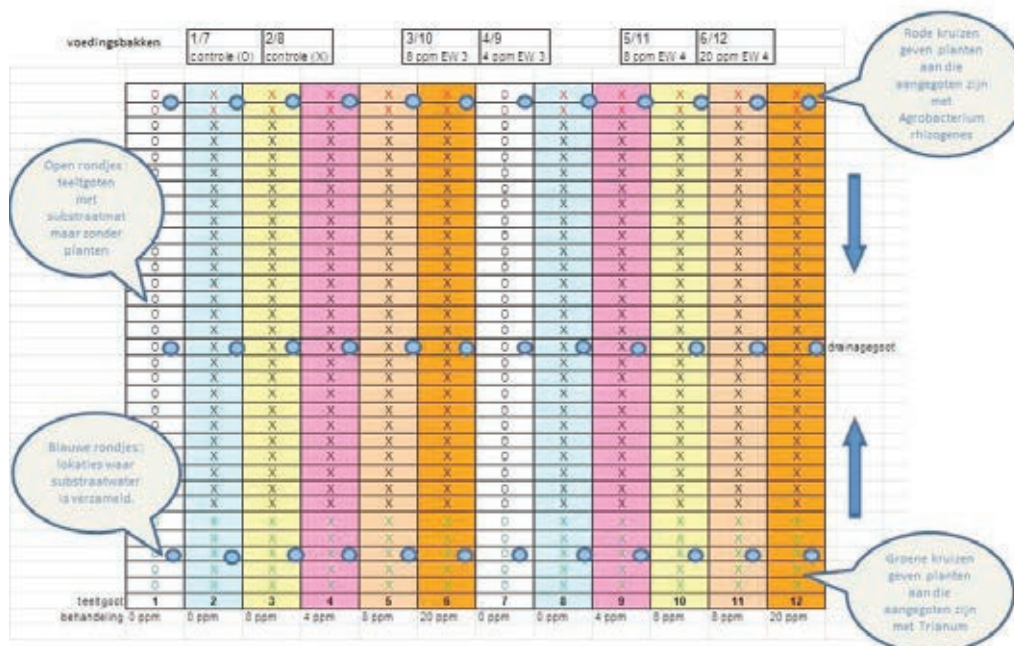
De uitvoering van de kasproef vond plaats in week 35 t/m 39 (2012). Klimaatcondities: RV 70%, temp. 20 °C, Plantmateriaal: tomaat, cultivar Komeett, 4-5 weken oud.

De behandelingen zoals die aan het voedingswater werden toegediend na de voedingsbakken via een doseerunit waren:

- Onbehandelde controle (standaardvoeding tomaat), matten zonder planten
- Onbehandelde controle (standaardvoeding tomaat),
- Standaardvoeding tomaat + electrolysewater, 4 ppm vrij chloor (EW 3)
- Standaardvoeding tomaat + electrolysewater, 8 ppm vrij chloor (EW 3)
- Standaardvoeding tomaat + electrolysewater, 8 ppm vrij chloor (EW 4)
- Standaardvoeding tomaat + electrolysewater, 20 ppm vrij chloor (EW 4)

In Figuur 4.1. is een uitleg gegeven van de kasindeling en welke planten bepaalde behandelingen kregen toegediend. Voor de kunstmatige infecties werden als pilot-organisme gekozen voor de bacterie, *Agrobacterium rhizogenes*, overbrenger van Ri-plasmide die zorgt voor verstoorde hormoonhuishouding en overmatige wortelgroei. Als testorganisme voor de gunstige microorganismen is gekozen voor de schimmel die aanwezig is in het product Trianum (*Trichoderma harzianum* stam Rifai T-22, Koppert). Voor het toediening van de organismen werd gekozen voor een aangietbehandeling bij het plantgat De kas hadden in het midden een drainagegoot. Hierdoor was het mogelijk om de planten die werden besmet met *Agrobacterium* gescheiden te houden ten opzichte van de planten die met Trianum waren aangegoten (zie Figuur 4.1.).

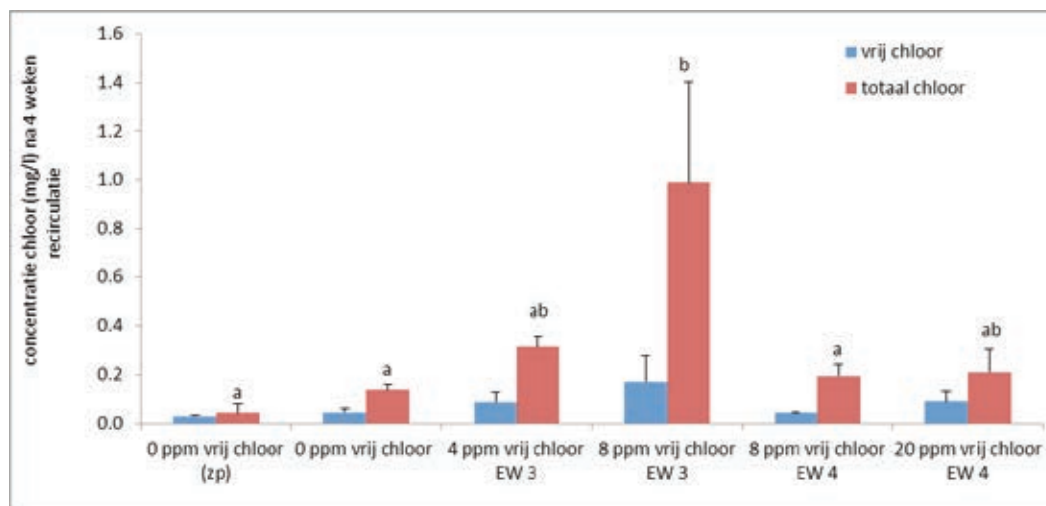
De metingen die werden uitgevoerd waren: bacteriegroei in substraatwater meten d.m.v uitplaten op specifiek *Agrobacterium* voedingsmedium, wortelmonsters uitplaten en controleren op Trianum uitgroei en fytotoxiciteit op bladeren.



Figuur 4.1. Kasindeling en proefopzet. De individuele planten per teeltgoot zijn aangeduid met kruisjes. Elke behandeling is aangegeven met een andere kleur, en werd over twee teeltgoten verdeeld.

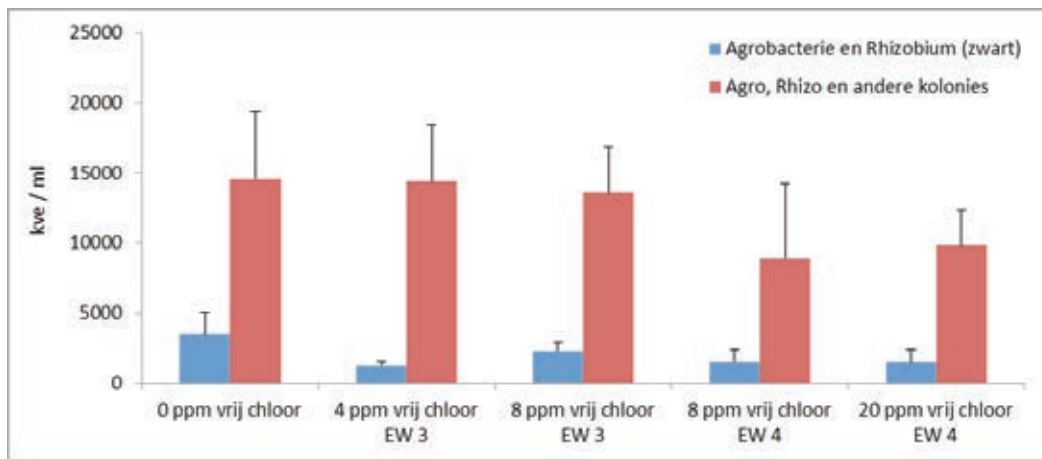
4.2 Resultaten

De concentratie totaal en vrij chloor die werd teruggemeten bij de druppelaar was gering (Figuur 4.2.). Bij de meeste behandelingen was dit na vier weken recirculatie minder dan 0,4 ppm totaal chloor en minder dan 0,1 ppm aan vrij chloor. De behandeling met 8 ppm vrij chloor (EW 3) wijkt af van de andere electrolysewaterbehandelingen. De reden van de hogere chloorgehalten is niet duidelijk.



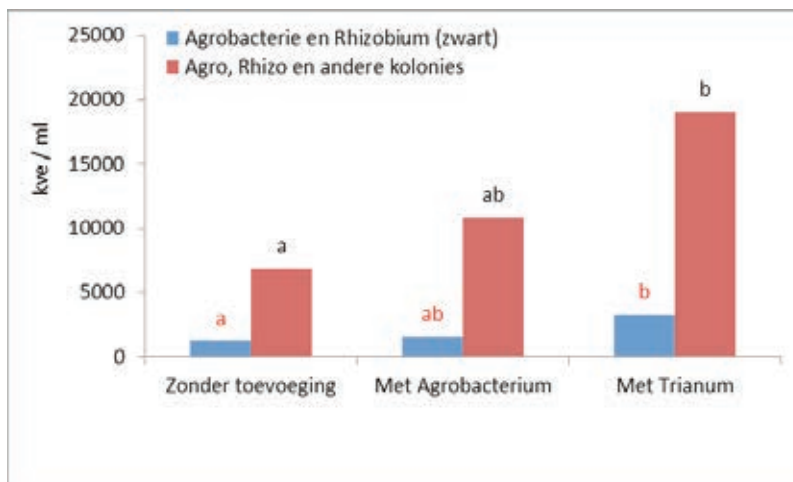
Figuur 4.2. De concentratie totaal en vrij chloor na een recirculatieperiode van vier weken gemeten uit de druppelaar.

Figuur 4.3. geeft een overzicht van het gemiddeld aantal bacteriekolonies (kve's) van watermonsters afkomstig van de substraatmat die zijn uitgeplaat op specifiek Agrobacterium voedingsmedium. Er waren geen betrouwbare effecten van behandelingen met electrolysewater op het aantal teruggemeten Agrobacterium kolonies, maar er lijkt wel een trend zichtbaar naar vermindering van bacterie aantallen bij EW 4, zowel bij 8 als bij 20 ppm vrij chloor.



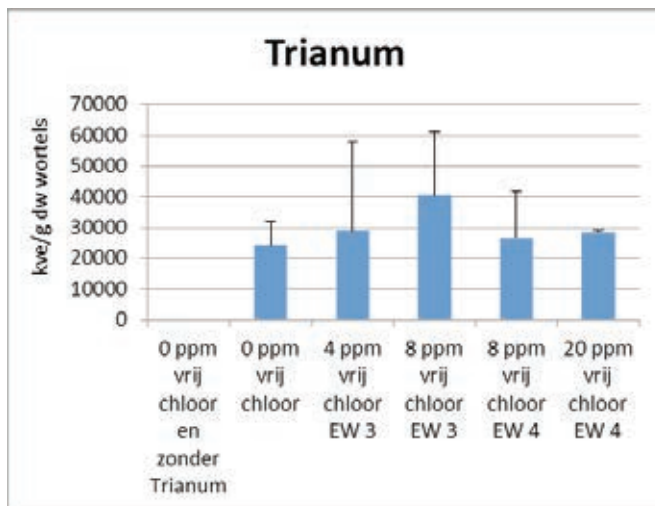
Figuur 4.3. Totaal overzicht van het gemiddeld aantal bacteriekolonies (kve's) van watermonsters afkomstig van de substraatmat die uitgeplaat zijn op specifiek *Agrobacterium* voedingsmedium ($n=6$). Daarbij zowel de bacteriekolonies geteld die zwartgekleurd zijn (blauwe staafbalken) als de overige kolonies die zichtbaar waren (rode staafbalken).

Figuur 4.4. geeft een overzicht van het aantal bacteriekolonies die in de substraatmat bij de verschillende aangietbehandelingen zijn teruggemeten. Onder de planten die aangiet waren met *Agrobacterium* zijn meer kolonies geteld dan in de controlebehandeling die geen extra aangietbehandeling hadden gekregen. De meeste bacterien zijn echter aanwezig onder de planten die met Trianum zijn behandeld. Een verklaring daarvoor kan zijn dat de aanwezigheid van de *Trichoderma* schimmel op de wortel via plantinteracties weer extra voeding kan genereren voor bacteriegroei en dat daardoor de bacterieontwikkeling toeneemt. Het blijft opmerkelijk dat deze specifieke groep van *Agrobacterium*-achtige bacterien zo sterk toeneemt ten opzichte van de andere aangietbehandeling.



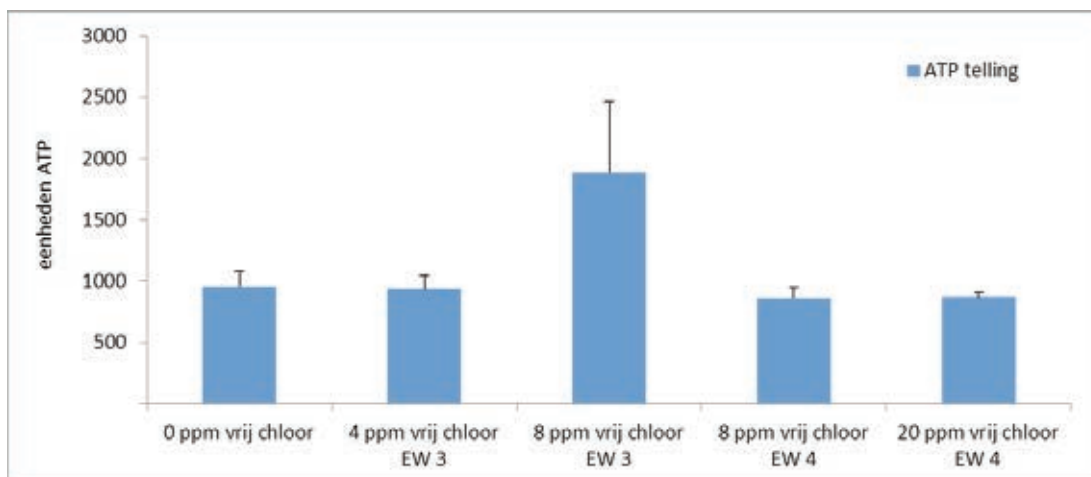
Figuur 4.4. Overzicht van het gemiddeld aantal bacteriekolonies (kve's) van watermonsters afkomstig van de substraatmat die uitgeplaat zijn op specifiek *Agrobacterium* voedingsmedium ($n=12$). Hierbij is een onderscheid gemaakt naar de locatie waar het monster genomen is in de teeltgoot: zonder toevoeging betekent dat deze in het midden van de teeltgoot is bemonsterd waar geen Trianum of *Agrobacterium* aan is toegevoegd of dat het substraatwater juist wel onder deze behandelde planten is verzameld. Verschillende zwarte letters geven betrouwbare verschillen aan tussen behandelingen met een Tukey's test, $P < 0,05$. De rode letters geven betrouwbare verschillen aan tussen behandelingen met een iets minder strenge LSD test waardoor eerder verschillen naar voren komen ($P < 0,05$).

De verschillende voedingswaterbehandelingen met electrolysewater hebben geen negatief effect op de kolonisatiegraad van het Trianum product op de wortels, zie Figuur 4.5. Bij alle aangietbehandelingen werd een goede kolonisatiegraad aangetroffen die volgens Koppert overeenkomt met praktijkwaardes. Op de wortels van onbehandelde controleplanten die geen aangietbehandeling hadden gekregen daar werd de specifieke *Trichoderma* T-22 stam niet op teruggevonden.



Figuur 4.5. Gemiddeld aantal kolonies van *Trianum* (schimmel, *Trichoderma harzianum* stam T-22) op plantenwortels in de verschillende voedingsbehandelingen met electrolysewater.

De gemeten ATP waarden staan vermeld in Figuur 4.6. Er is bij de meeste voedingswaterbehandelingen met electrolysewater geen verschil met de onbehandelde controle. Alleen de behandeling van EW 3 met 8 ppm vrij chloor vormt daarop een uitzondering. ATP reageert op alle organismen die ATP kunnen produceren, inclusief organisch materiaal, algen en bacteriën. Daarmee is het niet echt een specifieke meting. In een relatief vuile substraatmat met veel achtergrond ATP is het lastig om daarmee de bacterie activiteit in kaart te brengen. In schonere systemen met minder vervuiling zal deze snelle meting eerder zijn nut kunnen bewijzen.



Figuur 4.6. ATP waarden van het substraatmatwater bij de verschillende voedingswaterbehandelingen met electrolysewater.

4.3 Conclusies

Er is in deze kasproef met tomaat geen gewasschade opgetreden als gevolg van hoge dosering electrolysewaterbehandeling (20 ppm vrij chloor EW 4), omdat het meecirculeren van electrolysewater op korte termijn nog geen verhoging van vrij chloor gehalten uit de druppelaar gaf. Onder meer door een snelle reactie met de meststoffen in het voedingswater. Tevens had dit als resultaat dat er daardoor ook geen doding van *Agrobacterium* bacteriën plaatsvond in de substraatmat. Toediening in bassinwater lijkt in dit geval een effectievere bestrijdingsmethode. Er is geen nadelige effect van electrolysewater op *Trianum* kolonisatie waargenomen.

5 Toepassingen in de naoogst

5.1 Botrytis in gerbera

5.1.1 Doelstelling en opzet proef

Doelstelling van de proeven met gerberabloemen was om de veilige concentraties van electrolysewater te bepalen met maximale doding van Botrytissporen.

Er is in deze proef gewerkt met twee gerberasoorten. Een kleinbloemige soort, Kimsey (roze) en een grootbloemige soort, Rich (donkerroze). Per behandeling met electrolysewater zijn 20 bloemen ingezet. Voor de controlebehandelingen (onbehandeld, onbesmet en onbehandeld, besmet) zijn 10 bloemen per behandeling ingezet. De bloemen zijn één dag voor uitvoering van de behandelingen met electrolysewater kunstmatig besmet met Botrytissporen (droog inoculum). De behandelingen met neutraal electrolysewater werden uitgevoerd met EW3. De concentraties vrij chloor (ppm) waren: 0, 25, 50, 100 en 300. In Tabel 5.1. staan de chemische eigenschappen vermeld. Bij de controlebehandeling met 0 ppm vrij chloor zijn de bloemen alleen met demiwater verneveld zonder toevoeging van electrolysewater.

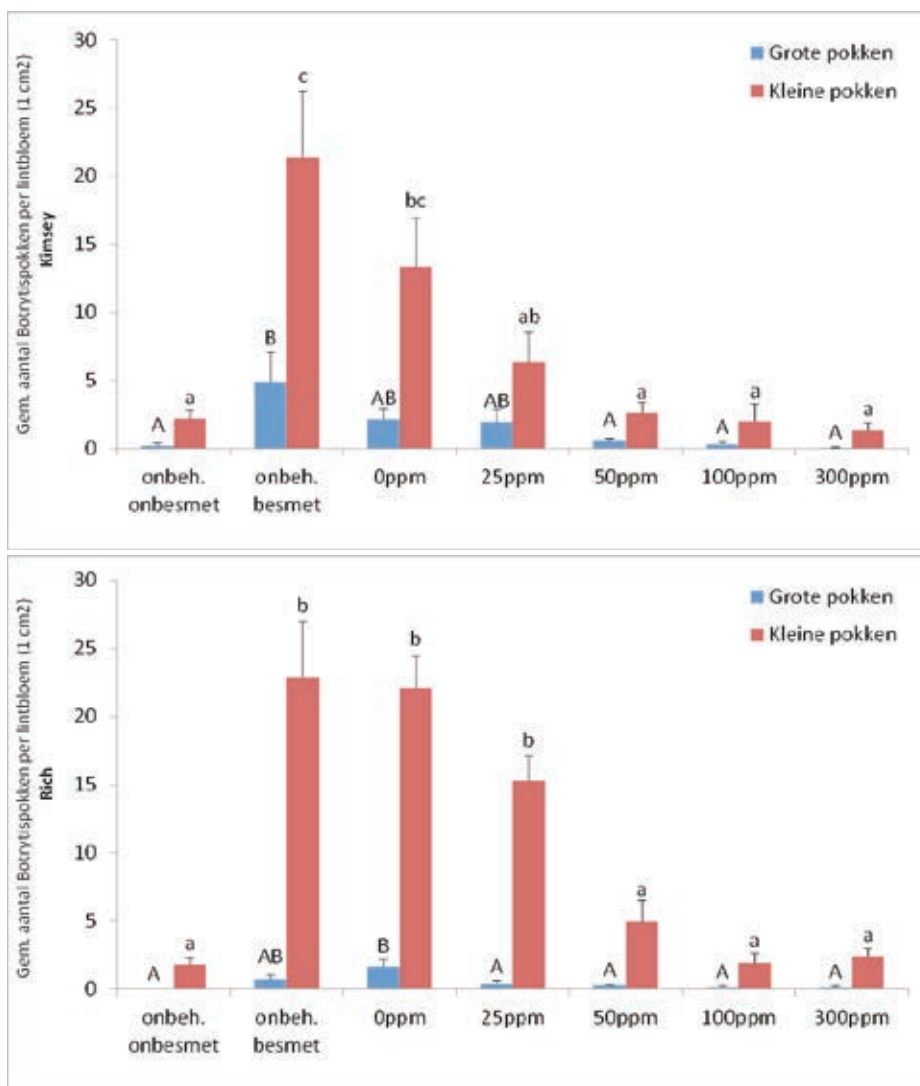
Toediening van de electrolysewaterbehandelingen vond plaats via ultrasone verneveling met een mobiele B&B humidifier (druppelgrootte < 5 µm). Bij een inwerktijd van 2 minuten werd per bloem ongeveer 2 ml gedoseerd in een box van 927 cm³. Na behandeling zijn de bloemen in dichte bakken (RV >95%) weggezet in de uitbloeirimte (20 °C, RV 70%, 16 uur licht en 8 uur donker). Na twee dagen werden de bloemen beoordeeld op visuele gewasschade en aantal pokken. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen grote pokken die met het blote oog te zien zijn en kleine pokken, lesies die onder de binoculair op de lintbloemen zichtbaar zijn. Voor het volgen van het vaasleven zijn de bloemstelen vervolgens individueel op reageerbuisen weggezet in de uitbloeirimte. Na 7 en 9 dagen zijn de bloemen opnieuw beoordeeld op aanwezigheid van Botrytis.

Tabel 5.1. Overzicht van chemische eigenschappen van de verschillende verdunningen met neutraal electrolysewater (EW 3) waarmee de gerberatest is uitgevoerd.

| EW 3 (chloor concentratie): | ORP (mV) | pH | EC (mS/cm) | Vrij chloor (ppm, mg/l) | Totaal chloor (ppm, mg/l) |
|-----------------------------|----------|-----|------------|-------------------------|---------------------------|
| 25 ppm | 771 | 6,2 | 0,71 | 21 | 24 |
| 50 ppm | 826 | 6,2 | 1,32 | 50 | 50 |
| 100 ppm | 854 | 6,3 | 2,55 | 80 | 97 |
| 300 ppm | 900 | 6,4 | 7,19 | 280 | 300 |

5.1.2 Resultaten

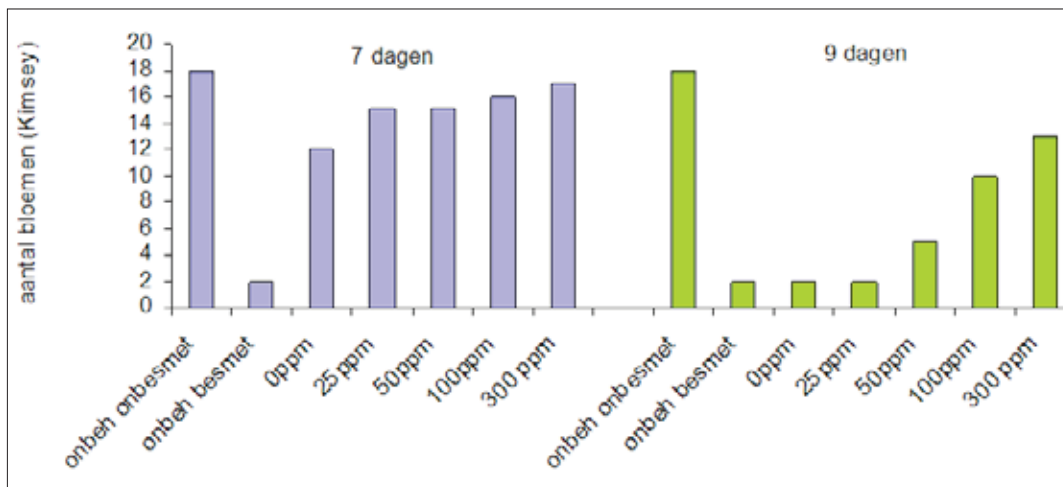
Eénmalige behandelingen van gerberabloemen met ultrasone verneveling tot 280 ppm vrij chloor (300 ppm totaal chloor) gaf op beide gerberacultivars geen gewasschade. De test met Kimsey laten tot 50 ppm vrij chloor een sterke dosis responsreactie zien ten aanzien van het chloorgehalte dat aanwezig is in het electrolysewater en de vermindering van Botrytis-pokken op de lintbloemen (Figuur 5.1.). Bij een hogere chloordosering dan 50 ppm worden de meeste sporen (> 90%) gedood tot hetzelfde niveau als die van de onbesmette controle (= natuurlijke infectie). Na een behandeling met 300 ppm totaal chloor komen 99% van de grote pokken en 95% van de kleine pokken niet tot ontwikkeling binnen twee dagen. Dit resultaat komt overeen met de labtesten waarbij de kritische ondergrens voor optimale Botrytis-doding ook tussen 40 -50 ppm vrij chloor lag. Bij de kleinbloemige soort lijkt er een trend zichtbaar dat de bloemen die alleen met demiwater zijn behandeld ook al een vermindering van pokkenontwikkeling te zien geven. Bij de grootbloemige soort zijn dezelfde resultaten waarneembaar alleen is bij de besmette controleplanten het niveau van besmetting met grote pokken geringer waardoor de resultaten van de behandeling met alleen demiwater geen positief effect meer lijkt te geven.



Figuur 5.1. Gemiddeld aantal Botrytis pokken (per cm²) aanwezig op de lintbloemen van Kimsey (boven) en Rich (onder) 48 uur nadat ze zijn weggezet bij een hoge RV (90%) bij de verschillende behandelingen met electrolysewater (totaal chloor). De staafjes op de balkjes geven de standaardfout weer. Betrouwbare verschillen tussen de waargenomen kleine pokken zijn weergegeven met verschillende kleine letters en tussen de waargenomen grote pokken met hoofdletters (ANOVA, Tukey's test, $P < 0,05$).

In de testen waarbij het vaasleven is beoordeeld (Figuur 5.3-5.6) is duidelijk te zien dat de behandelingen met 100 en 300 ppm totaal chloor de langste houdbaarheid geven na een periode van 9 dagen. Bij Kimsey is het verder opvallend

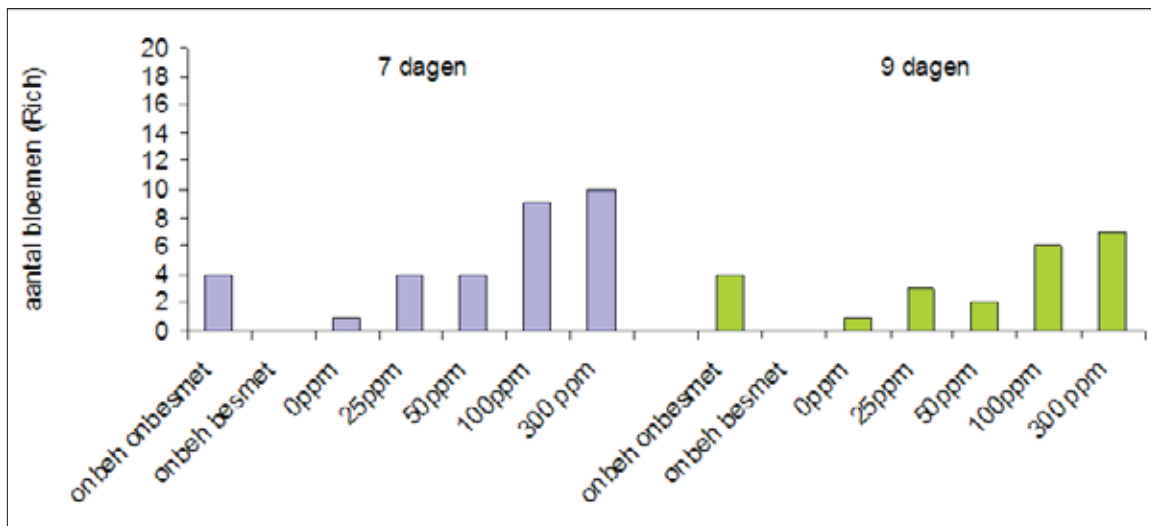
dat alle behandelingen (ook die met demiwater) na 7 dagen het vaasleven verlengen ten opzichte van de besmette controlebehandeling. Bij de grootbloemige soort lag de algemene houdbaarheid een stuk lager ten opzichte van de kleinbloemige soort, maar ook hier bleven de meeste bloemen hun sierwaarde behouden bij de behandelingen met de hoogste chloordoseringen.



Figuur 5.3. In de grafiek zijn het aantal goede bloemen van Kimsey (kleinbloemige cultivar) weergegeven die na 7 en 9 dagen nog op de vaas staan en niet zijn uitgevallen door Botrytis bij de verschillende behandelingen met totaal chloor (ppm).



Figuur 5.4. Vaasleven van Kimsey (kleinbloemige soort) zeven dagen na de kunstmatige besmetting met Botrytis.



Figuur 5.5. In de grafiek zijn het aantal goede bloemen van Rich (grootbloemige cultivar) weergegeven die na 7 en 9 dagen nog op de vaas staan en niet zijn uitgevallen door Botrytis bij de verschillende behandelingen met totaal chloor (ppm).



Figuur 5.6. Vaasleven van Rich (grootbloemige soort) zeven dagen na de kunstmatige besmetting met Botrytis.

5.1.3 Conclusies

Met electrolysewater zijn veilige gewasbehandelingen op gerberabloemen uit te voeren om deze te ontsmetten van Botrytissporen. Zelfs bij de hoogste concentratie met 280 ppm vrij chloor was er geen visuele gewasschade op de twee verschillende cultivars die in deze test waren opgenomen. Vanaf 80 ppm vrij chloor (= 100 ppm totaal chloor) werd de ontwikkeling van pokken op de lintbloemen met meer dan 90% geremd. Hierdoor werd het vaasleven verlengd met meer dan 2 dagen. De resultaten van deze test bevestigen de goede ervaring met praktijkdosering bij verneveling van Cymbidium bloemen tegen Botrytis. Ultrasonische verneveling van puur demiwater geeft bij de kleinbloemige soort ook al een lichte remming (ongeveer 40%) op de zichtbare lesieontwikkeling van Botrytis.

5.2 Toevoeging aan fustwater

Electrolysewater kan ook worden toegevoegd als desinfectiemiddel aan het vaaswater waar de bloemen in staan tijdens transport (fustwater). Dit zou volgens de literatuur een remmend effect hebben op de bacterieontwikkeling en het verstopping van de vaten en zodoende het vaasleven verlengen (Hofland-Zijlstra *et al.* 2011). Binnen dit onderzoek is het niet gelukt om deze proeven uit te voeren. Tijdens een eerder emailcontact met iemand van een bedrijf in Zuid-Afrika werd me verteld dat ze daar normaliter met 10%-doseringen werken van electrolysewater, maar ze konden de hoeveelheid chloor niet aangeven. Vermoedelijk zal dit tussen de 30-40 ppm zijn geweest. Eén teler gaf aan dat er goede resultaten zijn behaald door 2% toe te voegen aan fustwater (5-10 ppm vrij chloor).

6 Discussie en Conclusie

6.1 Veiligheid voor gewas

6.1.1 Toediening aan voedingswater

De resultaten van de testen met kiemplanten hebben goede handvaten gegeven om veilige richtlijnen op te stellen voor toepassingen van electrolysewater zonder risico op gewasschade. De grenzen van gewasschade worden sterker bepaald door het zout en EC gehalte van de electrolysevloeistof dan de hoeveelheid vrij chloor. Hoe lager het zoutgehalte van de vloeistof, hoe lager het risico op gewasschade is. De hoeveelheid ppm vrij chloor is daarbij minder van belang. Ruwweg kunnen we stellen dat sterke groeiremming (> 20%) optreedt als electrolysewater met meer dan 100 ppm vrij chloor in contact komt met kiemende plantenwortels.

De gebruikte kiemplanten in de test (tuinkers, mosterd en sorghum) zijn volgens onze testen redelijk zouttolerant gebleken en vergelijkbaar met glastuinbouwgewassen die ook niet zo gevoelig zijn voor zout zoals tomaat, komkommer en aubergine. Voor andere gewassen zal echter rekening moeten worden gehouden met lagere zouttoleranties. In de praktijk wordt een maximale natriumconcentraties aangehouden van: 1 mmol/l (cymbidium), 4 mmol/l (roos), 6 mmol/l (paprika) of 8 mmol/l (tomaat, komkommer, aubergine). Bij hogere waarden in het drainwater is het toegestaan om te lozen. Dit zijn nog steeds 'veilige' waarden, hogere concentraties hoeven niet per definitie schade te geven.

Bij het toediening van electrolysewater aan voedingswater wordt de uitkomst ook beïnvloed door de EC van het voedingswater zelf. Bij hogere EC gehalten van de voeding worden de grenzen van gewasschade minder snel bereikt worden dan bij toediening aan voedingswater met lagere EC gehalten. Dit is in onze testen ook goed te zien doordat het electrolysewater (EW 3) die getest werd bij een hoge EC van 4,3 gemiddeld genomen over de drie toetsplanten maximaal 40% groeiremming gaf in vergelijking met de electrolysewater (EW 4) die getest werd bij een lagere EC van 3,0 en maximaal 60% groeiremming gaf.

Bij het inzetten van de kiemplantentest was een van de moeilijkheden dat het electrolysewater sterk reageert met organische elementen in het voedingswater en dat het moeilijk was om de gewenste eindwaardes te bereiken met vrij chloor. Hierdoor werden relatief hogere zoutwaarden bereikt in de eindoplossing dan in de praktijk gebruikelijk is als het electrolysewater aan het voedingswater wordt meegedoseerd. Volgens de berekingen naar aanleiding van deze kiemplantentesten is bij blootstelling aan 40 ppm vrij chloor (beginwaarde) en minder dan 8 mmol/l natrium in het water bij de wortelzone nog geen gewasschade te verwachten. In de praktijk wordt doorgaans niet hoger gedoseerd dan 10 ppm vrij chloor en dit lijkt dan ook een zeer ruime veiligheidsgrens waarmee rekening wordt gehouden.

In gesloten systemen kan er bij het meedruppelen van electrolysewater op basis van keukenzout (NaCl) na verloop van tijd het probleem ontstaan van oplopende natriumwaardes in het voedingswater waardoor lozen noodzakelijk wordt geacht. Kalium wordt beter opgenomen door de meeste tuinbouwgewassen dan natrium en daarom wordt in de praktijk doorgaans gewerkt met electrolysewaters die met KCl zijn gemaakt in plaats van NaCl. Zoals eerder uit de kennisinventarisatie is gebleken is de biocidewerking van beide zouten is gelijk en zijn ze daarmee goed uitwisselbaar (Hofland-Zijlstra 2011).

In de meedruppelproef met tomaat waarbij electrolysewater met verschillende concentraties vrij chloor werd meegegeven aan het voedingswater werd geen gewasschade gevonden, zelfs niet bij de hoogste dosering van 20 ppm vrij chloor. De chloorwaardes (vrij en totaal) die na vier weken bij de druppelaar werden teruggemeten kwamen niet boven 1 ppm en bij de meeste behandelingen niet boven 0,2-0,3 ppm. Dit betekende dat er nauwelijks nog vrij chloor overbleef na reactie met het voedingswater en contact met het organische vervuiling in de leidingen. En ook dat de hoeveelheden chloor die de wortels in de substraatmat bereikten verwaarloosbaar klein waren. Dit lijkt dan ook een logische verklaring voor het uitblijven van effecten van electrolysewater op het verminderen van Agrobacterium soorten die zich in het matwater

bevinden. Simpelweg omdat er te weinig reactieve stof is overgebleven. Bij het bestrijden van *Agrobacterium* is het belangrijk om te zorgen dat er wel voldoende vrij chloor in contact komt met de bacteriën. Hiervoor is het belangrijk om de plekken te weten waar de bacteriën zich in het systeem het snelst vermeerderen en daar gericht op in te grijpen.

Meedoserende van electrolysewater aan voedingswater heeft door de zeer lage concentraties vrij en totaal chloor die eventueel nog in de substraatmat terecht komen geen direct nadelige gevolgen voor de kolonisatiegraad van *Trichoderma*. Daarnaast is de schimmel *Trichoderma harzianum* Rifai T-22 erop geselecteerd om zich goed te handhaven in het wortelmilieu ten opzichte van andere bacteriën en schimmels die in het wortelmilieu voorkomen. Het is nu nog niet uit te sluiten dat er door het regelmatig meedruppelen van electrolysewater toch veranderingen in de microbiële populatie optreden. Hierover zijn op basis van dit onderzoek nog geen uitspraken te doen.

6.1.2 Toepassing als gewasbehandeling

Bij toepassingen van electrolysewater om gewassen te beschermen tegen infectie van ziekteverwekkers is het belangrijk om onderscheid te maken tussen éénmalige toepassingen in de naoogstbehandeling (bijv. snijbloemen) of frequentere behandelingen die in de teelt. Bij éénmalige behandelingen kan met relatief hoge concentraties vrij chloor (en EC) gewerkt worden. Uit de testen met gerberabloemen blijkt dat met 100 en 300 ppm vrij chloor (EW 3) meer dan 90% van de *Botrytis*-sporen worden gedood zonder dat er gewasschade te zien is. Deze resultaten komen overeen met praktijkervaringen die afgelopen jaar zijn opgedaan met witte cymbidiumbloemen die bestemd zijn voor de export. Sinds de bloemen gedurende een half uur worden verneveld met 300 ppm vrij chloor komen er geen klachten uit de handel meer binnen over *Botrytis*. Als schimmelssporen, zoals *Botrytis* nog niet gekiemd zijn dan is een behandeling met electrolysewater zeer effectief. De sporen worden gedood, voordat ze in het plantenweefsel zijn binnengedrongen. Uit onderzoek met zowel UV als electrolysewater binnen het *Gerbera Parapluplan* (Van Os *et al.* 2010) is naar voren gekomen dat de meeste *Botrytis*-sporen op het gewas komen tijdens de teeltfase en dat de kans van herbesmetting in de ketenfase gering is.

Meermalige toepassingen van electrolysewater op het gewas in de teelt kunnen een hulpmiddel zijn om sporen van schimmels te doden of op zijn minst de snelheid van sporenkieming, verspreiding en vermenigvuldiging te remmen. Ziekteverwekkers, zoals echte meeldauw die oppervlakkig in het blad gevestigd zijn, kunnen door regelmatig uitgevoerde behandelingen sterk in de groei worden vertraagd. Eerder onderzoek naar beheersing van echte meeldauw in potroos met neutraal electrolysewater (ppm vrij chloor onbekend) liet zien dat met dagelijkse spuitbehandelingen een goede afdoding werd bereikt, maar dat dit wel gepaard ging met gewasschade. Bij de dagelijkse behandelingen met ultrasone verneveling was geen sprake van gewasbeschadiging maar werd de meeldauw met hooguit 75% geremd (Hofland-Zijlstra *et al.* 2010). In dit onderzoek laat de test met slapplanten zien dat een eenmalige behandeling met doseringen tot 300 ppm vrij chloor geen gewasschade geeft. Dagelijkse behandeling met ultrasone nevel met 50 ppm vrij chloor (EC van 1,29) die 10 keer zijn gedoseerd over een periode van twee weken geven geen directe gewasschade in de vorm van afstervende bladweefsel, maar wel een zichtbaar verminderde groeikracht. Ook de behandelingen om de dag en om de vier dagen werken al remmend op de gewasontwikkeling. Hiermee is een duidelijke grenswaarde voor gewasbehandelingen bereikt. De slatest is herhaald met kortere inwerktijden van de nevelbehandelingen (2 minuten ipv 5 minuten) en met lagere concentraties vrij chloor (10, 25 en 50) en zoutgehaltes. Na 5 behandelrondes werd geen groeiremming vastgesteld. Herhaling van de slatest is nodig over een langere blootstellingsperiode veilige concentraties vast te stellen voor langdurige toepassingen.

Bij het toepassen van electrolysewater als gewasbehandeling is het van essentieel belang om de levenscyclus van de ziekteverwekker in het gewas te kennen en de gevoelige levensfase om vervolgens daarop het behandelplan af te stemmen. In de meeste gevallen is het aan te raden om zo vroeg mogelijk te starten met de electrolysewaterbehandelingen, liefst nog voordat symptomen van de ziekteverwekker in het gewas zichtbaar zijn. Dit maakt de slagingskans van een behandeling een stuk groter.

Uit het voorgaande blijkt ook dat electrolysewater die gebruikt wordt voor naoogst toepassingen niet onverdund is toe te passen voor meermalige gewasbehandelingen in de teelt, omdat deze dan veel te hoge concentraties vrij chloor en zouten bevat.

6.2 Veiligheid voor kasmaterialen

Bij toepassingen met electrolysewater moet er nagedacht worden over eventuele corrosierisico's en hoe deze zijn te voorkomen. De belangrijkste factoren die een rol spelen bij corrosie zijn: blootstellingstijd, temperatuur van de vloeistof (versnelt corrosie proces), pH en concentratie vrij chloor. De kennisinventarisatie (Hofland-Zijlstra *et al.* 2011) gaf aan dat electrolysewaters met een neutrale pH minder corrosief zijn ten opzichte van vloeistoffen met een hoge (>10) of lagere pH (2-3). Daarom is er in dit onderzoek voor gekozen om via een database een corrosietest uit te voeren met neutrale electrolysewaters. Verschillende producenten hebben neutraal electrolysewater (pH 6-8) ingeleverd. Deze hadden vergelijkbare waarden ten aanzien van vrij chloor, maar waren wel onderling verschillend ten aanzien van EC, pH en ORP waarden. De uitkomsten met betrekking tot de snelheid van corrosie waren verschillend, maar er is ten opzichte van water bij alle geteste vloeistoffen nog wel sprake van een verhoogd corrosierisico. Wel laat de test zien dat er wel degelijk op is te sturen, gezien het feit dat (EW 1) 3-6 maal korter hoog corrosief is bij een verdampende nevel dan de andere vloeistoffen. Tegelijkertijd hebben de producenten die bij dit project betrokken zijn in de afgelopen jaar hun machines en vloeistoffen alweer aangepast, zodat er nog minder zout nodig is om vrij chloor te produceren. Ten aanzien van vermindering van corrosierisico's is dit een goede zaak.

Een risicoinschatting van het corrosiegedrag van de vloeistoffen is nu alleen via een database bepaald en op een gevoelig metaal zoals RVS 304. Hierdoor kan het risico overschat worden, omdat er geen rekening wordt gehouden met het effect van bepaalde toevoegingen die het corrosieve gedrag van de vloeistof kunnen beïnvloeden (bijv. bepaalde toevoegingen). Een goede vervolgstap zou kunnen zijn om verschillende kasmaterialen en plastics aan de vloeistoffen bloot te stellen en vervolgens het gewichtsverlies als gevolg van corrosie te bepalen (weight loss coupons). Daarnaast is het belangrijk om materialen te selecteren die niet of veel minder gevoelig zijn voor corrosie zoals: RVS 316, gegalvaniseerd aluminium, PVC en polyethyleen. Voorzichtigheid is volgens Piet Westen (gepensioneerd corrosiedeskundige van Akzo Nobel) geboden van de nevels op aluminium, zink, geleverde onderdelen en veel toegepaste plastics als polyethyleen (PE), polypropyleen (PP) en epoxy welke bros worden na veelvuldige blootstelling (Sleegers 2011). Bij toepassingen waarbij de vernevelde vloeistof in speciale mistkamers wordt ingebracht is het zaak om met materialen te werken die niet gevoelig zijn voor corrosie van electrolysewater (bijv. metalen buizen) dan is er goed met electrolysewater te werken.

6.3 Veiligheid voor toedieners

De veiligheidsvoorschriften geven aan dat er alleen in geventileerde ruimtes met electrolysewater mag worden gewerkt. Bij het vernevelen van electrolysewater is het van belang om dit uitsluitend te doen met producten op basis van NaCl en niet met KCl, omdat dit een risico voor de gezondheid kan zijn.

6.4 Toekomstperspectief

De afgelopen jaren is de belangstelling voor toepassingen met electrolysewater sterk gegroeid. De druk op de sector om met milieuvriendelijke en duurzame middelen te werken neemt toe. Electrolysewater kan hiervoor met de juiste kennis voorhanden een veilig en bruikbaar alternatief zijn. Inmiddels is er ook een platform van producenten opgericht die zich samen met LTO Groeiservice willen inzetten voor registratie van electrolysewater, om het op termijn beschikbaar te laten komen als een toegelaten gewasbeschermingsmiddel voor de glastuinbouwsector. Proeven met verneveling van electrolysewater in een kas staan bij Wageningen UR Glastuinbouw in de planning voor 2013. Dan zal moeten blijken hoe groot de risico's voor materialen in de kas en opstanden zijn als met lage concentraties vrij chloor en zoutgehaltes wordt gewerkt. Het onderzoek heeft zich tot dusver gericht op veilige grenzen voor gewastoeepassingen en de kritische grenzen van biocidewerking. Tegelijkertijd zal het nodig zijn om onze kennis te vergroten over de effecten bij geringe doseringen van desinfectiemiddelen als abiotische stresselicitors waardoor de systemische weerstand van planten kan worden aangeschakeld en planten verminderd vatbaar worden voor ziekten en plagen. En op welke wijze dit is in te passen in robuuste gewasbeheerssystemen van de toekomst.

7 Literatuur

Arkestein, M. (2012)

ECA-water een mogelijk alternatief voor fungiciden. Sector ontwikkelt kennis en kijkt naar mogelijkheden voor toelating. Onder Glas 2:5-7.

Hofland-Zijlstra, J.D., A.H. Grosman, R. Hamelink, E.B. de Groot en J. Reinders (2011)

Toepassing van Aquanox in de glastuinbouw. Bleiswijk, Wageningen UR Glastuinbouw, Rapporten GTB 1092.

Hofland-Zijlstra, J.D., De Vries, R.S.M., Bruning, H. (2011)

Kennisinventarisatie naar de achtergronden en toepassingen van electrochemisch geactiveerd water in de agrarische sector. Bleiswijk, Wageningen UR Glastuinbouw. Rapporten GTB 1087.

Van Os, E.A., Hofland-Zijlstra, J.D., Hamelink, R., Van Leeuwen, G. (2010)

Bestrijding van Botrytis in gerbera tijdens de teelt en in de na-oogstfase, Deelproject 4 van Parapluplan Gerbera: kasklimaat, energie en botrytis bij gerbera; oorzaak, verband en maatregelen. Bleiswijk, Wageningen UR Glastuinbouw. Rapporten GTB 1057_JV.

Aan dit project is meegewerkt door:

Brinkman Agro B.V., Postbus 301, 2690 AH 's-Gravenzande

UT Engineering B.V., Bremenweg 14, 7418 EJ Deventer

Horticoop B.V., Postbus 130, 2665 ZJ Bleiswijk

Aquaox Water Systems BV, Koningsweg 20-9, 3762 EC Soest

Karo Tuinbouwtechniek & -benodigheden, Nieuwmarkt 2, 1681 NP Zwaagdijk

Reinders Vernevelings- en ontsmettingstechniek, Hoefzijde 4 - 05, 3961 MX Wijk bij Duurstede

Koppert B.V., Veilingweg 14, Postbus 155, Berkel en Rodenrijs

Agrozone Ozone technologies, Postbus 57, 6960 AB Eerbeek

Contronics, Postbus 144, 5490 AC Sint-Oedenrode

SKW Biosystems detectie en desinfectie, Wethouder Beversstraat 185, 7543 BK Enschede

B&B humidifications B.V., Eemnesserweg 64A, 1271 LW Huizen

Orbio Technologies, a Tennant Company Group, 4232 Park Glen Road, Minneapolis, USA

