

50552590-TOS/MEC 06-9365

Diëlektrisch ontsmetten van substraten Een goed alternatief voor stromen?

Versie 2

Arnhem, 11 september 2007

Auteurs F.B. Rasing, W.J.L. Jansen (Deconsult)
KEMA Technical & Operational Services



In opdracht van Productschap Tuinbouw en LNV in het kader van Glami

© KEMA Nederland B.V., Arnhem, Nederland. Alle rechten voorbehouden.

Dit document bevat vertrouwelijke informatie. Overdracht van de informatie aan derden zonder schriftelijke toestemming van KEMA Nederland B.V. is verboden. Hetzelfde geldt voor het kopiëren (elektronische kopieën inbegrepen) van het document of een gedeelte daarvan.

Het is verboden om dit document op enige manier te wijzigen, het opsplitsen in delen daarbij inbegrepen. In geval van afwijkingen tussen een elektronische versie (bijv. een PDF bestand) en de originele door KEMA verstrekte papieren versie, prevaleert laatstgenoemde.

KEMA Nederland B.V. en/of de met haar gelieerde maatschappijen zijn niet aansprakelijk voor enige directe, indirecte, bijkomstige of gevolgschade ontstaan door of bij het gebruik van de informatie of gegevens uit dit document, of door de onmogelijkheid die informatie of gegevens te gebruiken.

INHOUD

	blz.
SAMENVATTING	5
1 Inleiding	7
2 Doelstelling	8
3 Omschrijving technieken	9
3.1 Stomen	9
3.2 Diëlektrisch verwarmen	11
3.3 Samenvatting ontsmettingstechnieken	12
4 Aanpak.....	14
4.1 Verkenning substraat gebruik.....	14
4.2 Technische haalbaarheid	14
4.2.1 Metingen op labschaal	14
4.2.2 Maken van een pilot opstelling	18
4.2.3 Praktijktesten	19
4.2.4 Metingen aan verschillende soorten substraten	19
4.3 Teelt invloed.....	20
4.4 Economie	20
4.5 Milieu	20
4.6 Vervolgonderzoek	20
5 Resultaten.....	21
5.1 Verkenning substraatgebruik.....	21
5.1.1 Ontsmetten van de substraten	23
5.2 Technische resultaten	23
5.2.1 Stomen	24
5.2.2 Resultaten diëlektrisch ontsmetten.....	25
5.2.2.1 Metingen op labschaal voor het bepalen van het energieverbruik	26
5.2.2.2 Warmte-inbrenging in de substraat	26
5.2.2.3 Metingen op labschaal voor de bepaling van de ontsmettingsgraad.....	29
5.2.2.4 Maken van een pilot opstelling	31
5.2.2.5 Metingen op pilot schaal	32
5.2.2.6 Metingen aan verschillende soorten substraten	34
5.2.3 Conclusies technische resultaten	36

5.3	Teeltresultaten	37
5.3.1	Conclusie teeltresultaten	38
5.4	Milieu invloed	38
5.4.1	Grondstofreductie	39
5.4.2	CO ₂ -emissiereductie	39
5.4.3	Gewasbeschermingsmiddelenreductie.....	43
5.4.4	Conclusie milieu invloed.....	43
5.5	Economische resultaten	44
5.5.1	Kosten van stomen	46
5.5.2	Kosten van diëlektrisch ontsmetten.....	47
5.5.3	Economische resultaten verschillende technieken	49
5.5.3.1	Kostenvergelijking.....	49
5.5.3.2	Resultaat economische haalbaarheid diëlektrisch ontsmetten van potgrond	51
5.6	Conclusie economie.....	53
6	Specificaties ontsmettingsinstallatie	54
6.1	Ontsmettingsopstelling	54
6.2	Veiligheid	56
6.3	Praktijk ervaring	58
7	Conclusies	58
8	Aanbevelingen	62
Bijlage A	Wat is diëlektrisch verwarmen?.....	64
Bijlage B	Tabellen	67
Bijlage C	Informatie aangeleverd door A&F.....	73
Bijlage D	Literatuur.....	78

SAMENVATTING

Dit rapport geeft de resultaten van het project “Diëlektrisch ontsmetten van substraten”. Het project is uitgevoerd in het kader van de GLAMI regeling. GLAMI staat voor het programma GLAstuinbouw en Milieu.

Teelt van gewassen gebeurt op de volle grond en op substraten. Substraten zijn vervangers van de volle grond. Veel gebruikte substraten zijn onder andere potgrond en steenwol. Om deze substraten meerdere malen in te kunnen zetten, dienen deze na iedere teeltcyclus ontsmet te worden. Het ontsmetten heeft tot doel het doden van achtergebleven schimmels en ziektekiemen. Momenteel wordt de ontsmetting uitgevoerd door stomen. Ontsmetting door stomen heeft meerdere nadelen, met name het hoge energieverbruik (CO₂ emissie) en het negatieve effect op de kwaliteit van het substraat.

Diëlektrisch ontsmetten is een goed alternatief voor stomen. In deze rapportage is de technische haalbaarheid, de milieu-impact en de economie beoordeelt ten opzichte van stomen. Daarbij is voornamelijk ontsmetten van potgrond onderzocht. Tevens is aandacht geschonken aan het ontsmetten van andere substraatsoorten en aan de ontsmetting van de volle grond.

Geconcludeerd wordt dat diëlektrisch ontsmetten een goed alternatief vormt voor stoomontsmetten. Ook andere substraten als steenwol, vermiculiet en piepschuim zijn goed diëlektrisch te ontsmetten. Diëlektrisch ontsmetten draagt bij aan de volgende doelen:

- 1 verbetering van de energie-efficiëntie
- 2 reductie van gewasbeschermingsmiddelen
- 3 inzetbaarheid van duurzame toepassingen
- 4 verbetering economie ontsmetten
- 5 terugbrengen van andere nadelen die stomen heeft.

Als stoom ontsmetten wordt vervangen door diëlektrisch ontsmetten kan een aanzienlijke reductie van de CO₂-emissie worden bereikt. De grootte van de reductie hangt af van het vochtgehalte van de ontsmette potgrond en van de wijze van elektriciteitsopwekking en van de ontsmettingstemperatuur. Op laboratoriumschaal is een ontsmettingstemperatuur van 60 °C voldoende. Op grote schaal geeft 70°C een goede ontsmetting. Door het beter afstellen en isoleren van de installatie zou ook een ontsmettingstemperatuur van 60°C haalbaar moeten kunnen zijn. De praktijk zal uit moeten wijzen of dit haalbaar is of dat een ontsmettingstemperatuur van 70°C aangehouden moet worden om er zeker van te zijn dat de ontsmetting voldoende is. Bij opwekking van elektriciteit met een warmtekrachteenheid is een reductie van de CO₂-emissie te behalen van 30 tot 65%, afhankelijk van het

vochtgehalte van de potgrond. De reductie van de CO₂-emissie als gevolg hiervan kan oplopen tot meer dan 10 kg CO₂ per kubieke meter potgrond per ontsmettingsbeurt.

De potgrond kwaliteit blijft in tegenstelling tot stomen goed. Door deze betere kwaliteit van de potgrond, na diëlektrisch ontsmetten, is er een verhoging van de doorloopsnelheid van de lelieteelt van 3%. Daardoor is per teelt minder energie nodig in de kas. De reductie van de CO₂-emissie als gevolg hiervan wordt geschat op 8 kg CO₂ per kubieke meter potgrond per jaar.

In dit project is een 15 kW pilot opstelling gemaakt voor het ontsmetten van substraten. De techniek van diëlektrisch ontsmetten is ook in te zetten voor het ontsmetten van andere substraten dan potgrond of volle grond. Gewasbeschermingsmiddelen die worden ingezet om de substraat/grond voor de teelt te ontsmetten worden overbodig door diëlektrisch te ontsmetten. Reden hiervoor is dat alle schadelijke organismen af te doden zijn door hitte.

In tegenstelling met het bouwen van de pilot opstelling voor het ontsmetten van potgrond is in dit project geen installatie ontworpen om volle grond te verhandelen. Uit de resultaten van de uitgevoerde metingen en door de aanwezige kennis lijkt het maken van een mobiel desinfectiesysteem goed mogelijk.

Door de gasgevoede ontsmettingstechniek van stomen om te zetten naar een elektrisch gevoede techniek is het eenvoudiger om groene energie toe te passen. Gas is moeilijk op een duurzame manier te verkrijgen. Elektrische energie daarentegen is goed op een duurzame wijze te produceren door b.v. biomassa, zonne- of windenergie. Als de elektriciteit van duurzame energie wordt betrokken kan de techniek ervoor zorgen dat de CO₂-uitstoot met 100% afneemt.

Uit een economische vergelijking blijkt dat een diëlektrische ontsmettingsinstallatie economisch rendabel is. De terugverdientijd van een diëlektrische ontsmettingsinstallatie, ten opzichte van een installatie voor stoomontsmetting ligt, afhankelijk van de dichtheid van de potgrond, in de orde van 1 tot 3 jaar, wat een korte terugverdientijd is. Hierbij zijn eventuele extra baten, als gevolg van een hogere opbrengst door een betere kwaliteit van het product, niet meegenomen.

Overall kan geconcludeerd worden dat diëlektrische ontsmetting zowel technisch als economisch haalbaar is en voordelen biedt boven het huidige stomen van potgrond. Overige substraten en volle grond zijn met deze techniek ook te ontsmetten.

1 INLEIDING

In dit rapport zijn de resultaten verwerkt van de aanvullende testen van het van het project “**Diëlektrisch ontsmetten van substraten**, Een goed alternatief voor stomen?

Uit het eerste project zijn zeer goede resultaten bereikt met het ontwikkelen van een alternatief voor stomen van substraat. In dit vervolgproject is getracht een verdere optimalisatie te bereiken waardoor de energiebehoefte nog verder af zal kunnen nemen. Het project is uitgevoerd in het kader van de GLAMI-regeling. GLAMI staat voor het programma GLAstuinbouw en Milieu. In dit programma werken overheid en bedrijfsleven samen om de milieu- en energieprestaties van glastuinbouwbedrijven te verbeteren.

Teelt van gewassen gebeurt op de volle grond en op substraten. Substraten zijn vervangers voor de volle grond. Veel gebruikte substraten zijn potgrond en steenwol. Een deel van de substraten wordt met de plant verkocht, een deel wordt na het oogsten opnieuw ingezet als substraat en een deel wordt als afval afgevoerd als het niet meer te hergebruiken is. Om deze substraten meerdere malen in te kunnen zetten, dienen deze, na iedere teeltcyclus, ontsmet te worden. Het ontsmetten heeft tot doel het doden van achtergebleven schimmels en ziektekiemen. Momenteel wordt de ontsmetting uitgevoerd door stomen.

Ontsmetting door stomen heeft meerdere nadelen, met name het hoge energieverbruik (CO₂-emissie) en het negatieve effect op de kwaliteit van de substraat.

Uit een eerder door KEMA uitgevoerd oriënterend project [KEMA, 2003] lijkt diëlektrisch verwarmen een goed alternatief voor stomen van substraten. Verder is vastgesteld dat diëlektrisch ontsmetten een bijdrage kan leveren aan de nagestreefde doelen binnen GLAMI.

Reden voor een uitgebreider vervolgonderzoek waarbij de technische haalbaarheid, milieu-impact en kostprijs van diëlektrisch ontsmetten ten opzichte van stomen zijn beoordeeld. Hierbij is voornamelijk potgrond als substraat behandeld. Verder wordt in deze rapportage aandacht geschonken aan het ontsmetten van andere substraatsoorten en aan het ontsmetten van volle grond.

De projectleiding van dit project is uitgevoerd door KEMA. Daarnaast zijn laboratorium experimenten met de diëlektrische opstelling door KEMA uitgevoerd. Naast KEMA zijn er een vijftal bedrijven die mee hebben geholpen bij de uitvoering van dit project:

Deconsult, heeft theoretische en praktische kennis op het gebied van diëlektrische verwarmingstechnieken ingebracht.

Praktijkonderzoek Plant & omgeving (PPO), heeft schimmels aangeleverd en gemeten om de afdoding van het systeem te kunnen kwantificeren. Verder is er kennis ingebracht op het gebied van ontsmetting van substraten.

Agrotechnology & Food Innovations (A&F voorheen IMAG), heeft de markt van de substraten in kaart gebracht. Verder heeft A&F substraat aangeleverd en kennis ingebracht op het gebied van ontsmetten.

Potveer b.v. is de bouwer van het pilot ontsmettingsysteem. Potveer heeft samen met KEMA en generatorleverancier de pilot opstelling ontwikkeld zodat deze voldoet voor het ontsmetten van substraten.

Kwekerij Bakker & Zn, heeft testen uitgevoerd met de pilot opstelling. De behandelde grond is bij hen gebruikt voor het opkweken van lelies. Daarnaast is Kwekerij Bakker & Zn. de marktpartij die de wensen van kwekers kent.

2 DOELSTELLING

In dit project wordt een ontsmettingstechniek voor substraten ontwikkeld, als alternatief voor stomen, die kan bijdragen aan de doelstellingen van het GLAMI-convenant. Het project draagt bij aan de volgende doelen:

- 1 verbetering van de energie-efficiëntie
- 2 reductie van gewasbeschermingsmiddelen
- 3 inzetbaarheid van duurzame toepassingen
- 4 verbetering economie ontsmetten
- 5 terugbrengen van andere nadelen die stomen heeft.

3 OMSCHRIJVING TECHNIEKEN

Er worden in dit rapport twee verschillende ontsmettingstechnieken omschreven. Het gaat hierbij om de conventionele stoomontsmetting en de mogelijk vervangende techniek, diëlektrische ontsmetting. In dit hoofdstuk worden de beide technieken kort omschreven. Een uitgebreidere omschrijving van diëlektrisch verwarmen wordt in bijlage A gegeven. Zowel bij ontsmetten met stoom als bij ontsmetten met diëlektrisch verwarmen gebeurt de afdoding op dezelfde manier. Door een bepaalde temperatuur gedurende een bepaalde tijd te handhaven worden micro-organismen afgedood. De temperatuur waarbij dit gebeurt is voor elk organisme anders. Voor het bestrijden met stomen, van de moeilijkst afdoombare schadelijke schimmel (wortelpathogeen *Fusarium oxysporum*), wordt minimaal 2 uur bij 70 °C aangehouden.

3.1 Stomen

Bedrijven die potgrond hergebruiken hebben een ontsmettingsinstallatie die potgrond vrij maakt van schadelijke schimmels. Deze ontsmettingsinstallatie ontsmet de potgrond door deze met stoom op te warmen tot 70 °C. Door de potgrond gedurende 2 uur op deze temperatuur te houden worden alle schadelijke schimmels afgedood. De stoominstallatie is in bijna alle gevallen eigendom van de tuinders. Hieronder volgt een beschrijving van stoomontsmetting en van de logistiek tijdens het proces.

De potgrond, die vrij komt na het oogsten, wordt gehakseld om de grote delen te verkleinen en daarna in een stoomsilo opgeslagen. In de silo zijn in de vloer goten met roosters aangebracht waardoor stoom in de silo wordt gebracht. De grond wordt verhit door de stoom door de grond te leiden. De grond wordt afgedekt met zeilen.

De stoom wordt gegenereerd door een ketel waarin water wordt verhit tot het kookpunt. Het water dat wordt gebruikt wordt eerst behandeld om te voorkomen dat er kalk in het systeem wordt afgezet.

Na ongeveer 4 tot 6 uur stomen is de grond door de stoom opgewarmd tot 70 °C. Voor een goede ontsmetting wordt de grond daarna nog minimaal 2 uur op deze temperatuur gehouden. De totale duur van de stoomontsmetting is dan 6 tot 8 uur. De hoeveelheid gelijktijdig gestoomde grond is gelijk aan de hoeveelheid te ontsmetten grond per dag. Het gasverbruik voor het ontsmetten van de potgrond is 10 m³ gas per m³ potgrond.

Ontsmetten van potgrond door middel van stomen kost relatief veel energie en tijd. Dit komt doordat bij verwarmen met stoom de warmte wordt overgedragen door middel van geleiding. Vanaf de stoominlaatpunten dringt de stoom (warmte) geleidelijk verder de grond in. Potgrond is een goede isolator waardoor het zeer lang duurt (4 tot 6 uur) voordat alle potgrond op temperatuur is. Nadeel van deze lange opwarmtijd is dat veel warmte verloren gaat wat inhoudt dat er veel energie verloren gaat. Tevens zal de warmte aanvankelijk niet overal gelijk verdeeld zijn. De stoom heeft de neiging voorkeurskanalen in de potgrond te volgen. Plaatsen waar de potgrond erg verdicht is, zullen minder goed opwarmen. Door de lange verblijftijd in de stoomsilo zal de warmte door geleiding uiteindelijk redelijk goed verdeeld worden. Een goed stoominstallatie systeem heeft op meerdere plaatsen temperatuur sensoren maar het kan natuurlijk altijd voorkomen dat, op plaatsen waar de temperatuur niet gemeten wordt, de temperatuur achter blijft.

Een ander nadeel van stomen is dat de structuur van de potgrond achteruit gaat. Dit wordt veroorzaakt door de grote hoeveelheid stoom die in de potgrond gaat zitten. Na meerdere keren ontsmetten door middel van stomen wordt de potgrond minder luchtig en worden de grotere delen afgebroken tot kleinere delen waardoor er een meer "zanderige" potgrond ontstaat. Om de structuur van de potgrond acceptabel te houden en om het volumeverlies op te heffen wordt er na iedere stoombeurt 10 tot 15% nieuwe potgrond toegevoegd.

Om de grond op korte termijn te kunnen hergebruiken, wordt de grond in de stoombunker, na ontsmetten, afgegraven en via transportbanden omgezet naar een andere bunker. De grond koelt hierbij af tot ongeveer 40 °C. Als de afkoeling, na een keer omzetten, niet voldoende is wordt de grond meerdere malen omgezet.

Als de potgrond in kistjes is gebracht, is de grond tot ongeveer 35 °C afgekoeld. In deze met potgrond gevulde kisten worden de bollen geplant. De kistjes worden nog extra bevochtigd voor een verdere afkoeling, gestapeld op een pallet en vervolgens in een koelcel gebracht. In de koelcel wordt de winter nagebootst. Daarvoor worden de kistjes met grond en bollen in de koelcel afgekoeld naar 5 tot 9 °C en gedurende 10 tot 14 dagen op deze temperatuur gehouden.

Stomen van steenwol gebeurt op kleine schaal. Om een goede ontsmetting te krijgen wordt de steenwolmat ontdaan van de folie waarna deze in een container wordt geplaatst. Deze container wordt door stoom op temperatuur gebracht. Er worden hiervoor steenwolmatten gebruikt met een betere kwaliteit, omdat normale matten te slap zijn en gaan breken.

Volle grond wordt ook ontsmet met stoom. Hierbij wordt een zeil over de grond getrokken waaronder stoom wordt geblazen. Deze stoom verwarmt de grond. Deze methode van ontsmetting duurt lang en levert geen 100% ontsmetting op. Afhankelijk van de structuur van de grond en de verdeling van de stoom zullen er op sommige plaatsen koude zones blijven of plaatsen waar maar tot een beperkte diepte de juiste temperatuur bereikt is. Door de langzame opwarming hebben sommige organismen de tijd om weg te vluchten. De wortelduizendpoot is hier een voorbeeld van. Doordat het soms wel 4 uur duurt voordat op 20 cm diepte een hoge temperatuur wordt bereikt, kan de duizendpoot wegkruipen. In de chrysantenteelt kan de wortelduizendpoot daardoor, na de ontsmetting, nog steeds de nodige schade aanrichten [vakblad voor bloemisterij, 2004]. Het ontsmetten van de volle grond gebeurt deels door loonwerkers en deels door tuinders zelf die een eigen installatie bezitten.

De hiervoor genoemde informatie en extra informatie is terug te vinden in het rapport Stomen [Stomen, 1992].

3.2 Diëlektrisch verwarmen

De hierna genoemde informatie en extra informatie is terug te vinden in het rapport Diëlektrische verwarming [KEMA, 1993].

De techniek van diëlektrische ontsmetting werkt op dezelfde manier als stomen, namelijk het door verhitten afdoden van schimmels. Bij diëlektrisch verwarmen wordt elektrische energie via een hoogfrequent elektrisch veld aan het materiaal toegevoegd en daar omgezet in warmte. Het materiaal moet echter wel over de juiste eigenschappen beschikken, zoals een relatief lage elektrische geleidbaarheid en een hoge diëlektrische verliesfactor. Substraten zoals steenwol en potgrond hebben de juiste eigenschappen om diëlektrisch opgewarmd kunnen worden. Materialen die niet opwarmen in een diëlektrisch veld (bijvoorbeeld piepschuim (EPS (polystyreen)) bakken) kunnen vermoedelijk wel worden ontsmet. De reden hiervoor is dat de schimmel vocht bevat en dus wel kan worden opgewarmd. De schimmel zal dus vermoedelijk heet worden en het materiaal niet. Deze selectieve opwarming is positief omdat de hoeveelheid energie die moet worden ingebracht vele malen lager is dan als alles wordt opgewarmd.

Bij diëlektrisch verwarmen vindt de warmteontwikkeling, in tegenstelling tot stomen, in het substraat plaats. De warmteweerstand van het medium, in dit geval substraat, speelt dan geen rol van betekenis.

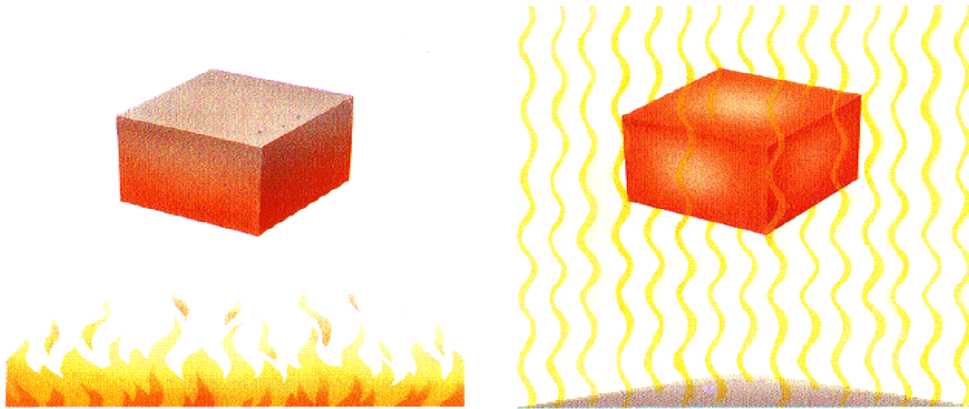
Diëlektrische verwarmingstechniek is opgedeeld in twee delen, namelijk radiofrequentie (met een frequentie tot en met 300 MHz) en microgolf (vanaf 300 MHz). Dit verschil in golflengte leidt tot een verschillende bouwwijze van microgolf- en radiofrequente systemen. Dit verklaart mede de kostenverschillen tussen radiofrequentie en microgolfsystemen: vooral bij hoge vermogens is de radiofrequente techniek per kilowatt goedkoper.

De logistiek van diëlektrisch ontsmetten is als volgt. De potgrond wordt voor en na diëlektrisch ontsmetten in bunkers opgeslagen. Voor het ontsmetten wordt de grond toegevoerd aan een lopende band die door een diëlektrische installatie voert. In deze installatie wordt de potgrond in doorloop, continue, verwarmd tot de ontsmettings-temperatuur. Na ontsmetten wordt de grond afgevoerd. Door de grovere droge structuur van de grond, omdat droog wordt ontsmet, koelt de grond na ontsmetten sneller af. Daarnaast kan aan de droge grond meer koud water worden toegevoegd die voor verdere afkoeling zorgt. Na het aanbrengen van de grond in kistjes en het planten van de bollen in de grond wordt geschat dat de grond inmiddels is afgekoeld tot circa 20 °C in plaats van 35 °C zoals bij stomen. Deze geschatte lagere temperatuur is gebaseerd op de hiervoor genoemde verschillen tussen gestoomde en diëlektrisch ontsmette grond. De kistjes worden daarna, net als na stoomontsmetting, gestapeld op een pallet en vervolgens in een koelcel gebracht om de winter na te bootsen bij een temperatuur van 5 tot 9 °C gedurende 10 tot 14 dagen.

Een uitgebreidere omschrijving van de diëlektrische techniek staat in bijlage A.

3.3 Samenvatting ontsmettingstechnieken

Zowel stoomontsmetten als ontsmetten door diëlektrisch verwarmen maken gebruik van warmte om schimmels in potgrond te doden. Het grootste verschil tussen beide technieken is de manier van warmte-inbrenging. Figuur 1 geeft schematisch weer wat de verschillen zijn tussen stomen en diëlektrisch opwarmen.



Figuur 1 Verschil tussen opwarmtechniek. Links stomen, rechts diëlektrisch

Door het verschil van opwarming is er een aantal verschillen tussen stoom en diëlektrisch ontsmetten. Tabel 1 geeft de belangrijkste verschillen van beide technieken weer.

Tabel 1 Verschillen tussen stoom en diëlektrische ontsmetting

stomen	diëlektrisch
warmte van buitenaf	warmte in materiaal opgewekt
zelden homogene verwarming	homogene verwarming bij homogeen product
slechte warmtegeleiding	warmtegeleiding speelt geen rol
opwarmingsproces tijdrovend	snelle opwarming
warmteverlies	weinig warmteverlies
extra ongewenste vochtinbreng	geen extra vochtinbreng
alles wordt opgewarmd	selectieve opwarming mogelijk

4 AANPAK

In dit hoofdstuk worden de verschillende onderdelen van het project beschreven. Ingegaan wordt op de gebruikte testinstallaties en de gebruikte meettechnieken. In hoofdstuk 5 worden de resultaten beschreven.

4.1 Verkenning substraat gebruik

Om goed inzicht te krijgen van de mogelijkheden van de inzetbaarheid van de techniek is er een studie uitgevoerd door A&F waarbij de verschillende soorten substraten die worden gebruikt, in kaart zijn gebracht. Daarbij is ook gekeken naar de hoeveelheid en de potentiële markt voor diëlektrische ontsmetter. De totale rapportage hierover staat in bijlage C weergegeven.

4.2 Technische haalbaarheid

Voor de bepaling van de technische haalbaarheid zijn een groot aantal werkzaamheden uitgevoerd:

- metingen op labschaal
- maken van een pilot opstelling
- praktijktesten
- metingen uitgevoerd aan verschillende soorten substraten.

4.2.1 Metingen op labschaal

Er zijn twee KEMA testopstellingen gebruikt voor het uitvoeren van de testen op labschaal.

System	Microgolf	Radiofrequent
Leverancier	Sairem	Colpitt
Frequentie	2450 MHz	27 MHz
Vermogen	6 kW	15 kW

Energieverbruik

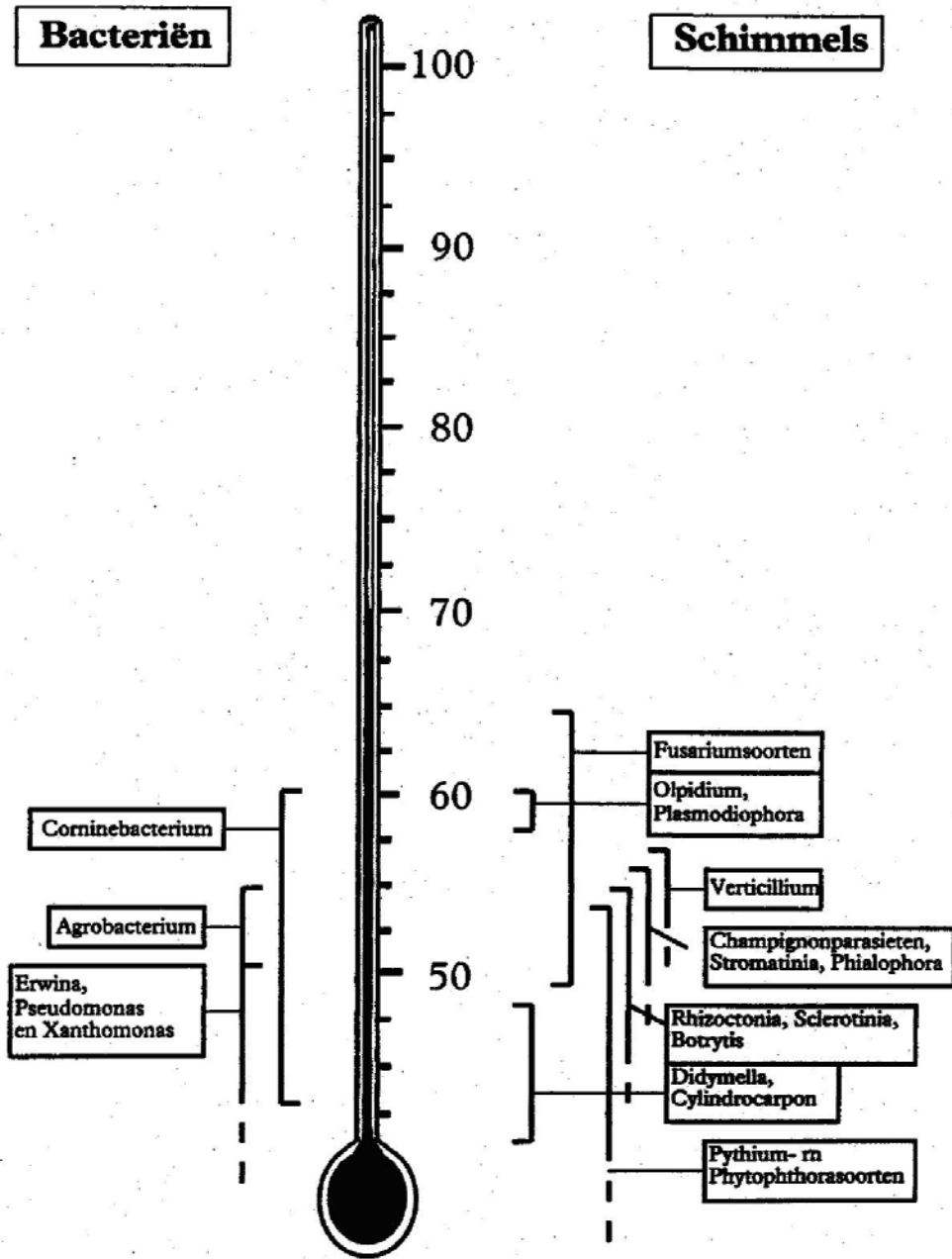
De microgolfinstallatie is voorzien van vermogensmeters. Met deze installatie is het energieverbruik tijdens het ontsmetten van de substraten gemeten. Aan de hand van deze

resultaten kan worden bepaald wat de hoeveelheid energie zal zijn die nodig is om een bepaalde substraatsoort te ontsmetten. De temperatuur is optisch gemeten via glasvezelkabels met optische meetsensoren in de punt. Deze niet-elektrische meetmethode wordt gebruikt omdat reguliere elektrische temperatuuropnemers de opwarming beïnvloeden en gestoord worden door het hoogfrequente elektrische veld. De verkregen resultaten worden gebruikt om een richtlijn te hebben voor het energiegebruik op grote schaal. Tijdens de metingen met de pilot opstelling zijn deze metingen herhaald worden om het energieverbruik nauwkeuriger te bepalen.

Effectiviteit ontsmetting

Voorafgaand aan de ontsmettingstesten wordt de potgrond besmet met Fusarium. De besmetting is aangebracht door nieuw potgrond te besmetten met de schimmels. Hiervoor heeft PPO schimmelsuspensie opgekweekt. Deze suspensie is verdeeld over de potgrond en hierna is de potgrond meerdere malen omgezet om een homogene verdeling van de schimmels te krijgen.

Na deze besmetting is bij verschillende temperaturen de afdoding bepaald. De gekozen temperaturen zijn 50 °C, 70 °C en 90 °C. Deze temperaturen zijn mede uitgekozen na de bestudering van de gegevens uit de ontsmettingstabel afkomstig uit het handboek stomen. [stomen, 1992]. In figuur 2 staat deze tabel weergegeven. De weergegeven temperatuur is gebaseerd op een warmtebehandeling van 30 minuten. Een afdodingstemperatuur van ½ uur bij 65°C is voldoende. Deze tabel is opgesteld voor stomen en zou af kunnen wijken doordat het aanbrenge van de temperatuur anders verloopt.



Figuur 2 Afdodingstemperatuurtabel van verschillende organismen

- 70 °C is de temperatuur die wordt aangehouden bij stoomontsmetting. Zoals uit figuur 2 blijkt is hierbij een grote veiligheidsmarge aangehouden om voldoende afdoding te krijgen. De houdtijd bij 70°C zal zorgen voor een langere lopende band.
- 50 °C is de temperatuur waarbij de potgrond wordt opgewarmd. Omdat “natte” schimmels misschien sneller opwarmen dan “droge” potgrond kan het zijn dat een potgrondtemperatuur van 50 °C een temperatuur hoger dan 50 °C in de schimmels geeft. Dit kan resulteren in voldoende afdoding van de schimmels. Uit energieoogpunt zou dit een zeer groot voordeel geven.
- 90 °C is de temperatuur die ervoor kan zorgen dat zonder naverwarming de schimmels direct afgedood zijn. Dit kan als voordeel hebben dat de ontsmetting in een continu proces geplaatst kan worden waardoor er geen buffers meer nodig zijn en dus minder ruimte in beslag nemen.

De aanwezigheid van schimmels is op twee verschillende methoden bepaald. Een methode is het bepalen van de hoeveelheid schimmels zonder onderscheid te maken welke type schimmels er aanwezig zijn. Daarnaast zijn er metingen uitgevoerd waarbij selectief is gekeken naar de aanwezigheid van een specifiek soort schimmel. Het resultaat wordt weergegeven in CFU/eenheid. Dit staat voor Kolonie Vormende Eenheden per eenheid materiaal.

Er kan een redelijke grote spreiding in de resultaten voorkomen. Dit wordt mede veroorzaakt doordat de verdeling van de schimmels niet homogeen is. Fusarium is bijvoorbeeld een schimmel die groeit op wortels. Als er in potgrond meerdere wortels zitten die besmet zijn zal er een hoge concentratie worden gevonden. Het monster dat uit dezelfde potgrond wordt gehaald zonder worteldelen geeft een lagere Fusarium besmetting. Aan 0,5 m³ potgrond worden de schimmels toegevoegd. Per behandeling wordt hiervan 100 ml geanalyseerd. Grote spreiding is dus onvermijdelijk door “inhomogeen” besmetten en inhomogeen groeien van de schimmels.

De effectiviteit van een ontsmetting wordt ook wel uitgedrukt in log reductie. Log reductie geeft aan hoeveel schimmels er nog aanwezig zijn na ontsmetten. Tabel 2 geeft de omschrijving van de verschillende ontsmettingsstadia en hierbij de log reductie.

Tabel 2 Naamgeving ontsmetting

naamgeving	afdoding [%]	omschrijving
1 log reductie	90	vervuild (niet voldoende afgedood)
2 log reductie	99	vervuild (niet voldoende afgedood)
3 log reductie	99,9	gedesinfecteerd (voldoende afgedood)
4 log reductie	99,99	gedesinfecteerd (voldoende afgedood)
5 log reductie	99,999	gedesinfecteerd (voldoende afgedood)
6 log reductie	99,9999	gesteriliseerd (voldoende afgedood)

Een Log 3 ontsmetting is een ontsmetting die voldoende is om substraten schoon genoeg te maken om te kunnen dienen als herbruikbaar substraat. Bij een log 3 reductie spreekt men over gedesinfecteerd en dit is voldoende ontsmetting voor hergebruik van het substraat. Een 100% afdoding (> log 5 reductie) is niet nodig en onwenselijk omdat enig bodemleven goed is voor de resistentie van de grond tegen ziektes. Er zijn goedaardige schimmels die een goede ontsmetting kunnen overleven. Deze schimmels voorkomen dat ziekmakende schimmels zich heel snel kunnen voortplanten en hebben ook een positieve invloed op de groei van de planten.

In de praktijk zitten er in zeer vervuilde grond 10^6 CFU/100 ml. Bij voldoende afdoding betekent dit dat er minder dan 10^3 CFU/100 ml over mogen blijven. Deze methode van uitdrukken van de ontsmetting en hoeveelheden worden echter in de praktijk nooit gehanteerd.

4.2.2 Maken van een pilot opstelling

Na het succesvol afsluiten van de labtesten (zie hoofdstuk 5, resultaten), is door de firma Potveer een 15 kW, 13 MHz, radiofrequente pilot opstelling voor het ontsmetten van potgrond gebouwd. Deze opstelling is bij leliekwekerij A. Bakker & Zn. B.V. geplaatst. Na het uitvoeren van de praktijktesten zal de opstelling worden aangepast indien de resultaten van de testen hiertoe aanleiding geven. Hierbij wordt onder andere naar de veiligheids-/stralingseisen, de werkbaarheid en de opwarmeigenschappen gekeken.

4.2.3 **Praktijktesten**

De pilot opstelling, zoals hiervoor omschreven, is gebruikt om de labtesten op grotere schaal uit te voeren en te verifiëren of de techniek op grotere schaal in de praktijk werkt. Hierbij ligt de nadruk op het verbruik, de afdoding en de optimalisatie van de opstelling.

Voor de ontsmettingstesten is er $\frac{1}{2}$ m³ potgrond besmet met Fusarium. Deze potgrond is daarna ontsmet in de pilot opstelling waarbij de tijd waarin de potgrond op constante temperatuur is gehouden, is gevarieerd. De meting van de afdoding van schimmels in deze potgrond, is uitgevoerd door niet naar een geselecteerde schimmel te kijken, maar naar de aanwezigheid van alle schimmels voor en na ontsmetten. Daarnaast is een grote hoeveelheid potgrond ontsmet waarmee teelttesten zijn uitgevoerd. Tijdens de praktijktesten zijn eveneens een grote hoeveelheid verschillende soorten substraten behandeld. Dit wordt behandeld in de volgende paragraaf. De testen zijn uitgevoerd bij verschillende ontsmettingstemperaturen.

Naast de groeitesten is potgrond in het laboratorium 10 keer verwarmd om na te gaan of dit invloed heeft op de structuur. Tevens is deze structuurvergelijking uitgevoerd met gestoomde grond.

4.2.4 **Metingen aan verschillende soorten substraten**

Naast de potgrond zijn er ook andere substraatsoorten behandeld. Substraatsoorten waar naar gekeken is, zijn steenwol, perliet, vermiculiet, polystyreen, en kokos. Van deze substraten is bepaald of deze in de diëlektrische verwarming uit zichzelf opwarmen of dat het aanwezige vocht voor de opwarming moet zorgen. Potgrond, steenwolmatten en vermiculiet zijn met de pilot opstelling behandeld en de overige substraten zijn met de laboratorium-opstelling behandeld.

Naast substraten is er tevens gekeken naar de mogelijkheid voor het opwarmen van volle grond. Er zal naar aanleiding van deze gegevens, met de ervaring uit eerdere projecten en met de gegevens van een literatuurstudie, worden bekeken of deze techniek ook mogelijk gebruikt kan worden voor een mobiel systeem. Met een mobiel systeem kan volle grond ter plaatse worden ontsmet, zonder dat de grond hoeft te worden afgegraven.

4.3 **Teelt invloed**

Om na te gaan welke invloed de manier van ontsmetten heeft op de plantengroei, is de potgrond onder verschillende omstandigheden ontsmet en is deze vervolgens gebruikt voor het opkweken van lelies. Als voornaamste leliesoort is gekozen voor de Muscadet. Dit is een leliesoort die erg gevoelig is voor Pythium. Er is bij verschillende ontsmettingstemperaturen gemeten. Na de teelt worden de stengels bekeken op de aanwezigheid van ziektes. Van de geoogste stengels wordt het gewicht en de lengte bepaald, en de lengte van de knoppen wordt opgemeten. De metingen zijn uitgevoerd in de winter- en zomerperiode. Als referentie zijn ook gestoomde en nieuwe potgrond meegenomen.

4.4 **Economie**

Op basis van de resultaten van de praktijktesten en op basis van prijzen verkregen van Potveer is de economische haalbaarheid van diëlektrisch ontsmetten vergeleken met stoomontsmetten. In deze vergelijking zijn alle kosten en besparingen van beide systemen in beschouwing genomen.

4.5 **Milieu**

Op basis van de resultaten van de energieverbruiksmetingen tijdens de praktijktesten wordt het energieverbruik van diëlektrisch ontsmetten vergeleken met het energieverbruik bij stoomontsmetten. Bepaald wordt wat de CO₂-emissiereductie is van diëlektrisch ontsmetten ten opzichte van stoomontsmetten. Tevens wordt aandacht geschonken aan verschillen in materiaalverbruik in de vorm van potgrond en naar reductie van gewasbeschermingsmiddelen.

4.6 **Vervolgonderzoek**

Als vervolgonderzoek zijn de ontsmettingstesten herhaald in het laboratorium en in de praktijk. In het laboratorium zijn de testen herhaald bij 70 °C en 60 °C. Deze testen zijn meerdere keren uitgevoerd.

Er is een praktijktest uitgevoerd in de zomer omdat gedurende deze periode de kans op snelle groei van de Fusarium het grootst is.

5 RESULTATEN

De resultaten verkregen op basis van de verschillende testen worden hieronder in verschillende paragrafen behandeld. Het gaat hierbij om:

- verkenning substraatgebruik
- technische resultaten
- teeltresultaten
- milieu invloed
- economie
- marktpotentie.

5.1 Verkenning substraatgebruik

De glastuinbouw in Nederland is ongeveer 10.000 hectare groot. Dit is in drie groepen onder te verdelen. In tabel 3 staan de groepen weergegeven en daarbij tevens aangegeven wat het oppervlak is en hoeveel daarvan op substraten wordt geteeld.

Tabel 3 Onderverdeling in de glastuinbouw

indeling glastuinbouw	areaal	areaal op substraat	belangrijkste substraatsoort	opmerking
	[ha]	[ha]		
groenteteelt	4300	3100	steenwol	75% kan worden ontsmet
bloementeelt	3600	1375	steenwol	50% kan worden ontsmet
potplantenteelt	2000	2000	potgrond	5% te ontsmetten. Nagenoeg alles wordt met plant verkocht.
totaal	9700	6475		

Naast de glastuinbouw zijn er ook ontwikkelingen in de bolbloemen- en bloembollenteelt. Deze teelt valt niet onder de glastuinbouw maar maakt ook deels gebruik van kassen vandaar dat dit hier afzonderlijk wordt behandeld. Met name het forceren van bloembollen voor de snijbloemenooft wordt meer en meer op water en/of substraat uitgevoerd. Tulp en lelie zijn de grote gewassen. 50% van de tulp wordt op potgrond geforceerd, de andere helft op water. Bij een omzet van 1,5 miljard tulpen per jaar betekent dit een omzet aan potgrond van circa 100.000 m³. Voor de lilies met een omzet van 0,4 miljard bloemen waarvan 50% in substraat wordt opgekweekt, bedraagt de omzet in potgrond circa 200.000 – 400.000 m³.

In tabel 4 is een overzicht gegeven van de belangrijkste substraten, hun kenmerken, dichtheid, prijs en een schatting van het areaal. Het areaal is altijd een schatting omdat het per jaar nogal eens wat wil schommelen, afhankelijk van prijsaanbiedingen en toevallige onderzoeksresultaten. Over een lange termijn bekeken blijft de verdeling toch vrij stabiel waarbij steenwol circa 27% van het totale glastuinbouw areaal in handen heeft. De laatste jaren is kokos de topper onder de rest en zit er nog steeds groei in de markt volgens een van de belangrijkste leveranciers.

Tabel 4 Kenmerken van in de glastuinbouw gebruikte substraten

substraat	gebruik	recycling?	opmerkingen (% te ontsmetten)	% areaal ¹ (m ³ materiaal) ²	investering EUR
houtvezel	matten, combinatie met andere substraten	goed, eenmalig bruikbaar	(0%)	0,25	1,4/m ³
kleikorrels	potplanten en enkele snijbloemen	tot 5 jr, goed te stomen	vele korrelgrootten (20%)	1 (15.000)	bulk >65/m ³ zakken >93/m ³
kokos	matten en als potgrondmengsel	composteerbaar, recyclebaar	voorbehandeling nodig, soms zout, samenpersbaar (50%)	9 (65.000)	63/m ³
lava	korrels, granulaat voor potplanten, beddenteelt	duurzaam, goed stoombaar	na gebruik toepasbaar als fundering (75%)	0,75	25/m ³
perliet	korrels in zakken en mengsel met potgrond	goed stoombaar, aantal jaren hergebruik	breekbaar in kleinere korrels en gruis (75%)	5 (15.000)	89/m ³
poly-urethaan	verlijmde vlokken of hele matten	>10jr, goed stoombaar	brandbaar (90%)	0,5	2,0/mat
puijsteen	vulkanisch gesteente in korrels in zakken of als mengsel met potgrond	duurzaam, goed stoombaar	(75%)	3 (5.500)	53/m ³
steenwol	matten, blokken	meestal eenmalig gebruik, maar stoombaar	(75%)	27 (18.000)	1/ 2 jr.mat 1,5/mat. meerjr. 1,7/mat
vermiculiet	fijne structuur, vooral bij zaaien en afdekken	eenjarig gebruik	kwetsbare structuur (10%)	--	97/m ³
potgrond	potplanten, siergewassen	composteerbaar en stoombaar	milieuproblemen (5%)	18,5	23-26/m ³
zand	soms in mengsels	stoombaar	zwaar (90%)	--	18/m ³
kasgrond	klei, zand, zavel	stoombaar	(90%)	36	

1 Areaal: 10.000 ha glastuinbouw

2 Hoeveelheid op jaarbasis [LTO, 2002]

5.1.1 Ontsmetten van de substraten

Vele substraten zijn te ontsmetten na afloop van de teelt, maar vaak wordt gekozen voor eenmalig gebruik. Belangrijkste reden van eenmalig gebruik is de ziektevrije start met nieuw substraat en de geringere hoeveelheid arbeid tijdens de teeltwisseling. Meestal wordt hiervoor gekozen bij de teelt van vruchtgroenten (tomaat, komkommer, paprika) waarbij de teeltwisseling voornamelijk in de late herfst (november, december) plaatsvindt. In december wordt de schoongemaakte kas weer vol geplant. De tijd dat de kas leeg staat bedraagt tussen de 2 en 4 weken afhankelijk van de wijze van organiseren van de tuinder. De grootse substraatsoort is steenwol. Het afvoeren van dit substraat is in Nederland goed geregeld. Van het gebruikte steenwol wordt 80 tot 90% hergebruikt door het als grondstof in bakstenen en in nieuw steenwol te gebruiken. Het diëlektrisch ontsmetten van deze substraat moet economisch zeer rendabel zijn om de tuinders te doen overstappen. De andere substraten zijn duur in aanschaf dus hierbij is het al snel economisch aantrekkelijk om dit te hergebruiken.

In dit project is potgrond als substraat genomen om verder uit te zoeken. Voor de bepaling van de hoeveelheid potgrond die kan worden hergebruikt is tabel 5 opgesteld. Voor de hoeveelheid potgrond in de glastuinbouw is aangehouden dat er 1 oogst per jaar is en dat elke m² kasoppervlak, 0,1 m³ potgrond bevat.

Tabel 5 Hoeveelheid potgrond in de glastuinbouw en bollenteelt

	hoeveelheid gebruikt potgrond	hoeveelheid potgrond voor ontsmetting
eenheid	[m ³]	[m ³]
glastuinbouw	±1.850.000	±100.000
lelie	±300.000	±300.000
tulp	±100.000	±100.000
totaal	±2.250.000	±500.000

5.2 Technische resultaten

De technische resultaten van ontsmetten worden in de volgende paragrafen behandeld. De resultaten van stomen en diëlektrisch ontsmetten worden afzonderlijk behandeld.

5.2.1 Stomen

De stoomontsmetting is een geaccepteerde techniek die goed functioneert voor het ontsmetten van potgrond. Er zijn in dit project geen uitvoerige gegevens verzameld van stoomontsmetten zoals die in de loop van de tijd bij tuinders zijn uitgevoerd. Uit summierere testen uitgevoerd bij drie verschillende bedrijven die lelies kweken en stomen, zijn gemiddelde ontsmettingsresultaten bepaald die in tabel 6 staan weergegeven. Tabel 28 in bijlage B geeft alle meetwaarden weer. De effectiviteit van de ontsmetting is bepaald door het totale aantal aan schimmels (niet selectief) te meten. Er is niet gekeken naar afzonderlijke schimmels omdat op voorhand niet duidelijk is welke schimmels er aanwezig waren.

Tabel 6 Resultaten stoomontsmetting

bedrijfscode	gemiddelde hoeveelheid schimmels [cfu/g]
1	250.000
2	1770
3	2625

Uit deze resultaten blijkt dat na stomen er nog veel schimmels aanwezig zijn. Aangezien er niet gekeken is naar selectieve schimmels zou het zo kunnen zijn dat alle aanwezige schimmels, goedaardige schimmels zijn die pas bij hogere temperatuur worden afgedood.

Na gesprekken met gebruikers van een stoomontsmetter en gezien de aanwezigheid van de grote hoeveelheid schimmels, is de kans groot dat er potgrond wordt hergebruikt dat niet perfect is ontsmet. Bij bedrijven die stoomontsmetten komt het vaker voor dat platen worden aangetast dan bij bedrijven die altijd nieuwe potgrond gebruiken.

Op papier zal stomen tot minimaal een log 3 reductie van schimmels moeten worden gehaald. Of dit in de praktijk wordt gehaald, wordt echter betwijfeld als de bovenstaande resultaten worden bekeken. Bekend is dat er plaatsen binnen een bunker zijn waar de temperatuur niet hoog genoeg komt om voldoende afdoding te krijgen. Op plaatsen waar potgrond vast ligt aangedrukt of waar deze in een hoek of aan het oppervlak bevindt, bestaat de kans dat de temperatuur daar lager blijft. Het kan ook voorkomen dat er voorkeurskanalen ontstaan waardoor de stoom stroomt en waardoor er weinig stoom naar de overige plaatsen gaat. Door een lange tijd van ontsmetten te nemen is echter de ontsmetting over het

algemeen goed te noemen. Er zijn geen waarden bekend van tuinders die stomen, en die daarna de ontsmettingsgraad laten controleren.

Een ander nadeel bij het stomen is er een behoorlijke stof en geuremissie. Dit wordt veroorzaakt door de luchtstroom die met het stomen door de potgrond wordt geleid en daarna wordt afgeblazen. Voor het verbruik van gas wordt in dit project aangehouden dat per 1 m³ potgrond, 10 m³ gas nodig is om de grond goed te ontsmetten.

Structuur potgrond

Een zeer groot nadeel van het stomen van potgrond is dat de structuur van de grond zeer nadelig wordt beïnvloed. De potgrond wordt veel minder luchtig doordat de grove delen worden afgebroken en de potgrond zanderig wordt. Figuur 3 geeft goed het verschil weer tussen de structuur van de potgrond van een leliekweker die stoomt en de structuur van diëlektrisch ontsmette potgrond.



Figuur 3 Links gestoomde grond met zanderige structuur, rechts diëlektrisch ontsmette grond

5.2.2 Resultaten diëlektrisch ontsmetten

De resultaten van de verschillende testen staan in verschillende paragrafen weergegeven. Het gaat hierbij om verschillende testen in het laboratorium en op pilot schaal.

5.2.2.1 Metingen op labschaal voor het bepalen van het energieverbruik

Met de microgolfgenerator zijn in het laboratorium ontsmettingstesten uitgevoerd waarbij de opwarmingssnelheid is gemeten met behulp van de optische temperatuursensoren. Het toegevoerde vermogen tijdens de testen is eveneens gemeten. Uit de gegevens is het benodigde energieverbruik per kubieke meter potgrond bepaald. De gegevens staan samengevat in tabel 7 voor zowel droge (250 kg/m^3) als natte (400 kg/m^3) grond.

Tabel 7 Metingen uitgevoerd met microgolfgenerator

dichtheid potgrond	opwarmingssnelheid	gebruikt vermogen	massa	verbruik bij opwarming tot 70 °C	gemiddeld verbruik	gemiddeld verbruik net (rendement 60%)
(kg/m^3)	($^{\circ}\text{C}/\text{sec.}$)	(kW)	(kg)	(kW/m^3 potgrond)	(kW/m^3 potgrond)	(kW/m^3 potgrond)
250	1.372	4.29	1.026	10.6	11.6	19.3
400	0.220	2.17	2.516	21.8	18.8	31.3

Dit gemiddelde berekende energieverbruik is de effectieve microgolfgenergie die in het monster is gebracht. Het verbruik dat uit het net wordt gehaald ligt hoger omdat een generator een efficiëntie heeft van ongeveer 60%. Het verbruik uit het net ligt dus voor droge grond op ongeveer $19 \text{ kW}/\text{m}^3$ en voor vochtige grond op $31 \text{ kW}/\text{m}^3$. Het energieverbruik dat berekend is met de microgolfgenerator is gelijk aan het energieverbruik voor een radiofrequente installatie. Hierbij wordt aangenomen dat beide technieken een rendement hebben van ongeveer 60%. Deze testen zijn ook herhaald met de praktijkopstelling (zie hoofdstuk 5.2.2.5). Deze labmetingen zijn gebruikt om een indruk te krijgen over het energiegebruik en welk vermogen nodig is om praktijktesten uit te kunnen voeren. Er is gekozen voor het uitvoeren van testen op grotere schaal met een 15 kW installatie.

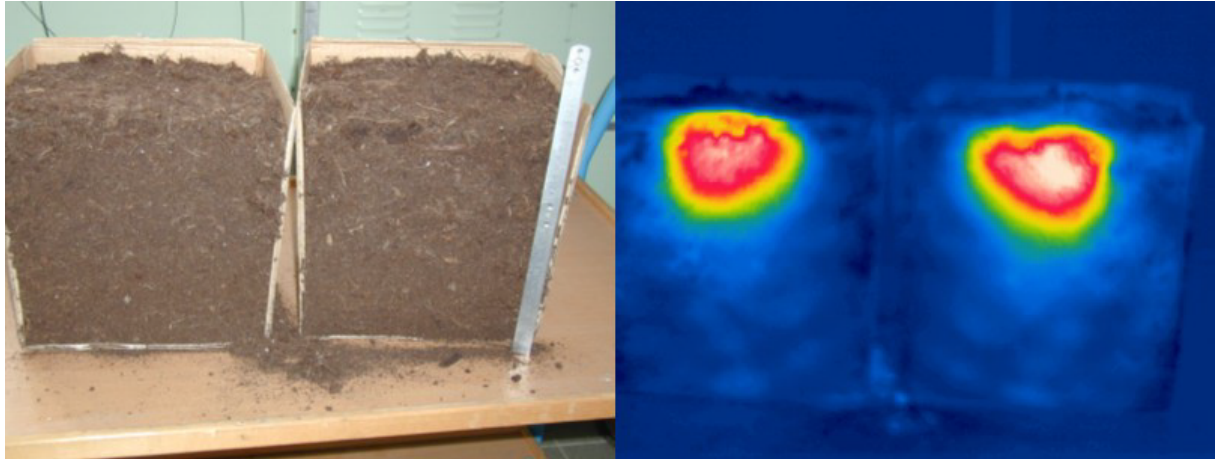
5.2.2.2 Warmte-inbrenging in de substraat

Met microgolf en radiofrequente opwarming zijn testen uitgevoerd voor de bepaling van de invloed van de laagdikte op de opwarming van de potgrond.

Microgolf

De indringdiepte met microgolf is afhankelijk van de vochtigheid van de grond. Vochtige grond heeft een geringere indringdiepte. Figuur 4 geeft een visueel en een thermisch beeld van de dwarsdoorsnede van een bak potgrond die onder de microgolf golfpijp heeft gestaan.

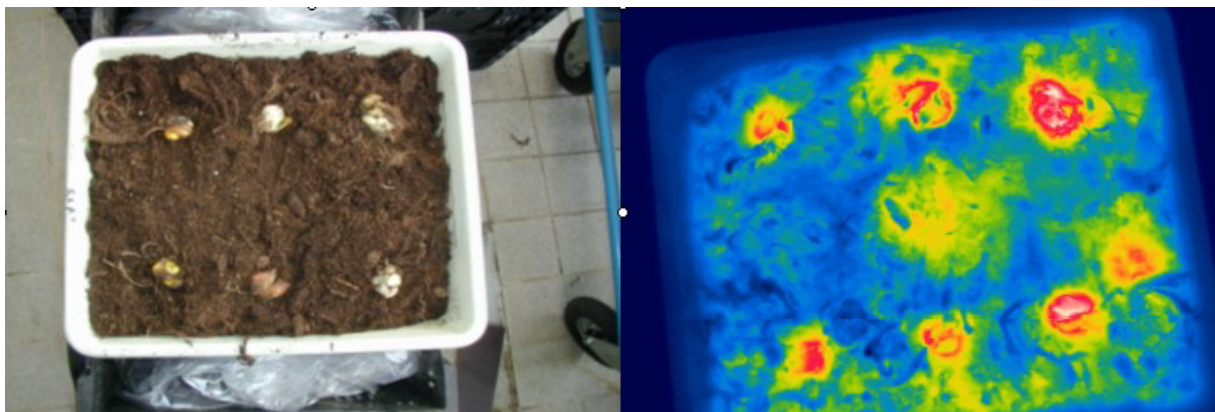
De totale laagdikte is 30 cm. Uit het thermische beeld (wit/rood is warm, blauw is koud) blijkt dat van potgrond alleen de bovenste laag, van ongeveer 5 cm, is opgewarmd.



Figuur 4 Links foto potgrondbak, rechts zelfde bak met infrarood camera

Uit de resultaten van de testen blijkt dat de indringdiepte voor microgolven bij droge potgrond ongeveer 14 cm en bij vochtige potgrond ongeveer 5 cm bedraagt.

Om de selectieve opwarming zichtbaar te kunnen maken zijn “natte” leliebollen op “droge” potgrond geplaatst en via microgolf verwarmd (figuur 5). Er is duidelijk een verschil in temperatuur waar te nemen tussen de droge potgrond en de natte bollen. Dit geeft aan dat selectieve opwarming van bollen mogelijk is. Of deze selectiviteit ook optreedt tussen “natte” schimmels en sporen en “droge” potgrond zal moeten worden gemeten door de ontsmetting tussen droge en natte potgrond met de zelfde temperatuur met elkaar te vergelijken.



Figuur 5 Links potgrond met bollen, rechts infrarood foto na opwarmen

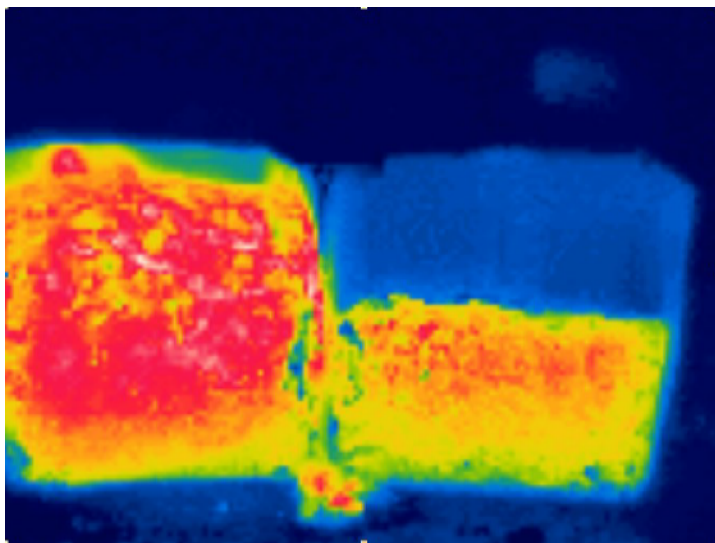
Tevens is in figuur 5 te zien dat er naast de hete plekken waar de bollen liggen, ook in het midden van de bak een hete plek is waar te nemen. Dit wordt veroorzaakt door de inhomogene opwarming. De bak heeft op een draaiplateau in de microgolfoven gestaan. De hete plek is het punt dat constant op dezelfde plaats is gebleven. Aangezien in een microgolfoven “pieken en dalen” voorkomen, wordt een materiaal zonder maatregelen inhomogeen verwarmd. Een van de manieren om dit op te vangen is het materiaal door de oven te bewegen. Bij een draaiplateau blijft het midden echter op dezelfde plaats en kan daardoor heter of kouder worden. Als er met een lopende band wordt gewerkt is dit fenomeen afwezig en zal op alle plaatsen de opwarming nagenoeg gelijk zijn.

Radiofrequent

De indringdiepte met radiofrequente opwarming is “ongelimiteerd”. De redenen waardoor inhomogene opwarming kan optreden zijn:

- laagdikte variaties
- vochtigheid variatie.

Om de invloed van de laagdikte variaties van de potgrond in een radiofrequente opstelling te bepalen is een bak gevuld met twee hoogtes potgrond. Figuur 6 geeft een foto weer, genomen met de thermische camera. De verkleuring van rood naar geel naar groen geeft de lagere temperatuur weer. De dunnere laag wordt minder warm (geel/groen) dan de dikke laagdikte (rood).



Figuur 6 Thermische opname radiofrequent opgewarmd potgrond (verschillende laagdikte)

Het verschil in opwarming van de verschillende laagdiktes heeft te maken met het verschil in diëlektrische constante van lucht en van potgrond. Potgrond heeft een hogere diëlektrische constante. In geval er een geringe luchtlaag tussen de elektroden zit (linker beeld in figuur 6) zal er, bij dezelfde spanning tussen de elektroden, een hogere veldsterkte in de potgrond heersen dan in het geval waar een grotere luchtlaag aanwezig is (rechter beeld in figuur 6). Het is dus zaak om bij radiofrequente opwarming in de praktijk een constante laagdikte aan te brengen. Door een dikkere laag potgrond op te warmen zal een gering hoogteverschil een veel kleiner effect hebben dan bij een geringe laagdikte. De variatie in opwarming door verschil in vochtigheid is nagenoeg gelijk aan de microgolf opwarming (zie figuur 5).

5.2.2.3 Metingen op labschaal voor de bepaling van de ontsmettingsgraad

Samen met PPO is er een meetopzet gemaakt waarbij potgrond wordt besmet met *Fusarium*. De testen zijn een aantal keer herhaald om tot goede resultaten gekomen. De testen zijn herhaald omdat de reproduceerbaarheid en de hoeveelheid van de besmetting grote spreiding gaf. De testen zijn uitgevoerd om de relatie te achterhalen tussen de ontsmetting van de potgrond en de temperatuur en tijd waaraan de potgrond is blootgesteld.

De eerste testen zijn uitgevoerd aan drie verschillende temperaturen en met droog en vochtig potgrond. Deze testen zijn uitgevoerd om te achterhalen wat de invloed van de temperatuur is en of er sprake is van selectieve opwarming. Als droge potgrond langzamer opwarmd dan natte schimmels zal de ontsmetting van droge potgrond beter moeten zijn. De resultaten staan weergegeven in tabel 8. Alle resultaten staan in bijlage B tabel 25 en 26.

Tabel 8 *Fusarium* gehalte in verschillend behandeld potgrond

	FUSARIUM		
	gemiddelde	afname	afname
behandeling	[cfu's/eenheid]	[%]	[Log]
besmette vochtige potgrond	7000	0	
ontsmette vochtige potgrond bij 90 °C	5	99,9	Log 3
ontsmette vochtige potgrond bij 70 °C	62	99,1	Log 2
ontsmette vochtige potgrond bij 50 °C	927	86,8	Log 2
besmette droge potgrond	4500	0	
ontsmette droge potgrond bij 50 °C	820	81,8	Log 2

De laatste testen zijn uitgevoerd door ongeveer 20 gram potgrond in een panty te verpakken. Deze monsters zijn in een bak van ongeveer 10 liter potgrond verdeeld en in de ontsmetter opgewarmd. Er zijn 4 verschillende optische meetsensoren geplaatst om de temperatuur in de potgrond te bepalen.

Uit deze laatste resultaten blijkt dat een ontsmettingstemperatuur van 60°C en direct afkoelen al een goede ontsmetting geeft. Uit eerdere testen is gebleken dat een langere tijd op de gewenste temperatuur houden een gunstige uitwerking heeft op de ontsmetting. Aangezien de ontsmetting dusdanig goed is dat er geen schimmels meer terug te vinden zijn na de ontsmetting, is dit effect bij deze laatste metingen niet te zien.

Tabel 9 geeft de resultaten weer van het diëlektrisch ontsmetten van potgrond zoals bereikt bij het uitvoeren van testen op labschaal bij KEMA met de radiofrequent generator. Deze resultaten zijn de gemiddelde waarden van triplo metingen. Alle resultaten staan weergegeven in bijlage B tabel 30. De opwarming heeft plaatsgevonden in de radiofrequent-installatie, tot de temperatuur de opgegeven temperatuur heeft bereikt. Het monster is direct genomen en hierdoor is het monster ook direct afgekoeld.

Tabel 9 Fusariumgehalte in verschillend behandeld potgrond

behandeling	FUSARIUM		
	gemiddelde	afname	afname
	[cfu's/g potgrond]	[%]	[Log]
besmette potgrond	25040	0	
ontsmette potgrond 0 minuten bij 70 °C	<80	>99.7	Log 3
ontsmette potgrond 15 minuten bij 70 °C	<80	>99.7	Log 3
ontsmette potgrond 30 minuten bij 70 °C	<80	>99.7	Log 3
ontsmette potgrond 60 minuten bij 70 °C	<80	>99.7	Log 3
ontsmette potgrond 120 minuten bij 70 °C	<80	>99.7	Log 3
ontsmette potgrond 0 minuten bij 60 °C	<80	>99.7	Log 3
ontsmette potgrond 15 minuten bij 60 °C	<80	>99.7	Log 3
ontsmette potgrond 30 minuten bij 60 °C	<80	>99.7	Log 3
ontsmette potgrond 60 minuten bij 60 °C	<80	>99.7	Log 3
ontsmette potgrond 120 minuten bij 60 °C	<80	>99.7	Log 3

De potgrond is besmet met Fusarium. De besmetting zou dusdanig moeten zijn dat er meer dan 30000 CFU/g potgrond zou moeten zitten. De praktijk geeft een lagere besmetting, hierdoor is een ontsmetting net beneden log 3 aantoonbaar.

Aangezien Fusarium de meest temperatuur resistente schimmel is, kan er van uit worden gegaan dat alle schadelijke schimmels, zoals bijvoorbeeld Pythium, minimaal dezelfde ontsmetting geven als Fusarium.

Het resultaat in tabel 9 geeft aan dat ook een ontsmettingstemperatuur van 60°C een log 3 reductie kan geven. Een praktijk opstelling zou een aantal testruns moeten draaien met vervuilde grond om de ontsmetting bij 60°C te controleren. Daarnaast is het ook duidelijk dat een langer verblijftijd bij verhoogde temperatuur een gunstig effect geeft. Het is daarom aan te raden om na het opwarmen de potgrond zo lang mogelijk op temperatuur te houden om een zo optimaal mogelijke ontsmetting te krijgen.

5.2.2.4 Maken van een pilot opstelling

Op basis van de positieve resultaten is het project vervolgd met het bouwen van een pilot opstelling. De resultaten uit hoofdstuk 5.2.2.2 geven aan dat radiofrequente opwarming betere eigenschappen geeft ten opzichte van microgolf. Met name de “ongelimiteerde” laagdikte die kan worden opgewarmd, is een pre voor de radiofrequente ontsmetter. Daarnaast is de kostprijs van deze techniek lager. Een extra voordeel van radiofrequente techniek is dat de afscherming ter voorkoming van uittreding van golven makkelijker is, waardoor het eenvoudiger is om aan de EMC eisen te kunnen voldoen.

De pilot opstelling is gemaakt bij de firma Potveer. Er is een systeem gemaakt waarbij een doseereenheid een lopende band vult met potgrond. De lopende band voert door de omkasting heen. In deze omkasting zitten de elektrodeplaten waartussen de potgrond wordt opgewarmd. De elektrode is aangesloten op een luchtgekoelde 15 kW, 13 MHz radiofrequent generator. De omkasting dient tevens als afscherming. Figuur 7 geeft de opstelling weer zoals deze door de firma Potveer is gemaakt.



Figuur 7 Foto van de diëlektrische ontsmetting opstelling

De lopende band is ongeveer 80 cm breed en de hoogte van de potgrondlaag op de lopende band is 12 cm. Door middel van een voorraadbunker wordt er langzaam potgrond op de lopende band gedoseerd en gelijkmatig over de band verdeeld. De snelheid van de band kan op elke gewenste snelheid worden ingesteld. De radiofrequente generator draait op vol vermogen (15 kW). De temperatuur van de potgrond wordt bepaald door de snelheid waarmee de potgrond onder de elektrodeplaten wordt gehaald. De hoogte van de hoogspanningselektrode boven de potgrond is instelbaar om een optimale werking van het systeem te verkrijgen.

5.2.2.5 Metingen op pilot schaal

Het energieverbruik voor ontsmetten is bepaald door een aantal keer een kuub potgrond te verhitten. Daarbij werden het gewicht van de potgrond, de temperatuur van de potgrond en het energieverbruik bepaald. De gegevens staan in tabel 10 weergegeven. De genormaliseerde waarde is de berekende waarde van het energieverbruik voor het verwarmen van 1 m³ potgrond verwarmen van 20 °C naar 70 °C.

Tabel 10 Energieverbruik potgrondopwarming met radiofrequente pilot opstelling bij opwarming tot 70 °C

	eenheid	medium potgrond	vochtig potgrond	droog potgrond
netto gewicht voor behandeling	[kg/m ³]	327	448	285
genormaliseerd	[kWh/m ³ /50°C]	30	40	26

Bij de testen is geconstateerd dat de temperatuur aan de zijkant van de band iets hoger ligt dan de temperatuur in het midden van de band. Wat verder opvalt is, dat na het ontsmetten de potgrond de warmte goed vasthoudt. Tijdens het transport tussen twee lopende banden waarbij de potgrond 50 cm naar beneden valt komt er een grote hoeveelheid waterdamp vrij. Als de potgrond in de kuubskist komt heeft het nog een temperatuur van ongeveer 55 °C. Deze temperatuur blijft in het midden minimaal 3 uur nagenoeg constant (< 3 °C verschil). De temperatuur in de kuubskisten kan worden verhoogd door de potgrond zonder extra tussenstappen in de kuubskist te brengen. Tijdens de test is de potgrond via 3 verschillende transportbanden getransporteerd waarbij elke keer de potgrond 50 cm naar beneden valt en hierdoor veel warmte verlies. Door met een transportband te werken komt de potgrond met een hogere temperatuur in de kuubskist en zal de ontsmetting door gaan.

Uit de resultaten van de labtesten is naar voren gekomen dat een korte opwarming naar 60 °C leidt tot een goede afdoding van schimmels. In tabel 11 staan de resultaten van de metingen die zijn uitgevoerd met de pilot opstelling. Na het ontsmetten bij een gemiddelde temperatuur van 80°C is de temperatuur gehandhaafd op 70 °C gedurende een variabele duur. Met deze metingen is de invloed van behandelingstijd bepaald. Tabel 10 geeft de gemiddelde resultaten weer, tabel 29 in bijlage B geeft alle resultaten weer. De metingen van de hoeveelheid schimmels zijn uitgevoerd aan alle aanwezige schimmels en is niet selectief uitgevoerd.

Tabel 11 Resultaten ontsmetting na verschillende verblijftijden bij 70 °C

behandeling	schimmels		
	gemiddelde [cfu's/eenheid]	afname [%]	afname [Log]
onbehandeld	8000	0	
80 °C + 0 uur 70 °C	135	98	Log 2
80 °C + ½ uur 70 °C	>13	>99,8	Log 3
80 °C + 1 uur 70 °C	>10	>99,9	Log 3
80 °C + 1 uur 56 °C	60	99,3	Log 2

De test bij 56 °C is uitgevoerd door het monster in de opvangkist te houden. Na ontsmetten komt de potgrond, zonder verdere maatregelen, met een temperatuur van ongeveer 56 °C in deze kist en blijft minimaal 1 uur op deze temperatuur.

Tijdens de testen blijkt dat er een temperatuur verschil is aan de zijkanten van de lopende band. Dit wordt vermoedelijk veroorzaakt door warmteverlies naar de zijkant of verstrooiing van het veld dat optreedt aan het uiteinde van de elektrode.

5.2.2.6 Metingen aan verschillende soorten substraten

Met de laboratorium radiofrequent generator zijn metingen uitgevoerd aan verschillende soorten andere substraten dan potgrond. Deze substraten zijn besmet met Fusarium en na het ontsmetten is het Fusarium gehalte opnieuw gemeten. Vermiculiet, polystyreen en steenwol zijn voor ontsmetten met radiofrequent generator verwarmd tot 70 °C. Bij vermiculiet en steenwol is deze temperatuur direct in het materiaal gemeten. Omdat polystyreen (piepschuim) zelf niet warm wordt is daar de temperatuur gemeten in een beker water die zich ook in de radiofrequent installatie bevond. Direct na het bereiken van de 70 °C is de warmtebron uitgezet en is het materiaal aan de lucht afgekoeld. De gemiddelde resultaten staan in tabel 12 vermeld terwijl alle resultaten in bijlage B, tabel 27 staan weergegeven.

Tabel 12 Afdodingsresultaten verschillende substraten met radiofrequente opwarming

behandeling	FUSARIUM		
	gemiddelde	afname	afname
	[cfu's/eenheid]	[%]	[Log]
besmette vermiculiet	15533	0	
ontsmette vermiculiet bij 70 °C	0	100	Log 5
besmette polystyreen	27667	0	
ontsmette polystyreenbij H ₂ O van 70°C	5167	81,3	Log 2
besmette steenwol kubus	80833	0	
ontsmette steenwol kubus bij 70 °C	30783	61,9	Log 1.5

Vermiculiet is goed te ontsmetten en economisch zeer rendabel vanwege de hoge kostprijs en de moeilijkheid met afvoeren van gebruikt vermiculiet. Wel is het zo dat vermiculiet (ook perliet) bros is. Tijdens alle behandelingen zal de grove delen in kleinere delen uiteen vallen. Er zal dus nieuw grof vermiculiet moeten worden bijgemengd om voldoende luchtigheid te houden.

Verder zijn er metingen uitgevoerd aan een gebruikte steenwolmat. Hieraan zijn geen extra schimmels toegevoegd maar is direct uit de kas bij A&F gekomen waarop komkommers zijn gekweekt. De in de mat aanwezige schimmelhoeveelheid is voor en na ontsmetten gemeten. De steenwolmat is direct na ontsmetten aan de lucht afgekoeld. De resultaten staan in tabel 13 vermeld.

Tabel 13 Ontsmettingsresultaat oude steenwolmat ontsmet met radiofrequente ontsmetter

behandeling	schimmels		
	gemiddelde	afname	afname
	[cfu's/eenheid]	[%]	[Log]
besmette steenwol	132100	0	
ontsmette steenwol bij 70 °C	940	99.99	4

Het grote verschil in ontsmetting tussen de steenwol uit tabel 11 en 12 is dat de massa van het "droge" steenwolblok is veel kleiner dan de massa van een vochtige steenwolmat van 30 cm. Hierdoor is de kleine steenwolblok zeer snel opgewarmd (5 seconden) en ook weer zeer snel afgekoeld vanwege de lage vochtigheid (Cp is zeer laag).

Er zijn ook steenwolmatten uit de rozenteelt door de pilot opstelling gehaald. Deze matten zullen in de praktijk niet worden hergebruikt omdat hierin "houtachtige" wortels zitten die hergebruik onmogelijk maakt. De steenwolmatten zijn naast elkaar op de lopende band gelegd. De opwarming ging goed en snel maar door de inhomogeniteit van het materiaal zijn grote temperatuurvariaties waargenomen.

5.2.3 Conclusies technische resultaten

Stomen is een veel gebruikte en geaccepteerde ontsmettingstechniek. Ondanks deze acceptatie kleven er aan deze ontsmettingstechniek toch een aantal grote bezwaren. Naast de geur- en de stofemissie zijn de hoge energiekosten (10 m³ gas/ m³ potgrond) en de aantasting van de structuur van de potgrond de voornaamste nadelen.

Potgrond is goed te ontsmetten met een diëlektrische ontsmetter. De techniek van ontsmetten is gelijk aan die van stomen. Dit is namelijk het op temperatuur brengen en houden van de potgrond. Het verschil hierbij is dat de warmte met radiofrequent installatie in het materiaal wordt opgewekt, met stomen wordt de warmte van buitenaf aangebracht. Opwarmen tot 60 ° geeft op labschaal voldoende ontsmetting. In de praktijk zal elke installatie moeten worden gecontroleerd of de ontsmetting bij 60 ° al voldoende is. Als dit niet het geval is zal de temperatuur hoger moeten worden aangehouden of dat het monster langer bij de temperatuur moet worden gehouden.

De installatie zal moeten worden geoptimaliseerd waardoor er minimale verschillen in temperatuur op de verschillende plaatsen optreedt. Dit kan onder andere worden gedaan door het vervormen van de elektrodes aan het uiteinde en isoleren van de wanden waarmee het potgrond in contact komt.

Van de diëlektrische technieken verdient radiofrequente opwarming de voorkeur omdat deze techniek niet een gelimiteerde indringdiepte heeft en homogener opwarmt. Daarnaast is radiofrequente installatie bij hogere vermogens goedkoper dan een microgolfinstallatie.

Waarschijnlijk zijn alle substraatsoorten te ontsmetten. Materialen die opwarmen in de radiofrequente golven kunnen goed ontsmet worden. Materialen die niet opwarmen (b.v. polystyreen) kunnen waarschijnlijk ook worden ontsmet. Reden hiervoor is dat de vochtige schimmels wel opwarmen en het materiaal niet. Uit tabel 11 blijkt dat 81% van de schimmels is afgedood. De opwarming zou langer plaats moeten vinden om voldoende afdoding te krijgen. Het zou eventueel wel kunnen zijn dat het aanwezige vocht verdwijnt doordat dit gaat

koken, maar dat er sporen achterblijven die niet verder worden opgewarmd. In dat geval zal de afdoding onvoldoende zijn.

5.3 Teeltresultaten

In de wintermaanden is potgrond ontsmet bij 75 en 90°C. Deze ontsmette potgrond is samen met nieuw en gestoomde potgrond in de kas geplaatst. Na 13 weken zijn de lelies in de radiofrequent ontsmette potgrond en in de nieuwe potgrond klaar om geoogst te worden. De lelies op de gestoomde grond konden drie a vier dagen later geoogst worden. Er zijn geen ziektes in de planten aangetroffen. Naast het sneller kunnen oogsten van de lelies is ook een beter product ontstaan. In tabel staan de gemeten waarden weergegeven [X] en de verandering ten opzichte van onbehandelde grond is weergegeven in [%] procentuele afwijking.

Tabel 14 Gemiddelde resultaten teelt testen

	onbehandeld	gestoomd I		gestoomd II		diëlektrisch tot 75 °C		diëlektrisch tot 90 °C	
		[X]	[%]	[X]	[%]	[X]	[%]	[X]	[%]
gewicht stelen [g]	78.2	79.9	2	78.2	0	92.4	18	91.3	17
lengte stelen [cm]	72.0	73.6	2	73.8	3	74.0	3	76.0	6
knoplengte [mm]	72.5	76	6	77.5	8	83.5	16	86.5	20

In de zomermaanden is de test herhaald met 80 m³ ontsmette grond. De grond is opgewarmd tussen de 60 en 70 °C. Van deze 80 m³ potgrond zijn ongeveer 42000 stelen geoogst. De teelt duurt 11 weken waarbij lelies gekweekt op nieuwe en radiofrequent ontsmette potgrond 2 dagen eerder oogstrijp waren. In een groot deel van de stelen van de Muscadet is Pythium gevonden. Vanwege de besmetting met Pythium zijn er zijn geen metingen uitgevoerd voor de bepaling van het verschil in de kwaliteit van de lelies. De kwaliteit van de lelies is veel slechter dan lelies geteeld op nieuwe grond vanwege de aantasting van de lelies door de Pythium. De gestoomde grond geeft ook besmetting met Pythium. De rede voor de vervuiling kan worden gevonden in het nog niet optimaal gemaakte installatie. Er zitten nog temperatuur verschillen in de potgrond door de nog niet goed gevormde elektrodes en nog niet geoptimaliseerde isolatie. Daarnaast is er geen langere verblijftijd bij verhoogde temperatuur aangehouden.

Uit de teeltresultaten van de teelt die is uitgevoerd na de aanpassingen van de ontsmetter om de potgrond langer op temperatuur te houden, zijn de volgende resultaten gevonden. De lelies op de gestoomde grond konden drie dagen eerder geoogst worden ten opzichte van nieuwe potgrond, waarbij het gewicht van de stengel 10% lichter is. De stengelstevigheid en de knopgrote zijn goed. Rede voor de eerdere oogst ten opzichte van nieuwe potgrond is niet goed te verklaren. De enige oorzaak hiervoor zou gevonden kunnen worden in de verschil in luchtigheid. Er zijn geen sporen van aantasting van de planten gevonden.

5.3.1 Conclusie teeltresultaten

Radiofrequent ontsmette potgrond geeft veel betere resultaten dan gestoomde grond. Door de betere structuur van de grond kan de teeltduur met 3% worden ingekort.

Daarnaast heeft het eindproduct een betere kwaliteit. Met name het gewicht van de steel (17%) en de lengte van de knop (10%) is beter ten opzichte van gestoomde grond.

De resultaten van de vervolgmetingen geven een zelfde beeld van de kwaliteit van het product te zien als de eerste metingen. Er is dus, ondanks het optimale milieu voor de schimmels, geen dusdanige schimmelgroei ontstaan dat dit nadelige invloed heeft op de planten.

De lichtere stengel en kortere ontwikkeltijd zijn niet te verklaren. Er is tijdens de teelt geen rekening gehouden met extra bemesting van de potgrond. Indien potgrond wordt hergebruikt zal hieraan extra aandacht moet worden gegeven. De kortere teeltijd kan misschien worden veroorzaakt doordat door alle handelingen de grond iets luchtiger is waardoor de wortels zich sneller kunnen ontwikkelen.

5.4 Milieu invloed

De milieuvoordelen van het vervangen van stoomontsmetting door radiofrequent ontsmetten, zijn bepaald. De invloed op het grondstofverbruik, CO₂-emissies en gewasbeschermingsmiddelen reductie wordt in de volgende paragrafen behandeld.

5.4.1 **Grondstofreductie**

Vanwege de structuuraantasting van de potgrond bij stomen, wordt er nieuwe potgrond toegevoegd (inzet van 15% nieuwe potgrond) of wordt alle potgrond vervangen (inzet van 100% nieuwe potgrond). Radiofrequent ontsmetten heeft geen structuuraantasting tot gevolg. Er wordt verwacht dat in praktijk 5% nieuwe potgrond aan diëlektrisch ontsmette potgrond moet worden bijgevoegd. Als gevolg van het minder bijmengen van nieuwe potgrond wordt er een grondstofreductie verkregen van 10%. Indien tuinders die altijd nieuwe potgrond gebruiken, overstappen op ontsmetten met de radiofrequentontsmetter dan wordt er zelfs een grondstofreductie van 95% verkregen. Bij het ontsmetten van 40 m³ potgrond per dag is dit een besparing van 1050 m³ bij stomende bedrijven en 10000 m³ potgrond per jaar bij tuinders die altijd nieuwe potgrond gebruiken.

Daarnaast is het ook mogelijk om alle andere substraten met radiofrequente techniek te ontsmetten. Substraten die nu moeilijk te ontsmetten zijn met stomen worden maar deels ontsmet, het overige deel wordt afgevoerd. Voor deze substraten kan het dus een grondstofbesparing zijn die ruim boven de 50% ligt. Dit hangt voor een overgroot deel af van de structuurvastheid van dit materiaal. Als bijvoorbeeld steenwolmatten steviger worden uitgevoerd en hieromheen een warmtebestendig folie dan kan deze substraatsoort meerdere keren hergebruikt worden. Ten opzichte van stomen heeft dit een zeer groot voordeel dat de folie om de steenwolmat niet hoeft te worden verwijderd. Dit scheelt aanzienlijk aan arbeids- en materiaalkosten. Perliet en vermiculiet zijn goed te ontsmetten maar vanwege het tere karakter van het materiaal moet dit voorzichtig worden behandeld. De korrels zullen geleidelijk kleiner worden en de luchtigheid verliezen. Bij deze substraten zal vermoedelijk grof substraat worden bijgemengd om een goede structuur te behouden.

5.4.2 **CO₂-emissiereductie**

Er zijn twee manieren waarop op CO₂-uitstoot wordt verminderd als op radiofrequent ontsmetten wordt overgegaan en wel:

- CO₂-reductie tijdens ontsmetting
- CO₂-reductie tijdens teelt.

CO₂-reductie tijdens ontsmetting

De CO₂-reductie verkregen door diëlektrisch ontsmetten in plaats van stoomontsmetten is van een aantal factoren afhankelijk. Op de eerste plaats is de vochtigheid van de potgrond een belangrijke parameter. Zoals in hoofdstuk 5.2.2.5 is aangegeven (tabel 9) heeft de

vochtigheid van de potgrond grote invloed op het energieverbruik. In tabel 14 is de CO₂-reductie gegeven van diëlektrisch ontsmetten ten opzichte van stoomontsmetten. Hierbij zijn voor vier verschillende potgrond vochtigheden de besparingen berekend. In tabel 14 staat ook een tabel waarbij er vanuit wordt gegaan dat de ontsmettingstemperatuur van 60 °C. In dit rapport is verder gerekend met een ontsmettemperatuur van 70 °C omdat dit op labschaal en in de praktijk is aangetoond. Ontsmettingstemperatuur van 60 °C is op labschaal mogelijk gebleken en zal met praktijktesten moeten worden aangetoond. Daarnaast is de manier van elektriciteit opwekking van invloed. Er is met drie verschillende manieren van stroomopwekking gerekend met de daarbij behorende rendementen, namelijk:

- **gemiddelde elektriciteitscentrale:** Gemiddeld rendement van een elektriciteitscentrale in Nederland is 44.4%.
- **beste STEG eenheid:** STEG staat voor Stoom En Gasturbine. Hete uitlaatgassen van de gasturbine, worden in de stoomturbine omgezet naar een roterend askoppel. Zowel stoom- als gasturbine drijven de generator aan. Dit complete STEG systeem heeft een rendement van 52%. Dit rendement is net als bij de gemiddelde elektriciteitscentrale inclusief de verliezen die optreden bij het stroomtransport.
- **WKK 30/50:** WKK staat voor Warmte Kracht Koppeling. Dit komt enigszins overeen met een STEG. Het enige verschil is dat de restwarmte bij een STEG wordt gebruikt voor het produceren van stoom voor het aandrijven van een stoomturbine terwijl bij een WKK de warmte wordt gebruikt voor het opwarmen van bijvoorbeeld een kas. Het totaal rendement van een WKK is 80%; 50% thermisch en 30% elektrisch. Hierbij wordt er van uitgegaan dat de warmte nuttig ingezet kan worden. In de berekening is daarom 50% van het gasverbruik toegerekend aan de elektriciteitsproductie, waardoor het elektrisch rendement 60% bedraagt. Nieuwste WKK eenheden hebben elektrisch rendement boven de 70% maar hiermee is niet gerekend.

Als ervan uit wordt gegaan dat er met de huidige elektriciteitscentrale de energie wordt opgewekt dan is het rendement 44.4%. Met de beste STEG eenheid kan worden gerekend als er vanuit wordt gegaan dat er extra productie eenheid nodig is om aan de elektriciteitsvraag te kunnen voldoen. Met deze methode stijgt het rendement met 8% tot 52%. Bij een grotere energiebehoefte kan het voor tuinders interessant zijn om een WKK aan te schaffen. Als de warmte nuttig kan worden ingezet dan is er een rendement mogelijk van 80%. De mogelijkheid van het inzetten van een WKK eenheid zal per bedrijf moeten worden bekeken omdat dit geheel afhankelijk is van de bedrijfsomstandigheden.

In tabel 15 wordt de reductie van CO₂-emissie gegeven als stoomontsmetten wordt vervangen door diëlektrisch ontsmetten. De CO₂-reductie wordt gegeven voor vier vochtgehalten van de potgrond en voor drie vormen van elektriciteitsopwekking. Het

elektrische energieverbruik voor ontsmetten is gebaseerd op de energieverbruiksmetingen verkregen tijdens de testen met de pilot installatie waarvan de resultaten in tabel 9 staan weergegeven. Voor de besparing van de hoeveelheid CO₂ is gerekend dat er per m³ aardgas 1.77 kg CO₂ vrij komt.

Tabel 15 Verschil CO₂-emissie tussen stomen en diëlektrisch ontsmetten

	eenheid	stomen	diëlektrisch					
			vochtigheid potgrond					
			droog ← → nat			droog ← → nat		
ontsmettingstemperatuur	[°C]	70	70	70	70	70	60	60
soortelijk gewicht potgrond	[kg/m ³]		250	300	350	400	250	400
energieverbruik per m³ potgrond	[kWh/m ³]		23	28	33	38	18	30
gemiddelde E-centrale (44.4%)	[m ³ gas/m ³]	10,0	5,9	7,2	8,4	9,7	5,6	9,1
beste STEG (52%)	[m ³ gas/m ³]	10,0	5,0	6,1	7,2	8,3	4,3	6,9
WKK 30/50 (60%)	[m ³ gas/m ³]	10,0	4,4	5,3	6,2	7,2	3,5	5,6
emissiereductie t.o.v. stomen								
gemiddelde E-centrale (44.4%)	[%]	(-)	41	28	15	2	53	22
beste STEG (52%)	[%]	(-)	50	39	28	17	60	34
WKK 30/50 (60%)	[%]	(-)	56	47	38	28	65	42
emissiereductie t.o.v. stomen								
gemiddelde E-centrale (44.4 %)	[kg CO ₂ /m ³]	(-)	7	5	3	1	8	1
beste STEG (52%)	[kg CO ₂ /m ³]	(-)	9	7	5	3	11	4
WKK 30/50 (60%)	[kg CO ₂ /m ³]	(-)	10	8	7	5	12	6

Door de gasgevoede ontsmettingstechniek van stomen om te zetten naar een elektrisch gevoede techniek is het eenvoudiger om groene energie toe te passen. Gas is moeilijk op een duurzame manier te verkrijgen. Elektrische energie daarentegen is goed op een duurzame wijze te produceren door b.v. biomassa, zonne- of windenergie. Als de elektriciteit van duurzame energie wordt betrokken kan de techniek ervoor zorgen dat de CO₂-uitstoot met 100% afneemt.

CO₂-reductie tijdens de teelt

De CO₂-reductie tijdens de teelt is alleen bepaald voor het kweken van lelies. De invloed van de structuur op de wortel- en plantengroei zal per gewas verschillen. De testen zijn uitgevoerd met lelies bij kwekerij A. Bakker & Zn.

Door de betere kwaliteit van de diëlektrisch ontsmette grond gaat de omloopsnelheid van de teelt omhoog. Tijdens de testen bij Kwekerij A. Bakker & Zn zijn de planten 3% eerder oogstrijp dan planten opgekweekt in gestoomde grond. Dit betekent een kostenbesparing op energie per eenheid product of per eenheid ontsmette grond.

Per jaar wordt er bij leliekwekerij A. Bakker & Zn per m² kasoppervlak 45 m³ gas verbruikt. Doordat er op jaarbasis 11 dagen (vier oogsten met ieder gemiddeld ongeveer drie dagen tijdwinst) sneller geoogst kan worden, betekent dit een besparing van 3%. Als deze besparing in geld wordt uitgedrukt dan betekent dit een besparing van EUR 0,80 per m³ potgrond. Tabel 16 geeft de uitgangsggegevens en de bepaalde kostenbesparing per hoeveelheid grond. Deze gegevens zijn door Kwekerij A. Bakker & Zn aangeleverd en gelden voor het kweken van lelies.

Tabel 16 Uitgangspunten en besparing per hoeveelheid grond door kortere doorlooptijd

besparing op gas	eenheid	waarde
uitgangspunten		
energieverbruik per jaar in de kas	m ³ gas / m ² bruto grondoppervlak	45
aantal oogsten per jaar		4
aantal dagen eerder oogstrijp		3
hoeveelheid grond per oppervlak per jaar	m ³ potgrond / m ² bruto grondoppervlak	0,3
CO ₂ -productie per m ³ gas	kg CO ₂ /m ³ aardgas	1,77
gemiddelde gasprijs	EUR/m ³ gas	0,18
berekeningen		
kostenbesparing	EUR/m ³ potgrond	0,8
besparing aardgas per m ³ potgrond	m ³ aardgas / m ³ potgrond	4,5
besparing CO ₂ per m ³ potgrond	kg CO ₂ /m ³ potgrond	8

Bij de andere substraatsoorten zal een versnelling van de teelt nauwelijks plaatsvinden. Alleen bij kokos zal een soortgelijke besparing op kunnen treden.

De totale hoeveelheid potgrond die ontsmet zou kunnen worden is ongeveer 500.000 m³. Als dit momenteel allemaal door stomen ontsmet zou worden, en dit wordt vervangen door diëlektrisch ontsmetten dan kan de reductie oplopen tot 0.9 miljoen m³ CO₂. Dit is berekend door de besparing bij stomen (10 kg CO₂/m³, tabel 14) en besparing bij teelt (8 kg CO₂/m³, tabel 16).

5.4.3 Gewasbeschermingsmiddelenreductie

Zoals in figuur 2 is af te lezen kunnen alle schadelijke organismen worden afgedood door hitte. Dit houdt in dat alle bestrijdingsmiddelen (fungicide) die worden ingezet om voor het beplanten te grond te ontsmetten kunnen worden vervangen door diëlektrisch ontsmetten. In de lelieteelt wordt bijvoorbeeld Ridomil gebruikt om de grond onder de kratten te ontsmetten. Wordt dit niet gedaan dan kunnen de schimmels vanuit de ondergrond de planten gaan aantasten.

De techniek van diëlektrisch opwarmen voor het ontsmetten van substraten is een techniek die ook goed toepasbaar is voor het on-site ontsmetten van grond in de kas. Elke gewenste diepte kan met diëlektrische technieken worden verwarmd tot de juiste ontsmettings-temperatuur. De techniekkeuze is afhankelijk van de verwarmingsdiepte en de beschikbare ruimte. Het verwarmen van de toplaag (maximaal 10 cm diepte) is waarschijnlijk het beste uit te voeren met een microgolfinstallatie. Bij het uitvoeren van ontsmetting tot grotere diepte (meer dan 10 tot 20 cm) moet worden verwarmd met een radiofrequente installatie. De benodigde energie is afhankelijk van de grondsoort en het vochtgehalte en de warmte-capaciteit van de grond.

Voordeel van deze diëlektrisch ontsmetting, ten opzichte van stomen, is dat de opwarming snel kan gaan. Hierbij hebben aaltjes, zoals bij stomen, niet meer de tijd om dieper de grond in te gaan om aan de warmte te ontsnappen. In de chrysantenteelt is aangetoond dat de wortelduizendpoot niet voldoende wordt afgedood met stomen omdat het tot 4 uur kan duren voordat de temperatuur op 20 cm diepte de "dodelijke" temperatuur heeft bereikt [vakblad voor bloemisterij, 2004].

Er is geen kostenvergelijk gemaakt tussen het gebruik van fungiciden en het ontsmetten door middel van diëlektrisch verwarmen.

5.4.4 Conclusie milieu invloed

Als stoomontsmetten wordt vervangen door diëlektrisch ontsmetten kan een aanzienlijke reductie van de CO₂-emissie worden bereikt. De grootte van de reductie hangt af van het vochtgehalte van de ontsmette potgrond en van de wijze van elektriciteitsopwekking. Bij opwekking van elektriciteit met een warmtekrachteenheid, met een totaal rendement van 80%, is een reductie van de CO₂-emissie te behalen van 30 tot 56%, afhankelijk van het vochtgehalte van de grond. Dit komt neer op een CO₂-reductie die kan oplopen tot boven 8 kg CO₂ per kubieke meter potgrond.

Met de aanvullende testen is op labschaal gebleken dat ontsmetting bij 60 °C mogelijk is. Indien een systeem dusdanig wordt gemaakt dat alles op de juiste temperatuur is en blijft dan zou het ook in de praktijk mogelijk moeten zijn om bij 60 °C te ontsmetten. Indien de ontsmetting bij 60 °C in de praktijk uitvoerbaar mocht blijken te zijn dan wordt er een extra reductie verkregen van 20%. In het meest optimale geval waarbij droge potgrond wordt gebruikt die bij 60 °C kan worden ontsmet, zal de CO₂ reductie oplopen tot 65%.

Door de betere kwaliteit van de structuur van de potgrond na diëlektrisch ontsmetten, is er een verhoging van de doorloopsnelheid van de teelt van 3%. Daardoor is per kweek minder energie nodig in de kas. De reductie van de CO₂-emissie als gevolg hiervan wordt geschat op 8 kg CO₂ per kubieke meter potgrond.

De totale hoeveelheid potgrond die ontsmet zou kunnen worden is ongeveer 500.000 m³. Als dit momenteel allemaal door stomen ontsmet zou worden, en dit wordt vervangen door diëlektrisch ontsmetten dan zou er een reductie van globaal 0.9 miljoen m³ opleveren.

De gewasbeschermingsmiddelen die momenteel worden gebruikt om de grond te ontdoen van schadelijke organismen voordat er wordt gepoot, kunnen worden vervangen door het ontsmetten met diëlektrische verwarmingstechnieken. Dit geeft een gunstig effect op de gewasbeschermingsmiddelenreductie maar heeft een negatief effect op de CO₂ -emissie. Er is in dit project geen onderzoek gedaan naar de prijsconsequenties als wordt overgestapt van gewasbeschermingsmiddelen naar diëlektrisch ontsmetten.

5.5 Economische resultaten

Om de economische haalbaarheid van diëlektrisch ontsmetten te bepalen worden de kosten van diëlektrisch ontsmetten vergeleken met de kosten van stomen. Voor het bepalen van de economische haalbaarheid wordt uitgegaan van een grondaanvoer van gemiddeld 200 m³ te ontsmetten potgrond per week, ofwel 40 m³ grond per werkdag. Voor een installatie die 24 uur per dag gedurende 5 werkdagen ontsmet, is de capaciteit 1,7 m³ potgrond per uur. Hierbij is er vanuit gegaan dat de grond tussentijds in een bunker wordt opgeslagen en vanuit deze bunker wordt ontsmet. Het vermogen van ontsmettingsinstallaties benodigd voor de hierboven genoemde ontsmettingscapaciteiten wordt in tabel 16 gegeven. Er is gerekend met vochtige grond met een dichtheid van 350 kg/m³. De overige gegevens om de bedrijfskosten van de installaties te bepalen; elektriciteit- en gasprijs, bedrijfstijd, rente, kosten nieuwe potgrond en de economische levensduur worden eveneens in tabel 16 gegeven. Voor de economische berekeningen is uitgegaan van ontsmetting bij 70 °C. Indien ontsmetting bij 60 °C mogelijk blijkt te zijn zullen alle kosten met ongeveer 20% zakken.

Het uitgangspunt is dat de machine 24 uur per dag werkt. Alleen overdag ontsmetten is ook een optie maar het nadeel hiervan is dat het geïnstalleerde vermogen 2 à 3 maal hoger moet zijn dat inhoud dat de investeringsprijs ook aanzienlijk zal stijgen. Verder is het nadelig dat er geen gebruik wordt gemaakt van goedkoper nachttarief. Een voordeel kan zijn dat indien er gebruik wordt gemaakt van een WKK dat 's avonds assimilatie verlichting en overdag de ontsmetter de stroom afneemt.

Het continu draaien van de ontsmetter kan zonder menskracht gebeuren. Het is zaak dat de installatie bunkers heeft die voldoende potgrond kan bevatten zodat de aan en afvoer goed geregeld is. Voor de rest kan het systeem dusdanig worden gemaakt dat het systeem volledig automatisch alles uitvoert.

Tabel 17 Uitgangsgegevens economische haalbaarheid

techniek	eenheid	stoom ontsmetting	diëlektrische ontsmetting
capaciteit ontsmetting	m ³ grond per dag	40	40
vermogen ontsmetting stoom	m ³ aardgas per uur	120	
vermogen ontsmetting diëlektrisch	kW (RF)		32
gasprijs	EUR/m ³ aardgas	0,18	
elektriciteitsprijs (gemiddeld dag/nacht)	EUR/kWh		0,06
bedrijfstijd	uur/dag	8	24
rente	%	5,0	5,0
economische levensduur	jaar	5	5
potgrondprijs	EUR/m ³	26	26

In tabel 16 staat "vermogen ontsmetting diëlektrisch" weergegeven. Dit is het effectieve hoogfrequent vermogen van de installatie. Het netvermogen ligt hoger vanwege het rendement van de installatie. Er is rekening gehouden met een rendement van 60%.

Er wordt van uitgegaan dat een aantal onderdelen zowel voor stoomontsmetten als voor diëlektrisch ontsmetten nodig zijn (lopend band systeem, silo's en afgraver). Deze onderdelen zijn niet meegenomen in de economische haalbaarheid.

5.5.1 Kosten van stomen

Voor stoomontsmetting bestaan de specifieke investeringen uit:

- een stoomketel
- stoomleidingen
- gastoevoerleidingen naar de ketel
- een waterbehandelingseenheid (ontharder, doseerunit, automatische spui)
- afdekzeilen.

Tabel 18 geeft de investeringskosten voor het ontsmetten met stoom, uitgaande van het vermogen gegeven in tabel 16. De gegevens zijn voor een deel verkregen uit het rapport Stomen [Stomen, 1992] en voor een deel verkregen uit informatie van Kwekerij Joop van Veen en het installatiebedrijf Lek Installatietechniek.

Tabel 18 Investering stoomontsmetting voor 40 m³ potgrond per dag

onderdeel	investering (EUR)
stoomketel	45.000
stoomleidingen en sleuven	4.500
waterbehandelingseenheid	3.500
zeilen en verzwaring	1.000
totaal	54.000

Onderhoudskosten voor de stoominstallatie bedragen $\pm 7,5\%$ van de investering. Om de potgrondstructuur op een acceptabel niveau te houden en om volumeverlies tegen te gaan wordt na iedere stoomontsmetting ongeveer 15% nieuwe potgrond aan grond toegevoegd. Dit houdt in dat er per m³ ontsmette potgrond, EUR 3,90 aan kosten bij komt.

De eventuele investeringskosten in gasleidingen naar de stoomketel zijn niet meegenomen. Dit is sterk afhankelijk van het bedrijf en van de situatie ter plaatse. De investeringen in voorraadbunkers en koelcellen zijn ook niet meegenomen omdat deze voor zowel ontsmetten met stoom als voor diëlektrisch ontsmetten hetzelfde zijn. Tijdens het stomen wordt water verbruikt. Om kalkaanslag in de stoomketel te voorkomen moet het water worden onthard door toevoegen van waterbehandeling middelen. De kosten hiervan zijn relatief laag en zijn daarom ook niet in deze evaluatie meegenomen.

De arbeidskosten voor het stoomklaar maken van de ketel, het vullen van de silo met potgrond, het plaatsen en vastzetten van de zeilen, het controleren van het stomen, het een of meerdere malen omzetten van de grond van de stoomsilo naar een voorraadbunker voor

een snellere koeling, zijn gering omdat deze processen bijna geheel automatisch verlopen. Deze arbeidskosten zijn niet meegenomen.

5.5.2 Kosten van diëlektrisch ontsmetten

De kosten van diëlektrische ontsmetting bestaan uit de investeringen in diëlektrische apparatuur. Hierbij wordt er van uitgegaan dat de installatie 24 uur per dag draait. Reden voor deze continu ontsmetting is dat het vermogen van de installatie hierdoor 1/3 lager is dan bij gebruik overdag (8 uur) en dat er gebruikt kan worden gemaakt van goedkopere nachtstroom. In de berekeningen is er van uitgegaan dat de stroom wordt ingekocht. Indien de stroom zelf wordt opgewekt dan kan dit een gunstiger beeld geven. Tabel 19 geeft de investering voor een diëlektrische installatie voor het ontsmetten van grond, uitgaande van het vermogen gegeven in tabel 16. De investering is bepaald door de firma Potveer. Voor het bepalen van de prijs is gebruik gemaakt van de informatie die is verkregen bij het bouwen van de pilot opstelling. De investering is voor een paar vermogens berekend. Vanuit deze bedragen is de investering voor de 32 kW installatie berekend. De prijs is dus niet de vaste prijs waarvoor de installatie kan worden verkocht. Van dit bedrag kan naar boven en naar beneden worden afgeweken. Voor zover nu de kennis is, is dit een reëel bedrag.

Tabel 19 Investering diëlektrische ontsmetting voor 40m³ potgrond per dag ontsmetten

onderdeel	investering (EUR)
diëlektrische ontsmettingsinstallatie, 1,7 m ³ /uur, 32 kW	108.000

De benodigde hoeveelheid energie voor het opwarmen van de potgrond, is voor een groot deel afhankelijk van de vochtigheid van de potgrond. Vocht wordt mee verwarmd en dit kost extra energie. Voor vochtige (400 kg/m³) potgrond is ongeveer 14 kWh/m³ extra energie nodig ten opzichte van droge grond (250 kg/m³). Dit is een verschil van 38%. Voor de economische haalbaarheid is uitgegaan van matig natte grond (350 kg/m³).

Aanvullen van de potgrond met nieuwe potgrond zal niet of nauwelijks nodig zijn. Uit een test, waarbij de potgrond 10 keer is ontsmet, is geen reductie van het potgrondvolume waargenomen. Figuur 8 illustreert dat er geen verschil in structuur is waar te nemen tussen verse potgrond en 10 maal ontsmette potgrond. In de berekeningen is uitgegaan van aanvulling met 5% nieuwe potgrond als gevolg van verliezen die mogelijk worden veroorzaakt door alle handelingen die worden uitgevoerd.



Figuur 8 Links 10 maal ontsmette, rechts nieuwe potgrond

De onderhoudskosten voor het systeem zijn gelijk gehouden aan de onderhoudskosten voor een radiofrequent installatie in de houtverlijmingsindustrie. Houtverlijmingsmachines zijn goede referenties omdat het hierbij ook gaat om machines met grotere vermogens die in vergelijkbare omstandigheden, veel stof, werken. Voor de onderhoudskosten wordt 2,5% van de investering aangehouden.

De investeringskosten voor versterking van het aansluitvermogen en de elektriciteitskabels naar de diëlektrische installatie zijn niet meegenomen. Dit is sterk afhankelijk van het bedrijf en van de situatie ter plaatse. Ook hier zijn de arbeidskosten voor het aan- en afvoeren van de grond naar de lopende band en het bedienen van de installatie relatief gering omdat het proces grotendeels automatisch verloopt. De kosten zullen ongeveer gelijk of minder zijn dan de kosten bij stoomontsmetting. Deze arbeidskosten zijn in deze vergelijking niet meegenomen.

In de berekening van de elektriciteitskosten wordt gerekend met de afname van elektriciteit uit het net. Eigen elektriciteitsopwekking door b.v. windmolens of WKK is niet meegenomen omdat de kostprijs van deze energie kunnen verschillen per bedrijf.

5.5.3 Economische resultaten verschillende technieken

In de volgende hoofdstukken worden de verschillend kosten en baten van stoomontsmetten en diëlektrisch ontsmetten met elkaar vergeleken. Er is in de berekeningen geen rekening gehouden met de meeropbrengst van de “betere” bloemen. Het is niet duidelijk geworden wat deze meeropbrengst is. Wat wel duidelijk is, is dat “betere” bloemen makkelijker verkochten zullen worden en hiervoor zal over het algemeen een hogere prijs worden betaald.

5.5.3.1 Kostenvergelijking

In tabel 20 worden de investeringen van een stoomsysteem (tabel 17) en van een diëlektrisch systeem (tabel 18), beide voor een capaciteit van 40 m³ per dag en een dichtheid van 350 kg/m³, gegeven. Er is geen rekening gehouden met eventuele subsidie of belastingvoordeel waarvan eventueel gebruik van gemaakt zou kunnen worden.

Tabel 20 Investeringskosten ontsmettingssystemen

stelsel	investering (EUR)
stoomsysteem	54.000
diëlektrisch systeem (bij matig natte grond)	108.000

De kosten per kubieke meter ontsmette potgrond en de kosten per jaar, gebaseerd op de technische en economische gegevens zoals vermeld in tabel 19 en tabel 16, worden gegeven in tabel 21. Hierbij is een afschrijvingstermijn van 5 jaar aangehouden

Tabel 21 Kosten van de ontsmettingssystemen per kubieke meter ontsmette potgrond en per jaar

kosten	stoomsysteem		diëlektrisch systeem	
	(EUR/m ³)	(kEUR/jaar)	(EUR/m ³)	(kEUR/jaar)
energie	1,8	18,9	2,0	20,5
afschrijving	1,2	12,5	2,4	24,9
onderhoud	0,4	4,1	0,3	2,7
totaal	3,4	35,4	4,7	48,1

Zowel bij stoomontsmetting als bij diëlektrisch ontsmetten treedt er verlies aan grond op die aangevuld wordt. Bij diëlektrisch ontsmetten is het verlies kleiner. In tabel 22 worden de percentages grond die aangevuld worden en het ermee samenhangende kostenvoordeel voor diëlektrisch ontsmetten, gegeven. De genoemde percentages worden verantwoord in paragraaf 5.5.1 en 5.5.2.

Tabel 22 Kostenbesparing reductie potgrondvervanging

grondverlies	eenheid	waarde
verlies aan grond stoomontsmetting	%	15
verlies aan grond diëlektrisch ontsmetten	%	5
kosten grond	EUR/m ³ potgrond	26
kostenbesparing op potgrond	EUR/m³ potgrond	2,6

Door de betere kwaliteit van de diëlektrisch ontsmette grond gaat de omloopsnelheid van de lelieteelt omhoog omdat de planten ongeveer 3 dagen (3%) eerder oogstrijp zijn. Deze snellere omloopsnelheid levert een besparing op van 0,8 EUR/m³ potgrond. Tabel 15 geeft de uitgangsgegevens en de bepaalde kostenbesparing per hoeveelheid grond.

Tot slot hoeft er na diëlektrisch ontsmetten minder te worden gekoeld, vanaf 20 °C in plaats van 35 °C zoals bij stoomontsmetting. Dit levert een kostenbesparing op koelenergie op. Tabel 23 geeft de uitgangspunten en de daaruit berekende kostenbesparing.

Tabel 23 Uitgangspunten en kostenbesparing op koelenergie

kostenbesparing op koeling	eenheid	waarde
begintemperatuur na stomen	°C	35
begintemperatuur na diëlektrisch	°C	20
koeltemperatuur	°C	7
koude factor		5
soortelijke dichtheid potgrond	kg/m ³	400
vermindering energieverbruik	kWh/m ³ potgrond	1,3
kostenbesparing op koelenergie	EUR/m³ potgrond	0,1

In tabel 24 worden de kostenbesparingen samengevat en wordt de totale kostenbesparing gegeven per m³ potgrond en per jaar gebaseerd op een verbruik van 40 m³ potgrond per dag.

Tabel 24 Samenvatting kostenbesparingen bij 10500 m³ potgrond per jaar

	EUR/m ³ potgrond	kEUR/jaar
kostenbesparing op potgrond	2,6	27,3
besparing op gas door kortere doorlooptijd	0,8	8,4
kostenbesparing op koeling	0,1	1,1
totale besparing	3,5	36,8

Naast bovengenoemde kostenvoordelen zijn er extra baten. Planten geteeld op diëlektrisch ontsmette grond geven een hogere opbrengst door de betere grondkwaliteit ten opzichte van stoomontsmette grond. De hogere opbrengst is het gevolg van een hoger gewicht, stevigere stengel en een grotere knoplengte. Het voordeel van de hogere opbrengst kan vele malen groter zijn dan het totale kostenvoordeel. De omvang van de extra inkomsten zijn echter op dit moment nog onduidelijk en zijn daarom niet meegenomen.

5.5.3.2 Resultaat economische haalbaarheid diëlektrisch ontsmetten van potgrond

Hiervoor zijn de kosten van diëlektrisch ontsmetten bepaald voor matig natte grond. Tabel 25 geeft een samenvatting van de resultaten van een zelfde bepaling maar dan voor potgrond met verschillende vochtgehalten. De situatie voor matig natte grond (350 kg/m³) is hierin ook opgenomen. In de berekening is ervan uitgegaan dat gebruik wordt gemaakt van de elektriciteit geleverd door de elektriciteitsleverancier. Indien de elektriciteit zelf wordt opgewekt (windmolens, WKK) dan kunnen de energiekosten dalen.

Tabel 25 Economie potgrondontsmetting (diëlektrisch vs stomen)

		Stomen	Diëlektrisch 70°C				60°C
	Eenheid		Vochtigheid potgrond				
			Droog	← →		Nat	medium
Uitgangsgegevens							
Soortelijk gewicht potgrond	[kg/m ³]		250	300	350	400	350
Ontsmet temperatuur	[°C]	70	70	70	70	70	60
Capaciteit ontsmetingsinstallatie	[m ³ /dag]	40	40	40	40	40	40
Verbruik potgrond tuinder	[m ³ /jaar]	10500	10500	10500	10500	10500	10500
Diëlectrisch vermogen	[kW]	-	23	28	32	37	26
Rendement diëlectrische installatie	[%]	-	60%	60%	60%	60%	60%
Energieverbruik	[kWh/m ³]		23	28	32	37	26
Investering installatie	[kEUR]	54	96	102	108	113	86
Economie ontsmetting							
Kosten potgrond	[EUR/m ³]	26	26	26	26	26	26
Energiekosten gas [EUR 0.18 / m ³]	[kEUR/jaar]	18.9					
Energiekosten elektriciteit [EUR 0.06 / kWh]	[kEUR/jaar]		14.6	17.5	20.5	23.4	16.4
Afschrijving [5 jaar + 5% interest]	[kEUR/jaar]	12.4	22.1	23.6	24.9	26.2	19.9
Onderhoud [stomen 7.5%, diëlectrisch 2.5%]	[kEUR/jaar]	4.0	2.4	2.6	2.7	2.8	2.8
Besparing door kortere groeitijd lelies	[kEUR/jaar]	-	-8	-8	-8	-8	-8
Kosten aanvullen grond (stomen 15%, bij diel 5%)	[kEUR/jaar]	41	14	14	14	14	13
Voordeel koeling, diëlectrisch tov stomen	[kEUR/jaar]	-	-1	-1	-1	-1	-2
Totaal	[kEUR/jaar]	76	43	48	52	57	42
Diëlectrisch tov stomen							
Kostenvoordeel	[kEUR/jaar]	-	33	28	24	20	34
Meerinvestering	[kEUR]	-	42	48	54	59	32
Terugverdientijd dielektrisch vs stomen	[jaar]	-	1.3	1.7	2.2	3.0	1.0

Aangezien de techniek van diëlektrisch ontsmetten een techniek is die goed is voor het milieu (CO₂-emissie- en grondstofreductie) kan de techniek in aanmerking komen voor (subsidie)regelingen. In dit project zijn deze voordelen niet meegenomen.

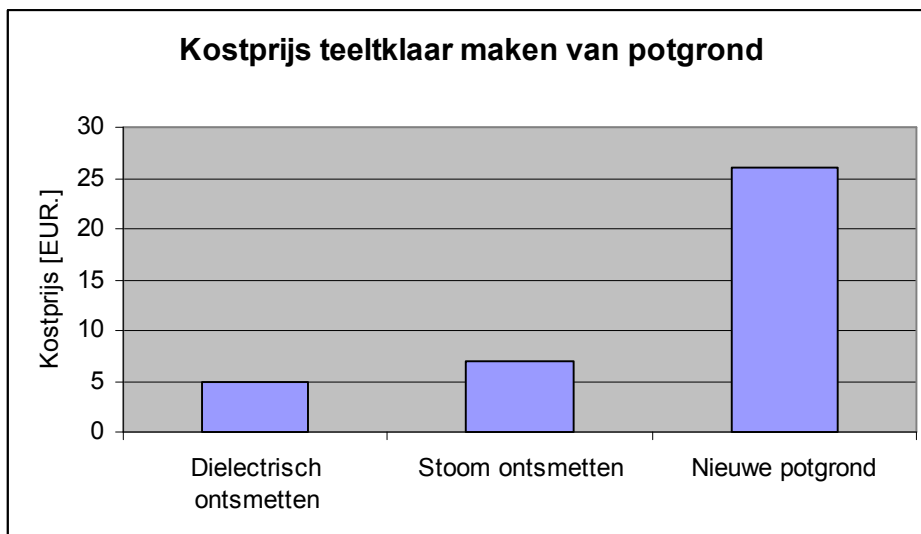
5.6 Conclusie economie

Uit de economische vergelijking blijkt dat een diëlektrische ontsmettingsinstallatie economisch rendabel is. De terugverdientijd van een diëlektrische ontsmettingsinstallatie, ten opzichte van een installatie voor stoomontsmetting ligt, afhankelijk van de dichtheid van de potgrond, in de orde van 1 tot 3 jaar, wat een korte terugverdientijd is. Hierbij zijn eventuele extra baten, als gevolg van een hogere opbrengst door een betere kwaliteit product, niet meegenomen.

Doordat de warmte-inbreng van binnenuit gebeurt is er een veel homogenere warmte. Hierdoor is het vermoedelijk mogelijk om bij een lagere temperatuur te ontsmetten. Bij de uitgevoerde laboratoriumtesten is aangetoond dat een ontsmettingstemperatuur van 60 °C voldoende is om de schimmels voldoende af te doden. De praktijktest is uitgevoerd bij 70 °C en geeft een goede ontsmetting te zien. Als een installatie wordt gebouwd zal met testen moeten worden nagegaan wat de minimale ontsmettingstemperatuur is. Ontsmetten bij 70 °C en een ½ uur op temperatuur houden geeft in ieder geval voldoende zekerheid op goede kwaliteit potgrond.

De kosten om 1 m³ potgrond te ontsmetten en plantklaar maken zijn voor stomen ongeveer EUR 7,-- en voor diëlektrisch ontsmetten ongeveer EUR 5,--. De uiteindelijke kostenreductie die wordt bereikt door over te stappen van stomen naar diëlektrisch is ongeveer 25%. Kwekers die altijd gebruik maken van nieuwe potgrond betalen EUR 26,-- per m³. Grafisch wordt dit in grafiek 1 weergegeven

Grafiek 1 Tabel waarin kostprijs tegen potgrondbehandeling per m³ potgrond is uitgezet



6 SPECIFICATIES ONTSMETTINGSINSTALLATIE

Mogelijke hinderpalen bij invoering van de techniek, zijn de onbekendheid van de techniek en de hoogte van de investering. Uit de technische en economische hoofdstukken is naar voren gekomen dat de investering binnen drie jaar wordt terugverdiend. Voor de onbekendheid van de techniek kan dit rapport, maar nog beter, de pilot opstelling voldoende overtuiging geven om deze techniek te accepteren.

In dit hoofdstuk wordt globaal inzicht gegeven hoe een radiofrequentinstallatie voor het ontsmetten van potgrond gebouwd moet worden. Verbeteringen die nodig zijn voor het verkrijgen van voldoende afdoding zijn hierin meegenomen. Deze opstelling zal in een vervolproject moeten worden gebouwd. Na praktijktesten moet vastgesteld worden of deze installatie inderdaad de ontsmetting geeft die nodig is.

6.1 Ontsmettingsopstelling

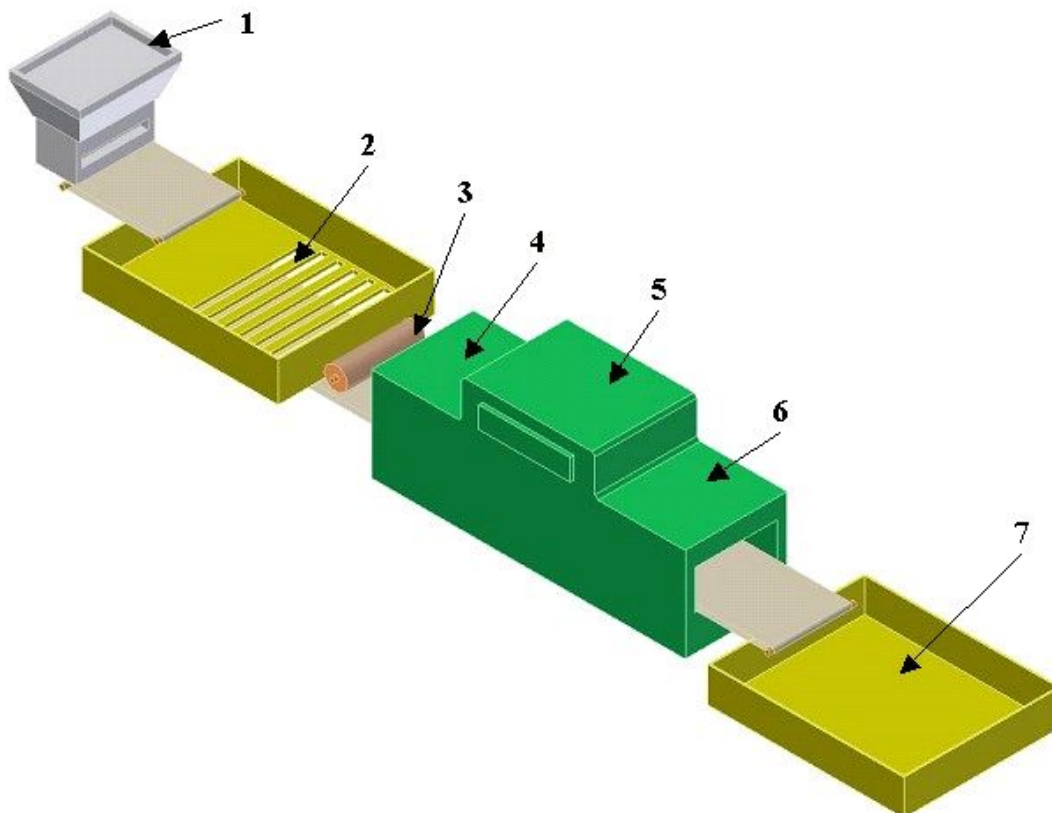
Om een homogene verdeling van de warmte van het substraat te krijgen is het nodig dat de potgrond homogeen van vochtigheid is en dat de hoogte van de laag constant is. Om dit te krijgen moet de grond goed worden gemengd en een doseereenheid moet voor een goede verdeling van de potgrond regelen.

Uit de laboratorium testen is gebleken dat de temperatuur van het substraat op 60 °C moet blijven om voldoende afdoding van de schimmels te krijgen. Aangezien de potgrond zeer goed isoleert, kan een verblijftijd van ½ tot 1 uur bij ongeveer 60 °C worden verkregen door het maken van een geïsoleerde tunnel. Uit praktijktesten moet blijken of de warmtelek binnen de perken blijft gedurende dit uur. Mocht dit niet het geval zijn dan zal de tunnel moeten worden voorzien van extra verwarming door bv. water van de WKK door een dubbelwandige geïsoleerde tunnel te leiden of moet de potgrond verder worden opgewarmd tot 65 a 70°C.

Om de afkoeling aan het oppervlak klein te houden kan het beste worden gekozen voor een substraat laagdikte van 50 cm in plaats van 12 cm die in de pilot opstelling is aangehouden. Een bijkomend voordeel van een dikkere laag potgrond is dat er weinig water kan ontsnappen. Verdampen van water kost veel energie. Doordat het water, bij een dikkere laag, weer zal neerslaan in de potgrond, zal de energie weer in de potgrond gaan zitten en niet verloren gaan.

Een systeem met een invoeropening van 50 cm zal een tunnel voor de opening hebben om te voorkomen dat, indien er geen potgrond in de installatie aanwezig is, straling de installatie verlaat. Een vuistregel is dat de lengte van de tunnel 10 keer de grootte van de opening moet zijn. Dit zou inhouden dat de tunnels voor de diëlektrische installatie dan 5 meter lang moet zijn. Deze ruimte voor de installatie kan gebruikt worden om de warme lucht uit de radiofrequent generator door de tunnel te leiden om de grond voor te verwarmen en te drogen. Dit veroorzaakt dat de ingaande stroom potgrond warmer zal zijn dan de 20 °C waarmee gerekend is. Tevens zal er vocht uit de potgrond worden meegenomen. Minder vocht in de potgrond houdt in dat er minder energie nodig is om de potgrond te verwarmen.

In figuur 9 staat een schematische tekening van een totale ontsmettingseenheid weergegeven. Dit geeft het hele ontsmettingsproces weer; vanaf de beginstap (verkleining), tot aan de eindstap (opslag in bunker).



Figuur 9 Schematische weergave diëlektrische ontsmettingseenheid

Legenda

- 1 verkleiner: na het oogsten wordt de potgrond gehakseld om de grote delen (plantenresten en wortels) te verkleinen
- 2 voorraadbuffer: een buffer is nodig omdat er 24 uur per dag wordt doorgedraaid
- 3 verdeler: de potgrond wordt over de band verdeeld en een homogene laagdikte wordt op de band aangebracht
- 4 beschermingtunnel: om te voorkomen dat radiofrequente straling naar buiten treedt is een tunnel nodig. Deze tunnel kan gebruikt worden om de grond voor te verwarmen door de koellucht uit de radiofrequent generator door de potgrond te leiden
- 5 opwarmeenheid: met behulp van een radiofrequente generator wordt de potgrond tussen twee elektrodeplaten opgewarmd
- 6 beschermingtunnel: om te voorkomen dat radiofrequente straling naar buiten treedt is deze tunnel nodig. Deze tunnel kan worden geïsoleerd waardoor de potgrond langer op temperatuur blijft voor voldoende ontsmetting
- 7 voorraadbunker: de ontsmette grond wordt hierin opgeslagen en is klaar voor gebruik.

6.2 Veiligheid

Er zijn vier zaken op het gebied van veiligheid die voor een diëlektrische ontsmettingsinstallatie van toepassing zijn:

- radiostoringen
- elektromagnetische verdraagzaamheid (EMC)
- menselijke veiligheid voor straling
- menselijke veiligheid voor aanraking
- brandveiligheid

Radiostoringen

De frequenties 13, 27 en 2450 MHz kunnen op het Europese vasteland vrij worden gebruikt. Er zijn geen beperkingen aangegeven voor de elektromagnetische uitstraling bij deze golflengtes. Dit neemt niet weg dat veel uitstraling van elektromagnetische energie invloed heeft op de EMC en menselijke veiligheid. De eisen die hiervoor worden aangegeven zullen dus de beperkende factor zijn voor de hoeveelheid radiostoring die mag worden veroorzaakt.

Elektromagnetische verdraagzaamheid (EMC)

In een industriële omgeving worden meerdere elektrische apparaten gebruikt. De straling die vrijkomt dient zo gering te zijn dat er geen storing kan ontstaan bij deze apparatuur. De pilot opstelling zoals die in het project is gebouwd was in eerste instantie niet voldoende

afgeschermd waardoor heftrucks in de buurt van de radiofrequent generator niet meer werkten. De richtlijnen die door de Europese Commissie zijn vastgesteld houden in dat het apparaat zodanig moet zijn geconstrueerd dat andere apparaten niet mogen worden gestoord door de uitstraling van de installatie. Door een goede kooiconstructie om de installatie en door goede filtering van de voeding is het geen probleem om aan de EMC eisen te voldoen.

Menselijke veiligheid voor straling

Te hoge energie-dichtheden kunnen gevaar opleveren voor het menselijke lichaam. De straling kan geen mutaties maken aan weefsels. Het enige gevaar dat kan ontstaan is dat het lichaam te warm wordt. Aangezien elektrische apparaten gevoeliger zijn voor straling dan het menselijke lichaam zullen de EMC eisen zwaarder zijn dan de veiligheidseisen die voor mensen zijn opgesteld.

Menselijke veiligheid door aanraking

Op de elektrodeplaat staat een zeer hoge spanning (> 1 kV). Er zal moeten worden voorkomen dat mensen de elektrodes aan kunnen raken. Aanraking van de elektrodeplaat zal leiden tot zeer gemene diepe brandwonden of in het ernstigste geval tot de dood. De afstand van de opening van de toevoerband tot aan de elektrodeplaat moet niet overbrugbaar zijn door een hand. De overige openingen zoals deuren dienen te worden beschermd met een breekcontact zodat de installatie uit gaat als een deur wordt opengemaakt. Verder mag er geen onderdeel onder spanning komen te staan dat van buitenaf kan worden aangeraakt.

Brandveiligheid

Doordat er relatief brandbaar potgrond wordt opgewarmd, dienen er beveiligingen aan het systeem te worden ingepast. Beveiligingen waar aan moeten gedacht zijn;

- Vastlopen lopende band. Indien de lopende band vastloopt moet de generator uitschakelen.
- Metaal-detector of magneet. Indien er metalen onderdelen in de potgrond terecht komt, kan er een situatie ontstaan waarbij er bij dit metalen voorwerp vonken en of doorslag veroorzaakt waardoor de potgrond zou kunnen ontbranden.
- Temperatuurbeveiliging. Door verkeerde instellingen in de generator zou de potgrond te ver doorgewarmd kunnen worden. Als de temperatuur te ver oploopt moet het systeem uitschakelen.

- Blussysteem. Indien er gloeiend potgrond of brand ontstaat dient het systeem te worden beschermd met een blusinrichting. Dit kan door het inblazen van stikstof, of andere dovenende gassen, vloeï- of vaste-stoffen.

6.3 **Praktijk ervaring**

Er is ook al een installatie bij een tuinder geïnstalleerd. De metingen van deze installatie is niet binnen dit project uitgevoerd maar de resultaten zijn wel door de gebruikers beschikbaar gesteld. De opgegeven gegevens, zoals het rendement van de installatie, zijn niet meegenomen in de berekeningen in dit rapport omdat deze gegevens niet zijn getoetst op betrouwbaarheid.

Het gaat om een 30 kW installatie. De Zantedeschia teler heeft het substraat (cocos, veenmos veen en houtschors) ontsmet bij een temperatuur tussen de 68 en 85°C. Er is in eerste instantie voor gekozen om een hogere ontsmettingstemperatuur aan te houden om zeker van een goede ontsmetting te zijn. Uit laboratoriumtesten blijkt dat het substraat nagenoeg steriel is. Alle gewassen van de teler zijn geplant op potgrond die met de ontsmetter is ontsmet. Tijdens de teelt van de gewassen zijn geen zieke gewassen waargenomen. Het rendement van de installatie is 68%. Doordat de installatie nog in ontwikkeling was, waren nog niet alle beveiligingen geïnstalleerd. Helaas is hierdoor de installatie onherstelbaar beschadigd. De tuinder is echter zo tevreden over de werking van de installatie dat er vermoedelijk een nieuwe installatie is besteld. Op het moment van schrijven van dit rapport is er een tweede installatie (60 kW) geïnstalleerd. Hiervan zijn echter nog geen ervaringen bekend.

Het rendement van de installatie is hoger dan de aangehouden 60% in de berekeningen in dit rapport. Indien het rendement van 68% klopt dan komt het economische en milieutechnische verhaal er nog beter uit te zien. Dit rendement is afhankelijk van de instelling, afstelling en installatie. Rendementsmetingen aan praktijkopstellingen zullen een betrouwbaarder rendement moeten geven waarmee de berekening kan worden uitgevoerd.

7 **CONCLUSIES**

De techniek van diëlektrisch ontsmetten maakt gebruik van dezelfde manier van ontsmetten als stomen, namelijk het afdoden van schimmels door hitte. Het verschil zit in de manier van opwarming. Stomen brengt de warmte van buiten naar binnen terwijl met diëlektrische opwarming de warmte in de potgrond wordt opgewekt. Dit heeft als grote voordeel dat het

sneller en efficiënter gaat. Van de diëlektrische technieken kan de radiofrequent techniek het beste worden toegepast voor het ontsmetten van substraten.

Na het op temperatuur brengen van de potgrond kan de grond op temperatuur worden gehouden om er zeker van te zijn dat voldoende afdoding optreedt. Ontsmetten bij 60 °C is op labschaal werkbaar. In de praktijk zal moet worden nagegaan of dit een optie is. Als dit het geval is neemt de CO₂ reductie met 20% toe en is de terugverdientijd korter.

De invloed op de gestelde doelstellingen, zoals omschreven in hoofdstuk 2, zijn als volgt:

- Verbetering van de energie-efficiëntie

Vanwege de goede isolerende eigenschappen van potgrond gaat er met stomen veel energie verloren. Omdat diëlektrische opwarming hier geen last van heeft kan deze opwarmingstechniek sneller en energiegunstiger opwarmen. De reductie van het energieverbruik voor de ontsmetting is afhankelijk van de vochtigheid van de grond en de manier van opwekking van de elektriciteit. De reductie varieert tussen 2% en 41% bij elektriciteit uit het elektriciteitsnet, afhankelijk van de vochtigheid van de grond. Bij opwekking van elektriciteit met een warmtekrachtenheid (30/50), met een totaal rendement van 80%, is een reductie van de CO₂-emissie te behalen van 30 tot 56%, afhankelijk van het vochtgehalte van de potgrond. Indien ontsmetting bij 60°C in de praktijk mogelijk blijkt te zijn zal de besparing oplopen 65%.

Naast de directe energiereductie is er ook een indirecte energiereductie door de snellere groei van de gewassen. De structuur van de potgrond blijft goed na diëlektrisch ontsmetten terwijl bij gestoomde potgrond de kwaliteit van de potgrondstructuur afneemt. De grond wordt minder luchtig waardoor de wortels zich minder goed kunnen ontwikkelen. Verder wordt de vochthuishouding moeilijker vanwege de dichtere structuur. De goede grondstructuur geeft een snellere groei van lelies te zien van 2 à 3 dagen op 11 tot 13 weken (zomer vs winter) groeitijd. Per m³ potgrond is dit een besparing van 4,5 m³ gas per jaar. Voor de stookkosten betekent dit een reductie van 3%.

De totale hoeveelheid potgrond die jaarlijks ontsmet zou kunnen worden is ongeveer 500.000 m³ per jaar. Als dit momenteel allemaal door stomen ontsmet zou worden, en dit wordt vervangen door diëlektrisch ontsmetten dan zou er een reductie van globaal 0,9 miljoen m³ CO₂ opleveren.

De energiewinst die geboekt kan worden bij het ontsmetten van andere substraten is nog niet precies duidelijk. Aangezien de meeste substraten net als potgrond, goed isoleren zal ook hierbij energiewinst behaald kunnen worden.

- Gewasbeschermingsmiddelenreductie

De bestrijdingsmiddelen die worden ingezet bij het ontsmetten van grond/substraat voor het beplanten van de grond, worden overbodig na diëlektrisch ontsmetten. Reden hiervoor is dat organismen af te doden zijn door hitte.

De ontsmetting van de volle grond zal met een mobiele installatie moeten worden uitgevoerd. Hoe deze installatie eruit moet komen te zien zal in een vervolgonderzoek verder uitgezocht moeten worden. Er is geen onderzoek gedaan naar de economische invloed bij invoering van deze manier van ontsmetten ten opzichte van gebruik van gewasbeschermingsmiddelen.

- Inzetbaarheid van duurzame toepassingen

De verduurzaming door deze techniek zit in twee zaken:

- 1 mogelijkheid tot inzetten van groene stroom
- 2 reductie van grondstoffen.

1 Mogelijkheid tot inzetten van groene stroom

Door de gasgevoede ontsmettingstechniek van stomen om te zetten naar een elektrisch gevoede techniek is het eenvoudiger om groene energie toe te passen. Gas is moeilijk op een duurzame manier te verkrijgen. Elektrische energie daarentegen is goed op een duurzame wijze te produceren door bijvoorbeeld biomassa, zonne- of windenergie. Als de elektriciteit van duurzame energie wordt betrokken kan de techniek ervoor zorgen dat de CO₂-uitstoot met 100% afneemt.

2 Reductie van grondstoffen

Doordat er minder verse grond hoeft te worden bijgemengd is er minder potgrond nodig. Dit houdt in dat er minder grondstoffen zoals veen hoeven te worden ontgonnen. De hoeveel-

heid van deze reductie kan nog verder oplopen als tuinders die momenteel niet stomen vanwege de nadelen van het stomen, overstappen van altijd nieuwe potgrond naar potgrond hergebruik door radiofrequente ontsmetting.

- Verbetering economie ontsmetten

Uit de economische vergelijking blijkt dat een diëlektrische ontsmettingsinstallatie economisch rendabel is. De terugverdientijd van een diëlektrische ontsmettingsinstallatie, ten opzichte van een installatie voor stoomontsmetting ligt, afhankelijk van de dichtheid (vochtigheid) van de potgrond, in de orde van 1 tot 3 jaar, wat een korte terugverdientijd is. Hierbij zijn eventuele extra baten, als gevolg van een hogere opbrengst door een betere kwaliteit product en eventuele fiscale regelingen, niet meegenomen.

- Terugbrengen van de nadelen die verder aan het stomen zitten

Het grootste nadeel van stomen voor de tuinder is de achteruitgang van de kwaliteit van de potgrond. Door te ontsmetten d.m.v. de diëlektrische ontsmetter is dit nadeel nagenoeg verdwenen. Na het uitvoeren van 10 ontsmettingsbeurten is er geen kwaliteitsverlies waar te nemen. Verder zijn er zaken als stof- en geuremissie nagenoeg verdwenen omdat er geen luchtstroom door de hete potgrond gaat.

8 AANBEVELINGEN

Bij het maken van de ontsmettingsinstallatie zal veel aandacht moeten worden besteed aan de homogene opwarming van de potgrondstroom en aan de goede isolatie van de potgrond na de opwarming. Des te optimaler het systeem wordt gemaakt, des te lager de ontsmettingstemperatuur kan zijn.

Een goede energiebesparing wordt ook verkregen door de potgrond droog te ontsmetten. Ontsmetten van droge grond kan worden gerealiseerd door in de laatste fase voor het oogsten minder water aan de potgrond toe te voegen. Er moet worden nagegaan of dit geen nadelige invloed heeft op het gewas.

Als het gewas geoogst is kan de grond worden gehakseld waardoor de grond luchtiger wordt. Door deze potgrond op te slaan in een warme droge ruimte zal de potgrond uitdrogen. Eventueel kan er in een opslagruimte geforceerd lucht langs de potgrond worden geleid die het vocht sneller zal afvoeren. Er kan ook naar een systeem worden gekeken dat geforceerd materiaal kan drogen. Een voorbeeld hiervan is een installatie die wordt gebruikt voor het drogen (indikken) van mest. Hierbij wordt droge warme stallucht door de installatie geleid waardoor de mest snel droogt. Indien warme kaslucht of lucht uit andere ruimtes gebruikt kan worden dan is deze installatie misschien een optie [Dorset, 2004].

Voorverwarmen van de potgrond kan worden verkregen door warme afvalstromen door de potgrond heen te blazen. Hiervoor kan de koellucht van de radiofrequent generator worden gebruikt. In de koellucht zit ongeveer 40% van de energie die wordt gebruikt door de ontsmetter. Indien deze warmte aan de potgrond kan worden afgegeven zal dit tot een lager energieverbruik leiden. De warmte uit de ontsmette grond is misschien te gebruiken door lucht door deze grond te leiden en deze weer door de potgrond te leiden voor de ontsmetting. Verder kunnen natuurlijk alle warme afvalstromen worden ingezet. Hoe de warme lucht door de potgrond geleid kan worden moet verder worden uitgezocht.

Er is een nieuw type radiofrequent generator ontwikkeld voor hoge vermogens die een rendement heeft van ongeveer 80%. Dit is een nieuwe ontwikkeling die heel interessant kan zijn voor de substraatontsmetting. De kosten voor een dergelijke installatie zijn bij hogere vermogens (<100 kW) gelijk of lager dan een gewone radiofrequente installatie. Er is momenteel alleen een kleine laboratorium installatie beschikbaar die gebruikt zou kunnen worden om op labschaal na te gaan of dit systeem goed werkt.

LITERATUUR

Dorset, 2004. Van vloeibaar naar vast, informatiefolder over drogen van mest, 2004.

KEMA, 1993. Diëlektrisch verwarming, Rapportguide.006 15-11-1993 WJJ/WJJ, 1993.

KEMA, 2003. Haalbaarheidsonderzoek voor het reinigen van potgrond door middel van radiofrequent en microgolven, 50351798-KPS/MEC 03-6162.

Stomen, 1992. Stomen, Technische handleiding bij het stomen van grond en substraten, Informatie en Kennis Centrum Akker- en Tuinbouw.

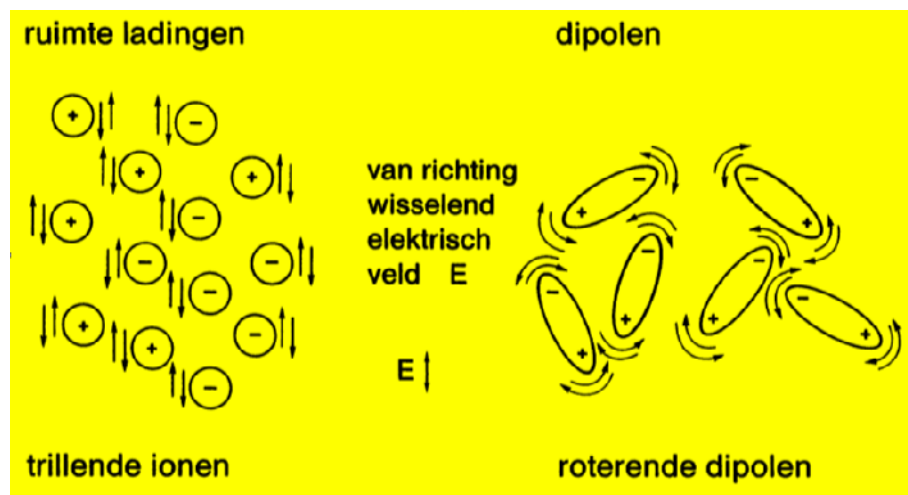
Vakblad voor de bloemisterij, 2004. Vakblad voor de bloemisterij 14, bladzijde 48, 49.

BIJLAGE A WAT IS DIËLEKTRISCH VERWARMEN?

In de volgende tekst wordt een globaal overzicht gegeven over de diëlektrische verwarmingstechniek [KEMA, 1993].

Ladingen en verwarming

Elk materiaal bevat elektrische ladingen (dipolen en vrije ladingdragers bijvoorbeeld in de vorm van ionen). Onder invloed van een hoogfrequent elektrisch veld gaan deze elektrische ladingen heen en weer bewegen of trillen in het ritme van het elektrische veld; anders gezegd, de elektrische ladingen in de stof trachten de richtingsveranderingen van het elektrische veld te volgen. Deze beweging die in het materiaal wordt gecreëerd staat in figuur 10 schematisch weergegeven. De beweging die zo ontstaat gaat gepaard met verliezen en dit leidt tot de warmteontwikkeling in het materiaal. De warmte wordt dus in het materiaal zelf opgewekt. De techniek van het diëlektrische verwarmen berust op deze eigenschap van materialen. De energie voor verwarmen wordt contactloos, via het elektrische veld, aan het materiaal overgedragen en daar omgezet in warmte.



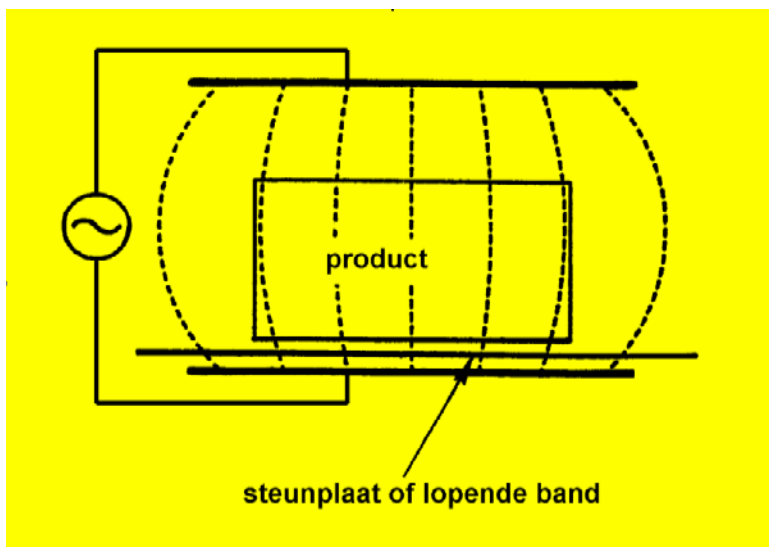
Figuur 10 Schematische weergave beweging door diëlektrische opwarming

Frequenties

Er wordt verwarmd met een hoogfrequent elektrisch veld. In feite kan elke, voldoende hoge frequentie, voor verwarmen worden gebruikt. In praktijk worden een aantal specifieke frequenties gebruikt omdat de apparatuur moet voldoen aan de EMC eisen. Deze houden onder andere in dat communicatie frequenties (radio, TV, mobiel telefoon) niet door diëlektrische apparatuur mogen worden gestoord. In praktijk worden twee frequentie gebieden gebruikt; radiogolven (1 tot 300 MHz) en microgolven (300 tot 3000 MHz). Binnen deze gebieden is er een aantal frequenties vrij die niet door radio-, TV-, telefoonbedrijven en dergelijke worden gebruikt. In het radiofrequente gebied zijn dit onder ander 13 en 27 MHz in het microgolfgebied is dat 2450 MHz. De laatste frequentie is ook de frequentie die in huishoudelijke magnetrons wordt gebruikt.

Apparatuur

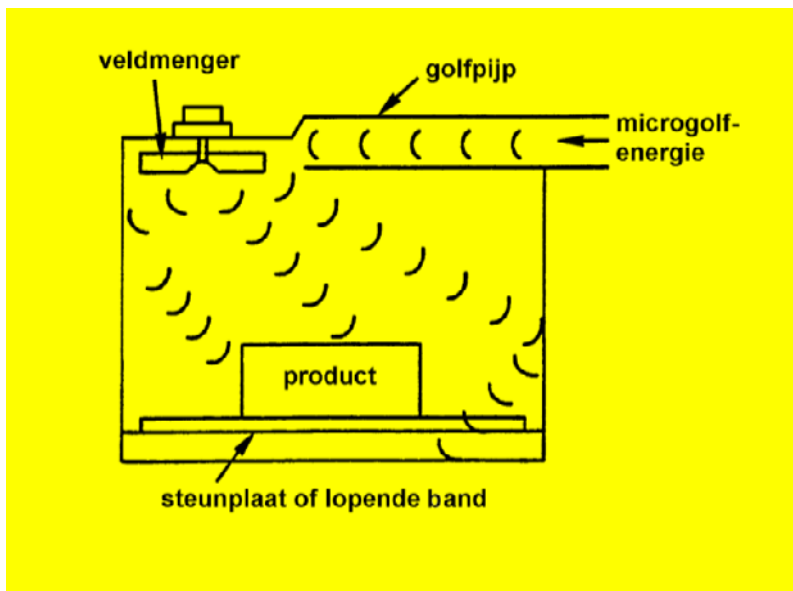
Er is een duidelijk verschil in constructie tussen apparatuur in het radiogolf en in het microgolf gebied. Zoals in figuur 11 is weergegeven wordt bij radiofrequent opwarmen het elektrische veld opgewekt tussen twee elektrodes.



Figuur 11 Schematische weergave radiofrequente opwarming

Bijlage A blad 3

Voor radiofrequenties wordt het elektrische veld opgewekt tussen twee elektrodes. Deze hebben meestal de vorm van vlakke platen; ze kunnen echter ook buisvormig zijn. Tussen de platen of de buizen staat een spanning die een elektrisch veld in het materiaal tussen de elektroden veroorzaakt. In het microgolf gebied is de frequentie zo hoog dat men gebruik maakt van een speciale elektronenbuis, de magnetron zoals weergegeven in figuur 12. Microgolf energie gedraagt zich meer als licht, de zeer hoogfrequente energie wordt daarom via een golfpijp naar een gesloten metalen ruimte, de verwarmingsruimte, gevoerd.



Figuur 12 Schematische weergave microgolf opwarming

De keuze tussen RF en MG voor een proces wordt bepaald door de eigenschappen van het materiaal, de vorm van het product, de benodigde energie en niet te vergeten, de kosten. De meeste industriële toepassingen zijn nu te vinden in het radiogolfgebied. Maar ook microgolfverwarming wordt in de industrie veelvuldig toegepast. De meeste toepassingen van microgolf verwarmen staan bij huishoudens; de magnetron staat daar gereed om, in korte tijd, snel een maaltijd op tafel te krijgen.

BIJLAGE B TABELLEN

Tabel 25 Resultaten ontsmettingstest op labschaal aan vochtige potgrond

behandeling	nr.	meetwaarde (cfu/100 ml substraat)	gemiddelde (cfu/100 ml substraat)
blanco vochtige potgrond	1	0	
blanco vochtige potgrond	2	0	
blanco vochtige potgrond	3	0	0
besmette vochtige potgrond	1	7400	
besmette vochtige potgrond	2	8000	
besmette vochtige potgrond	3	5600	7000
ontsmette vochtige potgrond bij 90 °C	1	5	
ontsmette vochtige potgrond bij 90 °C	2	7	
ontsmette vochtige potgrond bij 90 °C	3	2	5
ontsmette vochtige potgrond bij 70 °C	1	95	
ontsmette vochtige potgrond bij 70 °C	2	81	
ontsmette vochtige potgrond bij 70 °C	3	9	62
ontsmette vochtige potgrond bij 50 °C	1	1210	
ontsmette vochtige potgrond bij 50 °C	2	1120	
ontsmette vochtige potgrond bij 50 °C	3	450	927

Tabel 26 Resultaten ontsmettingstest op labschaal aan droge potgrond

behandeling	nr.	meetwaarde (cfu/100 ml substraat)	gemiddelde (cfu/100 ml substraat)
besmette droge potgrond	1	5600	
besmette droge potgrond	2	3400	
besmette droge potgrond	3	0	4500
ontsmette droge potgrond bij 50 °C	1	1080	
ontsmette droge potgrond bij 50 °C	2	560	
ontsmette droge potgrond bij 50 °C	3	0	820

Bijlage B blad 3

Tabel 27 Resultaten ontsmettingstest op labschaal aan verschillende substraten

behandeling	nr.	meetwaarde (cfu/100 ml substraat)	gemiddelde (cfu/100 ml substraat)
besmette piepschuim	1	12500	
besmette piepschuim	2	57500	
besmette piepschuim	3	13000	27667
ontsmette piepschuim (H ₂ O 70°C)	1	5250	
ontsmette piepschuim (H ₂ O 70°C)	2	6250	
ontsmette piepschuim (H ₂ O 70°C)	3	4000	5167
besmette vermiculiet	1	7300	
besmette vermiculiet	2	22500	
besmette vermiculiet	3	16800	15533
ontsmette vermiculiet bij 70 °C	1	0	
ontsmette vermiculiet bij 70 °C	2	0	
ontsmette vermiculiet bij 70 °C	3	0	0
besmette steenwol	1	27500	
besmette steenwol	2	135000	
besmette steenwol	3	80000	80833
ontsmette steenwol bij 70 °C	1	15750	
ontsmette steenwol bij 70 °C	2	24100	
ontsmette steenwol bij 70 °C	3	52500	30783

Tabel 28 Resultaten gestoomde potgrond (niet selectief)

bedrijfscode	meting	hoeveelheid schimmels
		[cfu/g]
1	1 ^{ste} meting	3400
1	2 ^{de} meting	500000
1	gemiddelde	251700
2	1 ^{ste} meting	3400
2	2 ^{de} meting	140
2	gemiddeld	1770
3	1 ^{ste} meting	250
3	2 ^{de} meting	5200
3	gemiddeld	2625

Tabel 29 Schimmelgehalte in radiofrequent pilot installatie

diëlektrisch ontsmette potgrond	besmet 1	8000
	80°C direct 1	110
	80°C direct 2	160
	gemiddelde	135
	80°C + ½ uur 70 °C 1	15
	80°C + ½ uur 70 °C 2	<10
	gemiddelde	15
	80°C + 1 uur 70 °C 1	10
	80°C + 1 uur 70 °C 2	<10
	gemiddelde	10
	80°C + 1 uur 56 °C 1	<10
	80°C + 1 uur 56 °C 2	120
	gemiddelde	120
	steenwol	steenwol blanco 1
steenwol blanco 2		4200
gemiddelde		132100
steenwol ontsmet 70 °C 1		180
steenwol ontsmet 70 °C 2		760
gemiddelde		470

Tabel 30 Schimmelgehalte bepaling minimale ontsmettings tijd/temperatuur

behandeling	meetwaarde (cfu/g potgrond)		
	1	21	3
Meting			
referentie	24800	25600	24800
60 gr 0 min -1	< 80	< 80	< 80
60 gr 15 min -1	< 80	< 80	< 80
60 gr 40 min -1	< 80	< 80	< 80
60 gr 60 min -1	< 80	< 80	< 80
60 gr 120 min -1	< 80	< 80	< 80
70 gr 0 min	< 80	< 80	< 80
70 gr 15 min	< 80	< 80	< 80
70 gr 30 min	< 80	< 80	< 80
70 gr 60 min	< 80	< 80	< 80
70 gr 120 min	< 80	< 80	< 80

BIJLAGE C INFORMATIE AANGELEVERD DOOR A&F

MARKTPOTENTIES VOOR HET ONTSMETTEN VAN SUBSTRATEN MET RADIO-FREQUENTIE

Areaal en kenmerken substraten

In de glastuinbouw worden verschillende substraten gebruikt. Hierbij kan naar de sector nog een specifieke onderverdeling worden gemaakt. In de glasgroenteteelt wordt op 3100 ha van de 4300 ha op substraat geteeld, in de bloemeteelt op 1375 ha van de 3600 ha (Van Woerden, 2003). In de potplantenteelt (incl. perkplantenteelt) is de teelt 100% op substraat en bedraagt ca. 2000 ha (Van Woerden, 2003). Zowel in de groenteteelt als in de bloemeteelt is steenwol het belangrijkste substraat, gevolgd door kokos. In de potplantenteelt is veen (potgrond) het meest gebruikte substraat, gevolgd door mengsels van veen met kokos. In tabel 1 is een overzicht gegeven van de belangrijkste substraten, hun kenmerken, dichtheid, prijs en een schatting van het areaal. Het areaal is altijd een schatting omdat het per jaar nogal eens wat wil schommelen, afhankelijk van prijsaanbiedingen en toevallige onderzoeksresultaten. Over een lange termijn bekeken blijft de verdeling toch vrij stabiel waarbij steenwol ca. 70% van de markt heeft en de overige substraten de rest. De laatste jaren is kokos de topper onder de rest en zit er nog steeds groei in de markt volgens een van de belangrijkste leveranciers.

Behalve in de glastuinbouw zijn er ook ontwikkelingen in de bolbloemen- en bloembollenteelt. Met name het forceren van bloembollen voor de snijbloemenoogst wordt meer en meer op water en/of substraat uitgevoerd. Tulp en lelie zijn de grote gewassen. Bij tulp worden in de herfst de bollen in kistjes met potgrond opgepot, vervolgens krijgen die de per cultivar benodigde temperatuurbehandeling in een koelcel waarna het in bloei trekken in een kasruimte plaatsvindt van ongeveer december tot maart. 50% van de tulp wordt op potgrond geforceerd, de andere helft op water. Bij een omzet van 1,5 miljard tulpen per jaar betekent dit een omzet aan potgrond van ca. 100.000 m³. Lelie (omzet 0,4 miljard bloemen) met 50% in substraat bedraagt de omzet in potgrond ca. 200.000 – 400.000 m³.

Substraten die in aanmerking komen voor ontsmetten en hergebruik door de tuinder moeten in eerste instantie op het bedrijf blijven of als afval worden afgevoerd. Dit betekent dat nagenoeg de gehele pot- en perkplantensector niet voor ontsmetten van het substraat in aanmerking komt. Wel in aanmerking komt de glasgroenteteelt, de bloemeteelt en het forceren van tulpen en lelies.

Ontsmetten

Vele substraten zijn te ontsmetten na afloop van de teelt, maar vaak wordt gekozen voor eenmalig gebruik. Belangrijkste reden van eenmalig gebruik is de ziektevrije start met nieuw substraat en de geringere hoeveelheid arbeid tijdens de teeltwisseling. Meestal wordt hierbij gekeken naar de teelt van vruchtgroenten (tomaat, komkommer, paprika) waarbij de teeltwisseling voornamelijk in de late herfst (november, december) plaatsvindt. In december wordt de schoongemaakte kas weer vol geplant. De tijd dat de kas leeg staat bedraagt tussen de 2 en 4 weken afhankelijk van de wijze van organiseren van de tuinder. In het verleden zijn er wel teeltsystemen op de markt geweest gebaseerd op het ontsmetten van de matten. Hierbij lag de steenwolmat in een zogenaamde Librabak of werd gebruik gemaakt van polyurethaan matten. PU-matten worden niet meer verkocht, het Librabakken systeem verdwijnt langzamerhand. Het voordeel van de Librabak is dat natte matten gemakkelijk zonder te breken kunnen worden vervoerd en dat de bakken goed stapelbaar zijn. Daarnaast worden bij komkommer en paprika matten op pallets gelegd en gestoomd. Als de matten niet goed droog zijn, heeft de kwaliteit van de matten flink te lijden.

De eenmalige steenwolmatten worden door de leveranciers verkocht met inbegrip van een terughaalgarantie (en betaling), dit is bij beide grote merken het geval. In Nederland werkt dit systeem goed, in de rest van Europa zijn de transportkosten meestal de beperkende factor waardoor matten niet worden gerecycleerd, maar op de vuilstort terecht komen.

Tabel 30 Kenmerken van in de glastuinbouw gebruikte substraten

substraat	gebruik	recycling?	water vasthoudendheid	bulk density (kg/m ³)	overige opmerkingen	% areaal ¹	Investering EUR
houtvezel	matten, combinatie met andere substraten	goed, eenmalig bruikbaar	gering, veel lucht N-fixatie	87		0,25	1,4/m ³
kleikorrels	potplanten en enkele snijbloemen	tot 5 jr, goed te stomen	beperkt, afhankelijk van korrelgrootten	489	vele korrelgrootten	1	bulk v.a. 65/m ³ zakken va 93/m ³
kokos	matten en als potgrondmengsel	composteerbaar, recyclebaar	redelijk	0,77	voorbehandeling nodig, soms zout, samenpersbaar	9	63/m ³
lava	korrels, granulaat voor potplanten, beddenteelt	duurzaam, goed stoombaar	beperkt		na gebruik toepasbaar als fundering	0,75	25/m ³
perliet	korrels in zakken en mengsel met potgrond	goed stoombaar, aantal jaren hergebruik	afhankelijk van korrelgrootte	105	breekbaar in kleinere korrels en gruis	5	89/m ³
polyurethaan schuim	verlijmde vlokken of hele matten	>10jr, goed stoombaar	gering	78	brandbaar	0,5	2,0/mat
puijsteen	vulkanisch gesteente in korrels in zakken of als mengsel met potgrond	duurzaam, goed stoombaar	afhankelijk van korrelgrootte	431		3	IJslands 53/m ³
steenwol	matten, blokken	meestal eenmalig gebruik, maar stomen wel mogelijk	verschillende kwaliteiten leverbaar	49		27	1-2 jarig 1,5/mat meerjr 1,7/mat
vermiculiet	fijne structuur, vooral bij zaaïen en afdekken	eenjarig gebruik			kwetsbare structuur	--	97/m ³
veen	potplanten, siergewassen	composteerbaar en stoombaar	verschillende kwaliteiten leverbaar	113	milieuproblemen	18,5	23-26/m ³
zand	soms in mengsels	stoombaar	te weinig zuurstof	2000	zwaar	--	18/m ³
kasgrond	klei, zand, zavel	stoombaar	zeer goed tot zeer matig	2000		36	

¹ Areaal: 10.000 ha glastuin

Bijlage C blad 4

Stomen van matten vindt of vond op twee manieren plaats:

- container: matten worden op pallets gelegd, 12-16 pallets worden met de vorkheftruck de stoomcontainer binnengereden. Per pallet liggen 20 lagen van 7 matten van 100x15x7,5 cm. Als de container vol is worden enkele thermokoppels in een mat gestoken (koudste plek) en wordt stoom in de container geblazen. Deze methode wordt toegepast als de tuinder niet beschikt over een eigen stoomketel, hetgeen steeds meer het geval is, door loonstomers
- stoomzeil: matten worden op pallets gestapeld en naast elkaar op het middenpad of in de schuur geplaatst. Vervolgens wordt er een stoomzeil overgetrokken en vastgelegd en wordt er stoom ingeblazen.

De matten moeten zo droog mogelijk zijn (40% vocht) en worden meestal 5 minuten op 100 °C gehouden, bij virusbesmetting ten minste 10 minuten (Stomen, 1992,; Runia, 2000). De hoesfolie is van tevoren verwijderd. Totale tijdsduur van het stomen in de container bedraagt ca. 1 uur en een kwartier en onder zeil 2 uur. Veen en potgronden zijn in het algemeen moeilijk te ontsmetten. Bij stomen vrijkomend water wordt direct door het substraat weer opgenomen. Lange tijdsduur (3-5 uur) is nodig om overal ten minste 70 °C te krijgen, ook in de beddenteelt waar het substraat niet dikker is dan 20 cm. Momenteel is het teeltsysteem in de glasgroenteteelt zodanig dat 2 m matten van 20 cm breed en 7,5 cm hoog het meest worden gebruikt en dat er 3000 matten per ha liggen. Andere substraten hebben overeenkomstige breedte en hoogteverhoudingen, maar vaker wordt een mat van 1 m gebruikt en zijn er dus 6000 matten per ha nodig.

Bij andere substraten die kunnen worden gestoomd (kleikorrels, puimsteen, perliet) is de stoomduur voornamelijk afhankelijk van de poriegrootte en de vochtigheid, maar ook hier wordt 3-5 uur aangehouden.

De benodigde hoeveelheid energie (gas) bedraagt bij steenwol op pallets ca. 0,1 m³ gas per m² kas indien de hoesfolie is verwijderd, tot 0,15 m³ als de hoesfolie er nog om zit. Veen in zakken en gestapeld vereist ca. 0,4 m³/m² en in 20 cm dikke bedden ca. 3-4 m³/m² kas. De benodigde arbeid bij het stomen van steenwolmatten is afhankelijk van de methode. Eenmalig gebruik van steenwolmatten kost 60 uur/ha (referentie: folie van de matten halen, matten afvoeren uit de kas, matten weer neerleggen en gaten maken). Bij containerstomen 90 uur en bij palletstomen 100 uur. Indien volvelds wordt gestoomd bedraagt de arbeid 65 uur/ha. Bij de teelt in de grond is 190 uur/ha nodig (Stomen, 1992).

Bijlage C blad 5

De jaarkosten bij grondstomen in eigen beheer bedragen EUR 1,22/m² (prijspeil 1992), bij loonstomen EUR 1,31, afzuigstomen EUR 1,53. Het containerstomen van steenwol bedraagt EUR 0,29/m², palletstomen EUR 0,32 en volveldsstomen EUR 0,44/m². Na 1992 is er weinig onderzoek uitgevoerd naar het stomen van substraat. Het gebruik van eenmalige matten werd normaal. Bij andere substraten is afhankelijk van het gewas dezelfde tendens te zien. Bij vruchtgroenten wordt het substraat eenmalig gebruikt, ook bijvoorbeeld kokos. In de bloementeelt worden substraten wel 2-5 jaar gebruikt, maar dan wordt het gewas niet gewisseld en hoeft het substraat niet te worden gestoomd. Na die periode wordt het substraat gedumpt.

Toekomst

De huidige teeltsystemen zijn gebaseerd op het eenmalig gebruik van substraten, meestal is het gebruik eenjarig, soms 2-5 jaar. In feite kan het totale areaal meermalig worden gebruikt. De kwaliteit van de steenwol en de andere substraten moet dan wel iets worden verbeterd (b.v. geen matten van 40kg/m³ maar van 60 kg/m³). Belangrijker is echter dat de tuinder er beter van wordt. De voordelen (meermalig gebruik, milieuvriendelijker) moeten groter zijn dan de nadelen (extra arbeid, risico van overblijvende ziektekiemen, veiligheid rond ontsmetten). Het huidig gebruik van hangende goten geeft na afloop van de teelt een kwalitatief goede mat die goed te ontsmetten is en dus te hergebruiken is. Bij steenwol speelt ook de herverzadiging na het ontsmetten een belangrijke rol. Moeten de matten van nieuwe lekvrije folie worden voorzien dan is fors meer arbeid nodig, die de tuinder er waarschijnlijk niet in wil steken.

BIJLAGE D LITERATUUR

Iedere teelt zijn eigen substraat, juli 2004, Uitgelicht Substraten (bijlage bij Groenten & Fruit), Den Haag, p. 8-9.

Woerden, S.C. van, 2003. Kwantitatieve Informatie voor de Glastuinbouw 2003-2004, PPO 580, Naaldwijk, 244pp.

Kipp, J.A., Wever, G., Kreij, C. de, 2000. International Substrate Manual, Elsevier, Doetinchem, 94 pp.

Stomen, technische handleiding bij het stomen van grond en substraat, 1992. IKC-AT, Naaldwijk, 88pp.

Runia, W.T., Steaming methods for soils and substrates, 2000. Acta Horticulturae 532, p. 115-124.