

Reductie energiegebruik in de champignonteelt

Dr. Ir. J. Baar, Ing. J.G.M. Amsing en Ing. A.J. Rutjens

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.
Sector Paddestoelen
Januari 2005

PPO nr. 2005-5

© 2005 Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

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

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Dit onderzoek is een opdracht van het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij

PPO projectnummer: 620130

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Sector Paddestoelen

Adres : Peelheideweg 1, America
: Postbus 6062, 5960 AA Horst
Tel. : 077 - 4647575
Fax : 077 - 4641567
E-mail : infopaddestoelen@ppo.wur.nl
Internet : www.ppo.wur.nl

Inhoudsopgave

pagina

1	SAMENVATTING.....	5
2	INLEIDING	6
2.1	Probleemstelling	6
2.2	Doelstelling	7
3	OPZET EN UITVOERING	8
3.1	Het doodstoomproces.....	8
3.2	Alternatieve methodieken.....	8
3.3	Systeeminnovaties	8
3.4	Proeven	8
3.5	Energiewinning uit champost.....	9
4	RESULTATEN EN DISCUSSIE	10
4.1	Het doodstoomproces.....	10
4.1.1	Energievraag voor doodstomen in relatie tot temperatuur en tijd	10
4.1.2	Minimum tijd en temperatuur voor afdoding	11
4.2	Alternatieve methodieken.....	12
4.2.1	Ioniserende straling.....	12
4.2.2	Thermische ontsmetting	15
4.2.3	Ontsmettingsmiddelen (chemisch)	18
4.2.4	Plantenextracten.....	19
4.2.5	Activators.....	19
4.2.6	Overige technieken	20
4.3	Systeeminnovatie.....	21
4.3.1	Kistensysteem.....	21
4.3.2	Mobiel systeem	21
4.3.3	Substraatteelt.....	21
4.3.4	Centraal ontsmetten.....	22
4.4	Proeven	22
4.5	Energiewinning uit champost.....	24
4.5.1	Biogasproductie	24
4.5.2	Thermische energie	25
5	CONCLUSIES	28
6	SUGGESTIES VOOR VERDER ONDERZOEK.....	30
7	GERAADPLEEGDE LITERATUUR.....	31

1 Samenvatting

Het doel van dit door het ministerie van LNV gefinancierde project was om te onderzoeken welke mogelijkheden er zijn om het energiegebruik in de teelt van champignons te verminderen. Met name richtte het project zich op de reductie van het energiegebruik bij het ziektevrij maken van de teeltcellen door stomen voorafgaande aan de volgende teelt. Hiertoe werden diverse methoden onderzocht die kunnen leiden tot een reductie van het energieverbruik van 50% of meer voor de champignonteelt. Daartoe werd een literatuurstudie verricht en werden medewerkers van kennisinstellingen en van bedrijven binnen en buiten de sector geconsulteerd. Ook werden experimenten door PPO-Paddestoelen verricht.

Uit het onderzoek kwam naar voren dat er mogelijkheden zijn om het energiegebruik in de champignonteelt te reduceren. Deze opties zijn nog niet allemaal direct toepasbaar, omdat in de champignonteelt hoge eisen worden gesteld aan de bedrijfshygiëne. Deze mogelijkheden worden uitgebreid in het rapport weergegeven en bediscussieerd in relatie tot eventuele beperkingen. Ook wordt ingegaan op de economische aspecten van alternatieven voor stomen.

Uit dit project kwam naar voren dat het afvoeren van champost naar een centrale locatie voor verwerking de meeste perspectieven biedt. Dit kan zijn het verbranden van champost of het centraal ontsmetten van de champost. Daarnaast kwam uit dit project naar voren dat er mogelijke alternatieven zijn voor doodstomen. Met name methodieken als het di-electrisch behandelen van champost en het ontsmetten van champost met een thermische vijzel zijn perspectiefvol. Deze methodieken kunnen in de huidige champignonteelt worden ingepast, waarbij wel verdere ontwikkeling voor de champignonteelt noodzakelijk is.

Een ander resultaat van dit project is dat relatief grote energie reducties behaald kunnen worden door systeeminnovaties. Mobiele systemen en teelt op andere substraten bieden mogelijkheden om het energiegebruik in de champignonteelt aanzienlijk te verminderen. Op deze mogelijkheden wordt uitgebreid in gegaan in het rapport en tegen het licht gehouden wat mogelijkheden zijn voor de toekomst.

2 Inleiding

2.1 Probleemstelling

In 1998 werd de MeerJarenAfspraak-Energie (MJA-E) afgesloten tussen de Nederlandse paddestoelensector en de ministeries van Economische Zaken (EZ) en Landbouw, Natuurbeheer en Visserij (LNV). De MJA-E voor paddestoelen streeft naar een verbetering van de energie-efficiëntie met twintig procent in 2005 ten opzichte van 1995 en toepassing van vijf procent duurzame energie. De afspraak richt zich in eerste instantie op champignonkwekers. Uit de monitoring van het energieverbruik bij champignonkwekerijen blijkt dat in 2003 de energie-efficiëntie is verbeterd met 20,6 procent ten opzichte van 1995 (Fig. 1; E₃T, 2004). Hiermee ligt de sector voor op de gemiddelde jaarlijkse verbetering van twee procent.

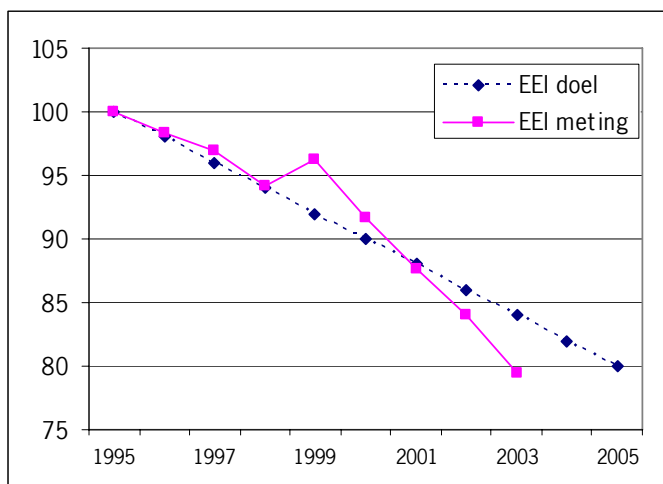


Fig. 1 Verloop van de Energie-Efficiëntie-Index (%) in de champignonsector per jaar (E₃T, 2004).

Echter, het totale energiegebruik in de teelt van champignons is nog steeds aanzienlijk. In teeltcellen van champignonkwekerijen wordt vooral energie gebruikt voor verwarmen en bij het ontsmetten met stoom van champost (Fig. 2) (Ijpma en Smeets, 1994; Haskoning, 1996). Het relatief hoge energiegebruik voor het ontsmetten van teeltcellen is bovendien een grote kostenpost binnen de teelt van champignons.

Champost is een mengsel van compost, dekaarde en mycelium dat resteert na de teelt van champignons (Straatsma, 2003). Champost wordt van de champignonteeltbedrijven afgevoerd en hergebruikt als meststof of bodemverbeteraar in volle grondsteelten in Nederland en aangrenzende landen. Het ontsmetten van champost wordt toegepast na afloop van elke teelt van champignons om de cellen met de compost en dekaarde ziektevrij te maken. Hierdoor ontstaat een schone en ziektevrije uitgangssituatie voor de volgende teelt van champignons.

Een belangrijke reden voor het ziektevrij maken van de cellen is dat er bij de teelt van champignons nog steeds ziekten voorkomen. De belangrijkste ziekteverwekkers zijn *Verticillium fungicola* (droge mollen), *Trichoderma sp.* (groene schimmel) en *Pseudomonas sp.* (bacterievlekken). Deze ziekten kunnen tot een aanzienlijke inkomstenderving leiden. De jaarlijkse schade in Nederland ten gevolge van alleen al *V. fungicola* wordt geschat op 10 miljoen euro (Geels, mond. med.). Bedrijven met drie vluchten worden over het algemeen vaker getroffen door ziekten dan bedrijven met twee vluchten.

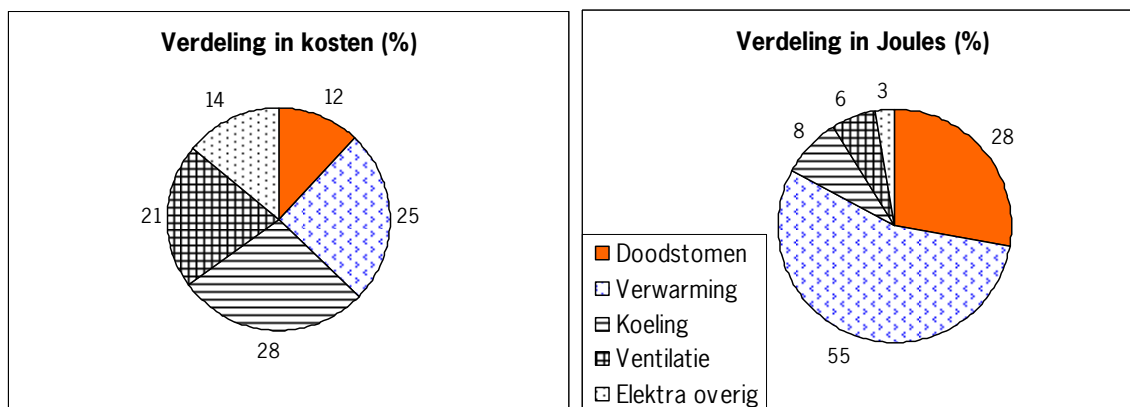


Fig. 2 Energiegebruik in een standaard champignonkwekerij (Ijpmma en Smeets, 1994).

Van de genoemde ziekteverwekkers zijn het de twee schimmelziekten die grote aantallen sporen kunnen produceren. De sporen kunnen overal terecht komen waardoor ze een bron kunnen zijn van nieuwe besmettingen.

Ziekten in de champignonteelt zijn te bestrijden met chemische gewasbeschermingsmiddelen, maar het gebruik van deze middelen staat echter in toenemende mate onder druk: er worden steeds minder gewasbeschermingsmiddelen ontwikkeld en toegelaten. Het telen van resistente rassen is een mogelijke oplossing voor deze problemen, maar tot op heden zijn er nog geen rassen met absolute resistenties gevonden.

Stomen is weliswaar een effectieve methode om de champost en de cellen ziektevrij te maken voor de volgende teelt, maar het energiegebruik is hoog. Mede daardoor stellen champignontelers vragen omtrent de noodzaak van het stomen. Daarbij is steeds de vraag welke temperatuur-tijd combinaties nodig zijn om afdoding te krijgen van potentiële ziekteverwekkers en welke risico's men loopt als men daarvan afwijkt. Eveneens is het wenselijk om te onderzoeken of er alternatieve methodieken kunnen worden ontwikkeld om cellen ziektevrij te maken waarbij het energiegebruik aanzienlijk wordt gereduceerd.

2.2 Doelstelling

Het doel van dit project was te onderzoeken welke mogelijkheden er zijn om het energiegebruik in de teelt van champignons te verminderen. Met name richtte het project zich op de reductie van het energiegebruik bij het ziektevrij maken van de teeltcellen door stomen voorafgaande aan de volgende teelt. Hiertoe werden diverse methoden onderzocht die kunnen leiden tot een reductie van het energieverbruik van 50% of meer voor de champignonteelt.

3 Opzet en uitvoering

Het onderzoek is in onderdelen opgesplitst die in de volgende paragrafen is beschreven.

Het project werd begeleid door een begeleidingscommissie, die bestond uit Drs. L. Oprel (LNV-DK), Ir. L. Goedhart (secretaris van de VPN) en twee champignon telers, Dhr. W. Clabbers en Dhr. H. Keyers.

3.1 Het doodstoomproces

In dit project is nagegaan hoeveel energie het doodstomen van champost kost. Daarvoor is gebruik gemaakt van een rekenmodel (Geels, 1992) en van inventarisaties uitgevoerd in de jaren negentig bij champignon telers door onder andere Haskoning en Dalsem-Veciap. Vervolgens is onderzocht wat uit eerder onderzoek bekend is over de effectiviteit van een temperatuurbehandeling op de afdoding van ziekteverwekkers. Aan de hand van kencijfers is met het rekenmodel becijferd hoeveel energie bespaard kan worden indien champost bij een lagere temperatuur worden ontsmet. Ook is berekend hoeveel energie bespaard wordt als korter dan gebruikelijk wordt gestoomd.

3.2 Alternatieve methodieken

De inventarisatie richtte zich sterk op de effectiviteit van verschillende energiebesparende methodieken om ziekteverwekkers onschadelijk te maken. De ziekteverwekkers zijn schimmels, bacteriën, virussen, champignonvliegen en muggen. Het gaat hierbij om technieken waarvoor ioniserende straling, warmte, chemische ontsmettingsmiddelen, plantenextracten, gewasbeschermingsmiddelen van natuurlijke oorsprong, activators of geluid gebruikt worden. De inventarisatie omvat een literatuurstudie en informatie verkregen uit gesprekken met medewerkers van technische bedrijven en onderzoeksinstituten. Daarbij is zowel de technische kant van de alternatieve methodieken onderzocht als de economische kant.

3.3 Systeeminnovaties

In dit project is onderzocht of systeeminnovaties tot reductie van energiegebruik in de champignon teelt kunnen leiden. Daartoe zijn verschillende deskundigen geraadpleegd van binnen en buiten de champignonsector. Ook zijn systemen uit andere sectoren, zoals de glastuinbouw, bestudeerd voor mogelijke toepassingen in de champignon teelt.

3.4 Proeven

De effectiviteit van alternatieve methodieken om micro-organismen af te doden is door Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, sector Paddestoelen (PPO-Paddestoelen) onderzocht. Daartoe zijn in 2002 en 2003 monsters compost en dekaarde verzameld uit teelten die geïnfecteerd waren met verschillende schimmels. In een experiment in het proefbedrijf van PPO-Paddestoelen was de dekgrond geïnfecteerd met de schimmel *V. fungicola*, terwijl in een ander experiment door PPO-Paddestoelen de doorgroeide compost en dekgrond niet waren geïnfecteerd. De verzamelde monsters zijn vervolgens onder verschillende omstandigheden bestraald met vormen van elektromagnetische golven. Het betrof behandelingen met gammastralen, E-beam, UV-licht en microgolven. Om de effectiviteit van de bestraling na te gaan zijn de geïnfecteerde composten en dekaarden in verschillende laagdiktes aangelegd en bestraald. Om dezelfde reden zijn eveneens de tijdsduur en de dosering van de bestraling gevarieerd.

De behandeling met gammastralen is uitgevoerd door Isotron Nederland B.V. en de E-beambehandeling door TNO Voeding/ Risk Management en Microbiology. De behandelingen met UV-licht en microgolven zijn in een laboratoriumopstelling door PPO-Paddestoelen uitgevoerd. Na de behandeling met electromagnetische golven zijn zes stukjes compost en dekgrond uitgelegd op platen met moutextractagar vermengd met penicilline en streptomycine. Gedurende 21 dagen zijn de monsters compost en dekgrond geïncubeerd bij 28 °C. Op dag 7, 14 en 21 zijn de agarplaten beoordeeld op uitgroei van schimmels en/of bacteriën.

3.5 Energiewinning uit champost

In dit project is onderzocht of het zinvol is om uit champost energie te winnen door het te verbranden of te vergisten. Daarvoor zijn gegevens uit de literatuur geraadpleegd en zijn gesprekken gevoerd met deskundigen die kennis hebben met energiewinning uit biomassa.

4 Resultaten en discussie

4.1 Het doodstoomproces

4.1.1 Energievraag voor doodstomen in relatie tot temperatuur en tijd

De energievraag binnen de champignonteelt wordt beïnvloed door de warmtekaracteristieken van de celconstructie en het substraat, de champost. Geleiding van warmte door wanden, vloer en plafond betekent verlies van energie. Voor het substraat wordt de energievraag met name door het vochtgehalte bepaald. Ook lekkage van lucht door kieren en condensatie van water verhogen deze vraag.

Uit een rekenmodel (Geels, 1992) bleek dat in een teeltcel met 200 m² teeltbedden, het opwarmen van champost relatief het grootste deel van de benodigde energie kostte. Opwarmen in 15 uur naar 70°C bedroeg 77% van de totale vraag aan aardgas (Fig. 3). Voor het aanhouden van de temperatuur 12 uur op 70°C was de overige 23% van de vraag aan aardgas nodig. Dat het opwarmen veel energie vereist, komt vooral doordat champost veel water bevat. Water heeft een hoge soortelijke warmte.

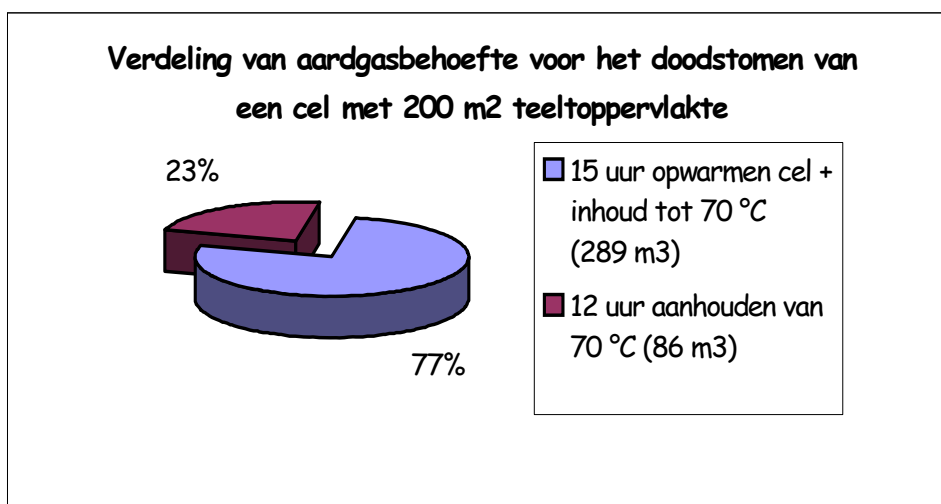


Fig. 3 Aardgasbehoefte voor het doodstomen van champost in een teeltcel.

Het totale stoomproces kostte volgens deze berekeningen 375 m³ aardgas voor een cel met 200 m² bedoppervlak. De berekeningen gingen uit van 110 kg champost per m² teeltbedden. Dit komt overeen met circa 17 m³ aardgas per ton champost. Uit het energieverbruik van zeven champignonteeltbedrijven, verzameld door Haskoning (1996), is berekend dat voor doodstomen circa 18 m³ gas per ton champost werd gebruikt. Het stoomproces bedroeg 5% tot 27% (gemiddeld 18%) van de totale energiekosten per teelt. Dalsem-Veciap kwam uit op 12% (Fig. 2) (Ijpmma en Smeets, 1994).

Het stomen van een lege teeltcel met 200 m² teeltoppervlak op 70°C kost 175 m³ aardgas. Dit is ruim de helft minder dan het stomen van een teeltcel gevuld met champost.

Uit de berekeningen van het rekenmodel (Geels, 1992) volgde verder dat het gebruik aan aardgas gedurende het gehele stoomproces als gevolg van lekkage van cellucht 40% bedroeg (Fig. 4). Dit was nauwelijks minder dan het gebruik aan aardgas om champost te ontsmetten (41%). De berekening leerde dat veel bespaard kon worden door de afdichting van de cel te verbeteren. Er werd toendertijd gerekend

met een ventilatievoud van 1. Dit betekent dat de cellucht door lekkage één maal per uur werd ververs. Dit zal het laatste decennium, door een betere constructie van de cellen en door een groter teeltoppervlak, waarschijnlijk lager liggen. De isolatiewaarden van de wandconstructies zijn de afgelopen decennia met 60% verbeterd (Van Aerts, mond. med.).

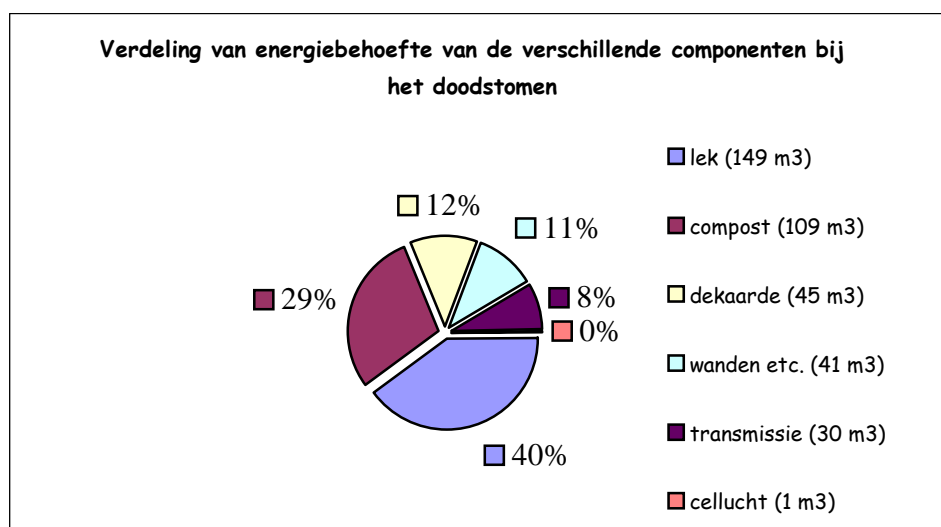


Fig. 4 Energiebehoefte van de verschillende componenten bij het stomen van teeltcellen van champignonkwekerijen.

Het rekenmodel gaf verder aan dat doodstomen bij een lagere luchttemperatuur dan 70°C een geringe besparing opleverde. Per graad Celsius werd slechts 2% energie bespaard. Een uur korter doodstomen bij 70°C leverde een energiebesparing van 8% op. Indien ook het opwarmen en de verliezen werden meegenomen in de berekening dan leverde een uur korter doodstomen bij 70°C eveneens slechts een besparing op van 2%. Al met al geen redenen om de duur van het doodstomen te verkorten of de hoogte van de temperatuur te verlagen met het risico niet alle ziekteverwekkers af te doden.

4.1.2 Minimum tijd en temperatuur voor afdoding

In dit project is een overzicht gemaakt van de proeven over lethale temperaturen en temperatuurbehandelingen, in de jaren 80 uitgevoerd door het toenmalige Proefstation voor de Champignoncultuur (Tabel 1).

a. Overzicht lethale temperaturen voor sporen en mycelium.

Van Zaayen en Rutjens (1981) hebben onder gestandaardiseerde laboratoriumcondities (½ uur) proeven uitgevoerd met mycelium en sporen van *Agaricus bisporus* en enkele ziekten. Hieruit bleek dat de lethale temperatuur van het *A. bisporus*-mycelium 44°C was (Tabel 1). Indien de sporen onder diezelfde gestandaardiseerde laboratoriumcondities behandeld werden in een sporensuspensie, dan bedroeg de lethale temperatuur van gezonde en viruszieke sporen van *A. bisporus* 54°C. Virus X komt voor in champignonmycelium en -sporen.

De lethale temperatuur van sporen van *Mycogone perniciosa* was 48°C, die van *Cladobotryum dendroides* 43°C en die van *V. fungicola* 39°C. Voor *Pseudomonas tolaasii* en *Trichoderma harzianum* werden in het genoemde onderzoek geen lethale temperaturen bepaald.

Ook in de literatuur zijn geen lethale temperaturen gevonden van *P. tolaasii* en *T. harzianum*.

Tabel 1. Lethale temperaturen van schimmels en sporen.

Schimmel	Mycelium	Sporen
<i>A. bisporus</i> - gezond	44°C	54°C
<i>A. bisporus</i> - virusziek	==	54°C
<i>A. bitorquis</i>	48°C	==
<i>Verticillium fungicola</i>	==	39°C
<i>Mycogone perniciosa</i>	==	48°C
<i>Cladobotryum dendroides</i>	==	43°C
<i>Dheliomyces microsporus</i>	45°C	==

b. Effect temperatuurbehandelingen van mycelium

In door Nair (1973) uitgevoerd onderzoek werd virusziek champignonmycelium op diverse agarmedia (o.a. PDA en MA) gedurende maximaal 6 weken geïncubeerd bij 33°C. Om het champignonmycelium op een agarmedium virusvrij te maken was in dit onderzoek een behandeling nodig van drie weken bij 33°C.

Volgens door het toenmalige Proefstation voor de Champignoncultuur uitgevoerd onderzoek zijn de bij 33°C behandelde myceliumculturen echter niet vrij van virus (Van Zaayen, 1980).

c. Doodstoomproeven.

In het proefbedrijf van PPO-Paddestoelen werd in 1996 op het einde van de teelt in een reeks proeven het effect van doodstomen bij 65°C en 70°C onderzocht. Na het doodstomen werden stukjes compost en dekaarde uitgelegd op een agarmedium en werd bepaald welke schimmels uitgroeiden. Uit dit onderzoek bleek dat na 12 uur doodstomen bij 65°C, met een opwarmperiode van 13,75 uur, er nog schimmels uitgroeiden. Na acht uur doodstomen bij 70°C, met een opwarmperiode 12,5 uur, werden alle schimmels, waaronder *A. bisporus* en thermofiele schimmels afgedood. Dit is sinds 1996 het doodstoomadvies voor de champignonteeltbedrijven.

4.2 Alternatieve methodieken

In dit hoofdstuk zijn methodieken weergegeven die mogelijk stomen kunnen vervangen.

4.2.1 Ioniserende straling

Ioniserende stralen zijn elektromagnetische golven die zoveel energie transporteren, waardoor moleculen in een weefsel zich splitsen in ionen en het daardoor kan beschadigen (Raso en Garbosa-Cánovas, 2003). Voorbeelden van ioniserende stralen zijn onder andere gamma- en röntgenstralen, Pulsed Electric Fields (PEF), E-beam en UV-licht (Tabel 2). Ioniserende stralen maken het product zelf niet radioactief, zodat consumptie van behandelde voedingsmiddelen of contact met behandelde producten geen gevaar voor de volksgezondheid tot gevolg heeft.

Gammastralen

Gammastralen hebben een relatief groot vermogen om materialen door te dringen en kunnen daardoor micro-organismen effectief afdoden. Toepassing hiervan vindt vooral plaats voor ontsmetting van medische producten en verpakkingen van voedsel. Ook worden op kleine schaal materialen in de tuinbouwsector met gammastralen ontsmet. Het gaat om onder andere bevoeiingsmatten en substraatpotjes voor de plantenkweek (Fremery en Eijsermans, mond. med.). Uit onderzoek uitgevoerd door Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, sector Glastuinbouw bleek dat het mogelijk was virussen in steenwolmatten met gammastralen af te doden. Daarvoor was een dosis van 5 Mrad vereist (Runia, 1985). In Mexico zijn gammastralen met succes toegepast om rioolslib te desinfecteren alvorens het over land uit te spreiden (Franco-Hernández *et al.*, 2003).

Tabel 2. Overzicht van vormen van ioniserende straling.

Techniek	Oorsprong
Gammastalen	fotonen van Cobalt-60 uit een kernreactor
E-beam	electronen opgewekt in kathode straalbuis
Soft-e-beam	electronen met lagere snelheid dan bij E-beam
X-ray (röntgenstralen)	fotonen
Pulsed Electric Fields (PEF)	electronen worden weggeschoten
UV-licht	electriciteit
Microwave	electromagnetische golf brengt moluculen in trilling (magnetron)

Vanwege gevaar voor de gezondheid tijdens het ontsmetten van champost met gammastralen, kan deze toepassing niet bij de champignon-teler worden uitgevoerd. Wel kan een gespecialiseerd ontsmettingsbedrijf met vergunningen, zoals Isotron Nederland B.V. champost op een centraal punt ontsmetten.

Isotron rekent voor het centraal ontsmetten van champost € 30,- tot € 40,- per ton. In de kostenberekening is het gemiddelde van € 35,- genomen (Tabel 3). Circa 25% hiervan zijn energiekosten voor de productie van Cobalt 60. Deze techniek levert een champignon-teler een besparing op van aardgas, maar hij zal wel een lege cel moeten ontsmetten. Het ontsmetten van een lege cel door middel van stoom, levert een besparing op van circa 53% ten opzichte van een volle cel. Daarbij is uitgegaan van een opwarmperiode van 8 uur naar 70°C in plaats van 14 uur. Het stomen van een lege teeltcel van 200 m² kost dan nog 175 m³ aardgas. Met een aardgasprijs van € 0,20 per m³ bedragen de kosten € 35,-. De transportkosten blijven ongeacht de ontsmettingsmethode ongewijzigd en liggen tussen de € 6,- en € 9,- per ton compost (Zhu en Van Roestel, 2002). De champignon-teler heeft met deze ontsmettingstechniek meer kosten. Gammabestraling kost voor een cel van 200 m² en 20 ton champost inclusief transportkosten gemiddeld € 915,-. Traditioneel doodstomen kost inclusief transportkosten van champost € 255,-.

Tabel 3. Kosten voor ontsmetten van 20 ton champost (in Euro per teeltcel van 200 m²).

Kostenpost	Ontsmetmethode champost		
	stoom	gamma	E-beam
Aardgas	75	35	35
Transport	180	180	180
Gamma	0	700	0
E-beam	0	0	200
Totaal	255	915	415

E-beam

E-beam is een elektromagnetische golf van electronen die met behulp van electriciteit in een kathode straalbuis wordt opgewekt (Raso en Garbosa-Cánovas, 2003). Micro-organismen worden door de electronen vernietigd, maar hebben een gering vermogen om door te dringen. In Duitsland wordt zaad met soft-e-beam ontsmet door een compact apparaat dat met een vrachtwagen te vervoeren is, zodat het bij een klant ingezet kan worden (Van de Berg, 1997). De electronen van soft-e-beam bezitten minder energie, waardoor alleen de buitenkant van het zaad wordt ontsmet en de kiem wordt gespaard.

In het door PPO-Paddestoelen uitgevoerde onderzoek had het geringe vermogen van de electronen om door materiaal heen te dringen tot gevolg dat het noodzakelijk was om champost in een dunne laag van enkele centimeters langs de E-beamer van TNO te leiden. Vestigingen van Isotron in Engeland en Frankrijk kunnen apparatuur ontwikkelen waarmee E-beam op lokatie kan worden uitgevoerd.

Volgens TNO zijn de investeringskosten zo hoog dat E-beam niet op een champignonteeltbedrijf kan worden uitgevoerd. Op lokatie kost E-beam naar schatting € 100,- tot € 150,- per ton product. Volgens Isotron Nederland B.V. kost E-beam op een champignonteeltbedrijf € 10,- per ton champost (Tabel 3). Toepassing van E-beam levert de teler een besparing op van aardgas. Evenals bij gammabestraling blijven de transportkosten ongewijzigd en zal de teler de lege cel moeten ontsmetten. De champignon-teler heeft met

deze ontsmettingstechniek eveneens meer kosten. E-beam kost voor een teeltcel van 200 m² en 20 ton champost inclusief transportkosten gemiddeld € 415,-.

Pulsed Electric Fields

Pulsed Electric Fields (PEF) is een nieuwe techniek die onder andere door TNO ontwikkeld wordt (Raso en Garbosa-Cánovas, 2003). Het zijn electronen die door middel van electriciteit gepulsed ofwel weggeschoten worden. In vloeibare en pasteuse stoffen worden micro-organismen, niet de sporen, afgedood (Janssen, 1998). De temperatuur stijgt daarbij nagenoeg niet. Met name voor voedingsstoffen als bijvoorbeeld vlees en ijs is deze techniek aantrekkelijk. Voor champost is PEF niet geschikt omdat de structuur te vast is.

Ultra violet licht

Ultra violet licht (UV-licht) bestaat uit, voor ons onzichtbare electromagnetische stralen met een golflengte tussen 100 en 380 nm. Onderscheiden worden UV-A, UV-B en UV-C. UV-C heeft de kortste golflengte en dringt dieper in het product. UV-A heeft de langste golflengte en bezit het minst aan energie. Het wordt onder andere toegepast in het licht van de zonnebank. UV-licht is effectief tegen micro-organismen in ruimten en in heldere vloeistoffen (Van Os en Loeffen, 2000). Met name UV-B en UV-C worden hiervoor toegepast. Uit onderzoek uitgevoerd in 1999 door Praktijkonderzoek voor de Varkenshouderij gaf UV-C bij het desinfecteren van ventilatielucht in varkensstallen goede resultaten (Roelofs *et al.*, 1999). Door de hoge kosten wordt deze techniek niet op varkensbedrijven toegepast (Roelofs, mond. med.). In troebele vloeistoffen en op vaste stoffen is UV-licht slechts aan het oppervlak effectief (Thijssen en Fauth, 2003). Deze techniek ontsmet naar verwachting slechts enkele millimeters van de champost.

Microgolven

Microgolven, vergelijkbaar met de microgolven in een magnetron, brengen de moleculen in trilling (Höflich en Freytag, 1979; Devine *et al.*, 2001). Vervolgens stijgt de temperatuur waardoor micro-organismen worden gedood. Uit eerder onderzoek door Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, sector Akkerbouw, Groene ruimte en Vollegrondsgroenten (PPO-AGV) in Lelystad bleek dat ontsmetten van steenwolmatten met microgolven onvoldoende effectief was (Runia, 1984). De temperatuur steeg niet in de hele steenwolmat naar voldoende hoogte. Als verklaring werd het hoge vochtgehalte van de matten gegeven. Voor afdoding van aaltjes, schimmels en bacteriën is 70°C vereist. In vochtige steenwolmatten werd zelfs na tien minuten dit niveau niet overal bereikt. Een langere behandeling werd daarom niet uitgevoerd.

Di-electrisch ontsmetten

In 2004 heeft KEMA in opdracht van Productschap Tuinbouw en LNV in het programma Glastuinbouw en Milieu (GLAMI) een project uitgevoerd waarbij Potveer B.V. in samenwerking met PPO-Glastuinbouw een methodiek heeft ontwikkeld voor het di-electrisch ontsmetten van substraten (Rasing en Jansen, 2004). Door middel van een hoogfrequent elektrisch veld, radiogolven met 13 of 27 MHz opgewekt tussen twee platen, wordt substraat di-electrisch behandeld (Fig. 5). Elk materiaal bevat elektrische ladingen. Door het hoogfrequent elektrisch veld gaan de deeltjes in het substraat trillen en worden daardoor relatief warm.

De techniek wordt toegepast voor het drogen van keramische en lijmverbindingen. Ook de magnetron is een toepassing. Potveer heeft de techniek voor het ziektevrij maken van teeltsubstraat ontwikkeld. Er is een prototype gebouwd waarmee met succes testen in de bollensector zijn uitgevoerd.

Ook andere substraten dan potgrond, zoals steenwol en vermiculiet kunnen met deze techniek opgewarmd en ontsmet worden. Teeltaarde wordt over een lopende band geleid met aan weerszijden de electrodeplaten (Fig. 5). Met het prototype duurt het een half uur om $\frac{3}{4}$ m³ substraat naar 70°C op te warmen. De bedoeling is de capaciteit op te voeren naar 10 tot 15 m³ per uur. De opwarmingsnelheid wordt sterk beïnvloed door het vermogen van de generator, de hoeveelheid en vochtgehalte van het substraat.



Fig. 5 Prototype voor het di-electrisch ontsmetten van substraat (foto Potveer).

Vergeleken met stomen, zijn bollentelers van deze di-electrische techniek gecharmeerd omdat de grond zijn mooie structuur behoudt en niet vochtiger wordt. Bovendien kost de behandeling minder tijd en kan substraat worden hergebruikt.

PPO-Glastuinbouw voert in dit project experimenten uit met schimmels en sporen van schimmels. *Fusarium* in substraat wordt met deze di-electrische techniek voor 99% afgedood.

KEMA heeft berekend dat door over te stappen van stomen naar di-electrisch ontsmetten een kostenreductie wordt bereikt van 25%. Verwacht wordt dat di-electrisch ontsmetten geschikt is voor toepassingen in de champignonteelt. Recent is het onderzoek afgerond en ligt de weg open om deze techniek te ontwikkelen voor het ontsmetten van champost.

4.2.2 Thermische ontsmetting

Een overzicht is gemaakt van de verschillende thermische ontsmettingstechnieken die in de literatuur gevonden zijn (Tabel 4).

Tabel 4. Overzicht van thermische ontsmettingstechnieken.

Techniek	Oorsprong
zeilstomen	aardgas
puntstomen	aardgas
stomen in containers	aardgas
onderdruk stomen	aardgas
solarization	zonlicht
zonne-energie	zonlicht
thermische vijzel	aardgas
hete lucht	diesel
electrische ontsmetting	electriciteit
infra rood	electriciteit

Stomen optimaliseren

Het stoomproces in een teeltcel van een champignonbedrijf verder optimaliseren, zal naar verwachting een besparing van energie opleveren. Daartoe bieden technieken perspectief waarmee stoom beter in contact wordt gebracht met het substraat. Dit kan door stoom met behulp van stoomleidingen niet langs maar dóór het substraat heen te persen of door stoom met behulp van gordijnen rondom de stellingen zo dicht mogelijk bij het substraat te brengen. Indien het hiermee mogelijk is om het substraat in 8 uur in plaats van 15 uur naar 70°C te brengen, levert het stomen een besparing op van 15%. De voorzieningen die hiervoor in de cel moeten worden aangebracht mogen de normale werkzaamheden tijdens de teelt niet belemmeren. De meeste energiebesparing wordt verkregen door de champost in een goed geïsoleerde tunnel of container te ontsmetten. Vergeleken met ontsmetten van champost in een teeltcel zijn de verliezen door transmissie en door lek gering. Bovendien hoeft er bij ontsmetting van champost in een tunnel veel minder lucht te worden opgewarmd. Berekening toont aan dat de besparing bij ontsmetting in een tunnel kan oplopen tot 50% - 60% (Vreeman, mond. med.).

Zeilstomen

Een voorbeeld van een toepassing van substraatontsmettingen, waarbij stoom zoveel mogelijk door het substraat wordt geleid, is ontwikkeld in de glastuinbouw. In deze sector is het gebruikelijk om substraat met stoom te desinfecteren. De grond wordt afgedekt met een zeil. Stoom wordt onder het zeil geblazen. Door de druk die ontstaat gaat de stoom de grond in en doet zijn ontsmettende werking. Dit proces wordt versneld door via de ontwateringsbuizen die in de grond liggen, lucht af te zuigen. Door de onderdruk die ontstaat, dringt de stoom nog beter in de bouwvoor (Vegter, 2003). Ook teeltbakken in kassen kunnen met een zeil en stoom worden ontsmet (Van der Kwaak, 1982).

Zonneënergie

Zonneënergie wordt in zonnrijke landen toegepast om substraat te ontsmetten. Door op teeltgrond plastic folie te leggen stijgt door inwerking van de zon de temperatuur in de bovenste lagen van de grond tot hoge temperaturen. De temperatuur kan in de bovenste 5 cm tot 54°C oplopen. Op 30 cm diepte is een temperatuur gemeten tot 40°C. In Israël wordt met deze solarisatietechniek op succesvolle wijze grond ontsmet. Na een periode van veertig dagen bedekking waren onder andere *Verticillium sp.*, *Rhizoctonia sp.* en *Aspergillus sp.* bestreden (Kramer, 1984). Toepassing van deze techniek biedt voor ontsmetting van champost geen perspectief.

In Duitsland is een ontsmettingsinstallatie voor teeltsubstraat ontwikkeld waarbij zonneënergie ingezet wordt (Berger, 1996). Water wordt door zonneënergie door middel van een groot aantal zonnecollectoren opgewarmd tot 80°C. Dit water wordt door een holle vijzel gepompt. De vijzel is in contact met het substraat. De installatie haalt een capaciteit van 50 tot 500 m³ substraat per jaar. Dit is zo gering omdat alleen in de zomermaanden voldoende aantal zonne-uren gehaald worden. In Brazilië is het met een installatie bestaande uit 20 zonnecollectoren mogelijk om jaarlijks 400 m³ substraat thermisch te ontsmetten (Ghini *et al.*, 2000). Deze hoeveelheid staat niet in verhouding met de 750.000 ton champost die de Nederlandse champignonkwekers jaarlijks moeten ontsmetten. Zonneënergie is daarom geen perspectiefvolle techniek om champost te ontsmetten.

Thermische vijzel

De thermische vijzel is ontwikkeld door Willems Waste Technology (WWT) in samenwerking met het mestverwerkingsbedrijf Hollvoet B.V. voor ontsmetting van mest (Fig. 6). De vijzel bestaat uit een holle vijzelas die draait in een dubbelwandige buis. Door beide onderdelen stroomt olie met een temperatuur van 180°C. De draaiende vijzel transporteert het te behandelen substraat door de buis. Tijdens dit proces vindt de thermische ontsmetting plaats.

De vijzel kan op de champignonkwekerij worden opgesteld. WWT heeft berekend dat het ontsmetten van champost met een vijzel € 3,- per ton kost. Dit betekent een besparing van 20%. Uitgegaan is van een temperatuur van de olie van 70°C en een contacttijd van de champost in de vijzel van een uur. Eén vijzel heeft door deze lage doorvoersnelheid een capaciteit 0,5 ton champost per uur. Door drie of vier vijzels gelijktijdig te laten werken kan in 30 uur, de duur van een doodstoomproces in een champignonkwekerij, 60 ton champost worden behandeld. Na thermische ontsmetting van de champost dient de lege cel nog te

worden gereinigd en ontsmet. Dit kost circa € 35,- voor een cel met een teeltoppervlak van 200 m², omgerekend € 1,75 per ton champost.



Fig. 6 Thermische vijzel (Foto Willems Waste Technology)

In totaal kost het ontsmetten met de thermische vijzel € 4,75 per ton. Dit is 25% hoger dan traditioneel ontsmetten van champost in een teeltcel met stoom en lijkt daardoor niet perspectiefvol voor een standaard ingerichte champignonteeltbedrijf. Echter indien alleen het substraat ontsmet hoeft te worden dan levert de thermische vijzel 20% energiebesparing op ten opzichte van traditioneel ontsmetten.

Hete lucht

Met hete lucht worden proeven uitgevoerd naar de effectiviteit van het ontsmetten van grond. PPO-AGV heeft in samenwerking met Imants B.V. een apparaat ontwikkeld waarmee grond met hete lucht wordt ontsmet. Een tractor trekt dit apparaat langzaam voort over het te behandelen perceel. De grond wordt circa 20 cm diep losgemaakt en omhoog gewerkt. Tijdens deze bewerking komt de grond een korte tijd in contact met de hete lucht. De hete lucht wordt door een soort föhn geproduceerd welke door een dieselmotor aangedreven wordt. Een studie wordt uitgevoerd naar de effecten op de afdoding van aaltjes. Het energieverbruik zou 10% bedragen ten opzichte van grondontstmetting met stoom. De machine dient nog verder te worden geoptimaliseerd.

Ondanks dat deze techniek perspectiefvol is, kost het ontsmetten van champost met behulp van hete lucht ongeveer evenveel energie als ontsmetten met stoom (De Kort, mond. med.).

Electrische ontsmetting

Ook met een elektrische stroom kan substraat worden ontsmet. In Duitsland is daarvoor een methode ontwikkeld (Flubacher, 1993; Gugenhan, 1993). In een kas met teeltbedden wordt in substraat met een dikte van tien cm drie elektroden gelegd op circa 50 cm afstand van elkaar. Doordat tussen deze draden een elektromagnetische wisselspanning met lage frequentie wordt aangebracht, stijgt de temperatuur van het substraat. Tijdens de ontsmetting is het teeltbed afgedekt met plastic folie. Afhankelijk van het type generator en van het vochtgehalte in het substraat, wordt na twee tot twintig uur de gewenste temperatuur bereikt. Het voordeel van dit systeem is dat in een kas met gewas in meerdere teeltbedden er enkele met deze methode ontsmet kunnen worden, zonder maatregelen te hoeven treffen voor een naast liggend bed. De kosten bedroegen in 1993 op DM 12,90 per m³ substraat. Deze techniek heeft zich niet op grote schaal verder ontwikkeld. Daarvoor liggen de kosten ten opzichte van een ontsmetting met stoom te hoog. Vergeleken met ontsmetten van champost met stoom, zullen de kosten voor het ontsmetten met elektroden minimaal drie maal zo hoog liggen. Deze techniek is daarom niet perspectiefvol.

Infra rood

De toepassing van infra rood voor ontsmetting van substraat is beperkt, omdat de warmte slechts 7 mm van een veen-schorsmengsel in korte tijd opwarmt tot 70°C (Waver en Osinka, 1998).

4.2.3 Ontsmettingsmiddelen (chemisch)

Een overzicht is gemaakt van in de literatuur gevonden chemische ontsmettingsmiddelen (Tabel 5).

Tabel 5. Overzicht van chemische ontsmettingsmiddelen.

Middel	Toepassingsgebied
formaldehyde	grondontsmetting tuinbouw, champignoncultuur
metam natrium	grondontsmetting land- en tuinbouw
dazomet	grondontsmetting land- en tuinbouw
(cis)-dichloorpropeen	grondontsmetting land- en tuinbouw
chloropicrine	grondontsmetting land- en tuinbouw
ammoniak	grondontsmetting land- en tuinbouw
nitrous acid	grondontsmetting land- en tuinbouw
(di)(tri)chloorethaan	grondontsmetting land- en tuinbouw
aluminium sulfaat	grondontsmetting land- en tuinbouw
alcoholen	oppervlaktereiniging
waterstofperoxiden	oppervlaktereiniging o.a. tuinbouw
quaternaire ammoniumverbindingen	oppervlaktereiniging tuinbouw, champignoncultuur
waterstofperoxide + perazijnzuur	oppervlaktereiniging o.a. champignoncultuur
chloordioxide + melkzuur	waterontsmetting tuinbouw
chlooramine	waterontsmetting tuinbouw
chlorine	waterontsmetting tuinbouw
hypochloriet (HOCl)	water- en oppervlakte(grond)ontsmetting tuinbouw
jodium	waterontsmetting tuinbouw
ozon	waterontsmetting tuinbouw
sulfar dioxides	voedingsmiddelen en dranken
ethyleenoxide	voedingsmiddelen, dranken, cosmetics

Grondontsmettingsmiddelen zijn vaak minder effectief dan stomen. De meeste middelen zijn geschikt om aaltjes te doden. Het betreft dikwijls alternatieven voor methylbromide, een gas waarvan bekend is dat daarmee de ozonlaag wordt aangetast (Quarles, 1997; Bleyaert en Lapage, 2000). Voor schimmels en onkruiden zijn ze vaak minder effectief. Chemische grondontsmetting wordt uitgevoerd met middelen die na inwerken meestal een giftige damp vormen. Voorbeelden van deze middelen, fumigantia genoemd, zijn onder andere dazomet, (cis)-dichloorpropeen en metam-natrium (Plantenziektenkundige Dienst, 2003). Voor toepassing van fumigantia is een vergunning nodig. Ze mogen slechts één maal in de vijf jaar worden toegepast. In de winterperiode mogen deze middelen niet gebruikt worden, omdat dan een lange wachttijd in acht moet worden genomen voordat een volggewas gezaaid of geplant wordt.

Andere middelen zoals waterstofperoxide, chlooramine, hypochloriet, ozon en jodium worden gebruikt in de tuinbouw of medische sector voor ontsmetting van water. Deze middelen werken tegen schimmels, bacteriën en virussen.

Om het substraat aan het einde van de teelt van champignons over de gehele teeltlaag te ontsmetten zijn aanzienlijke hoeveelheden noodzakelijk. Dat maakt toepassing kostbaar. De meeste middelen zijn niet voor ontsmetting toegestaan. Afhankelijk van het gebruikte middel kan de behandelde champost niet meteen in de land- en tuinbouw worden aangewend, zonder een vervolggewas te beschadigen.

4.2.4 Plantenextracten

De literatuur is onderzocht op plantenextracten die aan het einde van de teelt van champignons ingezet zouden kunnen worden om schadelijke micro-organismen in en op het substraat te vernietigen. De resultaten van het project GENOEG, getiteld "Inventarisatie van natuurlijke gewasbeschermingsmiddelen voor de glastuinbouw" bieden aanknopingspunten. PPO-Glastuinbouw heeft dit project in samenwerking met de glastuinbouwsector uitgevoerd (Dik *et al.*, 2001). De opgestelde GENOEG-lijst is het meest uitgebreide literatuuroverzicht betreffende gewasbeschermingsmiddelen van natuurlijke oorsprong, afgekort GNO. GNO's zijn gewasbeschermingsmiddelen waarbij de werkzame stof van natuurlijke oorsprong is.

Zes categoriën worden onderscheiden (De Heer, 2000):

1. micro-organismen;
2. feromonen;
3. plantenversterkers;
3. plantaardige gewasbeschermingsmiddelen (plantenextracten);
4. mineralen;
5. natuurlijke gassen.

De definities van de diverse soorten GNO's vallen onder de Europese toelatingsrichtlijn voor gewasbeschermingsmiddelen 91/414/EEG. GNO's vallen onder de Bestrijdingsmiddelenwet 1962. Er moet daarom een toelating worden aangevraagd. Voor de teelt van champignons zijn nog geen GNO's toegelaten. Voor een aantal GNO's is een uitzondering gemaakt omdat ze zodanig onschadelijk zijn dat een toelating op basis van de Bestrijdingsmiddelenwet 1962 niet noodzakelijk wordt geacht (College van Toelating van Bestrijdingsmiddelen, CTB). Middelen die hieraan voldoen staan op de lijst "Regeling Uitzondering Bestrijdingsmiddelen (RUB)". Voor champignons staan calciumchloride en natriumchloride op de RUB-lijst.

In het project GENOEG bieden de middelen Citrex en Biosept voor de teelt van champignons mogelijk perspectief (Van de Gaag, mond. med.). Citrex, met vitamine C als actieve stof en Biosept, een extract van grapefruit-zaad bieden perspectief tegen *Fusarium sp.*. Citrex wordt chemisch gesynthetiseerd, heeft een algemene werking, mogelijk ook tegen *A. bisporus*. Ook zijn etherische oliën, bijvoorbeeld uit rozemarijn, misschien interessant om in de teelt van champignons toe te passen tegen pathogenen.

Uit door PPO-Paddestoelen uitgevoerd oriënterend onderzoek (Baar en Rutjens, 2004) blijkt dat plantenextracten de potentie hebben om de ontwikkeling van *V. fungicola* (droge mollen) te remmen of te bestrijden.

4.2.5 Activators

In de literatuur is gezocht naar activators die de eigenschap hebben de temperatuur van champost in korte tijd te doen stijgen. Mocht een dergelijk preparaat bestaan dan zou daarmee het doodstoomproces ondersteund kunnen worden. Dat zou besparing van aardgas tot gevolg kunnen hebben. Literatuuronderzoek leverde geen gunstig resultaat op. De activators die zijn aangetroffen bestaan uit bacteriepreparaten, enzymen met of zonder voedingselementen die processen in de bodem stimuleren waardoor een gewas zich beter ontwikkelt of waardoor organisch afval sneller wordt gecomposteerd met minder stankproductie als bijkomend effect. De activators kunnen worden ingedeeld in bacteriepreparaten en enzympreparaten.

Radivit van Ecostyle B.V. is een voorbeeld van een bacteriepreparaat. Het stimuleert het bacterieleven in tuin- en keukenafval waardoor nog sneller een prima compost wordt verkregen. Andere voorbeelden van bacteriepreparaten zijn Green Balance van Berkhout B.V. en Effectieve Micro-organismen (EM) van Agriton B.V.. Green Balance bestaat uit voornamelijk melkzuurbacteriën die vrij in de natuur voorkomen en die geselecteerd zijn op een versnelde afbraak en omzetting van organisch materiaal, het beter vastleggen van voedingsstoffen en het verkorten van het compostingsproces. EM is een mengsel van fotosynthetische bacteriën, melkzuurbacteriën, gisten, actinomyceten en schimmels. In een normaal compostingsproces stijgt de temperatuur in enkele dagen naar 75°C. Veel organisch materiaal gaat daarbij verloren. De EM-oplossing werkt in GFT als een compostversneller. Met EM stijgt de temperatuur in de compost slechts tot 40°C – 45°C. Daarmee zou 50% meer energetische voedingswaarde behouden worden.

Een voorbeeld van een enzym is het product POCO van Wise Use International. Het wordt door Essent gebruikt om proceslucht dat ontstaat tijdens compostering van GFT te ontgeuren. POCO wordt daartoe over een biobed gespreid. De enzymen stimuleren micro-organismen die voor een snellere omzetting zorgen van de stankcomponenten afkomstig uit een tunnel met compostierend GFT. Ook heeft Essent proeven gedaan door gedurende een koude winterperiode de natte fractie van huisvuil te behandelen met POCO. Normaal duurt het opwarmen naar 55°C één tot twee etmalen. Met POCO wordt deze temperatuur drie tot vier uur sneller bereikt.

Het product NU-plus 100 van Samenwerkingsverband Geurbestrijding Compostering is eveneens een enzympreparaat. Het bestaat uit geconcentreerde plantenextracten die werken als een organische biokatalysator. Gemengd door de te composteren substraten wordt de overheersende geur tot 90% teruggebracht. Het verlaagt de uitstoot van ammoniak.

4.2.6 Overige technieken

In de literatuur zijn overige ontsmettingstechnieken genoemd die hier kort worden besproken (Tabel 6).

Ultrasound

Ultrasound wordt gedefinieerd als geluidsgolven met frequenties hoger dan 16 kHz, hoger dan een mens kan horen. Bij voldoende energie ontstaan met ultrasound in vloeistoffen microscopische holtes die zeer snel weer in elkaar klappen. Door dit proces van luchtbelvorming en ineenklappen, kunnen micro-organismen in water vernietigd worden. Uit onderzoek blijkt dat ultrasound een geschikte methode is om micro-organismen in vloeistoffen te inactiveren (Raso en Barbosa-Cánovas, 2003; Van Wambeke *et al.*, 1987). Omdat champost een vaste stof is, kunnen de geluidsgolven zich naar verwachting onvoldoende door het substraat verplaatsen. Een effectieve afdoening van micro-organismen en sporen in champost wordt met ultrasound niet verwacht. Dit geldt ook voor de volgende technieken.

Tabel 6. Overzicht van overige ontsmettingstechnieken

Techniek	Informatie
ultrasonificatie	geluidsgolven
luchtdruk	substraat onder ultra hoge druk
licht	lichtflitsen
laag zuurstof, hoog koolzuur en stikstof	natuurlijke gassen
inudatie	substraat onderwater

Luchtdruk en licht

Door Unilever en TNO wordt als alternatief voor verhitting een perspectievolle techniek ontwikkeld, waarmee de houdbaarheid van voedingsmiddelen wordt verlengd. Door vruchtensap onder een druk van 6000 bar te zetten worden micro-organismen gedood. Ook met lichtflitsen worden door TNO experimenten uitgevoerd om zowel verpakkings- en medische materialen als voedsel te ontsmetten.

Gassamenstelling en inudatie

Om micro-organismen in hun groei te remmen of te doden kan ook voor meer bekende technieken gekozen worden. Door de verhouding van zuurstof, koolzuurgas en stikstof te wijzigen blijven voedingsmiddelen langer houdbaar. In de bollenstreek is het algemeen gebruik om grond te ontsmetten door de akker zes tot tien weken te inunderen. Hiermee overleven veel schimmels en aaltjes niet.

4.3 Systeeminnovatie

Het is mogelijk om tot energiereducties in de champignonteelt te komen door systeeminnovaties binnen de champignonteelt. In de navolgende tekst worden verschillende systeeminnovaties besproken die reductie van energiegebruik in de champignonteelt met zich mee brengen.

4.3.1 Kistensysteem

Perspectiefvol zijn teeltsystemen waarin niet meer het huidige stellingensysteem wordt gehanteerd. Mogelijke alternatieven vormen het telen van champignons in kisten. Heveco B.V. heeft ruime ervaring met dit teeltsysteem. Hierbij worden champignons in kisten opgekweekt. De doorgroei en knopvorming van de champignonmycelia en de oogst van de champignons vindt in verschillende ruimten plaats (Heyer en Verdellen, mond. med.). In feite is dit een mobiel teeltsysteem. Het telen in de kisten maakt het mogelijk om meer champignons te telen in een ruimte dan op de bedden in het stellingensysteem. Alleen dit al kan leiden tot energiereductie. Bovendien biedt het kistensysteem de mogelijkheid om kisten naar een centrale ruimte te brengen voor stomen. De overige ruimten voor teelt en oogst van champignons kunnen ontsmet worden met ontsmettingsmiddelen. Het mag duidelijk zijn dat het centraal stomen energetisch voordeliger is dan teeltcellen met bedden vol met champost (zie paragraaf 4.2.1). Met goede hygiëne is het mogelijk om in een kistensysteem succesvol champignons te telen (Heyer, mond. med.).

4.3.2 Mobiel systeem

Eveneens perspectiefvol zijn mobiele teeltsystemen van champignons. In dergelijke systemen worden bakken met substraat doorgroeid met champignonmycelium. Zodra het mycelium toe is aan knopvorming worden de bakken via een geautomatiseerd systeem naar een andere ruimte verplaatst voor knopvorming. Na de knopvorming worden de bakken via het geautomatiseerde systeem naar de oogstruimte waar de champignons handmatig dan wel met een robot worden geoogst (Van Weel, mond. med.). Na de oogst worden de bakken naar een centrale plaats gebracht voor ontsmetting.

Dit systeem gaat uit van het principe van het kistensysteem in een verder geautomatiseerde vorm. Met goede hygiëne, goede monitoring van de grondstoffen op de belangrijkste ziekteverwekkers en het eventueel toepassen van biologische middelen tegen *V. fungicola* en champignonvliegen zijn er mogelijkheden om dit systeem ziektevrij te houden. Daartoe is het wel noodzakelijk dat er voldoende financiële middelen ter beschikking worden gesteld aan PPO en PRI om de moleculaire detectietest voor de belangrijkste ziekteverwekkers in de champignonteelt, waaronder *V. fungicola* te ontwikkelen. Hetzelfde geldt voor de ontwikkeling van nieuwe perspectiefvolle gewasbeschermingsmiddelen tegen *V. fungicola* en champignonvliegen, zoals plantenextracten.

4.3.3 Substraatteelt

Een groter perspectief voor reductie van energie in de champignonteelt biedt het gebruik van substraatteelt. In dergelijke teelten worden champignons op inert materiaal, zoals steenwol geteeld en worden voedingsoplossingen toegevoegd. Ontsmetting van de voedingsoplossing kan met methodieken als U.V. (zie paragraaf 4.2.1). Dit wordt reeds toegepast in de glastuinbouw. Ontsmetting van het inerte substraat kan bijvoorbeeld di-electrisch (zie paragraaf 4.2.1). Verder kan de teeltruimte ontsmet worden met ontsmettingsmiddelen in plaats van stomen.

4.3.4 Centraal ontsmetten

Onderzocht is of het elders ontsmetten van champost, hetzij door doodstomen, thermische energiewinning of vergisting, tot energiebesparing leidt voor het champignonteeltbedrijf. De champost wordt aan het einde van de teelt uit de teeltruimte verwijderd en in een gespecialiseerd bedrijf ontsmet. Er is uitgegaan van twee teeltsystemen. Het ene teeltsysteem betreft een champignonkwekerij met traditionele indeling van cellen en teeltlagen. Het andere teeltsysteem betreft een compartimentensysteem (meerzonesysteem) met substraat in verplaatsbare teeltkisten.

Traditionele kwekerij

Het verwijderen van niet-ontsmette champost uit de teeltcel levert de champignonteler een besparing op van aardgas. Om te voorkomen dat ziektekiemen zich verspreiden tijdens het leegmaken van champost uit de teeltlagen, is het mogelijk voordat de celdeur open gaat, een verplaatsbare werkhalm tegen de buitenzijde van de cel te plaatsen (Christiaens, mond. med.). Deze werkhalm biedt ruimte voor treklier, opvoerband en een vrachtwagencombinatie. In deze overkapte werkruimte zorgt een ventilator met een geschikt filter ervoor dat tijdens de werkzaamheden onderdruk in de werkhalm aanwezig is. Dit voorkomt verspreiding van ziektekiemen en insecten over de rest van het bedrijf.

Nadat de champost uit de cel is verwijderd, moet de cel alsnog ziektevrij worden gemaakt. Indien het ontsmetten gebeurt met stoom, levert dat een besparing aan energieverbruik op van meer dan 50% (zie paragraaf 4.1.1).

De afgevoerde champost dient nog te worden ontsmet alvorens het een volgende bestemming krijgt. Dit kan zijn als meststof voor land- en tuinbouwpercelen, als vergistingsproduct voor de productie van biogas of als brandstof voor thermische energieproductie. Wordt gekozen voor ontsmetting met stoom dan is gedacht aan twee opties: ontsmetten van champost met stoom in een aangepaste container of in een tunnel. Beide opties zijn perspectiefvol, omdat vergeleken met standaard stomen van champost in een teeltcel, naar verwachting 50% tot 60% energie bespaard wordt (zie paragraaf 4.2.2). Een interessant voordeel van niet-stomen kan zijn dat door de tijdswinst er een ronde meer geteeld zou kunnen worden (Verdellen, mond. med.).

Compartimentensysteem

Een kwekerij met een nieuw bouwkundig concept met perspectievolle energiebesparende methoden, zou er als volgt uit kunnen zien (Verdellen, mond.med.). Op twee verschillende bedrijven vinden activiteiten plaats. Bedrijf I is gespecialiseerd in het kweken van de champignonknoppen op mobiele teeltoppervlakken, bijvoorbeeld kisten, en het oogsten van de champignons. Dit bedrijf bestaat uit cellen voor de voorbereiding en uit kassen voor de oogst. Bedrijf II is het bedrijf waar eventueel een derde vlucht geplukt wordt. De hoofdactiviteit van dit bedrijf is het verwerken van de champost. Daarvoor zijn drie mogelijkheden: champost in massa stomen in een tunnel en vervolgens afvoeren naar land- en tuinbouwpercelen; of energiewinning uit champost door verbranding of vergisting.

Perspectiefvol is energiewinning uit champost door verbranding als champost met restwarmte kan worden voorgedroogd (zie paragraaf 4.5.2). Deze restwarmte is afkomstig uit het stoomproces voor de ontsmetting van kisten en uit het verbrandingsproces van champost. De thermische energie wordt in een WKK-installatie gebruikt voor de opwekking van electriciteit.

In verband met de ziektedruk is het wenselijk dat beide lokaties op enige kilometers afstand van elkaar gelokaliseerd zijn.

4.4 Proeven

Gammastralen

De behandeling van compost met gammastralen was effectief en reduceerde de ontwikkeling van micro-organismen aanzienlijk (Tabel 7). Uit compost in een laagdikte van 2,5 cm, die was behandeld met 5 kiloGray gammastralen, groeiden geen micro-organismen. Reductie van groei van micro-organismen uit een dikkere laag compost was niet mogelijk met 5 kiloGray gammastralen. Uit compost in een laagdikte van 10

cm, die was behandeld met 5 kiloGray gammastralen, groeiden uit 83% van de uitgelegde stukjes compost micro-organismen. Een dosering van 10 kiloGray was meer effectief dan met 5 kiloGray in de 10 cm laag compost. Uit 17% van de behandelde en uitgelegde stukjes compost groeiden micro-organismen (Tabel 7). De dosering van 10 kiloGray gammastralen bleek effectief voor dekgrond in een laagdikte van 2 en 8 cm (Tabel 7). Echter, een dosering van 5 kiloGray was bij deze laagdikten niet voldoende. Uit van 33% van de behandelde en uitgelegde stukjes dekgrond, afkomstig van de 2 cm laag, ontwikkelden zich micro-organismen. Bij laagdikte van 8 cm groeiden zelfs bij 83% van de behandelde stukjes dekgrond micro-organismen uit.

Om voldoende dodend effect te realiseren was bij de behandeling met gammastralen een dosering van minmaal 10 kiloGray noodzakelijk.

Tabel 7. Effectiviteit van verschillende ioniserende straling op de afdoding van micro-organismen (dosering in kiloGray en Tijd in minuten of uren) *).

Gamma	0	5	10	15	
<i>Compost</i>					
Proef 1: 2,5 cm laagdikte (100 g)	+	-	-	-	
Proef 2: 10 cm laagdikte (2000 g)	+	+ (5x)	+ (1x)	-	
<i>Dekgrond</i>					
Proef 1: 2,0 cm laagdikte (100 g)	+	+ (2x)	-	-	
Proef 2: 8,0 cm laagdikte (2000 g)	+	+ (5x)	-	-	

E-beam	0	2	4	8	16
<i>Compost</i>					
Proef 1: 1,50 cm laagdikte (50 g)	+	-	-	-	-
Proef 2: 1,25 cm laagdikte (50 g)	+	n.v.t.	-	-	-
Proef 2: 4,70 cm laagdikte (400 g)	+	n.v.t.	-	-	-
<i>Dekgrond</i>					
Proef 1: 1,50 cm laagdikte (150 g)	+	+ (3x)	+ (2x)	-	-
Proef 2: 1,50 cm laagdikte (150 g)	+	n.v.t.	+ (3x)	-	-
Proef 2: 4,00 cm laagdikte (300 g)	+	n.v.t.	+ (4x)	-	-

UV-B	0 uur	4 uur	8 uur	24 uur	32 uur
Proef 1:	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Proef 2: 200 g compost, 6 cm laagdikte	+	+	+	+	+
Proef 2: 400 g dekaarde, 6 cm laagdikte	+	+	+	+	+

Magnetron	0 min	2,5 min	5 min	10 min	20 min
Proef 1:	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Proef 2: 100 g compost, 4 cm laagdikte	+	-	-	-	-
Proef 2: 200 g dekaarde, 4 cm laagdikte	+	+ (2x)	+ (2x)	+ (5x)	+ (2x)

*) Per behandeling 6 stukjes compost en dekaarde bestraald

+ = 6 x uitgroei micro-organismen; + (5x) = 5 x uitgroei micro-organismen, enz

E-beam

Een behandeling van 2 kiloGray E-beam op een compost met een laagdikte van 1,25 tot 1,5 cm reduceerde de ontwikkeling van micro-organismen (Tabel 7). Voor het afdoden van micro-organismen in dikkere lagen compost was een hogere dosering nodig. Uit een laag compost van 4,7 cm die was behandeld met een dosering van 4 kiloGray groeiden geen micro-organismen.

De dosering van 4 kiloGray met E-beam op dekgrond was niet voldoende om micro-organismen te doden. Uit 33 tot 50% van de behandelde en uitgelegde stukjes dekgrond afkomstig uit dekgrond met een laagdikte van 1,5 cm groeiden micro-organismen.

Om voldoende dodend effect te realiseren was bij de E-beam behandeling een dosering van ten minste 8 kiloGray noodzakelijk.

UV-B

Behandeling van compost en dekgrond in een laagdikte van 6 cm met UV-B licht reduceerde de groei van micro-organismen niet (Tabel 7). Zelfs na 32 uur behandelen met UV-B licht groeiden nog bij 100% van de behandelde en uitgelegde stukjes compost en dekgrond micro-organismen uit.

Microgolven

Microgolven bleken bij compost in een laagdikte van 4 cm al na 2,5 minuut effectief. Behandeling van dekgrond in een laagdikte van 4 cm bleek echter niet effectief. Na een behandeling gedurende 20 minuten groeide nog bij 33% van de uitgelegde stukjes dekgrond micro-organismen uit. Deze resultaten geven aan dat microgolven het doodstomen van champost niet kunnen vervangen.

4.5 Energiewinning uit champost

4.5.1 Biogasproductie

Uit in het verleden uitgevoerde proeven in Duitsland werd duidelijk dat in een fermentor met een inhoud van vijf liter, gevuld met water en champost, na 28 dagen 0,044 m³ methaan per kg organische stof was gewonnen (Schäfer *et al.*, 1980). Bij een samenstelling van 60 % vocht en 45% as betekende dit 10 m³ biogas per ton product as received. Deze hoeveelheid was te gering om champost aan te bevelen als energiebron. Die conclusie wordt gedeeld door Bio-One (Knops, mond. med.). Voor varkensmest wordt meestal een opbrengst van 30 m³ biogas per m³ mest gerekend. Ook deze hoeveelheid is niet extreem hoog. De huidige gerealiseerde installaties voegen meestal vetrijke producten toe om meer biogas te produceren (Fig. 7). Om dezelfde reden lijkt het Bio-One niet zinvol om champost in een vergistingsinstallatie te mengen bij bijvoorbeeld varkensmest. Dit zogenaamde co-vergisten wordt door LNV en Milieu ondersteund. Biomassa mag worden toegevoegd aan een vergistingsproces indien het een meststof is. De organische producten die hieraan voldoen staan op een zogenoemde positieve lijst mestvergisting. Het digestaat, het eindproduct, dient als bodemverbeterend middel en kan daarmee als meststof in de land- en tuinbouw worden gebruikt. Champost is een meststof en kan op de positieve lijst geplaatst worden. De champignonsector dient daarvoor zelf een verzoek in te dienen bij de Overheid (Janssen, mond. med.).

In de Ierse Republiek en Noord-Ierland doen zich problemen voor met de afzet van champost. Circa 80% van de champost wordt uitgereden over het land. Echter doordat er te weinig geschikt land is om champost uit te rijden, ontstaat overbemesting en raakte het oppervlakte- en grondwater vervuild met fosfaat. Gepoogd wordt om verdere vervuiling tegen te gaan door het uitrijden van champost te beperken. Een onderzoek is uitgevoerd naar de geschiktheid van champost om daaruit energie te winnen. Geconcludeerd was dat voor een anaerobe fermentatie voor de productie van alcohol en methaan champost niet geschikt was. Als verklaring werd gegeven dat champost veel moeilijk afbreekbare componenten bevat, zoals (hemi)cellulose en lignine, en reeds gecomposteerd is (RPS-MCOS, 2004).

Het afgelopen jaar zouden door Orgawold in samenwerking met een champosthandelaar vergistingsproeven worden gedaan met champost als co-product (Maas, 2004). Navraag leert dat dit project nog niet is gestart (Hofmans, mond. med.).

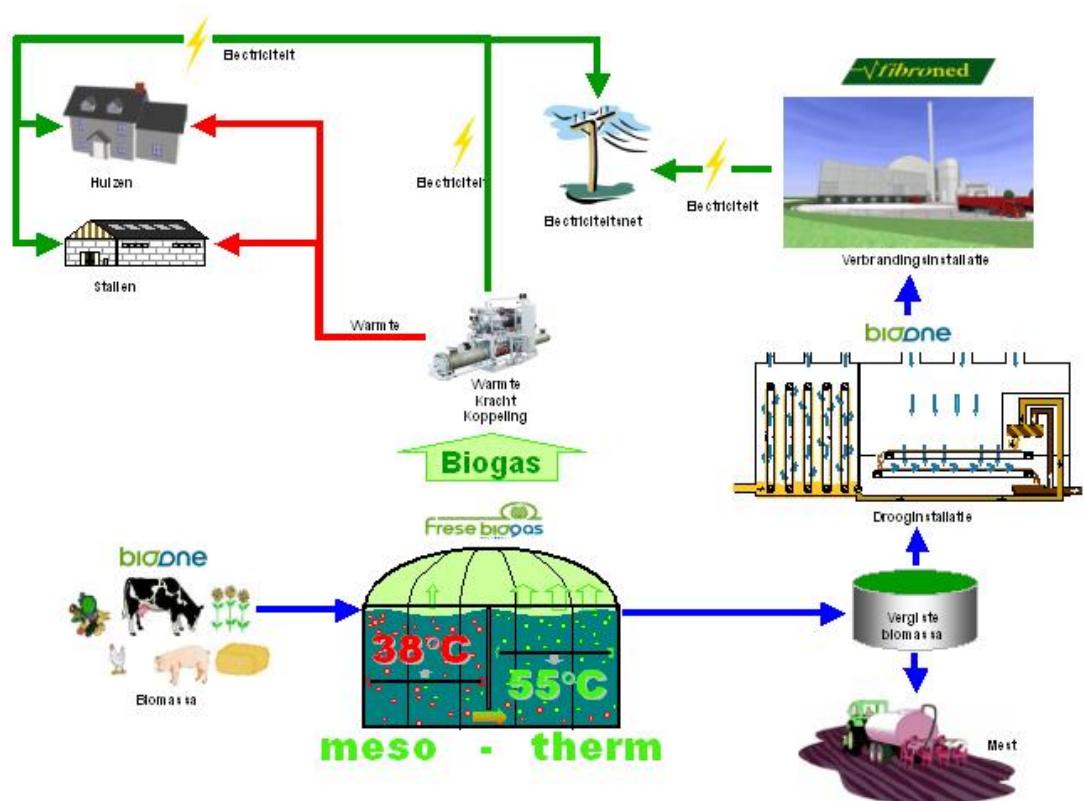


Fig. 7 Uit champost kan methaan gewonnen worden in een biogasinstallatie (Figuur BioOne).

4.5.2 Thermische energie

Uit verbrandingsproeven aan twee partijen champost, uitgevoerd in 1982 door de Recycling Maatschappij Limburg, werd een stookwaarde vastgesteld van 2,3 en 3,5 MJ per kg champost as received (Tabel 8; Kramer, 1982). De champost had een vochtgehalte van 64% en een asgehalte van 40%. Verbrandingsproeven met champost gemengd met kolen gaven een goede verbranding zonder stankoverlast. De stookwaarde van dit mengsel bedroeg 4,3 MJ per kg champost. Verder werd geconcludeerd dat om de economische haalbaarheid te vergroten, voordrogen van champost aan te bevelen was. Ook Musil kwam met Duitse champost tot deze conclusie (Musil, 1981).

De Biomass Technology Group B.V. (BTG) heeft aan een monster champost een stookwaarde van 2,9 MJ per kg champost as received gemeten (Tabel 8; Venendaal, 1996). In een studie was nagegaan of thermische verwerking van champost technisch mogelijk en economische haalbaar was. Geconcludeerd was dat het technisch mogelijk is om champost in een roosteroven te verbranden. Uit berekeningen volgde dat het de voorkeur heeft om de thermische energie uit champost te koppelen aan een WKK-centrale. Deze vorm van energieopwekking zou rendabel worden indien de champignonkweker € 9,- tot € 14,- per ton natte champost gaat betalen. De door de centrale gevraagde vergoeding voor de kosten kan omlaag indien de champignonkweker zelf voordroogt. Champost met een vochtgehalte lager dan 37% (stookwaarde minimaal 7,5 MJ/kg champost as received) zou thermische energiewinning rendabel maken.

Tabel 8. Brandstofkarakteristieken van champost (* vetgedrukte cijfers zijn gemeten waarden).

Substraat	Vochtgehalte	Asgehalte	Stookwaarde as received MJ/kg	Bron
	%	%		
champost	60		1.6	Musil, 1981
champost	64	40	3.5 *)	Kramer, 1982
champost	64	40	2.3	
champost + kolen	37	29	4.3	
champost + hout	43	23	2.9	
champost + kolen + snoeihout	44	23	3.6	
champost	67	28	2.9	Venendaal, 1996
champost	67	28	2.9	Boudewijn, 1998
champost voorgedroogd	35	28	7.8	
champost	60 - 77	27 - 33	3.2 - 4.6	Williams <i>et al.</i> , 2001
champost	-	-	4	Knops, mond. med.
champost	67	40	3 - 3.5	
champost voorgedroogd	30	40	8.2	
champost (voorgedroogde compost)	40	15	8.2	
champost voorgedroogd	10	40	10.5	

KEMA heeft een haalbaarheidsstudie uitgevoerd naar de thermische energieproductie uit champost (Boudewijn, 1998). Uitgegaan is van de stookwaarde van champost die genoemd is in het rapport van BTG (2,9 MJ/kg as received; Tabel 8). Omdat een goede wervelbed- en roosterverbranding mogelijk is bij een vochtgehalte van maximaal 35%, is een installatie ontworpen waarin de champost eerst wordt voorgedroogd met warmte afkomstig uit de verbrandingsoven. De resterende energie wordt omgezet in electriciteit. Dit betekent een interne WWK. De berekeningen resulteerden in een verwerkingstarief van minimaal € 20,- per ton natte champost. De conclusie was dat vergeleken met de op dat moment verbonden kosten voor de afzet van champost naar land- en tuinbouw een separate thermische verwerking van champost economisch niet aantrekkelijk was. Aanbevolen werd om te onderzoeken of champost geschikt is als bijstookproduct in een kolen gestookte installatie of in een installatie waarin zuiveringszand of pluimveemest wordt verbrand.

In Ierland is onderzoek verricht naar de geschiktheid van champost voor de productie van warmte en electriciteit. Er zijn verbrandingsexperimenten met champost uitgevoerd in verschillende type installaties. Gebleken is dat Ierse champost, dat een vochtgehalte heeft dat varieert tussen 60% en 77%, een verbrandingswarmte heeft dat ligt tussen 3,2 en 4,6 MJ per kg champost as received (Tabel 8; Williams *et al.*, 2001). Champost verbranden in een "stoker fired chain grate boiler" was niet succesvol. Ook het verbranden van een mengsel van kolen en champost verliep niet naar wens, omdat de champost te vochtig was.

In een ander type verbrandingsinstallatie is het wel mogelijk om champost te verbranden. Het gebruik van een "fluidised bed combustion test rig" was zeer succesvol en de verbrandingsefficiëncy uitstekend. De belangrijkste conclusies waren dat champost met een vochtgehalte van 70% 1 MW/m³ aan energie opleverde en dat verbranding van champost, voorgedroogd naar 50%, geen ondersteuning met aardgas vereiste. Berekend is dat een installatie met een capaciteit van 12 ton natte champost per uur (100.000 ton per jaar) 2 MW elektrische energie zou kunnen genereren. De installatiekosten bedragen tussen € 7,2 miljoen en € 11,6 miljoen bedragen (RPS-MCOS, 2004). De verbranding van champost is niet winstgevend. Het vochtgehalte is daarvoor te hoog. De kosten zijn hoger dan de baten. De verbranding van champost zou de kostprijs van champignons met 6 eurocent per kg doen stijgen (Williams, 2001).

Tot nog toe is in Ierland geen bouw van een verbrandingsinstallatie gerealiseerd. Hiertoe zouden in 2001 wel vergevorderde plannen bestaan voor de bouw van een installatie met een capaciteit van 350.000 ton per jaar, waarin 200.000 ton kippenmest en 150.000 ton champost zouden moeten worden verbrand (Monopower Ltd. in de omgeving van Emyvale, County Monaghan). Dit is afhankelijk van de kosten voor het

uitrijden van champost over het land. Voor de toekomst wordt verwacht dat voor champost kansen zijn in combinatie met een andere biomassa met een hogere verbrandingswarmte (co-combustion). Dat moet echter nog verder worden onderzocht.

Fibrowatt-UK, een partner van Bio-One Nederland, heeft in een biomassa energiecentrale op de lokatie in Eye proeven gedaan met champost. Geconcludeerd was dat champost niet geschikt was voor de winning van thermische energie doordat de verbranding slechts 4 MJ/kg champost as received opleverde door het hoge vocht- en asgehalte (Tabel 8; Knops, mond. med.).

Bio-One Nederland ziet perspectieven voor winning van thermische energie uit champost indien het wordt voorgedroogd tot een vochtgehalte van maximaal 30% (Knops, mond.med.). De berekende stookwaarde bedraagt dan 8,2 MJ/kg product as received. Nog verder voordrogen tot een vochtgehalte van de champost van 10% zou een duidelijke stookwaarde van 10,5 MJ/kg geven. Indien alleen de compost wordt aangeboden, dit betekent dat de dekaarde van de compost moet worden gescheiden, is voordrogen naar een vochtgehalte van 40% voldoende om een stookwaarde van eveneens 8,2 MJ/kg te bereiken. Een bijkomend voordeel van scheiden is dat de oven minder as produceert.

Niet alle eigenschappen van champost en van de investerings- en operationele kosten zijn bekend. Met name het assmeltgedrag van champost in een oven en de samenstelling van de rookgassen dienen verder te worden onderzocht. Verwacht wordt dat de mogelijke emissie van schadelijke componenten naar de lucht en bodem ruim binnen de normen blijven. Kleinschalige stookproeven in proefketels worden aanbevolen.

5 Conclusies

In dit rapport zijn de resultaten van een literatuurstudie en consultancy met experts van binnen en buiten de paddestoelensector weergegeven. Ook zijn de resultaten van verdiepende experimenten naar perspectievolle methoden gepresenteerd. Uit deze resultaten is gebleken dat hoewel er ogenschijnlijk geen alternatieven zijn, er wel mogelijkheden zijn om het energiegebruik in de champignonenteelt te reduceren. Zo kwam naar voren dat er alternatieven zijn die in de huidige teelt kunnen worden ingepast. Daaronder valt de afvoer van champost naar een centrale locatie voor verbranding. Dit is een mogelijkheid, waarbij het wel van belang is om de champost met een lopende band in een gesloten buis in een gesloten vrachtwagen af te voeren. Goede hygiëne is daarbij van belang.

Perspectiefvol is het di-electrisch ontsmetten van de champost. Deze methodiek is recent door de Kema op verzoek van een bedrijf buiten de champignonsector ontwikkeld. De resultaten van deze techniek zijn begin 2005 beschikbaar gekomen en lijken goed toepasbaar in de huidige teeltsystemen. Ook is het ontsmetten van champost met een thermische vijzel perspectiefvol en kan mogelijk worden toegepast binnen de champignonenteelt.

De grootste energie reducties kunnen behaald worden door systeeminnovaties. Een voorbeeld daarvan is het kistensysteem dat reeds in Nederland wordt toegepast. Dit systeem is een mobiel systeem waar slechts een teeltcel volgestapeld met lege kisten wordt dood gestoomd. De overige delen van dit bedrijf met een kistensysteem wordt ontsmet met ontsmettingsmiddelen.

Ook andere systeeminnovaties, zoals in substraatenteelt met voedingsoplossingen, leiden tot aanzienlijke energiereducties. Dit substraat biedt de mogelijkheid om ontsmet te worden met bijvoorbeeld UV-straling.

Technisch gezien liggen er verschillende mogelijkheden om het energiegebruik in de champignonenteelt aanzienlijk terug te dringen en het proces van doodstomen van champost te vervangen. In deze studie is voor zo ver mogelijk al een inschatting gemaakt van de economische haalbaarheid van de verschillende mogelijkheden. Dit was voor alle mogelijkheden nog niet mogelijk en dient in de toekomst nader te worden uitgewerkt.

Samenvattend kunnen de volgende conclusies worden weergegeven:

- Er zijn mogelijkheden om het energiegebruik in de champignonenteelt bij het doodstomen te reduceren.
- Alternatieven zijn beschikbaar voor het doodstomen van champost in de teeltcellen om het energiegebruik aanzienlijk te reduceren.
- Het centraal verbranden van champost biedt perspectieven.
- Het di-electrisch behandelen van champost in de nabije toekomst is een mogelijk alternatief voor doodstomen.
- Het behandelen van champost met een thermische vijzel is een mogelijk alternatief voor doodstomen.
- Het is mogelijk om met beperkte aanpassingen voor een gesloten systeem om ongestoomde champost af te voeren naar een centrale plaats te brengen voor verdere verwerking.
- Innovatieve teeltsystemen bieden mogelijkheden om het energieverbruik te reduceren.

- Teelt van champignons in kisten verloopt zodanig dat minder energie wordt verbruikt om de teeltruimten en kisten te ontsmetten dan de teeltcellen met stellingen.
- Substraatteelt met voedingsoplossing kost aanzienlijk minder dan doodstomen van teeltcellen met champost op de bedden.

6 Suggesties voor verder onderzoek

Op basis van de resultaten van dit project wordt voorgesteld om dit onderzoek voort te zetten en het volgende te onderzoeken. Hierbij wordt voorgesteld om zowel de technische aspecten mee te nemen als de economische aspecten:

- *Is het mogelijk om op korte termijn aanpassingen aan bestaande bedrijven te verrichten om het verwijderen van ongestoomde champost te realiseren voor vervoer naar een centrale locatie voor verdere verwerking?*
- *Welke aanpassingen zijn nodig aan di-electrisch behandelen van champost om het op korte termijn operationeel te maken?*
- *Welke aanpassingen zijn nodig aan het behandelen van champost met thermische vijzel om het op korte termijn operationeel te maken?*
- *Is het mogelijk om met kwantitatieve moleculaire technieken de infectiegraad van champost te meten en op basis daarvan het doodstoomproces af te stemmen?*
- *Onderzoek naar de toepassing van co-vergisten en verbranden van champost in combinatie van voordrogen. Er zijn bedrijven die willen participeren in dergelijk onderzoek.*
- *Onderzoek naar het verder ontwikkelen van mobiele teeltsystemen en substraatteelt wordt voorgesteld. Diverse bedrijven van binnen en buiten de champignonsector hebben interesse in dergelijke innovaties.*

7 Geraadpleegde literatuur

- Baar, J. en A.J. Rutjens. 2004. Bestrijding van ziekten in de paddestoelenteelt met behulp van plantenextracten. Rapport PPO-Paddestoelen no. 29, 14 p.
- Berg, G. van de (1997). Elektronenkanon schiet schimmels dood. *Boerderij/Akkerbouw* 82: 14 - 15.
- Berger, R. (1996). Humusdampfanlage mit neuester Technologie. Erste solare humusdampfanlage in Niederösterreich. *Der Gartenbau* 3: 20 - 21.
- Bleyaert, P. en E. Lapage. 2000. Middelen en alternatieven voor bodemontsmetting. *Proeftuin Nieuws* 23: 48 - 49
- Boudewijn, R. (1998). Haalbaarheidsstudie thermische verwerking champost. Studie uitgevoerd door KEMA in opdracht van Bromyc b.v., 47 p.
- Devine, D.A., A.P. Keech, D.J. Wood, R.A. Killington, H. Boyes, B. Doubleday en P.D. March (2001). Ultraviolet disinfection with a novel microwave-powered device. *Journal of Applied Microbiology* 91: 786 - 794.
- Dik, A.J., J.J. Amsing, C.M.J. Bloemhard, B.C. Boertjes en D.J. van der Gaag (2001). Inventarisatie van natuurlijke gewasbeschermingsmiddelen voor de glastuinbouw. Rapport PPO-Glastuinbouw, 13 p.
- E₃T (2004). Monitoring Meerjarenafspraak Energie Paddestoelensector 2003. E₃T consult b.v., rapportnummer clu8r001, 35 p.
- Flubacher, K. (1993). Substrat unter Strom. *Deutscher Gartenbau* 47: 10 - 11.
- Franco-Hernández, O, A.N. Mckelligan-Gonzalez, A.M. Lopez-Olguin, F. Espinosa-Ceron, E. Escamilla-Silva en L. Dendooven (2003). Dynamics of carbon, nitrogen and phosphorus in soil amended with irradiated, pasteurized and limed biosolids. *Bioresource Technology* 87: 93 - 102.
- Geels, F.P. (1992). Doodstomen: doe het goed! *De Champignoncultuur* 36: 491, 493.
- Ghini, R., J.F. Marques, T. Tokunaga en B.S.C. Sales (2000). Control of Phytophthora sp. and economic evaluation of a solar collector for substrate disinfection. *Fitopatologia-Venezolana* 13: 11 - 14.
- Gugenhan, E. (1993). MFT-Bodenhygiene zur Entseuchung von Dunnschichtsubstraten. *Zierpflanzenbau* 33: 116 - 117.
- Haskoning (1996). Inventarisatie energie-efficiency in de champignoncultuur. Hoofdrapport van Haskoning en IPC Plant-Horst, 45 p.
- Heer, H. de (2000). Bouwstenen Toelatingsbeleid Gewasbeschermingsmiddelen van Natuurlijke Oorsprong. Zicht op gezonde teelt. Startnotitie voor de uitwerkingsfase april - juni 2000. LNV-Directie Landbouw, 10 p.
- Höflich, G. en H.E. Freytag (1979). Bodenentseuchung durch Mikrowellen. *Archiv für Phytopathologie und Pflanzenschutz* 15: 63 - 72.

- Janssen, A.G.W. (1998). Micro-organismen op de elektronische stoel. Voedingmiddelentechnologie 31: 84 - 87.
- Kramer, J. (1982). Evaluatie van proefnemingen met laagwaardige energiedragende afvalstoffen. Een eerste benadering. Recycling Maatschappij Limburg. Intern rapport.
- Kromer, K.H. (1984). Bodensolarisation. Gemüse 1 : 21 - 23.
- Kwaak, J. van der (1982). Nieuwe methode vraagt minder arbeid en energie. Tuinderij 62: 42 - 43.
- Maas, M.J.J. (2004). De mogelijkheden van duurzame energie in paddestoelensector. Rapport C point, 30 p.
- Musil, V. (1981). Unter welchem Voraussetzungen kann Kompost Brennstoff ersetzen? Der Champignon, 235: 5 - 14.
- Nair, N.G. (1973). Heat therapy of virus-infected cultures of the cultivated mushroom *Agaricus bisporus*. Aust. J. Agric. Res., 24: 533 - 541.
- Os, E.A. van en H. Loeffen (2000). Hergebruik water op champignonteeltbedrijf. IMAG nota 22, 30 p.
- Quarles, W. (1997). Alternatives to methyl bromide in forest nurseries. The IPM Practitioner 3: 1 - 14.
- Plantenziektenkundige Dienst (2003). Gewasbeschermingsgids. Editor Wageningen Pers.
- Rasing, F.B. en W.J.L. Jansen (2004). Diëlektrisch ontsmetten van substraten. Een goed alternatief voor stomen? Rapport Kema Power Generation & Sustainables en Deconsult, 69 p.
- Raso, J. en G.V. Barbosa-Cánovas (2003). Nonthermal preservation of foods using combined processing techniques. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 43: 265 - 285.
- Roelofs, P.F.M.M., P.J.J.M. Nooijen en P.C. Vesseur (1999). Haalbaarheid van luchtdesinfectie door UV-straling in varkensstallen. Praktijkonderzoek Varkenshouderij, publicatie 230, 44 p.
- RPS-MCOS (2004). An assessment of the renewable energy resource potential of dry agricultural residues of Ireland. Report prepared for Sustainable Energy Ireland (SEI), funded by the Irish Government under the National Development Plan 2000 - 2006, 111 p.
- Runia, W. Th. (1984). Ontsmetten van steenwolmatten in een magnetronoven. Proefstation voor tuinbouw onder glas, Naaldwijk. Intern verslag no. 25, 3 p.
- Runia, W. Th. (1985). Onderzoek naar de werking van gammastralen ten aanzien van het komkommerbontvirus en het tabakmozaïekvirus in steenwolmatten. Proefstation voor tuinbouw onder glas, Naaldwijk. Intern verslag no. 16, 5 p.
- Rutjens A.J., F.P. Geels en L.J.L.D. van Griensven (1996). Doodstomen: korter dan 12 uur. De Champignoncultuur 40: 215 - 216.
- Schäfer, R., K.H. Kromer en J. Dallinger (1980). Methangewinnung durch Vergärung abgetragenen Champignoncompostes. Der Champignon 23 nov 1980, p. 5 - 10.
- Straatsma, G. (2003). De stroom van grondstoffen en reststoffen in de biologische champignonteelt. Rapport PPO-Paddestoelen no. 5, 12 p.

Thijssen, R. en W. Fauth (2003). NPT™-tunnel zorgt voor directe afdoding micro-organismen. Machinery and Foodmagazine 6: 4 - 6.

Vegter, B. (2003). Efficiënter met kuubs omgaan. Vakblad voor de bloemisterij 27: 44 - 45.

Venendaal, R. (1996). Champost als brandstof. Korte voorstudie uitgevoerd door BTG Biomass Technology Group B.V. en Universiteit Twente, in opdracht van Novem, 18 p.

Wambeke, E. van, A. Vanachter en C. van Assche (1987). Alternatieven in de ontsmetting van tuinbouwsubstraten. Agriccontact 184: 1 - 6.

Waver, M. en A. Osinski (1998). Application of gas-fired infra-red radiator to thermal disinfection of horticultural substrate. Problemy-Inzynierii-Rolniczej 2: 31 - 40.

Williams, B.C. (2001). Energy from spent mushroom compost. The Mushroom People. IPP Limited, Wilmslow, UK. Vol 3a, nr. 120, 8 - 18.

Williams, B.C.; J.T. McMullan en S. McCahey (2001). An initial assesement of spent mushroom compost as a potential energy feedstock. Bioresource Technology 79: 227 - 230.

Ijpma, H. en L.J.P. Smeets (1994). Energiebesparing in de champignonteelt. Rapport Dalsem-Veciap B.V. en T.U. Delft, 167 p.

Zaayen, A. van (1980). Chapter VI Mushroom viruses; in Viruses and plasmids in fungi. Ed. by P.A. Lemke.

Zaayen, A. van en A.J. Rutjens. (1981). Thermal death points for two Agaricus species and for the spores of some major pathogens. Mushroom Science XI, 393 - 402.

Zhu, Y. en A. van Roestel (2002). Oriënterende studie naar de mogelijkheid voor hergebruik van champost. Rapport PPO-Paddestoelen no. 20, 40 p.