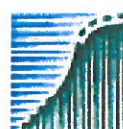


50662170-TOS/NET 10-4752

## Diëlektrisch ontsmetten van kasgrond Een goed alternatief voor stomen?

Arnhem, 5 november 2010

Auteurs F.B. Rasing, W.J.L. Jansen



landbouw, natuur en  
voedselkwaliteit



Ministerie van Landbouw, Natuur en  
Voedselkwaliteit



In opdracht van Productschap Tuinbouw en LNV in het programma Kas als Energiebron

Auteur : F.B. Rasing

10-11-05

beoordeeld : S. van der Weiden

10-11-

B 53 blz.

1 bijl.

WSc

goedgekeurd : C.A.M. van den Ende

10-11-



© 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 .....   | 8    |
| 2 Doelstelling .....  | 9    |
| 3 Omschrijving technieken.....  | 9    |
| 3.1 Stomen .....  | 9    |
| 3.1.1 Nadelen .....   | 11   |
| 3.1.1.1 Energie intensief .....   | 11   |
| 3.1.1.2 Arbeidsintensief en zwaar werk .....                                    | 11   |
| 3.1.1.3 Inhomogene opwarming en daardoor geen perfecte ontsmetting .....        | 11   |
| 3.1.1.4 Gevaar van heet stoom dat vrij kan komen .....                          | 13   |
| 3.1.1.5 Lange opwarm stoomtijd.....   | 13   |
| 3.1.1.6 Verandering in de mineraalhuishouding .....                             | 13   |
| 3.1.1.7 Ziekteverend vermogen van de grond gaat achteruit .....                 | 14   |
| 3.2 Biologisch grondontsmetting.....  | 14   |
| 3.3 Ontsmetten met de magnetron .....   | 15   |
| 3.4 Ontsmettingsstelsel Cultivit .....  | 17   |
| 3.5 Diëlektrisch verwarmen .....  | 19   |
| 3.6 Samenvatting ontsmettingstechnieken .....                                   | 21   |
| 4 Bedrijfsbezoeken .....  | 22   |
| 4.1 Bezoek Cultivit .....   | 22   |
| 4.2 Bezoek Heatwaves .....  | 23   |
| 4.3 Bezoek Potveer .....  | 24   |
| 4.4 Verschoor horticuultuur Haarlem .....                                       | 24   |
| 4.5 Kwekerij Zwet .....   | 25   |
| 4.6 Bezoek firma Zeestraten te Oosterhout / Kwekerij Zandvoort te Huissen ..... | 25   |
| 4.7 Samenvatting.....   | 26   |
| 5 Inpassing van een mobiel diëlektrisch systeem voor gebruik in de kas .....    | 26   |
| 5.1 Invloed grondsoort .....  | 31   |
| 5.2 Infrastructuur.....   | 32   |
| 5.3 Systemen in de grond.....   | 33   |
| 5.4 Marktpotentie .....   | 34   |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 5.5   | Energieverbruik.....   | 34 |
| 6     | Eisenpakket mobiele radiofrequente ontsmetter .....                          | 34 |
| 6.1   | Analyse van eisen te stellen aan een mobiele radiofrequente ontsmetter ..... | 35 |
| 6.2   | Pakket van eisen te stellen aan een mobiele radiofrequente ontsmetter .....  | 35 |
| 6.3   | Toelichting op het pakket van eisen .....                                    | 36 |
| 6.3.1 | Ontsmettingscapaciteit .....   | 36 |
| 6.3.2 | Radiofrequente generator.....  | 36 |
| 6.3.3 | Vermogen en gewicht.....   | 37 |
| 6.3.4 | Afscherming van het radiofrequente systeem .....                             | 37 |
| 6.3.5 | Voortbeweging door de kas.....   | 37 |
| 6.3.6 | Systemen in de grond.....  | 38 |
| 7     | Technisch en economische haalbaarheid .....                                  | 38 |
| 7.1   | Technische haalbaarheid.....   | 38 |
| 7.1.1 | Verwarmingsproeven.....  | 38 |
| 7.1.2 | Techniek radiofrequent ontsmettingsysteem, energiebesparing .....            | 39 |
| 7.2   | Economische haalbaarheid .....   | 44 |
| 8     | Conclusie.....   | 50 |
|       | REFERENTIES .....  | 52 |
|       | Bijlage A Overzicht gewas areal met stoom .....                              | 53 |

## **SAMENVATTING**

In een eerder project is aangetoond dat diëlektrisch ontsmetten van substraten en potgrond een goed alternatief is voor stomen. Aangezien net als bij stomen van substraten en potgrond, ook stomen van volle grond grote nadelen heeft, is diëlektrisch ontsmetten ook hier een goed alternatief. Het stomen van de volle grond heeft onder andere de volgende nadelen:

- de ontsmettingsgraad is vaak onvoldoende
- het is zwaar en gevaarlijk werk
- er kunnen voor de plant nadelige mineralen vrijkomen
- het energieverbruik is hoog.

In de kastuinbouw is behoefte aan een goed ontsmettingsalternatief ter vervanging van stomen. Er worden momenteel een aantal nieuwe ontsmettingstechnieken ontwikkeld. De technieken die in dit project onderzocht en beoordeeld zijn, zijn:

- hete lucht ontsmetten (Cultuvit)
- magnetron ontsmetten (Agritron)
- biologisch ontsmetten.

Biologisch ontsmetten is een bewezen techniek, maar heeft als groot nadeel dat de ontsmetting lang duurt. Omdat er warmte nodig is voor een goede ontsmetting functioneert de techniek bovendien alleen in het groeiseizoen. Deze manier van ontsmetting is maar voor een klein aantal telers toepasbaar.

Van de andere twee ontsmettingstechnieken (Cultuvit, Agritron) is nog niet bewezen dat deze in praktijk voldoen. Van beide technieken zijn er een aantal onduidelijkheden over de werking. Dat wil niet zeggen dat deze technieken niet werken, maar bij de omschrijving van de werking kunnen de nodige vraagtekens worden gezet. Begin 2010 hebben al deze technieken op commerciële basis nog geen succesvolle praktijkontsmettingen uitgevoerd.

Ontsmetten op basis van radiofrequente (RF) techniek kan een goed alternatief zijn voor stomen. De werking van de ontsmetting is gelijk aan stomen, namelijk afdoding door temperatuurverhoging. De wijze van ontsmetting is niet nieuw en is een beproefde techniek bij substraten en potgrond. Het maken van een mobiel systeem zal geen onoverkomelijke problemen met zich mee brengen. Het systeem kan zonder veel mankracht, grotendeels automatisch werken. De eerste drie punten van de nadelen van stomen kunnen worden weggenomen. Het energieverbruik zal nog steeds aanzienlijk zijn, maar is een stuk lager dan bij stomen. Een goede vergelijking op het gebied van energiebesparing en economie is

echter moeilijk te maken. Uit meerdere onderzoeken en praktijkervaring blijkt dat de ontsmetting met stomen vaak niet goed werkt. Een ontsmettingstemperatuur van 70 °C tot op een diepte van 40 cm wordt gewenst maar wordt meestal niet gehaald. De berekening van de economie en het energieverbruik is daarom in twee delen uitgevoerd. Ontsmetten tot 50 °C (komt overeen met een gemiddelde temperatuur bij stomen en voldoet aan het afdoden van ongedierte en een deel van de schimmels) en 70 °C (dit is de temperatuur die nodig is voor het volledig afdoden van alle ongewenste organismen).

Tabel 1

|                                     | <b>ontsmetting<br/>temperatuur °C</b> | <b>emissiereductie<br/>(t.o.v. stomen)</b> | <b>kostprijs</b>           |
|-------------------------------------|---------------------------------------|--|----------------------------|
|                                     |                                       | <b>[%]</b>                                 | <b>[EUR/m<sup>2</sup>]</b> |
| Stomen                              | gemiddeld 50                          |  | 2,0 tot 2,5                |
| RF ontsmetten<br>(uit net of WKK)   | 50                                    | 38   | 4,7                        |
| RF ontsmetten<br>(uit net of WKK)   | 70                                    | 7  | 5,6                        |
| RF ontsmetten<br>(diesel generator) | 50                                    | -32*                                       | 8,0                        |
| RF ontsmetten<br>(diesel generator) | 70                                    | -87*                                       | 10,2                       |

\* tenzij biodiesel wordt bijgemengd, dan kan, bij voldoende bijmenging, de CO<sub>2</sub>-emissie worden gereduceerd

Via het ontsmetten met radiofrequente techniek wordt een goede ontsmetting verkregen, blijkt uit ervaring met het ontsmetten van potgrond. Indien een ontsmetting gewenst is die ongeveer gelijk is aan stoomontsmetten dan ligt de kostprijs onder de 5 EUR/m<sup>2</sup> die door tuinders nog acceptabel wordt geacht voor een goede ontsmetting. Dit in geval van een radiofrequent ontsmettingssysteem dat gevoed wordt uit het net of via een gasgestookte warmtekrachteenheid. Wordt gevoed via een gasgestookte warmtekrachteenheid dan wordt er een emissiereductie van iets onder de 40% behaald. De kosten van een radiofrequent ontsmettingssysteem gevoed met een dieselgenerator liggen duidelijk boven een kostprijs van 5 EUR/m<sup>2</sup>. Er wordt ook geen emissiereductie behaald tenzij de dieselgenerator wordt gevoed met diesel waarin biodiesel is bijgemengd. Bij voldoende bijmenging kan de CO<sub>2</sub>-emissie worden gereduceerd. De emissiereductie van de gasgestookte eenheid kan overigens ook worden verhoogd door biogas bij te mengen. Bij voeding uit het net kan de emissiereductie worden verhoogd door groene elektriciteit aan te kopen.

Indien een volledige ontsmetting noodzakelijk is (70 °C) is radiofrequente ontsmetting een perfecte techniek. De kostprijs met 5,6 EUR/m<sup>2</sup> komt met deze manier van ontsmetten iets hoger te liggen dan de kosten van 5 EUR/m<sup>2</sup> die door tuinders nog acceptabel wordt geacht. De markt zal moeten bepalen of men er deze prijs voor over heeft. Ten opzichte van stomen worden de emissies gereduceerd.

Gezien de positieve resultaten van dit onderzoek en gezien de wens geuit door tuinders voor een betere ontsmettingstechniek wordt voorgesteld om te komen tot een project wat tot doel heeft de bouw van een prototype met een relatief laag vermogen wat de werking in praktijk voor tuinders moet aantonen.

## 1 INLEIDING

Het project is uitgevoerd in het kader van het programma Kas als Energiebron. 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. In een eerder project [1] is een alternatief onderzocht voor het ontsmetten van substraten en potgrond. Het systeem dat daarbij is ontwikkeld, warmt het substraat of de potgrond direct op door middel van radiofrequente energie. Door deze opwarming wordt het substraat en de potgrond goed ontsmet. Door de goede homogene opwarming en de efficiëntere manier van opwarmen, kan er een energiebesparing worden bereikt die tot boven de 50% kan oplopen.

Om de volle grond meerdere malen in te kunnen zetten, dient deze na een of meerdere teeltcycli ontsmet te worden. Het ontsmetten heeft tot doel het doden van achtergebleven aaltjes en/of schimmels. Momenteel wordt de ontsmetting uitgevoerd door stomen. Hierbij wordt niet, zoals bij substraten en potgrond, in een bunker gestoomd maar wordt er ter plaatse ontsmet waarbij de grond met zeil wordt afgedekt. Ontsmetting door stomen heeft meerdere nadelen. Met name het hoge energieverbruik (CO<sub>2</sub>-emissie), zwaar en gevaarlijk werk en de niet optimale ontsmetting zijn de grootste nadelen.

De goede resultaten verkregen met het diëlektrisch ontsmetten van substraten en potgrond en de ontevredenheid bij tuinders over de werking van stomen van grond zijn redenen geweest voor dit onderzoek waarin de technische/economische haalbaarheid en de mogelijke energiebesparing van diëlektrisch ontsmetten ten opzichte van stomen worden beoordeeld. Dit rapport geeft de resultaten weer van het gehele project waarin de markt voor ontsmetting is onderzocht, de eisen voor een diëlektrische ontsmetter zijn opgesteld en onderzocht is hoe een ontsmetter in de kas kan worden ingepast.

Het project is uitgevoerd door **KEMA (www.kema.com)**. Naast KEMA zijn er een tweetal bedrijven die mee hebben geholpen bij de uitvoering van dit project:

**Deconsult (www.deconsult.nl)**, heeft theoretische en praktische kennis op het gebied van diëlektrische verwarmingstechnieken ingebracht.

**Wageningen UR Glastuinbouw (http://www.ppo.wur.nl/NL/)** (voorheen Praktijkonderzoek Plant & Omgeving (PPO)), heeft kennis ingebracht van de praktijk van stomen en het marktpotentieel voor diëlektrisch ontsmetten onderbouwd met getallen over het areaal en de frequentie van stomen.



## 2 DOELSTELLING

In dit project is de haalbaarheid voor het inzetten van een diëlektrisch ontsmettingssysteem, als alternatief voor stomen, onderzocht. De insteek van dit project is, naast de ontwikkeling van een goedkopere en beter werkende techniek, een reductie in energieverbruik te realiseren. Deze doelstelling kan bijdragen aan de energiereductie-doelstellingen van het programma Kas als Energiebron (de doelen van KaE staan ook vastgelegd in het convenant Schone en zuinige agrosectoren). Het project draagt bij aan de volgende doelen:

- verbetering van de energie-efficiëntie
- reductie van gewasbeschermingsmiddelen
- inzetbaarheid van duurzame toepassingen
- goedkoper ontsmetten
- terugbrengen van andere nadelen die stomen heeft.

Daarnaast moet het systeem beter werken dan de bestaande systemen tegen een concurrerende prijs.

## 3 OMSCHRIJVING TECHNIEKEN

Er worden in dit hoofdstuk verschillende ontsmettingstechnieken omschreven. Deze technieken zijn ontleend aan een internet- en literatuurstudie [8] en worden geacht de best bestaande of meest kansrijke toekomstige technieken voor ontsmetten te zijn. Het gaat hierbij om:

- conventionele stoomontsmetting
- biologische ontsmetting
- ontsmetten met een magnetron (Agritron)
- ontsmetten met ultra hete lucht (Cultivit)
- diëlektrische ontsmetten, het te ontwikkelen alternatief.

### 3.1 Stomen

Na een of meerder teeltcycli is de bodem besmet met vele schadelijke organismen. Om te voorkomen dat er te veel uitval is door zieke planten, wordt de grond voor een nieuwe teelt

ontsmet. Na het verbod op gebruik van methylbromide is stomen als ontsmettingstechniek in gebruik gekomen. Deze techniek ontsmet de grond door deze met stoom op te warmen tot 45 of 70 °C, afhankelijk van de af te doden organismen [3]. Door de grond gedurende twee uur op deze temperatuur te houden worden al die schadelijke organismen afgedood. Hieronder volgt een beschrijving van stoomontsmetting en van de logistiek tijdens het proces.

Het stomen gebeurt door de grond af te dekken met een zeil en hieronder stoom te injecteren. De grond wordt hierdoor langzaam opgewarmd tot de gewenste temperatuur. Er kan gebruik worden gemaakt van lage- of hogedruk stoom. De indringsnelheid is groter en de temperatuur is hoger bij hogedruk stomen. Nadeel van hogedruk stomen zijn de kosten voor het houden van het stoomcertificaat omdat het hogedruk systeem onder de regels van het stoomwezen valt en aan zware veiligheidseisen moet voldoen. Hoge- en lagedruk stomen kan worden gecombineerd met het afzuigen van de stoom. Hierbij wordt via drainagebuizen, op enige diepte in de grond, lucht weggezogen. Op deze manier wordt de warme lucht van de toplaag naar beneden gezogen waardoor de warmte beter over een grotere diepte wordt verdeeld.

De stoom wordt gegenereerd door een ketel water te verhitten tot boven 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 7 uur stomen is de grond door de stoom opgewarmd tot 40 à 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 minimaal 6 tot 9 uur. Het gasverbruik voor het ontsmetten van de grond met afzuiging ligt tussen de 3,5 tot 5,0 m<sup>3</sup> gas per m<sup>2</sup> grond.

Het ontsmetten van de volle grond gebeurt deels door loonwerkersbedrijven en deels door tuinders zelf die een eigen installatie bezitten. In bijlage A staat een overzicht van de verschillende gewassen met de areaal grootte en het aantal keren dat er wordt ontsmet. Er wordt jaarlijks globaal 3500 hectare grond met stoom ontsmet. Met een gemiddeld gasverbruik van 4 m<sup>3</sup> gas per m<sup>2</sup> grond komt dat op een jaarlijkse CO<sub>2</sub> emissie van 0.2 Mton.

Een deel van de hierboven gegeven informatie en overige informatie over stomen is te vinden in het rapport Stomen [3].

### 3.1.1 Nadelen

Er kleven een aantal nadelen aan het stomen. De voornaamste staan hieronder weergegeven:

- stomen is zeer energie intensief (geeft piek in het gasverbruik)
- het is arbeidsintensief en fysiek zwaar werk
- de opwarming is inhomogeen en geeft daardoor geen perfecte ontsmetting
- gevaar dat heet stoom vrij kan komen met als gevolg een gevaarlijke situatie
- lange opwarm- en stoomtijden zijn noodzakelijk
- er komen schadelijke mangaan verbindingen in de grond vrij
- het ziekteverend vermogen van de grond gaat achteruit.

#### 3.1.1.1 Energie intensief

Als voorbereiding van het stomen wordt de grond diep omgeploegd en gefreesd. Ondanks deze handeling blijft de indringing van stoom slecht en verloopt traag. Door de trage indringing van de stoom in de grond vindt er veel warmteoverdracht naar de omgeving plaats. Vooral via het afdekzeil gaat veel warmte verloren. Tijdens het stomen ontstaat er een piek in het gas verbruik. Dit kan een nadelig effect hebben op de gasprijs in verband met een duurder contract.

#### 3.1.1.2 Arbeidsintensief en zwaar werk

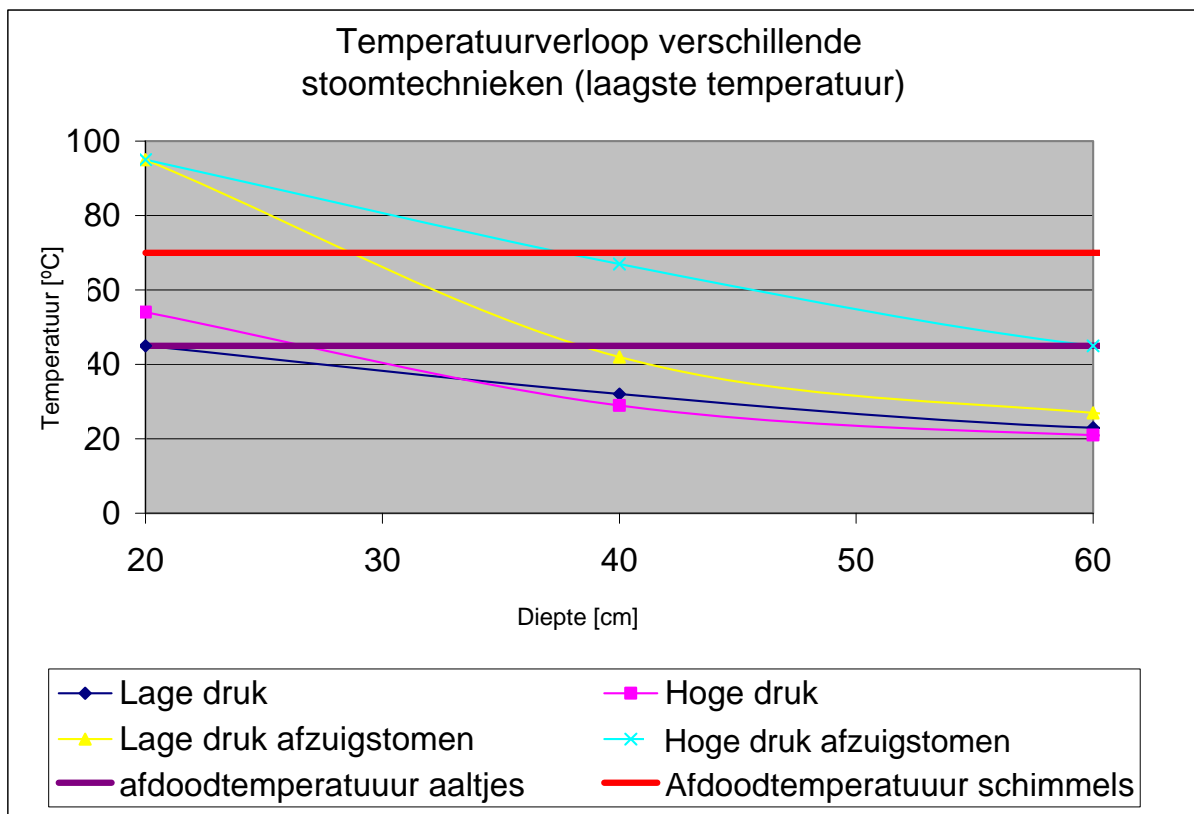
Ter voorbereiding van het stomen wordt over de grond een kunststof zeil gelegd. Hier overheen komt een stoomnet of stoomzeil waardoor er meer stoomdruk onder het zeil kan worden aangebracht. Het geheel wordt vastgelegd door aan de randen grondpennen te plaatsen of op de randen zware voorwerpen te plaatsen. Dit werk moet door meerdere mensen worden uitgevoerd. Deze voorbereiding voor stomen vraagt veel arbeidstijd, daarnaast is het lichamelijk zwaar werk.

#### 3.1.1.3 Inhomogene opwarming en daardoor geen perfecte ontsmetting

De indringing van de stoom is afhankelijk van de structuur van de grond. Als er sprake is van een open structuur dan zal de stoom sneller de grond indringen dan in een dichte structuur. Sommige grondsoorten slaan dicht tijdens het stomen waardoor de indringing nog slechter

wordt. Aangezien er een grote variatie van dichtheden in de grond is, treden er bij stomen grote verschillen in de temperatuur op vooral dieper in de grond. Door de inhomogene opwarming en de lange stoomtijd is er een grote kans dat na het stomen de ontsmetting niet volledig is. Daardoor kunnen er tijdens de teelt ziektes de kop op steken die leiden tot een slechtere oogst en daardoor tot inkomstenderving.

Grafiek 1 geeft het temperatuurverloop van de verschillende stoomtechnieken. Deze gegevens zijn afkomstig van vier testen uitgevoerd bij verschillende bedrijven met verschillende stomeenheden zoals beschreven in een rapport van DLV Facet [2].



Grafiek 1 Temperatuur op verschillende dieptes in de grond met verschillende stoomtechnieken ongeveer 15 uur na het begin van het stomen

In de grafiek is waar te nemen dat bij stomen zonder geforceerde afzuiging alleen op een geringe diepte de temperatuur hoog genoeg wordt om te kunnen spreken voor het afdoden van aaltjes. In dit geval zal de bovenlaag tot 25 cm goed ontsmet zijn (aaltjes), in de ondergelegen laag zullen de organismen kunnen overleven. De gewenste ontsmettings-

diepte van 40 cm zal normaal gesproken alleen worden verkregen met hogedruk afzuigstomen.

#### 3.1.1.4 Gevaar van heet stoom dat vrij kan komen

Doordat de stoom met druk onder het zeil wordt aangebracht staat het hele systeem onder druk. Bij de aansluitingen van de leidingen en bij het zeil kan stoom door kleine openingen weglekken. Door de hoge stoomtemperatuur (110 – 130 °C) kan dit tot gevaarlijke situaties leiden. Dit geldt ook voor de mogelijkheid van scheuren van het zeil of los springen van leidingen, waardoor de stoom kan vrijkomen.

#### 3.1.1.5 Lange opwarm stoomtijd

Bij het stomen van grond zonder onderdruk wordt ongeveer 6 uur gestoomd. Na deze 6 uur is de temperatuur op 25 cm diepte gemiddeld 65 °C en op 45 cm diepte gemiddeld 30 °C. Aangezien de warmte-indringing heel langzaam plaatsvindt kunnen sommige mobiele organismen vluchten voor de warmte. In dat geval zal het organisme dieper de grond ingaan en terugkomen als de temperatuur weer acceptabel is. In de chrysantenteelt kan de wortel- duizendpoot daardoor, na de ontsmetting, nog steeds de nodige schade aanrichten [4].

#### 3.1.1.6 Verandering in de mineraalhuishouding

Door de verhitting van de grond boven de 80 °C kunnen er mineralen vrij komen die normaal gesproken gebonden en niet beschikbaar voor de planten zijn. Bij een temperatuur boven 80 °C worden mangaanverbindingen omgezet in schadelijke verbindingen die door de plant kunnen worden opgenomen. Deze verbindingen kunnen ongeveer een jaar in de grond aanwezig blijven voordat ze weer omgezet zijn in de, voor de plant, niet-beschikbare verbindingen. Daarnaast kan door stomen bromide vrij komen dat nadelig kan zijn voor de groei van sommige gewassen en dat door gewassen kan worden opgenomen waardoor een ongewenste concentratie in de plant ontstaat. Nitraat ( $\text{NO}_3$ ) in de grond kan bij 100 °C worden omgezet naar ammonium-nitraat en -nitriet. De verhoogde concentraties van deze stoffen kunnen een nadelige invloed op de plantengroei hebben.

### 3.1.1.7 Ziektewerend vermogen van de grond gaat achteruit

Bij stomen worden temperaturen aan het grondoppervlak bereikt van 80 tot 100 °C. Hierdoor wordt de toplaag (eerste 5 cm) steriel. Nadeel hiervan is dat in deze steriele grond schimmels zich heel snel kunnen vermenigvuldigen en er een kans is op plaatselijk zeer hoge concentraties schimmels. Bij een warmtebehandeling tot 70 °C, zoals bij diëlektrisch ontsmetten gebeurt, blijft het ziektewerend vermogen van de grond voor een groot deel behouden doordat een aantal niet-ziekteverwekkende bacteriën en schimmels de behandeling overleven.

## 3.2 Biologisch grondontsmetting

Er zijn een aantal biologische ontsmettingstechnieken bekend [8]. Drie bekende technieken zijn:

- inundatie (onder water zetten van het perceel om verstikking te verkrijgen)
- solarisatie (met folie afdekken en de temperatuur op laten lopen, werkt niet/slecht in Nederland).
- anaërobie (verstikken van schadelijke organismen door rotting).

Bij de meest gebruikte biologische ontsmetting is anaërobe ontsmetting. Hierbij wordt organisch afval door de grond verwerkt. De grond wordt vervolgens afgedekt met een luchtdichte folie, met afdoding van ziekteverwekkers tot gevolg. De afdoding treedt op doordat het organische materiaal wordt afgebroken door micro-organismen die de zuurstof aan de grond onttrekken. Door de afwezigheid van de zuurstof zullen aaltjes en schimmels verstikken. Deze manier van ontsmetten geeft goede resultaten. In tabel 2 staat een overzicht van de afdoding van de verschillende organismen [5].

Tabel 2 Mate van afdoding verschillende organismen bij biologisch ontsmetten [5]

| (BODEM)SCHIMMEL                       | DODING | NEMATODE                | DODING | ONKRUID         | DODING |
|---------------------------------------|--------|-------------------------|--------|-----------------|--------|
| R. solani AG3                         | +++    | Meloidogyne fallax      | +++    | muur            | > ++   |
| R. solani AG2-2IIIB                   | ++     | Meloidogyne hapla       | +++?   | kiek            | ++     |
| R. tulipatum                          | +++    | Meloidogyne chitwoody   | +++    | heermoes        | +      |
| Synchytrium endobioticum (wratziekte) | -      | Pratylenchus penetrans  | +++    | aardappelopslag | +++?   |
| Pythium                               | -      | Pratylenchus fallax     | +++    |                 |        |
| Fusarium oxysporum                    | ++     | Globodera rostochiensis | +++    |                 |        |
| Verticillium dahliae                  | +++    | Globodera pallida       | +++    |                 |        |
| Sclerotinia sclerotiorum              | +++    | Paratrichodorus         | +      |                 |        |
|                                       |        | Ditylenchus             | +++?   |                 |        |

Deze techniek heeft als nadeel dat afdoding alleen plaatsvindt als de buitentemperatuur hoog genoeg is. De periode dat de buitentemperatuur hoog genoeg is voor het biologisch ontsmetten, is eigenlijk ook de periode om de gewassen te laten groeien. Aangezien de ontsmetting zes tot negen weken in beslag neemt, leidt dit tot aanzienlijke inkomstenderving. Verder worden niet alle schimmels afgedood (bijvoorbeeld Pythium). Voordelen van deze manier van ontsmetten zijn de lage kosten, een verwaarloosbaar energieverbruik en geen nadelige milieubelasting.

### 3.3 Ontsmetten met de magnetron

De firma Koppert is bezig met de ontwikkeling van een magnetronsysteem, Agritron, waarmee de grond met microgolven kan worden ontsmet (voor meer info zie [11]). Figuur 1 geeft een beeld van de Agritron.



Figuur 1 Agritron op tekentafel (links) en proefmachine (rechts)

De linker afbeelding in figuur 1 is de Agritron computeranimatie. De rechter afbeelding is een pilotmachine waarmee testen zijn uitgevoerd. De manier van microgolfofopwarming komt redelijk overeen met het radiofrequent opwarmen. Allebei de verwarmingstechnieken behoren tot diëlektrisch opwarmen. Het grote verschil zit in de indringdiepte. Zoals in het rapport diëlektrisch ontsmetten van substraten staat weergegeven is de indringdiepte van microgolven in de grond beperkt. De indringdiepte is afhankelijk van de eigenschappen van de grond. Des te sneller de grond opwarmt, des te geringer is de indringdiepte. Het is niet bekend wat de indringdiepte in grond precies is maar deze zal rond de 5 à 15 cm zal liggen. De makers van het systeem bevestigen dit maar geven tevens aan dat er wel ontsmetting optreed tot 40 cm diepte. Dit laatste geeft twijfel aan de goede werking van het systeem. Gezien de indringdiepte wordt alleen de toplaag van de grond verwarmd en ontsmet. De schadelijke organismen in de onderlaag zullen niet worden afgedood en zullen bij een nieuwe teelt schade aanrichten aan de planten. De bewering van de leverancier van het systeem dat tot 40 °C diepte wel alles wordt ontsmet hebben ze niet kunnen aantonen met wetenschappelijke onderbouwing en lijkt erg onwaarschijnlijk aangezien alle energie in de grond is gaan zetten en geen "energie" over is voor het afdoden van organismen.

Doordat alleen de toplaag verwarmd wordt, is het energieverbruik laag. De grond zal echter tenminste tot 40 cm moeten worden verwarmd om een goede ontsmetting te krijgen. Hierdoor zal het energieverbruik hoger en de snelheid van ontsmetting lager worden dan waar men nu mee rekent. Ontsmetten van een grondlaag van 40 cm met de magnetron zoals deze werd toegepast (2415 MHz) zal niet mogelijk zijn voor vochtige grond. Alleen als er sprake is van zeer droge zandgrond, zou mogelijk tot deze diepte kunnen worden verwarmd.

Gezien de slechte ontsmetting en gesprekken met deskundigen is men in 2008 begonnen met het aanpassen van de installatie [9] en lijkt er gebruikt te worden gemaakt van een installatie met een andere golflengte (915 MHz). De ontwerpers stellen dat het systeem afdood door de microgolven en niet door de warmte. De werking zal echter identiek zijn aan het diëlektrisch ontsmetten en aan stomen namelijk dat de schadelijke organismen worden gedood door verhitting gedurende een bepaalde tijd. Nadeel van de microgolfmethode is dat de indringdiepte wordt bepaald door de eigenschappen van de grond (natte grond → beperkte indringdiepte). Verder zal er een temperatuurgradiënt in de grond ontstaan, de toplaag zal heet zijn en op 40 cm diepte zal de temperatuur aanzienlijk lager zijn. Testen die KEMA heeft uitgevoerd [5] hebben aangetoond dat een indringdiepte in vochtige potgrond maximaal 5 cm is bij de reguliere microgolf techniek (2.41 GHz). Bij een frequentie van 915 MHz zal de indringdiepte ongeveer 15 cm zijn. Een ontsmetting tot 40 cm zal bij natte grond



niet haalbaar zijn. Het energie gebruik zal nagenoeg gelijk zijn als bij de te ontwikkelen radiofrequente ontsmetter mits de juiste ontsmettingsdiepte wordt gehaald met dit systeem.



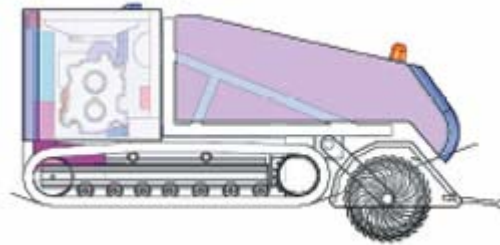
Figuur 2 Schematische weergave vermogensverdeling in de grond (links), foto opwarming vochtige potgrond, indringdiepte maximaal 5 cm (rechts)

Dit systeem is ook al omschreven in een Amerikaans patent waarbij wordt aangegeven dat de indringdiepte 5 cm is [13]. Daarnaast is er een ander patent die het gebrek aan indringdiepte omzeild door de grond af te graven en door een magnetron geleid [14].

In 2010 is de machine nog niet op de markt vanwege problemen met het systeem.

### 3.4 Ontsmettingsysteem Cultivit

De firma VDL Cultivit BV is sinds 2006 bezig met het op de markt brengen van een systeem waarmee de grond wordt ontsmet met hete lucht van 750 °C. Meer informatie over het systeem wordt gegeven in [7].



Figuur 3 Weergave van het Cultivit systeem

In figuur 3 staat de ontsmetter weergegeven. De afmetingen van het systeem zijn 5\*2.2\*2.2 meter. Het gewicht is relatief hoog en bedraagt 9150 kg. Doordat de machine zich voortbeweegt op rupsbanden valt de wioldruk echter mee en zal het systeem niet te ver in de grond wegzakken. Het apparaat heeft een systeem van “spades” waarmee de grond wordt losgewoeld tot 35 cm diepte. Op het moment dat de grond wordt omgewoeld wordt er lucht van 750 °C doorheen geblazen. Als de grond weer op de plaats ligt, is de temperatuur nauwelijks waarneembaar opgewarmd (maximaal 10 °C). Uit praktijkproeven blijkt dat het systeem een zeer gunstige uitwerking heeft op de groei van de planten. Er worden verbeteringen van 100% bereikt ten opzichte van schone grond (grond zonder schadelijke organismen). Het werken met zeer hete lucht kan als voordeel hebben dat de grond maar heel kortstondig met de hete lucht in aanraking komt. Des te hoger de temperatuur, des te kortstondiger de opwarming kan zijn. Het contact van de hete lucht met de grond is zo kort dat de grond niet tot de ontsmettingstemperatuur wordt opgewarmd. Uit laboratoriumtesten uitgevoerd bij het voormalige PPO in Naaldwijk in opdracht van Cultivit blijkt dat de organismen wel aanwezig zijn maar blijkbaar niet in staat zijn om de planten aan te tasten. Waardoor dit optreedt is nog niet duidelijk. Het systeem heeft alleen invloed op het afdoden/beschadigen van nematoden; schimmels worden niet afgedood. De rapporten van het uitgevoerde onderzoek zijn niet beschikbaar gesteld aan KEMA. De enigste informatie over de ontsmetting resultaten is beschikbaar op de website van Cultivit [7]. Deze informatie is al geruime tijd aanwezig maar nooit voorzien van nieuwe informatie van succesvolle praktijktesten.

De “spades” worden snel door de grond gehaald maar de voortgang is beperkt. Hierdoor wordt er door elke keer door de spade maar een zeer dun laagje van de grond afschraapt. Dit geeft een zeer luchtige grond. Deze luchtige grond zal een positieve invloed hebben op de ontwikkeling van de wortels.

De behandeling van de grond met de spades en de kortstondige hoge temperatuur kan wellicht ook invloed hebben op de mineralen huishouding. Mocht dit het geval zijn dan zou er sprake zijn van een eenmalige verbetering van de opbrengst.

Doordat de grond niet of nauwelijks wordt opgewarmd is het energieverbruik voor de ontsmetting relatief laag. Daarnaast kan het systeem met een snelheid van 200 tot 700 m<sup>2</sup> per uur een groot gebied snel ontsmetten. Door gebruik te maken van GPS-sensoren is het mogelijk om grote kavels te ontsmetten zonder mankracht.

Het gewicht van het systeem kan nadelig zijn vanwege de beschadiging aan paden en overige infrastructuur.

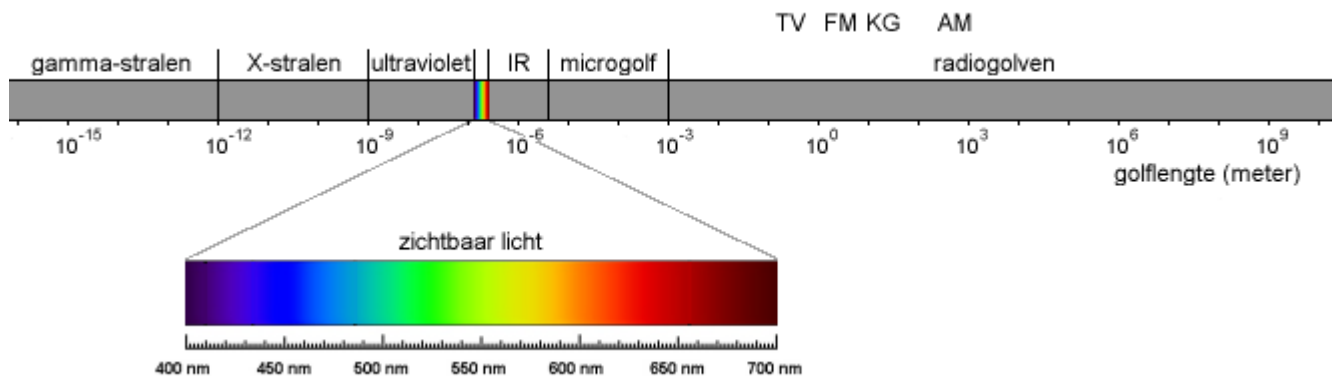
Er zijn in het 2006 bij een twintigtal bedrijven testen uitgevoerd waarbij samen met LNV een plan van aanpak per bedrijf werd beschreven om de effecten goed te kunnen meten. Deze testen hebben niet tot een gewenst resultaat geleid. Dit is veroorzaakt door een defect in het systeem waardoor de temperatuur niet hoog genoeg kon oplopen. In begin 2010 zijn er nog steeds problemen en is het systeem nog niet commercieel op de markt.

De kostprijs voor het ontsmetten van de grond met de Cultivit bedraagt ongeveer EUR 2.500,- per hectare volgens een artikel in Groenten & Fruit [15]. Er is in een later studium geen bevestiging gegeven of deze kostprijs nog steeds mogelijk is met de aangepaste machine. Een snelle berekening leert dat de kosten beneden EUR 1,00 per m<sup>2</sup> moet kunnen bedragen. De resultaten zijn verkregen op basis van getallen uit een artikel over [6] en de folder van Cultivit) [7] (aanschafprijs EUR 300.000,-, 500 m<sup>2</sup> grond ontsmetten per uur, een verbruik van 50 liter diesel per uur en 1500 draaiuren per jaar).

### 3.5 Diëlektrisch verwarmen

De techniek van diëlektrische ontsmetting werkt op dezelfde manier als stomen, namelijk door verhitten en daarmee afdoden van micro-organismen. Alleen de manier van verhitten is anders. Bij diëlektrisch verwarmen wordt elektrische energie via een radiofrequent elektrisch veld aan de grond toegevoegd en daar omgezet in warmte. De grond moet echter wel over de juiste eigenschappen beschikken, zoals een relatief lage elektrische geleidbaarheid en een hoge diëlektrische verliesfactor. Deze eigenschappen zijn bij alle in dit project gebruikte grondsoorten voldoende om een goede opwarming te krijgen. Bij diëlektrisch verwarmen vindt de warmteontwikkeling, in tegenstelling tot stomen, in de grond zelf plaats. De warmteweerstand van de grond, die er bij stomen voor zorgt dat de opwarming zeer lang duurt, speelt hierdoor geen rol van betekenis bij diëlektrisch opwarmen. Daardoor kan snel

en homogeen verwarmd worden. Er zijn zeer goed praktijktesten uitgevoerd met een statisch systeem met droge potgrond waarbij de energie verbruik en het economische berekening zeer gunstig uit komen [12]. Afhankelijk van de golflengte van de energiegolf is er een indeling gemaakt in verschillende groepen. In figuur 4 staat de groep indeling schematisch weergegeven.



Figuur 4 Naamgeving golflengtes energiegolven

De diëlektrische verwarmingstechniek is opgedeeld in twee delen, namelijk radiofrequent (met een frequentie tot en met 300 MHz) en microgolf (vanaf 300 MHz) verwarmen. Het verschil in frequentie leidt tot een verschillende bouwwijze van microgolf- en radiofrequente systemen. Dit verklaart mede de kostenverschillen tussen beide systemen: Vooral bij hoge vermogens is de radiofrequente techniek per kilowatt goedkoper.

Het ter plaatse ontsmetten van de grond in de kas kan op twee manieren gebeuren:

- de grond wordt afgegraven en toegevoerd aan een mobiele radiofrequente ontsmetter die met de graafmachine meeloopt. Na ontsmetten wordt de grond weer teruggestort in de kas. Dit komt overeen met de huidige techniek voor het diëlektrisch ontsmetten van potgrond
- in plaats van de afgegraven grond door de ontsmettingsinstallatie heen te leiden wordt in het tweede systeem de kasgrond ter plaatse ontsmet. Afgraven is dan niet nodig. Ontsmetten gebeurt door elektroden in de grond aan te brengen en die door de grond heen te trekken. De grond tussen de elektroden wordt met radiofrequente energie direct verwarmd tot de ontsmettingstemperatuur.

Een deel van de hierboven genoemde informatie en andere informatie is terug te vinden in het rapport Diëlektrische verwarming [1].

### 3.6 Samenvatting ontsmettingstechnieken

Er zijn een viertal verschillende ontsmettingsmethoden bekeken. Stomen is een bewezen techniek (met veel nadelen) en wordt veel toegepast maar geeft niet een perfect resultaat. Tuinders zijn op zoek naar een betere techniek gezien de nodige nadelen (geen goede ontsmetting, arbeidsintensief....). Tabel 3 geeft een overzicht van de technieken met een overzicht van het energiegebruik, de kostprijs, de doorlooptijd en er wordt aangegeven in hoeverre de techniek al is bewezen in de praktijk.

Tabel 3 Overzicht van de verschillende ontsmettingstechnieken

| techniek                                   | energie gebruik | kostprijs | doorlooptijd | bewezen in praktijk  |
|--|-----------------|-----------|--------------|--|
| stomen                                     | hoog            | hoog      | matig        | ja, maar werkt niet optimaal. Veel behoefte aan een vervangend systeem                                       |
| biologisch                                 | gering          | Laag      | laag         | ja, maar kost veel tijd en gaat ten koste van gewasopbrengst   |
| magnetron                                  | matig           | matig     | matig        | nee, zeer grote twijfels over de diepte van ontsmetting  |
| Cultivit                                   | laag            | Laag      | hoog         | nee, veel problemen en nog geen goede werking in de praktijk aangetoond                                      |
| RF ontsmetter met afgraven grond           | matig           | hoog      | matig        | ja, voor substraten en potgrond, niet voor kasgrond, duurder dan de optie hieronder                          |
| RF ontsmetter met elektroden door de grond | matig           | hoog      | matig        | ja, voor substraten en potgrond, niet voor kasgrond, heeft potentie voor een goede en volledige ontsmetting. |

De bestaande ontsmettingstechnieken voor de volle grond, stomen en biologische ontsmetting, werken niet optimaal. Bij stomen geeft onderdruk stomen redelijk goede resultaten te zien maar zeker geen 100% afdoding van micro organismen. Stomen zonder onderdruk geeft een slechte ontsmetting. Tijdens gesprekken bij de tuinders blijkt dat er steeds meer tuinders minder stomen omdat het effect hiervan beperkt is.

Biologische ontsmetting wordt vaker toegepast, maar dit gebeurt met name in de biologische landbouw. Door de lange tijd die nodig is voor het ontsmetten (6-9 weken) in het

groeiseizoen, geeft dit een grote inkomstendering omdat er in die periode geen planten kunnen worden geteeld.

Bij magnetronontsmetting moet de werking nog worden aangetoond. Dat de grond niet opwarmt en er wel afdoding van aaltjes en schimmels optreedt wordt onwaarschijnlijk geacht.

Het systeem van Cultivit ziet er goed uit. Het is een mooi uitziende machine en de resultaten die gepresenteerd worden zien er zeer hoopvol uit. Er is wel enige twijfel bij de werking. Door de geringe verblijftijd in de hete lucht en de zeer geringe opwarming van de grond, lijkt het op het eerste gezicht onmogelijk om alle aaltjes en schimmels op deze manier af te doden. Misschien worden de goede resultaten geboekt door het zeer luchtig maken van de grond door de intense loswoeling. Dat luchtige grond betere resultaten geeft is ook goed terug te zien in het verschil van groei tussen gestoomde en diëlektrisch ontsmette potgrond. Dit verschil in groei wordt veroorzaakt door de luchtigheid van de grond.

Voor wat betreft de diëlektrisch techniek, het huidige systeem voor ontsmetten van substraten en potgrond is niet geschikt voor het ter plaatse ontsmetten van kasgrond. Dit systeem zal verder moeten worden ontwikkeld voor mobiel gebruik in de kas.

## 4 **BEDRIJFSBEZOEKEN**

In het kader van het project hebben er een aantal bedrijfsbezoeken plaats gevonden. Er is een bezoek gebracht aan het bedrijf dat ook bezig is met de ontwikkeling van een ontsmettingssysteem (Cultivit). Twee potentiële fabrikanten van de te ontwikkelen radiofrequente ontsmettingsinstallatie (Heatwaves (RF leverancier) en Potveer (machine bouwer)) zijn bezocht. Daarnaast zijn er een drietal tuinders bezocht.

### 4.1 **Bezoek Cultivit**

Er is een bezoek gebracht bij een praktijktest met de Cultivit machine bij Rijk Zwaan in Fijnaart. De test vond plaats in een boogkas en het manoeuvreren van de machine geeft in de kleine ruimtes direct naast de wand van de kas wat problemen. Dit wordt met name veroorzaakt door de vorm van de kas in combinatie met de afmetingen van de machine. In grote ruimtes en open velden werkt de besturing van het systeem zeer goed. De machine

gaat zeer geleidelijk vooruit en na het passeren van de machine is er zeer losse grond zichtbaar. De temperatuur van de grond neemt marginaal toe (zo'n 10 tot 15 °C) en de bewerkingdiepte is 35 cm. Het is niet duidelijk of dit in praktijk in alle gevallen zal voldoen. De juiste instelling van de machine moet in de praktijk worden onderzocht. Er is nog geen meetmechanisme dat ter plaatse aan kan geven of de grond voldoende is ontsmet. Dat is ook niet mogelijk omdat de grond nauwelijks wordt opgewarmd. Dit is wel een nadeel omdat pas tijdens de groei van de planten zal blijken of de ontsmetting goed is geweest.

In 2007 zijn er testen uitgevoerd waarbij alleen de grond wordt losgewoeld en niet wordt verwarmd. Op deze manier zal duidelijk worden wat de invloed hiervan is. Verder zijn er in 2007 een groot aantal praktijktesten uitgevoerd met en bij tuinders. Op deze manier hoopt Cultivit meer informatie te verkrijgen over de werking en de betrouwbaarheid van de machine en tegelijkertijd acceptatie in de markt te verkrijgen. Deze testen zijn mislukt omdat er problemen zijn ontstaan in het systeem waardoor warmte verloren is gegaan en de grond niet goed is behandeld. Tijdens de laatste optimalisaties zijn er een aantal problemen naar boven gekomen waardoor de machine begin 2010 nog niet commercieel beschikbaar was.

De ontsmettingsdiepte is 35 cm in plaats van de gewenste 40 cm. Het is niet duidelijk of dit problemen kan gaan veroorzaken.

#### 4.2 **Bezoek Heatwaves**

Heatwaves is een leverancier van radiofrequente verwarmingsinstallaties. Er worden niet veel nieuwe systemen verkocht. De meeste RF-machines hebben een lange levensduur en het meeste werk voor Heatwaves bestaat dan ook uit het onderhouden en repareren van de systemen. Heatwaves is ook betrokken geweest bij de eerste diëlektrische ontsmetter gemaakt door Potveer. De mogelijkheden voor een mobiel systeem zijn besproken. Heatwaves voorziet geen problemen bij het maken van een mobiel systeem. Alle bestaande RF-machines zijn bedoeld voor stationair gebruik. Er zullen een aantal modificaties nodig zijn om het systeem voldoende robuust te maken voor mobiel gebruik, maar daar zijn oplossingen voor bekend. De methode hoe de elektrodes worden geplaatst levert geen probleem op voor de bouw van de machine. Er kan vanuit de tuinder worden gekeken welke methode het meest praktisch is en het systeem kan daar aan worden aangepast.



### 4.3 **Bezoek Potveer**

Er komen bij Potveer nog steeds veel vragen uit de markt binnen over het, voor substraten en potgrond, ontwikkelde diëlektrisch ontsmettingsstelsel en wat de mogelijkheden zijn om de techniek in te zetten voor de volle grond. Bij Potveer wordt op dit moment een stelsel verder uitontwikkeld met een lopende band waarmee potgrond kan worden ontsmet. Eerdere pilot installaties hebben met succes bij verschillende tuinders gedraaid. Er is gekozen voor de aanpak om eerst een goed werkende installatie te bouwen waarbij gebruik wordt gemaakt van een tweedehands RF-machine. Na het succesvol afronden van dit project en op basis van de goede resultaten bij de tuinder zullen meerdere systemen worden gebouwd.

Daarnaast heeft Potveer een nieuw stoomontsmetting stelsel ontwikkeld waarbij potgrond wordt ontsmet door middel van stoominjectie in een vijzel met potgrond. Dit stelsel geeft ook goede resultaten en een reductie van CO<sub>2</sub>-uitstoot tot 50%. Er kan ongeveer 30 m<sup>3</sup> grond per uur mee worden ontsmet [10].

Potveer is ook zeer geïnteresseerd in het ontwikkelen van een stelsel voor het ontsmetten van volle grond, zeker gezien alle signalen die vanuit de markt komen. Door de moeilijke tijden voor de tuinders laat de verkoop van een radiofrequentontsmettingstelsel voor potgrond nog op zich wachten alhoewel verschillende tuinders positieve ervaringen met het stelsel melden.

### 4.4 **Verschoor horticultuur Haarlem**

Dit bezoek is samen met Potveer gebracht. Uit het gesprek is naar voren gekomen dat men wel stoomt maar dat men graag een beter alternatief heeft. De bezwaren tegen stomen zijn dezelfde bezwaren zoals in het hoofdstuk stomen staan omschreven. Er wordt in de eerste helft van dit jaar een test uitgevoerd met het stelsel van Cultivit. Er wordt aangegeven dat dit stelsel er op papier goed uit ziet maar dat er in de praktijk nog wel een bevestiging van de werking nodig is. De testen werden op grond buiten de kas uitgevoerd. Er zijn wel bedenkingen tegen het gebruik in de kas, in verband met de afmetingen en gewicht van het stelsel. De praktijktesten hebben niet tot een goed resultaat geleid. Dit is veroorzaakt door een warmtelek in de installatie die later pas is ontdekt.

De tuinder geeft aan zeer geïnteresseerd te zijn in een alternatief voor stomen. Het nieuwe stelsel moet een betere ontsmetting geven tegen maximaal dezelfde prijs als stomen. Bij nader doorvragen en doorrekenen zou de prijs wel wat hoger mogen liggen als de ziektedruk nagenoeg verdwijnt.



#### 4.5 **Kwekerij Zwet**

Kwekerij Zwet maakt gebruik van een rolkas systeem. Hierbij wordt de kas over drie delen grond verplaatst om de planten in een gunstige periode te kunnen oogsten. De heer Zwet is naarstig op zoek naar een goede ontsmettingsmethode. Stomen ziet hij niet meer als optie. Er wordt bij een groot aantal collega bedrijven nog wel gestoomd maar er zijn steeds meer bedrijven die minder geloof hebben in de goede werking van het stomen. Het systeem van Cultivit ziet hij niet als een optie vanwege de afmetingen en het gewicht van het systeem. In de relatief kleine kassen is te weinig ruimte om een machine met dergelijke afmetingen te kunnen gebruiken. Als er een goede ontsmettingstechniek wordt ontwikkeld staat de heer Zwet vooraan om een dergelijk systeem te gaan gebruiken.

Uit het gesprek is naar voren gekomen dat in de praktijk een ontsmettingssysteem aan de volgende eisen moet voldoen. Het systeem moet een capaciteit hebben van 400 m<sup>2</sup> grond per dag. Dit komt overeen met het oppervlak dat per dag wordt gestoomd. De ontsmettingsdiepte bij stomen is niet meer dan 20 maximaal 30 cm. De laatste diepte wordt maar zelden bereikt en zeker niet over het hele perceel. De gewenste ontsmettingsdiepte is 40 cm waarbij de temperatuur moet oplopen tot 45 °C zodat alle aaltjes worden afgedood. De nieuw te ontwikkelen ontsmettingseenheid moet zelfvoorzienend zijn. Er zal op heel weinig bedrijven voldoende zware elektrische infrastructuur aanwezig zijn, geschikt voor voeding van het diëlektrisch ontsmettingssysteem. De kosten van ontsmetten mogen niet hoger zijn dan die van stomen, 2 à 2,5 EUR/m<sup>2</sup>. Voor een goede ontsmettingsmethode is 5 EUR/m<sup>2</sup> nog een acceptabel bedrag.

#### 4.6 **Bezoek firma Zeestraten te Oosterhout / Kwekerij Zandvoort te Huissen**

Bespreking met de heren J. Zeestraten en R. Gerichhausen. Beide kwekers kweken fresia's amaryllis en chrysanten. Men is zeer geïnteresseerd in verbeterde ontsmettingstechnieken. Gezamenlijk met collega telers en voorlichters wordt continu de markt in de gaten gehouden op het gebied van ontsmettingstechnieken. De frequentie van stomen is:

- fresia's; twee keer per jaar, tot 30 cm, 4 m<sup>2</sup> gas/m<sup>2</sup> grond
- chrysanten; één keer per jaar, tot 40 cm, 5 m<sup>2</sup> gas/m<sup>2</sup> grond
- amaryllis; vijf à zes keer per jaar, tot 40 cm, 6 m<sup>2</sup> gas/m<sup>2</sup> grond.

Per ontsmetting wordt er ongeveer 1000 m<sup>2</sup> grond behandeld. De totale handeling van oogsten, grondbehandeling, stomen en nabehandeling duurt zeven dagen. Per vierkante

meter gaat ongeveer 18 liter vocht in de grond zitten per stoombeurt en kost de ontsmetting ongeveer 4 m<sup>3</sup> gas en vier à vijf uren per 1000 m<sup>2</sup>.

Als aandachtspunt is aangegeven ontsmetting nabij de staanders in de kas, daar moet ook goed ontsmet worden.

#### 4.7 Samenvatting

Tuinders geven aan dat men niet tevreden is met de stomen als ontsmettingstechniek. Een alternatief dat beter ontsmet zou zeer wenselijk zijn. Daarnaast zou het sneller, veiliger goedkopere en energiezuiniger moeten zijn.

Er zijn twee bedrijven benaderd die bezig zijn met de ontwikkeling van alternatieve ontsmettingssystemen. Beide bedrijven (Agritron en Cultivit) zeggen al langer dan twee jaar dat men bijna op de markt komt, maar gezien de onduidelijkheid over de werking van de ontsmetting zijn ze nog niet commercieel beschikbaar. Indien de technieken marktrijp zijn zal het op de websites van de desbetreffende bedrijven worden aangegeven.

Uit gesprekken met potentiële bouwers blijkt dat men geen problemen ziet voor het produceren van een mobiel radiofrequent ontsmettingsysteem. Indien de economie van een dergelijk systeem goed is en de markt er voor is, ziet men geen problemen om een dergelijk systeem te fabriceren. Er zijn een aantal randvoorwaarden besproken die in het vervolg van het rapport worden behandeld.

## 5 INPASSING VAN EEN MOBIEL DIËLEKTRISCH SYSTEEM VOOR GEBRUIK IN DE KAS

In hoofdstuk 3 zijn twee systemen voor radiofrequent ontsmetten van grond voor gebruik in de kas kort beschreven. Een systeem waarbij de grond ter plaatse wordt afgegraven, door een ontsmetter wordt gevoerd en wordt teruggestort en een systeem dat de grond verwarmd met elektroden zonder dat de grond wordt afgegraven.

Het belangrijkste onderdeel van het tweede mobiele diëlektrische systeem is het elektrode systeem. Daarmee wordt de radiofrequente energie rechtstreeks overgebracht naar de te ontsmetten grond. Uit informatie van tuinders blijkt dat 40 cm een voldoende ontsmettings-

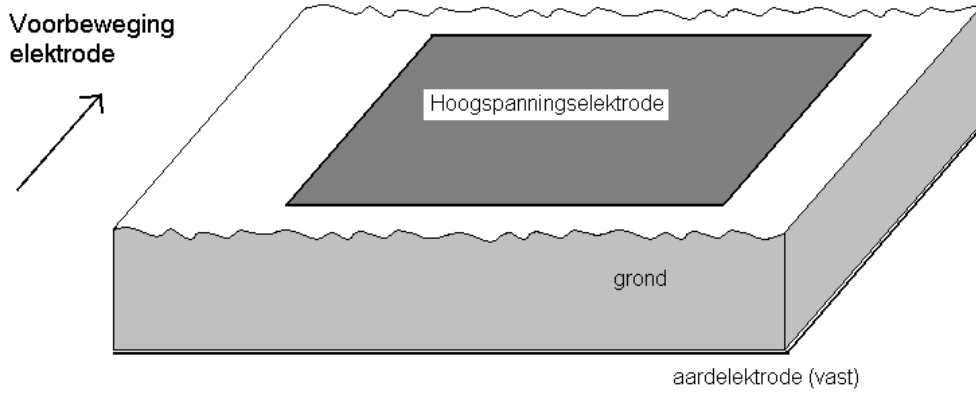
diepte voor schadelijke organismen is. Wordt ontsmetten alleen ingezet voor bestrijding van zaden, restanten bollen en onkruid, dan is een diepte van 20 cm voldoende. In de praktijk blijkt dat stoomontsmetting een diepte van 40 cm zelden haalt.

Uit overleg met tuinders, machinebouwers en fabrikanten van radiofrequente apparatuur volgt dat er vier hoofdvormen van radiofrequente systemen mogelijk zijn:

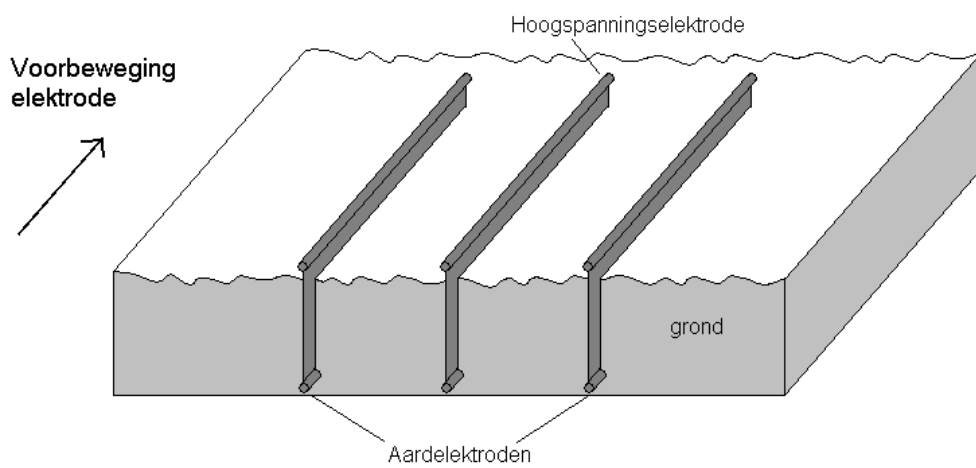
- vlakke elektroden, horizontaal
- vlakke elektroden, verticaal
- buisvormige elektroden
- machine waar de grond door heen wordt geleid.

Figuur 5 geeft een beeld van de elektrodevormen.

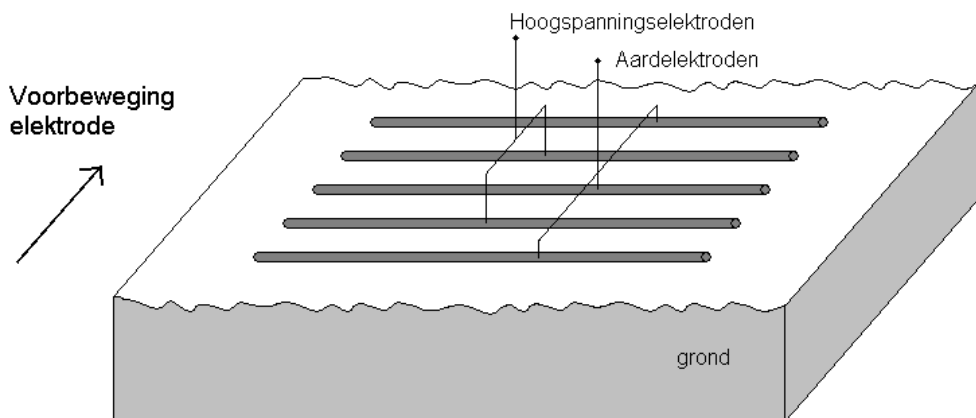
**Horizontale vlakke plaalectroden**



**Vertikale vlakke plaalectroden**



**Buisvormige elektroden**



Figuur 5 Elektrode vormen

De voor en nadelen van de verschillende elektrodevormen zijn als volgt.

**Vlakke elektroden, horizontaal.** Dit elektrodesysteem is het meest gebruikelijke systeem bij radiofrequente installaties en bestaat uit een hoogspanningselektrode en een aardelektrode. Een nadeel is dat voor mobiel gebruik in de kas de aardelektrode, onder de gewenste ontsmettingsdiepte, in de grond moet worden gelegd. Deze aardelektrode dient verder op een aantal plekken boven de grond uit te steken om een eenduidige verbinding te kunnen maken met het radiofrequente systeem. De aardelektrode kan worden gemaakt van betongaas waardoor de kosten mee zullen vallen. De afscherming van de bovengrondse hoogspanningselektrode is relatief omvangrijk.

**Vlakke elektroden, verticaal.** Dit systeem bestaat uit een hoogspanningselektrode omgeven door twee aardelektroden. Bij dit systeem worden de elektroden als een soort ploeg door de grond getrokken. De hoogte van de elektroden komt overeen met de gewenste diepte waarop moet worden ontsmet. Bij een opzet zoals geschetst in figuur 1, met twee aardelektroden aan de buitenzijden en de hoogspanningselektroden in het midden, is afscherming relatief eenvoudig te verwezenlijken door boven de grond de aardelektroden als afscherming over de hoogspanningselektrode heen te buigen. Eventueel kunnen de aardelektroden vast in de grond worden aangebracht in de vorm van een metaalgaas. In dat geval hoeft alleen de hoogspanningselektrode door de grond te worden getrokken. de elektrische verbinding naar de aardelektrode wordt dan verzorgd door een sleepcontact.

**Buisvormige elektroden.** Buisvormige elektroden leveren een inhomogeen elektrisch veld en verwarmen de grond daardoor inhomogeen. Voor een egale verwarming moet het systeem voortdurend over de grond worden bewogen. De indringdiepte van het elektrische veld in de grond is relatief gering, geschat wordt 5 tot 10 cm. De afscherming van de elektroden is relatief omvangrijk.

**Grond in de machine ontsmetten.** Aangezien de grond moet worden losgewoeld voordat de gewassen worden aangebracht, kan de grond op een zelfde manier als bij de Cultivit worden ontsmet alleen met diëlektrische verwarming in plaats van hete lucht verwarming. Voordeel van deze methode is de eenvoudige afscherming en dat alles in een stap kan worden uitgevoerd. Bij een dergelijk systeem moet naast de radiofrequente ontsmetter dus ook een extra systeem worden voorzien wat de grond afgraaft en toevoert aan de ontsmetter. Daarnaast moet de grond ook weer teruggestort worden. Het nadeel van dit systeem is dat het groot, zwaar en moeilijk handelbaar wordt. Verder brengt het afgraven extra kosten met zich mee. Eventueel zou de grond ook afgegraven kunnen worden en via een lopende band naar een stationair systeem worden getransporteerd. Dit zou een

radiofrequente ontsmetter kunnen zijn maar wellicht is hier het stoom vijzel systeem van Potveer ook zeer goed kunnen werken. Nadeel van het afgraven is de complexiteit van het gehele systeem. Voordeel is wel dat de grond zeer luchtig wordt en de ontsmetting zeer goed zal zijn.

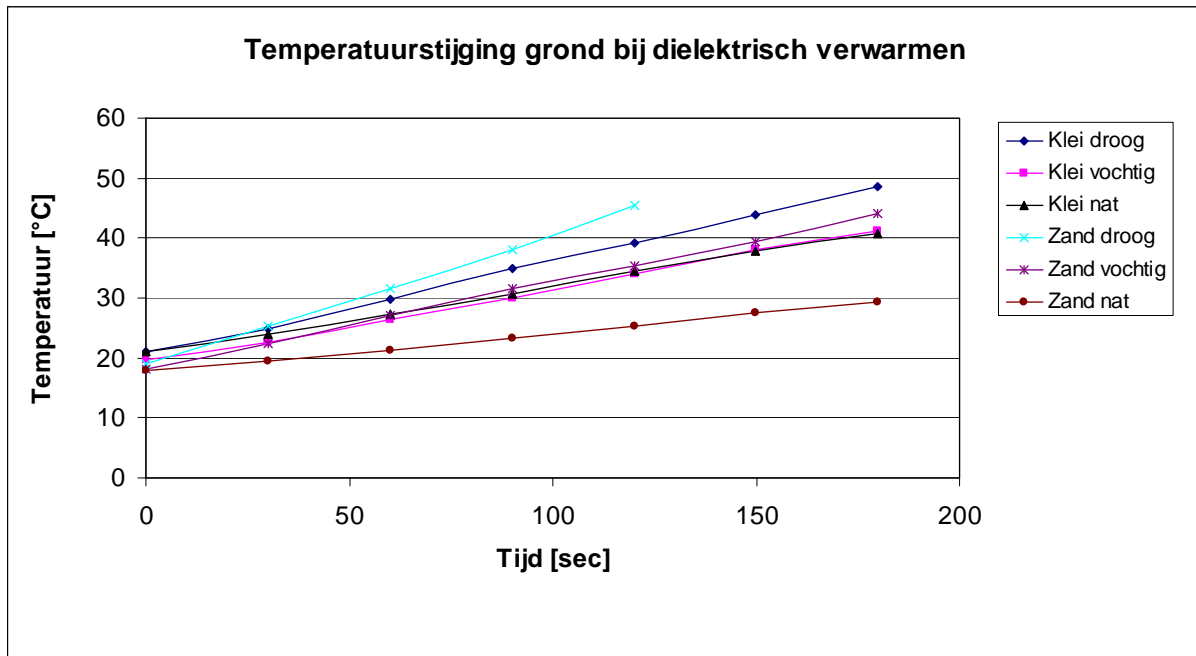
Van de bovengenoemde systemen hebben de elektrodesystemen de voorkeur omdat ze goedkoper en hanteerbaarder te verwezenlijken zijn dan een systeem wat de grond afgraaft en toevoert aan een radiofrequente installatie. Worden de eigenschappen van de verschillende elektrodesystemen met elkaar vergeleken dan is het verticale elektroden-systeem de meest geschikte optie voor een mobiel diëlektrisch systeem voor het ontsmetten van kasgrond. Dit systeem is direct met de generator verbonden, kan tot op de gewenste diepte ontsmetten, kan relatief eenvoudig worden afgeschermd en kan, indien noodzakelijk, ook discontinue worden voortbewogen in stapjes ter lengte van de elektroden. De dikte van de elektrode dient ongeveer 1 cm te zijn zodat de randen afgerond kunnen worden. Dit is op zich geen probleem, in de landbouw wordt een zogenaamde molploeg gebruikt om ontwateringkanalen in de grond aan te brengen. Een cilindrisch lichaam is daarvoor bevestigd aan een snijmes, dit snijmes heeft een dikte van ongeveer 1 cm en is afgerond.

In de kassenbouw wordt met standaard kapbreedten gewerkt. Die zijn afgestemd op een standaard bedbreedte van 120 cm met een pad van 40 cm. Eenheidsmaten in kasbreedten zijn 320, 640 en 960 cm. Bij stomen wordt over het algemeen een breedte van 320 cm tegelijk gestoomd omdat dat een gebruikelijke kasmaat is. Voor wat betreft de afstand tussen de aardelektroden wordt uitgegaan van een afstand van 160 cm (bed inclusief pad); dat wil zeggen 80 cm tussen de aardelektroden en de hoogspanningselektrode.

Voor wat betreft het radiofrequente systeem zijn er weinig aanvullende eisen. De radiofrequent generator moet geschikt zijn om de hoogspanningselektrode op spanning te brengen. Omdat voor ontsmetten de afstand tussen de elektroden relatief groot is, zal om het gewenste vermogen te ontwikkelen de spanning op de elektroden hoger zijn dan gebruikelijk. Het radiofrequent gedeelte moet verder trillingsvrij worden opgehangen omdat bij te zware trillingen de gloeidraad in de buis kan breken. Dit probleem is overigens niet zo groot omdat dat de snelheid waarmee het systeem zich door de kas beweegt relatief laag is; in de orde van meters per uur.

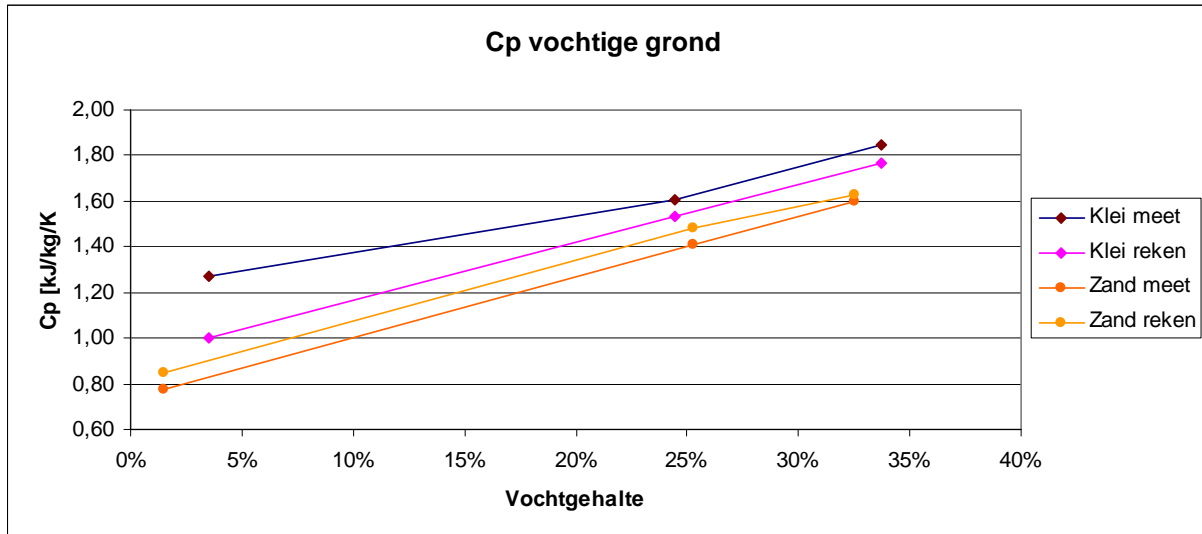
### 5.1 Invloed grondsoort

Vergeleken met het ontsmetten van potgrond (veen), zoals in het vorige project onderzocht, vergt het ontsmetten van klei, zand en zavel meer vermogen per volume-eenheid omdat de soortelijke dichtheid van deze grondsoorten hoger is dan van potgrond. Door middel van laboratoriumtesten en literatuurgegevens zijn de kentallen achterhaald waarmee gerekend kan worden. Metingen zijn uitgevoerd aan een bekende hoeveelheid materiaal met verschillende vochtigheden. Hierbij zijn de massa, de vochtigheid, de opwarmingssnelheid en de benodigde energie bepaald. Als grondsoorten zijn klei en zandgrond gebruikt met een vochtigheid van 10, 20 en 30%. Deze resultaten zijn in figuur 6 in een grafiek uitgezet.



Figuur 6 Opwarmcurve zand- en kleigrond

Door het bepalen van de trendlijn gecombineerd met het gewicht is de soortelijke warmte ( $C_p$ ) van de grond bepaald. Deze waarde zijn in figuur 7 weergegeven. Hierin zijn tevens de  $C_p$ -waarde weergegeven zoals die zijn berekend uit literatuurwaarden van droge grond (zand 0.80 kJ/kg/K en klei 0.89 kJ/kg/K) en water (4.18 kJ/kg/K).



Figuur 7 Waarde van de specifieke warmte als functie van de vochtigheid voor zand en klei

Zavelgrond is een mengsel van klei en zand en de waarde van deze grond ligt tussen zand en klei in.

Alle hierboven genoemde grondsoorten kunnen met het radiofrequente systeem worden opgewarmd. Door verschillen in vochtigheid en materiaaleigenschappen zullen er verschillen optreden in het energieverbruik. Hoe vochtiger de grond, des te hoger het energieverbruik zoals ook figuur 7 aangeeft. Dit is identiek aan stoom ontsmetten maar er wordt geen rekening mee gehouden. Over het algemeen worden er in de kas drainagebuizen gebruikt. Hiermee kan de bodemvochtigheid positief worden beïnvloed, dat wil zeggen verlaagd. Indien de grondwaterstand zich dicht bij de ontsmette laag bevindt, kan de grondwaterstand tijdelijk worden verlaagd door via het drainagesysteem water weg te pompen. De grond zal daardoor een lagere vochtigheid krijgen. Dit heeft een positief effect op het energieverbruik. Deze methode kan natuurlijk ook worden toegepast om drogere grond te krijgen als er geen sprake is van te hoog grondwater.

## 5.2 Infrastructuur

De voeding van de radiofrequente installatie kan aan het net worden onttrokken. Als de netaansluiting niet zwaar genoeg is dan kan de voeding via een aggregaat worden verzorgd. Aggregaten met voldoende vermogen om de installatie te voeden zijn commercieel beschikbaar of kunnen worden gehuurd bij diverse bedrijven. Een derde mogelijkheid is de radio-



frequente generator te voeden met een warmtekrachteenheid indien een tuinder daarover beschikt.

De radiofrequente ontsmettingseenheid waarvan uitgegaan is heeft een maximaal vermogen hebben van 100 kW. Bij hogere vermogens is het economisch gunstiger om met twee afzonderlijke eenheden te gaan werken. Deze eenheden kunnen wel in een systeem worden geïntegreerd. Er zullen berekeningen moeten worden gemaakt om na te gaan wat de meest economische optie is. Snel opwarmen vergt een systeem met hoog vermogen wat een hoge aanschafprijs betekent.

Om de investeringskosten en de kosten van het bedienen van het systeem laag te houden dient het vermogen van de installatie zo laag mogelijk te zijn. Omdat een systeem met een laag vermogen dan met een relatief lage snelheid (meters per uur) door de kas beweegt dient dit geautomatiseerd te worden. Systemen die het automatisch voortbewegen controleren zijn commercieel beschikbaar.

Voor kleinere vermogens is het gewicht van de generatoren geen probleem en valt het ruim binnen het gewicht van een trekker met een machine eraan (ongeveer 2000 kg). Voor grotere vermogens kan het mobiele gewicht eventueel worden beperkt door de voeding te scheiden van het radiofrequent gedeelte. Dit vergt dan een soepele hoogspanningsverbinding tussen het mobiele gedeelte met de radiofrequent opwekking en het vaste gedeelte met de voeding. De soepele kabelverbinding moet geschikt zijn voor maximaal 10 tot 12 kV gelijkspanning.

De lengte van de elektrode moet minimaal gelijk zijn aan de afstand tussen de elektrodes.

### **5.3 Systemen in de grond**

In de grond van de kassen zitten in de eerste 60 cm onder het maaiveld normaal gesproken geen systemen in de grond verwerkt. Het enige ondergrondse systeem wat bij sommige gewassen wordt gebruikt is wortelkoeling (zie bijlage A). Dit zijn kunststof slangen waardoor water stroomt om de wortels een optimale temperatuur te geven. De buizen liggen op 15 cm diepte. Of dit systeem de opwarming nadelig beïnvloedt valt nog te bezien. Wel zal het water in de buizen warmte opnemen, wat als verloren warmte kan worden beschouwd. Indien mogelijk kan het water uit deze leidingen worden verwijderd (wordt vaak al gedaan voor de ontsmetting van de grond) om het verlies te verkleinen. Een andere mogelijkheid is om de slangen uit de grond te halen.

Indien er zeer gevoelige elektronica in de omgeving van de elektrodes zit kan het misschien voorkomen dat de elektronica wordt gestoord. Door een goede afscherming zal dit moeten worden voorkomen. Alle energie die in de grond wordt gestopt wordt daar omgezet in warmte. Er zal op een grotere afstand van de elektrode dus geen of nauwelijks radio-frequente energie over zijn die kan storen.

#### **5.4 Marktpotentie**

In bijlage A staat een overzichtstabel aangeleverd door voormalig PPO Naaldwijk die de marktpotentie voor een ontsmettingssysteem aangeeft. In de bijlage staan de verschillende gewassen omschreven met daarbij het areaal, de huidige manier van ontsmetten en overige gegevens. Hieruit blijkt dat er momenteel ongeveer 3500 hectare met stomen wordt ontsmet.

#### **5.5 Energieverbruik**

Voor stomen zonder afzuiging is het gasverbruik ongeveer 2,5 m<sup>3</sup> gas per m<sup>2</sup> grond. Bij afzuigstomen ligt het gebruik tussen 4 à 5 m<sup>3</sup> gas per m<sup>2</sup> grond. Voor een eerlijke vergelijking wordt uitgegaan van afzuigstomen omdat alleen deze techniek een redelijk goede ontsmetting geeft.

### **6 EISENPAKKET MOBIELE RADIOFREQUENTE ONTSMETTER**

Uit de gesprekken met belanghebbenden voor een goede ontsmetting, zoals beschreven in hoofdstuk 4 van dit rapport, is naar voren gekomen dat bij een groot aantal bedrijven nog wel wordt gestoomd maar dat er steeds meer bedrijven zijn die minder geloof hebben in de goede werking van het stomen. Sommige tuinders zien stomen helemaal niet meer als een optie. De bezwaren tegen stomen zijn omschreven in paragraaf 3.1.1. De tuinders zijn zeer geïnteresseerd in een alternatief voor stomen. Radiofrequent ontsmetten is een alternatief. De belanghebbenden hebben eisen geformuleerd waar een dergelijk radiofrequent ontsmettingssysteem aan moet voldoen. Het nieuwe systeem moet onder andere een betere ontsmetting geven tegen maximaal dezelfde prijs als stomen. De prijs mag hoger liggen als de ziektedruk nagenoeg verdwijnt. In de volgende paragrafen worden de eisen te stellen aan een mobiel radiofrequent ontsmettingssysteem omschreven.

## 6.1 Analyse van eisen te stellen aan een mobiele radiofrequente ontsmetter

De analyse van de eisen, door belanghebbenden geformuleerd, hebben het volgende opgeleverd. Het nieuw te ontwikkelen ontsmettingssysteem moet een capaciteit hebben van 400 m<sup>2</sup> grond per dag. Dit komt overeen met het oppervlak dat nu per dag wordt gestoomd. De breedte van het systeem moet passen binnen de afmetingen van een kas. In de kassenbouw wordt met standaard kapbreedten gewerkt. Die zijn afgestemd op een standaard bedbreedte van 120 cm met een pad van 40 cm. Eenheidsmaten in kasbreedten zijn 320, 640 en 960 cm. Bij stomen wordt over het algemeen een breedte van 320 cm tegelijk gestoomd omdat dat een gebruikelijke kasmaat is. De lengte van het systeem moet dusdanig zijn dat het een flexibel en wendbaar systeem moet zijn.

Voor wat betreft het radiofrequente systeem zelf zijn er weinig aanvullende eisen. Het radiofrequente gedeelte en speciaal de elektronenbuis die de radiofrequente spanning genereert, moet trillingsvrij worden opgehangen. Bij te zware trillingen kan de gloeidraad van de buis breken. Het gewicht van de radiofrequente generator moet liefst binnen het normale gewicht van een trekker met machine vallen (ongeveer 2000 kg). Verder moet het nieuwe systeem ook zelfvoorzienend kunnen zijn. Op niet alle bedrijven is de elektrische infrastructuur aanwezig geschikt voor de voeding van het diëlektrische ontsmettingssysteem.

Een en ander heeft geleid tot het onderstaande pakket aan eisen voor een mobiele radiofrequente ontsmetter voor gebruik in de kas.

## 6.2 Pakket van eisen te stellen aan een mobiele radiofrequente ontsmetter

Een pakket van eisen is opgesteld voor een mobiele radiofrequente installatie geschikt voor ontsmetten van grond in een kas. Deze installatie moet aan de volgende eisen voldoen:

|                          |                                   |
|--------------------------|-----------------------------------|
| Ontsmettingscapaciteit:  | 100 tot 400 m <sup>2</sup> /dag   |
| Ontsmettingsdiepte:      | schadelijke organismen 40 cm      |
|                          | aaltjes 35 cm                     |
|                          | zaden, onkruid e.d. 20 cm         |
| Ontsmettingstemperatuur: | aaltjes 50 °C (minimaal 45 °C)    |
|                          | schimmels 70 °C                   |
| Grondtemperatuur:        | 10 tot 15 °C                      |
| Elektrische voeding:     | Stroomnet, WKK of dieselgenerator |

|  |   |
|--|---|
| Radiofrequente generator:                          | mobiel systeem; elektrodebuis trillingsvrij ophangen    |
| Vermogen generator                                 | lieft kleiner dan 80 kW, dan is luchtkoeling mogelijk   |
| Elektrodesysteem                                   | vlakke verticale elektroden (zie figuur 3)              |
| Afstand tussen de elektroden (ontsmettingsbreedte) | 120 tot 160 cm, instelbaar (                            |
| Afscherming  | het hele systeem moet goed afgeschermd zijn             |
| Gewicht systeem                                    | maximaal 2000 kg  |
|  | RF-eenheid eventueel splitsen van voedingseenheid       |
| Voortbeweging                                      | automatisch, GPS gestuurd                               |
|  | automatisch via sensoren in de kas                      |
|  | met een lier  |
| Bereik   | generator moet ook in de hoeken van de kas kunnen komen |
| Maximale ontsmettingskosten                        | 5 EUR/m <sup>2</sup> .                                  |

## 6.3 Toelichting op het pakket van eisen

### 6.3.1 Ontsmettingscapaciteit

Om de investeringskosten en de kosten van het bedienen van het systeem laag te houden dient het vermogen van de installatie zo laag mogelijk te zijn. Voor de ontsmettingscapaciteit is daarom uitgegaan van minimaal 100 tot maximaal 400 m<sup>2</sup> per dag. Een lagere ontsmettingscapaciteit vraagt een lager vermogen wat leidt tot lagere kosten. Daar tegenover staat dat ontsmetting langer duurt.

### 6.3.2 Radiofrequente generator

De radiofrequente ontsmettingseenheid zal normaal gesproken een maximaal vermogen hebben van 80 tot 100 kW. Dan is een uitvoering met luchtkoeling mogelijk. Deze eenheden zijn minder zwaar dan watergekoelde units. Bij hogere vermogens is het waarschijnlijk gunstiger om met twee afzonderlijke eenheden te gaan werken. Deze eenheden kunnen wel in één systeem worden geïntegreerd.

De lage snelheid waarmee het systeem zich door de kas beweegt; in de orde van meters per uur, heeft als voordeel dat er minder snel schade aan de elektronenbuis zal optreden.

Voor wat betreft de afstand tussen de aardelektroden wordt uitgegaan van een instelbare afstand van minimaal 120 cm (bedbreedte) tot maximaal 160 cm (bed inclusief pad). Dat wil zeggen maximaal 80 cm tussen de aardelektroden en de hoogspanningselektrode. Omdat

de afstand tussen de elektroden relatief groot is zal de spanning op de elektroden hoger zijn dan gebruikelijk om het gewenste vermogen te ontwikkelen.

### 6.3.3 Vermogen en gewicht

Voor kleinere vermogens is het gewicht van de generatoren geen probleem en valt het ruim binnen het gewicht van een trekker met machine (ongeveer 2000 kg). Voor grotere vermogens kan het mobiele gewicht eventueel worden beperkt door de voeding te scheiden van het radiofrequente gedeelte. Dit vergt dan een soepele hoogspanningsverbinding tussen het mobiele gedeelte met de radiofrequente opwekking en het vaste gedeelte met de voeding. De soepele kabelverbinding moet geschikt zijn voor een gelijkspanning van maximaal 10 tot 12 kV.

### 6.3.4 Afscherming van het radiofrequente systeem

Het hele systeem moet goed afgeschermd zijn om te voldoen aan radiostoring eisen. Afscherming is ook nodig om te verhinderen dat elektronische apparatuur voor besturing van de kas in de omgeving van de generator wordt gestoord.

### 6.3.5 Voortbeweging door de kas

Omdat het systeem met een laag vermogen met een relatief lage snelheid (meters per uur) door de kas beweegt kan dit geautomatiseerd te worden. Systemen die het automatisch voortbewegen controleren zijn commercieel beschikbaar. Voor de voortbeweging van het systeem zijn er drie opties:

- tractor GPS gestuurd
- tractor sensor gestuurd
- trekken met een lier.

Bij de GPS variant wordt het systeem voortbewogen door een tractor of een andere mechanische aandrijving die via een GPS systeem door de kas wordt gestuurd. De sensor variant werkt hetzelfde alleen wordt gestuurd op sensors die in de kas zijn aangebracht (bijvoorbeeld laser). Bij de liervariant wordt de radiofrequente installatie met een lier door de kas getrokken. Aan het eind van een baan moet het systeem dan verplaatst worden naar de volgende baan.

### 6.3.6 Systemen in de grond

In de grond van kassen zitten in de eerste 60 cm onder het maaiveld normaal gesproken geen systemen verwerkt. Het enige ondergrondse systeem wat bij sommige gewassen wordt gebruikt is wortelkoeling (zie paragraaf 5.3). Dit systeem zal warmte opnemen die niet ten goede komt aan de ontsmetting. Het verlies kan eventueel beperkt worden door het water uit de leidingen van het wortelkoelsysteem te verwijderen. De opwarmsnelheid van het kunststof zal gelijk of lager zijn dan de opwarming van de grond. Het kunststof wordt dus niet zo warm dat deze kan gaan smelten. Het kan wel een probleem zijn om de grond op te warmen zonder dat de elektroden de leidingen beschadigen. De elektroden zullen in dezelfde richting als de leidingen moeten worden bewogen en het moet goed duidelijk zijn waar deze systemen in de grond zitten. Een andere mogelijkheid is om de slangen het uit de grond halen. Bij stomen, frezen en planten is dit wel gebruikelijk. Verwijderen van slangen betekent wel extra werk, hogere menskosten en daardoor hogere ontsmettingskosten.

## 7 TECHNISCH EN ECONOMISCHE HAALBAARHEID

In dit hoofdstuk wordt de technisch/economische haalbaarheid van het systeem bepaald.

### 7.1 Technische haalbaarheid

Voor het bepalen van de technische haalbaarheid zijn een aantal testen uitgevoerd. Met deze resultaten is gerekend wat het vermogen moet zijn en wat de verdere impact is op de bouw van een goed radiofrequent ontsmettingssysteem.

#### 7.1.1 Verwarmingsproeven

Het pakket van eisen geeft aan dat een mobiel radiofrequent systeem technisch haalbaar is. Om te bepalen hoe snel kasgrond tot ontsmettingstemperatuur kan worden opgewarmd zijn een aantal testen uitgevoerd met diëlektrische opwarming techniek. De testen zijn uitgevoerd aan zand- en kleigrond. Uit de verwarmingsproeven blijkt dat zowel de zandige als de kleiige grond diëlektrisch goed te verwarmen zijn. Figuur 7 geeft de gemeten temperatuurstijgingen voor zand en klei bij verwarmen in de radiofrequente installatie.

### 7.1.2 Techniek radiofrequent ontsmettingsysteem, energiebesparing

Als eerste is het vermogen van de installatie bepaald uitgaande van het eisenpakket. Het vermogen van de installatie is bepalend voor de investeringskosten. Verder is bepaald hoe groot de energiebesparing is ten opzichte van stomen. Daarbij is uitgegaan van de elektrodeconfiguratie, het rendement van de radiofrequente generator, de ontsmettingstemperatuur voor aaltjes en schimmels en het rendement van een warmtekrachteenheid zoals gegeven in tabel 4.

Tabel 4 Elektrodeafmetingen en ontsmettingstemperatuur

|   |                  |
|---|------------------|
| <b>elektrode</b>                          |                  |
| elektrodelengte [m]                       | 2 (minimaal 0.8) |
| elektrodebreedte [m]                      | 1,60             |
| elektrodehoogte (diepte ontsmetting) [cm] | 40               |
|   |                  |
| <b>rendement generator</b>                |                  |
| rendement radiofrequent/net               | 70%              |
|   |                  |
| <b>Ontsmettingstemperatuur</b>            |                  |
| grondtemperatuur voor ontsmetten [°C]     | 10*              |
| ontsmettingstemperatuur [°C]              | 50 en 70         |
|   |                  |
| <b>rendement warmtekrachteenheid</b>      |                  |
| elektrisch rendement                      | 30%**            |
| thermisch rendement                       | 50%              |
| equivalent elektrisch rendement           | 60%              |

\* Grondtemperatuur van 10 °C is laag aangehouden. Normaal gesproken zal de grond temperatuur hoger zijn (15 °C) maar in de berekening gaan we uit van het meest ongunstige geval zodat het in de praktijk de resultaten gunstiger uit pakken

\*\* Rendement ligt 2010 al op 40% maar uitgegaan is van een “verouderde” installatie

Voor de berekening van de energiebesparing en economie zijn de volgende kentallen gebruikt. De kosten voor diesel en elektriciteit zullen in de toekomst vermoedelijk gaan stijgen. Of de verschillen tussen diesel en elektrische voeding gelijk zullen blijven kan niet worden gezegd. De kosten van het stomen zullen vermoedelijk het meest stijgen door de brandstof/elektriciteit kosten. Besparingen op energiekosten zullen vermoedelijk in de toekomst tot een groter economisch voordeel leiden.

Tabel 5 Kentallen voor berekeningen

|                                       |                   |                        |
|---------------------------------------|-------------------|------------------------|
| <b>energiewaarden</b>                 |                   |                        |
| 1 kWh                                 | 3600              | kJ                     |
| 1 m <sup>3</sup> aardgas              | 31,65             | MJ                     |
| 1 liter diesel                        | 35,76             | MJ                     |
| <b>CO<sub>2</sub> emissie</b>         |                   |                        |
| aardgas                               | 1,78              | kg/m <sup>3</sup>      |
| diesel                                | 73,9              | gr CO <sub>2</sub> /MJ |
| diesel                                | 2,64              | kg/liter               |
| diesel met 10% biodiesel              | 2,38              | kg/liter               |
| <b>materiaalgegevens</b>              |                   |                        |
|                                       | dichtheid         | soortelijke warmte     |
|                                       | kg/m <sup>3</sup> | kJ/kg/K                |
| zand (30% vocht)                      | 1.450             | 1,60                   |
| klei (30% vocht)                      | 1.300             | 1,80                   |
| aavel (30% vocht, 35% zand, 35% klei) | 1.375             | 1,70                   |
| <b>kosten</b>                         |                   |                        |
| diesel                                | 1,20              | eur/liter              |
| rode diesel                           | 0,75              | eur/liter              |
| <b>menskosten</b>                     |                   |                        |
| menskosten                            | 45,00             | eur/uur                |

Opm. Prijzen peildatum 2010. Vanwege grote variaties in prijzen van energie (bronnen) zullen deze altijd moeten worden gecorrigeerd met de prijzen op het moment van lezen.

Voor voeding van het radiofrequente systeem met een dieselgenerator is voor wat betreft de CO<sub>2</sub>-emissie van de gebruikte diesel uitgegaan van diesel met 10% biodiesel. Verder is uitgegaan van de gegevens vermeldt in tabel 6. Dit leidt tot de energiebesparing en de emissiereductie zoals eveneens gegeven in tabel 6 en 7. Er zijn twee extremen in de berekening meegenomen. De eerste is indien een systeem 400 m<sup>2</sup> per dag moet ontsmetten in acht uur en het tweede rekenvoorbeeld ontsmet 100 m<sup>2</sup> en doet daar 24 uur over.



Tabel 6 Energiebesparing en emissiereductie bij een ontsmettingstemperatuur van 50 °C

| <b>grond met 30% vocht</b>   | zand |      | klei |      | zavel |      |
|--|------|------|------|------|-------|------|
| <b>ontsmettingstemperatuur [°C]</b>  | 50   |      | 50   |      | 50    |      |
| <b>ontsmetten</b>  |      |      |      |      |       |      |
| ontsmettingscapaciteit [m <sup>2</sup> /dag]                                     | 400  | 100  | 400  | 100  | 400   | 100  |
| duur ontsmetting (werkdag) [uur]   | 8    | 24   | 8    | 24   | 8     | 24   |
| <b>ontsmettingsinstallatie</b>   |      |      |      |      |       |      |
| vermogen [kW]  | 516  | 43   | 520  | 43   | 519   | 43   |
| voortbewegingssnelheid [m/uur]   | 31   | 2,6  | 31   | 2,6  | 31    | 2,6  |
| <b>energiebesparing (WKK)</b>  |      |      |      |      |       |      |
| energieverbruik radiofrequent [m <sup>3</sup> gas/ m <sup>2</sup> opp.]          | 2,8  | 2,8  | 2,8  | 2,8  | 2,8   | 2,8  |
| energieverbruik stomen [m <sup>3</sup> gas/ m <sup>2</sup> opp.]                 | 4,5  | 4,5  | 4,5  | 4,5  | 4,5   | 4,5  |
| energiebesparing [%]   | 38   | 38   | 37   | 37   | 37    | 37   |
| <b>energiebesparing (dieselgenerator)</b>  |      |      |      |      |       |      |
| energieverbruik radiofrequent [m <sup>3</sup> gas/ m <sup>2</sup> opp.]          | 5,1  | 5,9  | 5,1  | 5,9  | 5,1   | 5,9  |
| energieverbruik stomen [m <sup>3</sup> gas/ m <sup>2</sup> opp.]                 | 4,5  | 4,5  | 4,5  | 4,5  | 4,5   | 4,5  |
| energiebesparing[%]  | -12  | -31  | -13  | -32  | -13   | -32  |
| <b>CO<sub>2</sub> emissie reductie(WKK)</b>                                      |      |      |      |      |       |      |
| CO <sub>2</sub> emissie radiofrequent [kg CO <sub>2</sub> / m <sup>2</sup> opp.] | 5,0  | 5,0  | 5,0  | 5,0  | 5,0   | 5,0  |
| CO <sub>2</sub> emissie stomen [kg CO <sub>2</sub> / m <sup>2</sup> opp.]        | 8,0  | 8,0  | 8,0  | 8,0  | 8,0   | 8,0  |
| emissiereductie [%]  | 38   | 38   | 37   | 37   | 37    | 37   |
| <b>CO<sub>2</sub> emissie reductie(dieselgenerator)</b>                          |      |      |      |      |       |      |
| CO <sub>2</sub> emissie radiofrequent [kg CO <sub>2</sub> / m <sup>2</sup> opp.] | 10,6 | 12,4 | 10,7 | 12,5 | 10,7  | 12,5 |
| CO <sub>2</sub> emissie stomen [kg CO <sub>2</sub> / m <sup>2</sup> opp.]        | 8,0  | 8,0  | 8,0  | 8,0  | 8,0   | 8,0  |
| emissiereductie [%]  | -33  | -55  | -34  | -56  | -34   | -56  |

Tabel 7 Energiebesparing en emissiereductie bij een ontsmettingstemperatuur van 70 °C

| <b>grond met 30% vocht</b>   | zand |      | klei |      | zavel |      |
|--|------|------|------|------|-------|------|
| <b>ontsmettingstemperatuur [°C]</b>  | 70   |      | 70   |      | 70    |      |
| <b>ontsmetten</b>  |      |      |      |      |       |      |
| ontsmettingscapaciteit [m <sup>2</sup> /dag]                                     | 400  | 100  | 400  | 100  | 400   | 100  |
| duur ontsmetting (werkdag) [uur]   | 8    | 24   | 8    | 24   | 8     | 24   |
| <b>ontsmettingsinstallatie</b>   |      |      |      |      |       |      |
| vermogen [kW]  | 773  | 64   | 780  | 65   | 779   | 65   |
| voortbewegingsnelheid [m/uur]  | 31   | 2,6  | 31   | 2,6  | 31    | 2,6  |
| <b>energiebesparing (WKK)</b>  |      |      |      |      |       |      |
| energieverbruik radiofrequent [m <sup>3</sup> gas/ m <sup>2</sup> opp.]          | 4,2  | 4,2  | 4,2  | 4,2  | 4,2   | 4,2  |
| energieverbruik stomen [m <sup>3</sup> gas/ m <sup>2</sup> opp.]                 | 4,5  | 4,5  | 4,5  | 4,5  | 4,5   | 4,5  |
| energiebesparing   | 7    | 7    | 6    | 6    | 6     | 6    |
| <b>energiebesparing (dieselgenerator)</b>  |      |      |      |      |       |      |
| energieverbruik radiofrequent [m <sup>3</sup> gas/ m <sup>2</sup> opp.]          | 7,6  | 8,4  | 7,6  | 8,4  | 7,6   | 8,4  |
| energieverbruik stomen [m <sup>3</sup> gas/ m <sup>2</sup> opp.]                 | 4,5  | 4,5  | 4,5  | 4,5  | 4,0   | 4,5  |
| energiebesparing   | -68  | -86  | -69  | -87  | -69   | -87  |
| <b>CO<sub>2</sub> emissie reductie(WKK)</b>                                      |      |      |      |      |       |      |
| CO <sub>2</sub> emissie radiofrequent [kg CO <sub>2</sub> / m <sup>2</sup> opp.] | 15,9 | 17,6 | 16,0 | 17,8 | 16,0  | 17,7 |
| CO <sub>2</sub> emissie stomen [kg CO <sub>2</sub> / m <sup>2</sup> opp.]        | 7,1  | 7,1  | 7,1  | 7,1  | 7,1   | 7,1  |
| emissiereductie  | 35   | 35   | 18   | 18   | 27    | 27   |
| <b>CO<sub>2</sub> emissie reductie(dieselgenerator)</b>                          |      |      |      |      |       |      |
| CO <sub>2</sub> emissie radiofrequent [kg CO <sub>2</sub> / m <sup>2</sup> opp.] | 6,7  | 8,5  | 8,4  | 10,3 | 7,6   | 9,4  |
| CO <sub>2</sub> emissie stomen [kg CO <sub>2</sub> / m <sup>2</sup> opp.]        | 8,0  | 8,0  | 8,0  | 8,0  | 8,0   | 8,0  |
| emissiereductie [%]  | -98  | -120 | -100 | -122 | -100  | -121 |

De verschillende waarden liggen voor de verschillende grondsoorten ongeveer gelijk. Uit de resultaten blijkt dat een ontsmettingsduur van acht uur tot hoge vermogens leidt in de orde van honderden kilowatt. De radiofrequente systemen worden dan zwaar en duur en voldoen niet meer aan de eisen. Een ontsmettingsduur van 24 uur leidt zowel bij een ontsmettingstemperatuur van 50 als 70 °C tot acceptabele vermogens van enkele tientallen kilowatt die

gemakkelijk zijn de hanteren in de omgeving van de kas. De voortbewegingsnelheid van het systeem door de kasgrond ligt dan in de orde van drie meter per uur.

De energiebesparing ligt tegen de 40% bij 50 °C ontsmettingstemperatuur en rond de 7% bij 70 °C. Daarbij is uitgegaan van een gasgestookte warmtekrachteenheid. De emissiereductie percentages zijn voor de gasgestookte warmtekrachteenheid gelijk aan de energiebesparingspercentages. Wordt de radiofrequente generator gevoed door een dieselgenerator dan wijzigen deze waarden sterk. Een dieselgenerator is minder efficiënt dan een warmtekrachteenheid. Verder stoot diesel meer CO<sub>2</sub> uit dan aardgas. Ook zijn dieselgeneratoren voor kleinere vermogens minder efficiënt dan voor grote vermogens. Het gevolg is dat de besparingspercentages omlaag gaan en er geen energie meer wordt bespaard. Ontsmetten met een dieselgenerator kost meer energie dan stomen. Voor de emissies geldt dat deze in alle gevallen eveneens toenemen. Een andere situatie ontstaat als de warmtekracht met biogas wordt gestookt en de dieselgenerator met biodiesel. Dan wordt de toe te rekenen CO<sub>2</sub> uitstoot tot nul gereduceerd ofwel 100% energiebesparing en emissiereductie.

Verder is nog bepaald welk oppervlak aan grond kan worden ontsmet bij 80 kW; het maximale vermogen van een generator zonder waterkoeling. Uitgegaan is van een werkdag van respectievelijk 24 en 16 uur. De resultaten worden gegeven in tabel 8.

Tabel 8 Ontsmettingscapaciteit bij 80 kW en 50 en 70 °C ontsmettingstemperatuur

| <b>grond met 30% vocht</b>                   | zand |     | klei |     | zavel |     |
|--|------|-----|------|-----|-------|-----|
|  |      |     |      |     |       |     |
| <b>ontsmettingstemperatuur [°C]</b>          | 50   |     | 50   |     | 50    |     |
|  |      |     |      |     |       |     |
| <b>ontsmettingsinstallatie</b>               |      |     |      |     |       |     |
| vermogen [kW]                                | 80   | 80  | 80   | 80  | 80    | 80  |
| voortbeweging snelheid [m/uur]               | 4,8  | 4,8 | 4,8  | 4,8 | 4,8   | 4,8 |
|  |      |     |      |     |       |     |
| <b>ontsmetten</b>                            |      |     |      |     |       |     |
| ontsmettingscapaciteit [m <sup>2</sup> /dag] | 186  | 124 | 185  | 123 | 185   | 123 |
| duur ontsmetting (werkdag) [uur]             | 24   | 16  | 24   | 16  | 24    | 16  |
|  |      |     |      |     |       |     |
| <b>ontsmettingstemperatuur [°C]</b>          | 70   |     | 70   |     | 70    |     |
|  |      |     |      |     |       |     |
| <b>ontsmettingsinstallatie</b>               |      |     |      |     |       |     |
| vermogen [kW]                                | 80   | 80  | 80   | 80  | 80    | 80  |
| voortbewegingssnelheid [m/uur]               | 3,2  | 3,2 | 3,2  | 3,2 | 3,2   | 3,2 |
|  |      |     |      |     |       |     |
| <b>ontsmetten</b>                            |      |     |      |     |       |     |
| ontsmettingscapaciteit [m <sup>2</sup> /dag] | 124  | 83  | 123  | 82  | 123   | 82  |
| duur ontsmetting (werkdag) [uur]             | 24   | 16  | 24   | 16  | 24    | 16  |

Met een generator van 80 kW is, bij een ontsmettingstemperatuur van 50 °C, bij een werkdag van 24 uur ongeveer 186 m<sup>2</sup> en bij een dag van 16 uur, 124 m<sup>2</sup> te ontsmetten. Bij een ontsmettingstemperatuur van 70 °C is dat respectievelijk 124 m<sup>2</sup> en 83 m<sup>2</sup>.

## 7.2 Economische haalbaarheid

De kosten van ontsmetten per vierkante meter oppervlak zijn bepaald uitgaande van de in tabel 5 en 6 bepaalde vermogens. De kosten van de radiofrequente eenheid zijn geschat op basis van informatie van fabrikanten. Voor het transportsysteem is uitgegaan van voortbeweging door een lier. Aangenomen is dat die in de vorm van een tractorlier of als een elektrische lier op het bedrijf aanwezig zijn. Deze kosten zijn niet meegenomen. Het energieverbruik van dit systeem zal veel kleiner zijn dan de ontsmettingsenergie, de energie voor voortbewegen is verwaarloosd.

De economische gegevens waarop de kostenberekening is gebaseerd staan vermeld in tabel 9.

Tabel 9 Uitgangsgegevens kostenberekening

|   |          |
|---|----------|
| <b>economische gegevens</b>                 |          |
| bedrijfstijd ontsmettingssysteem [uur/jaar] | 2.100    |
| elektriciteitskosten [EUR/kWh]              | 0,06     |
| dieselmkosten [EUR/liter]                   | 0,75     |
| Rente [%]                                   | 5        |
| economische levensduur [jaar]               | 5        |
| menskosten [EUR/uur]                        | 45       |
|   |          |
| <b>ontsmettingstemperatuur</b>              |          |
| omgevingstemperatuur [°C]                   | 10       |
| ontsmettingstemperatuur [°C]                | 50 en 70 |

Het resultaat van de kostenberekening voor een ontsmettingstemperatuur van 50 °C wordt gegeven in tabel 10.

Tabel 10 Uitgangsgegevens, investeringskosten en bedrijfskosten bij een ontsmettings-temperatuur van 50 °C

| <b>grond</b>                                      | zand        |             | klei        |             | zavel       |             |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|   |             |             |             |             |             |             |
| <b>ontsmettingstemperatuur [°C]</b>               | 50          |             | 50          |             | 50          |             |
|   |             |             |             |             |             |             |
| <b>ontsmetten</b>                                 |             |             |             |             |             |             |
| ontsmettingscapaciteit [m <sup>2</sup> /dag]      | 400         | 100         | 400         | 100         | 400         | 100         |
| duur ontsmetting (werkdag) [uur]                  | 8           | 24          | 8           | 24          | 8           | 24          |
| metingen per ontsmettingsdag [uur/werkdag]        | 8           | 4           | 8           | 4           | 8           | 4           |
|   |             |             |             |             |             |             |
| <b>ontsmettingsinstallatie</b>                    |             |             |             |             |             |             |
| vermogen [kW]                                     | 516         | 43          | 520         | 43          | 519         | 43          |
| investeringskosten RF                             | 800         | 202         | 804         | 202         | 800         | 202         |
|   |             |             |             |             |             |             |
| <b>bedrijfskosten (elektrisch)</b>                |             |             |             |             |             |             |
| energiekosten elektriciteit [EUR/m <sup>2</sup> ] | 0,88        | 0,88        | 0,89        | 0,89        | 0,89        | 0,89        |
| afschrijving [EUR/m <sup>2</sup> ]                | 1,76        | 1,77        | 1,77        | 1,78        | 1,77        | 1,78        |
| onderhoudskosten [EUR/m <sup>2</sup> ]            | 0,19        | 0,19        | 0,19        | 0,19        | 0,19        | 0,19        |
| menskosten [EUR/m <sup>2</sup> ]                  | 0,9         | 1,8         | 0,9         | 1,8         | 0,9         | 1,8         |
| <b>totaal [EUR/m<sup>2</sup>]</b>                 | <b>3,73</b> | <b>4,65</b> | <b>3,75</b> | <b>4,67</b> | <b>3,75</b> | <b>4,66</b> |
|   |             |             |             |             |             |             |
| <b>bedrijfskosten (diesel)</b>                    |             |             |             |             |             |             |
| energiekosten diesel [EUR/m <sup>2</sup> ]        | 3,36        | 3,9         | 3,38        | 3,93        | 3,38        | 3,93        |
| afschrijving [EUR/m <sup>2</sup> ]                | 2,06        | 1,95        | 2,07        | 1,95        | 2,07        | 1,95        |
| onderhoudskosten [EUR/m <sup>2</sup> ]            | 0,23        | 0,34        | 0,23        | 0,34        | 0,23        | 0,34        |
| menskosten [EUR/m <sup>2</sup> ]                  | 0,9         | 1,8         | 0,9         | 1,8         | 0,9         | 1,8         |
| <b>totaal [EUR/m<sup>2</sup>]</b>                 | <b>6,55</b> | <b>7,99</b> | <b>6,59</b> | <b>8,03</b> | <b>6,58</b> | <b>8,03</b> |

Het resultaat van de kostenberekening voor een ontsmettingstemperatuur van 70 °C wordt gegeven in tabel 11.

Tabel 11 Uitgangsgegevens, investeringskosten en bedrijfskosten bij een ontsmettings-temperatuur van 70 °C

| <b>grond</b>                                      | zand        |             | klei        |              | zavel       |              |
|---|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|--------------|
| <b>ontsmettingstemperatuur [°C]</b>               | 70          |             | 70          |              | 70          |              |
| <b>ontsmetten</b>                                 |             |             |             |              |             |              |
| ontsmettingscapaciteit [m <sup>2</sup> /dag]      | 400         | 100         | 400         | 100          | 400         | 100          |
| duur ontsmetting (werkdag) [uur]                  | 8           | 24          | 8           | 24           | 8           | 24           |
| metingen per ontsmettingsdag [uur/werkdag]        | 8           | 4           | 8           | 4            | 8           | 4            |
| <b>ontsmettingsinstallatie</b>                    |             |             |             |              |             |              |
| vermogen [kW]                                     | 773         | 64          | 780         | 65           | 779         | 65           |
| investeringskosten RF                             | 1002        | 252         | 1007        | 254          | 1006        | 253          |
| <b>bedrijfskosten (elektrisch)</b>                |             |             |             |              |             |              |
| energiekosten elektriciteit [EUR/m <sup>2</sup> ] | 1,33        | 1,33        | 1,34        | 1,34         | 1,34        | 1,34         |
| afschrijving [EUR/m <sup>2</sup> ]                | 2,2         | 2,22        | 2,22        | 2,23         | 2,21        | 2,23         |
| onderhoudskosten [EUR/m <sup>2</sup> ]            | 0,24        | 0,24        | 0,24        | 0,24         | 0,24        | 0,24         |
| menskosten [EUR/m <sup>2</sup> ]                  | 0,9         | 1,8         | 0,9         | 1,8          | 0,9         | 1,8          |
| <b>totaal [EUR/m<sup>2</sup>]</b>                 | <b>4,67</b> | <b>5,59</b> | <b>4,69</b> | <b>5,61</b>  | <b>4,69</b> | <b>5,61</b>  |
| <b>bedrijfskosten (diesel)</b>                    |             |             |             |              |             |              |
| energiekosten diesel [EUR/m <sup>2</sup> ]        | 5,01        | 5,56        | 5,05        | 5,6          | 5,05        | 5,59         |
| afschrijving [EUR/m <sup>2</sup> ]                | 2,65        | 2,44        | 2,66        | 2,45         | 2,66        | 2,45         |
| onderhoudskosten [EUR/m <sup>2</sup> ]            | 0,29        | 0,4         | 0,29        | 0,41         | 0,29        | 0,41         |
| menskosten [EUR/m <sup>2</sup> ]                  | 0,9         | 1,8         | 0,9         | 1,8          | 0,9         | 1,8          |
| <b>totaal [EUR/m<sup>2</sup>]</b>                 | <b>8,85</b> | <b>10,2</b> | <b>8,91</b> | <b>10,26</b> | <b>8,9</b>  | <b>10,25</b> |

Uit de kostenberekeningen blijkt dat de investeringskosten van een installatie die 400 m<sup>2</sup> per dag ontsmet relatief hoog zijn. Bovendien worden deze installaties zwaar en minder geschikt voor gebruik in de kas. De bedrijfskosten voor systemen met lager vermogen die 100 m<sup>2</sup> ontsmetten per dag liggen iets hoger en liggen rond de 4,70 EUR/m<sup>2</sup> voor een ontsmettings-temperatuur van 50 °C en op 5,60 EUR/m<sup>2</sup> voor een ontsmettingstemperatuur van 70 °C als het systeem vanuit het net wordt gevoed. Dit is ongeveer het dubbele van ontsmetten via

stomen. Deze kosten liggen rond de grens van 5 EUR/m<sup>2</sup> die tuinders nog acceptabel vonden. Echter bij radiofrequent ontsmetten wordt de hele laag op temperatuur gebracht. De lagere vermogens bij het ontsmetten van 100 m<sup>2</sup> per dag maken het ook meer mogelijk om elektrische voeding toe te passen. De kosten van het systeem met voeding via een dieselgenerator liggen rond de 8,0 en 10,2 EUR/m<sup>2</sup> voor respectievelijk 50 en 70 °C ontsmettingstemperatuur, ruim boven de uitgesproken grens van 5 EUR/m<sup>2</sup> die door de tuinders is opgegeven.

Bij een generator van 80 kW worden de bedrijfskosten bij een ontsmettingstemperatuur van 50 en 70 °C en bij een werkdag van 24 respectievelijk 16 uur zoals gegeven in tabel 12.



Tabel 12 Uitgangsgegevens, investeringskosten en bedrijfskosten bij een ontsmettings-temperatuur van 50 en 70 °C en een generator van 80 kW

| <b>grond met 30% vocht</b>          | zand |       | klei |       | zavel |       |
|-------------------------------------|------|-------|------|-------|-------|-------|
| <b>ontsmettingsinstallatie</b>      |      |       |      |       |       |       |
| vermogen [kW]                       | 80   |       | 80   |       | 80    |       |
| <b>ontsmettingstemperatuur [°C]</b> | 50   |       | 50   |       | 50    |       |
| <b>ontsmetting</b>                  |      |       |      |       |       |       |
| ontsmettingscapaciteit [m2/dag]     | 186  | 124   | 185  | 123   | 185   | 123   |
| duur ontsmetting (werkdag) [uur]    | 24   | 16    | 24   | 16    | 24    | 16    |
| <b>bedrijfskosten (elektrisch)</b>  |      |       |      |       |       |       |
| totaal [EUR/m <sup>2</sup> ]        | 3,34 | 4,57  | 3,37 | 4,61  | 3,37  | 4,60  |
| <b>bedrijfskosten (diesel)</b>      |      |       |      |       |       |       |
| totaal [EUR/m <sup>2</sup> ]        | 6,31 | 7,61  | 6,37 | 7,68  | 6,36  | 7,67  |
| <b>ontsmettingstemperatuur [°C]</b> | 70   |       | 70   |       | 70    |       |
| <b>ontsmetting</b>                  |      |       |      |       |       |       |
| ontsmettingscapaciteit [m2/dag]     | 124  | 83    | 123  | 82    | 123   | 82    |
| duur ontsmetting (werkdag) [uur]    | 24   | 16    | 24   | 16    | 24    | 16    |
| <b>bedrijfskosten (elektrisch)</b>  |      |       |      |       |       |       |
| totaal [EUR/m <sup>2</sup> ]        | 5,01 | 6,85  | 5,05 | 6,91  | 5,05  | 6,91  |
| <b>bedrijfskosten (diesel)</b>      |      |       |      |       |       |       |
| totaal [EUR/m <sup>2</sup> ]        | 9,47 | 11,41 | 9,55 | 11,51 | 9,54  | 11,50 |

Voor een generator van 80 kW liggen de bedrijfskosten bij een ontsmettingstemperatuur van 50 °C rond de 3,36 EUR/m<sup>2</sup> bij een werkdag van 24 uur en rond de 4,60 EUR/m<sup>2</sup> bij een werkdag van 16 uur. Bij een ontsmettingstemperatuur van 70 °C ligt dat respectievelijk rond de 5,03 en 6,90 EUR/m<sup>2</sup>.

## 8 CONCLUSIE

In de kastuinbouw is er behoefte aan een goed ontsmettingssysteem. Chemische middelen zijn verboden en stomen voldoet niet. Bij een aantal bedrijven wordt noodgedwongen teeltwisseling toegepast om de schadelijke invloed van micro-organismen te elimineren. Dit is een ongewenste situatie, zeker aangezien de laatste jaren steeds meer bedrijven product specialisatie toepassen.

Er zijn een aantal ontwikkelingen gaande op gebied van ontsmetten van grond. Van al deze nieuwe ontwikkelingen kan worden gezegd dat er nog geen systeem is dat werkt. De systemen zijn (nog) niet volledig uitontwikkeld en (nog) niet commercieel beschikbaar is. Het systeem van Cultivit lijkt concrete systeem maar is na drie jaar nog niet op de markt in verband met allerlei problemen. Op papier geeft dit systeem zeer goede (met name ook economisch) resultaten. Of deze resultaten komen door een goede ontsmetting of dat andere behandelstappen ervoor zorgen dat een goede teelt mogelijk is, is nog in onderzoek. Gezien alle problemen en de pilot testen zonder goede resultaten is het nog geen bruikbaar systeem en is er nog geen zicht op wanneer het systeem goed werkend op de markt zal worden gebracht. Daarnaast worden alleen de nematoden afgedood/onschadelijk gemaakt. Schimmels worden niet met deze methode afgedood.

De Agritron is in de loop van de tijd aangepast zodat de indringdiepte en de ontsmettingstemperatuur beter is geworden. In eerste instantie wordt aangegeven dat het systeem ontsmet zodra de grond heet wordt en dus zeer weinig energie verbruikt. Door aanpassing van het gebruikte systeem is de indringdiepte beter geworden en wordt de grond opgewarmd. Hierdoor is het energie verbruik aanzienlijk omhoog gegaan. Het systeem is in 2010 ook nog niet commercieel verkrijgbaar.

Gezien de problemen die zich voordoen met alle alternatieven die in ontwikkeling zijn, is de ontwikkeling van een diëlektrisch ontsmettingssysteem wenselijk. Zeker aangezien de tuinders aangeven ontevreden te zijn met stoom ontsmetten.

Een diëlektrisch ontsmettingsysteem is technisch realiseerbaar. De gebruikelijke radio-frequente techniek kan voor dit systeem worden toegepast. Wat met name voor de ontsmetter moet worden aangepast is de elektronenbuis ophanging en het elektrodesysteem. De elektronenbuis van de generator moet trillingsvrij worden opgehangen om schade aan de buis te voorkomen. Met een verticaal elektrodesysteem, dat als een ploeg door de grond wordt voortbewogen, is het ter plaatse ontsmetten van grond in de kas mogelijk.

De gewenste ontsmettingscapaciteit van 400 m<sup>2</sup> per werkdag van acht uur vraagt een te groot vermogen. De installatie wordt dan te zwaar en de investeringskosten worden erg hoog. Wordt uitgegaan van een capaciteit van 100 m<sup>2</sup> bij een werkdag van 24 uur dan vraagt dit een acceptabel vermogen van ongeveer 43 kW voor een ontsmettingstemperatuur van 50 °C en van 65 kW voor een ontsmettingstemperatuur van 70 °C. De snelheid van ontsmetten gaat dan wel omlaag. Wordt de radiofrequente generator gevoed vanuit het net of vanuit een warmtekrachteenheid van de tuinder dan liggen de bedrijfskosten rond de 5 EUR/m<sup>2</sup> wat door tuinders nog acceptabel wordt gevonden. Moet de installatie gevoed worden door een dieselgenerator dan komen de kosten boven de 5 EUR/m<sup>2</sup> uit en liggen tussen de 7 à 10 EUR/m<sup>2</sup>. De ontsmettingstijd van radiofrequent ontsmetten is langer dan van ontsmetten door stomen. De ontsmettingskwaliteit daarentegen is beter omdat met radiofrequent ontsmetten de hele diepte van de grond homogeen wordt verwarmd en hierdoor goed ontsmet en niet alleen de toplaag zoals bij stomen.

Wordt de radiofrequente eenheid gevoed door een gasgestookte warmtekrachteenheid en is de ontsmettingstemperatuur 50 °C dan ligt de energiebesparing ten opzichte van stomen iets onder de 40%. Is de ontsmettingstemperatuur 70 °C dan ligt de energiebesparing iets onder de 10%. De emissiereductie is in deze gevallen hetzelfde als de energiebesparing. Wordt het radiofrequente ontsmettingssysteem gevoed door een dieselgenerator dan wordt de CO<sub>2</sub>-emissie niet gereduceerd, deze neemt zelfs toe tenzij biodiesel wordt bijgemengd om de dieselgenerator te voeden. Bij voldoende bijmenging kan de CO<sub>2</sub>-emissie worden gereduceerd. De emissiereductie van de gasgestookte eenheid kan overigens ook worden verhoogd door biogas bij te mengen. Bij voeding uit het net kan de emissiereductie worden verhoogd door groene elektriciteit aan te kopen.

De eindconclusie is dat een mobiel radiofrequent ontsmettingssysteem voor gebruik in de kas technisch/economisch haalbaar is. Gevoed door een gasgestookte warmtekrachteenheid wordt de CO<sub>2</sub>-emissie ten opzichte van stomen gereduceerd.

Voorgesteld wordt om te komen tot een project wat tot doel heeft de bouw van een prototype met een relatief laag vermogen wat de werking in praktijk voor tuinders moet aantonen.

## REFERENTIES

- [1] ] KEMA, 2005. "Diëlektrisch ontsmetten van substraten, Een goed alternatief voor stomen?" 50351992-KPS/MEC 04-7173, PT nummer 12078.
- [2] DLV Facet, november 2003, "Invloed van stomen, wijze van stomen en grondwaterstand op wortelduizendpoot bij chrysant".
- [3] IKC-AT (Informatie en Kennis Centrum Akker en Tuinbouw), 1992, "Stomen, Technische handleiding bij het stomen van grond en substraat."
- [4] Vakblad voor bloemisterij 14, 2004, "Stoomresultaten".
- [5] Website: [http://dlg2.vertis.nl/pls/dlg/docs/FOLDER/KENNISAKKER\\_NEW/KENNISCENTRUM-/THEMA\\_S/SCHIMMEL\\_BACTERIE/ALLE\\_GEWASSEN/ARTIKEL\\_510515\\_BGO.HTM](http://dlg2.vertis.nl/pls/dlg/docs/FOLDER/KENNISAKKER_NEW/KENNISCENTRUM-/THEMA_S/SCHIMMEL_BACTERIE/ALLE_GEWASSEN/ARTIKEL_510515_BGO.HTM)
- [6] Vakblad voor de bloemisterij 2, 2006, "Grond ontsmetten met zeer hete lucht".
- [7] Informatie folder Cultivit, "Cultivit, revolutionary soil technology" en website: [www.cultivit.nl](http://www.cultivit.nl)
- [8] Resultaten van het HPA project Inventarisatie bestrijdingsmethoden. Praktijkonderzoek Plant en Omgeving Sector Akkerbouw, Groene ruimte en Vollegronds groenten, Projectnummer: 3250037500, 2006.
- [9] Website: <http://www.vakbladvoordebloemisterij.nl/nieuws/4195/vernieuwde-agritron-getoond-aan-kwekers>
- [10] Website: <http://www.potveer.com/projects/view/id/47/title/vijzelstoom-systeem>.
- [11] Website; <http://www.koppertmachines.nl/nl/producten/agriton/agriton.htm>.
- [12] Vakblad voor de bloemisterij 30, 2007, Schone grond met mega-magnetron.
- [13] United states patent nr. US 6,104,637 B1, Microwave energy applicator, 11 Juni 2002.
- [14] United states patent nr. US 7,560,637 B2, Device for soil sterilization, insect extermination, and weed killing using microwave energy, 14 Juli 2009.
- [15] Groenten & fruit, week 26, 2005, "Spectaculaire methode grondontsmetting".

## BIJLAGE A OVERZICHT GEWAS AREAL MET STOOM

| gewas                     | areaal<br>[ha] | continu/batch | grondsoort     | gebruikte<br>ontsmettingstechniek | hoe vaak ontsmetten?<br>[jaar] | stomen via loonwerker of<br>zelf<br>[loowerker/zelf] | schadelijke organismen                         | energiebehoefte bij<br>stomen<br>[m <sup>3</sup> gas] | infrastructuur in de grond? | grondtemperatuur tijdens<br>ontsmetten<br>[°C] | tijd braakliggen maximaal<br>toegestaan<br>[weken] |
|---------------------------|----------------|---------------|----------------|-----------------------------------|--------------------------------|--|--|---|-----------------------------|--|--|
| lelie                     | 270            | C/B           | gemengd        | stomen                            |                                | 50/50  |  | 4   |                             | 18   | 1  |
| chrysan                   | 680            | C/B           | gemengd        | stomen                            | 1                              | 50/50  | aaltjes, Verticillium, Pythium,<br>Rhizoctonia | 4   |                             | 18   | 1  |
| freesia                   | 190            | C             | humusrijk      | stomen                            | 1.8                            | 50/50  | fusarium, bollenmijt                           | 4   | koeling op 15 cm            | 15   | 1  |
| alstroemeria              | 100            | B             | gemengd        | stomen                            | ?                              |  | aaltjes, Rhizoctonia, Pythium                  |   | koeling op 15 cm            | 15   | 2  |
| amaryllis                 | 90             | B             | zand-<br>zavel | stomen                            | 1                              | 50/50  | Mijten, Fusarium, aaltjes                      | 4   | soms koeling op 15 cm       | 15   | 2  |
| Lisianthus                | 70             | C             | gemengd        | stomen                            | 2                              | 50/50  | fusarium, bollenmijt                           | 4   |                             | 18   | 1  |
| overige bloemen<br>grond  | 900            |               | gemengd        | stomen                            |                                | 50/50  | Diversen                                       | 4   |                             | 17   | 1  |
| sla                       | 250            | C/B           | gemengd        | stomen                            | 1                              | 50/50  | Rhizoctonia, Botrytis, Pythium,<br>Sclerotinia | 4   |                             | 10   | 1  |
| radijs                    | 100            | C/B           | zand           | stomen                            | 1                              | 50/50  | Rhizoctonia, Streptomyces, aaltjes             | 4   |                             | 10   | 1  |
| overige groenten<br>grond | 800            |               | gemengd        | stomen                            |                                | 50/50  | Diversen                                       | 4   |                             | 12   | 1  |

Totaal areaal is ongeveer 3500 hectare; wordt dit elk jaar met stomen ontsmet dan veroorzaakt dat een CO<sub>2</sub> emissie van globaal 0.2 Mton.