

Haalbaarheid benutting restwarmte in de paddenstoelenteelt



Dit project is uitgevoerd in opdracht van en gefinancierd door de partijen in de Schone en Zuinige Paddenstoelenteelt (LTO Vakgroep Paddenstoelen, Productschap Tuinbouw, Ministerie van EL&I, Agentschap NL en paddenstoelentelers).

Gecontracteerd door
Agentschap NL
Postbus 8242
3503 RE Utrecht

Uitgevoerd door
J.H. Gielen
DLV Plant / Cpoint
Expeditiestraat 16a
5961 PX Horst

Projectnummer: PAD08002

Haalbaarheid benutting restwarmte in de paddenstoelenteelt

DLV Plant

Postbus 6207
5960 AE Horst

Expeditiestraat 16 a
5961 PX Horst

T 077 398 75 00

F 077 398 66 82

E info@dlvplant.nl

www.dlvplant.nl

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
1 Inleiding en doel	5
1.1 Doel van het project	5
1.2 State of the Art	5
2 Aanpak	7
2.1 Opzet	7
2.2 Werkwijze	7
3 Resultaten technische haalbaarheid	8
3.1 Waar is restwarmte beschikbaar c.q. hoe terug te winnen?	8
3.2 Indicatie beschikbare hoeveelheden restwarmte	9
3.3 Mogelijkheden direct hergebruik van restwarmte	12
3.4 Niet bruikbare restwarmte	17
3.5 Mogelijkheden indirect bruikbare restwarmte	18
4 Evaluatie technieken en economische perspectieven	20
4.1 Kruisstroom lucht-lucht warmtewisselaar (zie bijlage)	20
4.2 Warmteterugwinning deel koelcondensator (zie bijlage)	22
4.3 Rookgascondensator stoomketel (zie bijlage)	24
5 Conclusies en aanbevelingen	25
5.1 Conclusies	25
5.2 Aanbevelingen	28
Bijlagen	29
5.3 Bijlage 1: Informatiebronnen	29
5.4 Bijlage 2: Algemene technische beschrijvingen	30

Samenvatting

Eind 2008 heeft Agentschap NL aan Cpoint de opdracht gegeven om de haalbaarheid te onderzoeken van de benutting van restwarmte in de paddenstoelenteelt in Nederland, uitgaande van een standaard teeltbedrijf. In dit onderzoek zijn zowel de technische als ook de economische haalbaarheid van de mogelijkheden onderzocht. Gebruikte informatiebronnen voor dit onderzoek waren praktijkervaringen, literatuur en ontwikkelingen in andere sectoren. Wegens het ontbreken van harde gegevens zijn in deze studie veel aannames gemaakt moeten worden, waardoor de genoemde cijfers dan ook restwarmte als indicatief moeten worden opgevat. Belangrijk basisbron in deze studie was: "Energiebalans tussen groeiproces en klimaatregeling in de champignonenteelt" door J.H. Gielen, juli 1998.

We weten al dat binnen de mogelijkheden van de teelt van champignons afzonderlijke toegepaste technieken vormgeven aan "de champignonkwekerij van de toekomst". Hierbij is benutting van restwarmte een onderdeel van de mogelijkheden tot energiebesparing. Het benutten van restwarmte is voor alle ondernemers en organisaties één van de grootste uitdagingen bij het efficiënt omgaan met energie. Vele innovatieve technieken zijn pas rendabel als deze restwarmte goed kan worden benut. In deze studie is een analyse gemaakt hoe de energiestromen lopen op een standaardbedrijf, en waar restwarmte mogelijk benut kan worden. Hieruit bleek dat er vier mogelijkheden zijn om restwarmte terug te winnen:

- Via warmtewisselaar(s) op de overdrukopening(en)
- Via warmtewisselaar(s) op de koelcondensor(s)
- Alleen bij bedkoeling: via warmtewisselaar(s) op de bedkoeling(en)
- Via rookgascondensor(s) op de stoomketel(s)

Daarnaast is gekeken naar de direct te gebruiken restwarmte. Bij de overwegend toegepaste HR verwarmingsketel in de champignonenteelt wordt al restwarmte uit de rookgassen teruggewonnen, dus hier valt niets meer te halen. In de haalbaarheid zijn deze mogelijkheden verder geanalyseerd op technische en economische haalbaarheid.

Geconcludeerd werd dat het grootste gedeelte aan restwarmte erg laagwaardig is, wat betekent dat de teruggewonnen energie slechts ingezet kan worden op plaatsen waar vraag naar laagwaardige warmte is. Een groter deel van de restwarmte kan worden benut indien men een laagwaardig verwarmingscircuit (± 40 °C water) heeft. In totaal komt er in de champignonenteelt ca. 66,8 kWh/teelt/m² teeltoppervlakte aan restwarmte vrij, op basis van de besproken aannames. Een deel van deze restwarmte kan direct worden hergebruikt door installatie van een kruisstroom lucht-lucht warmtewisselaar en een rookgascondensor op de stoomketel waarmee het aanvoerwater wordt voorverwarmd. Alléén als men over een lage temperatuur verwarmingscircuit beschikt, dan kan ook een deel van de koelcondensor warmte hierin worden teruggewonnen, evenals een deel van de doodstoom warmte door het verwarmingsblok c.q. de bedkoeling als warmtewisselaar te gebruiken) Indien alle mogelijkheden worden benut, dan kan van de 66,8 kWh/teelt/m² aan restwarmte, ongeveer 21,25 kWh/teelt/m² zinvol worden teruggewonnen voor directe herbenutting. Dit komt overeen met 31,8 % van het totaal. Hierbij is er van uitgegaan, dat 1/3 van de koelcondensor warmte wordt teruggewonnen voor directe naverwarming.

De overige 2/3 van de koelcondensator warmte c.q. 23,8 kWh/teelt/ m² kan eventueel nog worden teruggewonnen. Echter, hiervoor is geen gelijktijdige warmtevraag op de kwekerij. Investerings in seizoensopslag, levering aan derden (warmte in de zomer!) e.d. zijn niet zinvol, zodat er geen opties zijn om dit deel van de restwarmte te herbenutten.

De economische evaluatie liet zien dat een kruisstroom warmtewisselaar met een berekende gasbesparing van 13,5 % en een terugverdientijd van 11,1 jaar (+/- 10 jaar met EIA), net buiten het gangbare bereik ligt om binnen redelijke termijn rendabel te zijn. Echter (op voorwaarde dat men over een laagwaardig verwarmingscircuit beschikt), is warmte terugwinning op de koelcondensators met een gasbesparing van 24,5 % en een terugverdientijd van 1,2 jaar (+/- 1,1 jaar met EIA) een zeer rendabele investering. Onder dezelfde voorwaarde is ook warmteterugwinning bij doodstomen met een gasbesparing van 3,5 %, zeer rendabel met een terugverdientijd van 2,9 jaar (+/- 2,6 jaar met EIA).

Een rookgascondensator op de stoomketel bespaart globaal 8 % op het gasverbruik. In deze studie is aangenomen dat 25 % van het totale gasverbruik voor de stoomketel is, daardoor zal de besparing op het totale gasverbruik niet meer dan 2 % bedragen. Hierdoor komt men op een terugverdientijd van 10,0 jaar (+/- 9 jaar met EIA). Daarmee ligt een investering in een rookgascondensator voor de stoomketel net buiten het gangbare bereik om binnen redelijke termijn rendabel te zijn. Indien men de stoomketel ook voor verwarming gebruikt dan is het besparingspercentage ca. 8 %. De terugverdientijd is in dat geval maar 2,5 jaar (+/- 2,3 jaar met EIA) en is een rookgascondensator voor de stoomketel een economisch rendabele investering met een korte terugverdientijd.

Aanbevelingen op basis van dit onderzoek voor installatie:

1. Rookgascondensator op stoomketel mits deze ook voor verwarming wordt gebruikt. Indien de stoomketel alleen voor doodstomen en eventueel stoombevochtiging wordt gebruikt, is een investering in een rookgascondensator (met de huidige energieprijzen) niet aan te bevelen.
2. Lage temperatuur verwarmingscircuit. Bij bestaande installaties komt overwegend een hoge temperatuur verwarmingscircuit voor. Ombouw naar lage temperatuur verwarming is meestal niet mogelijk, omdat hiervoor de verwarmingsblokken en de leidingen niet groot genoeg gedimensioneerd zijn en alles zou moeten worden vervangen. Verder zijn de verwarmingsketels niet geschikt om rechtstreeks op dergelijke lage temperaturen te werken. Indien het mogelijk is om bij renovatie, uitbreiding of nieuwbouw over te gaan naar een lage temperatuur verwarmingscircuit, dan kan dit zonder meer worden aanbevolen.
3. Warmtepomp. Het gebruik van een warmtepomp (als lage temperatuur verwarming) wordt aanbevolen, omdat de kosten van het verwarmen met een warmtepomp lager liggen dan van een (hoge temperatuur) gasgestookte verwarmingsketel. Daarnaast kan de warmtepomp in de zomer als koeling worden gebruikt.
4. Warmteterugwinning op de koelcondensator. Alléén indien er een lage temperatuur verwarmingscircuit aanwezig is, kan worden aanbevolen om een warmteterugwinning op de koelcondensator te installeren, waarmee maximaal 1/3 van condensatorwarmte kan worden teruggewonnen. Dit levert globaal een gasbesparing van 24,5 % op en een zeer korte terugverdientijd van ongeveer 1,2 jaar (+/- 1,1 jaar met EIA).
5. Warmteterugwinning doodstomen. Alléén indien er een lage temperatuur verwarmingscircuit aanwezig is, kan worden aanbevolen om te investeren in gestuurde warmteterugwinning van het doodstomen. Dit levert globaal een gasbesparing van 3,5 % op en een korte terugverdientijd van ongeveer 2,9 jaar (+/- 2,6 jaar met EIA).

1 Inleiding en doel

1.1 Doel van het project

Eind 2008 heeft Agentschap NL aan Cpoint de opdracht gegeven om de haalbaarheid te onderzoeken van de benutting van restwarmte in de paddenstoelenteelt in Nederland, uitgaande van een standaard teeltbedrijf. In dit onderzoek zijn zowel de technische als ook de economische haalbaarheid van toepassingen voor het hergebruik van restwarmte onderzocht. Gebruikte informatiebronnen voor dit onderzoek waren praktijkervaringen, literatuur en ontwikkelingen in andere sectoren. Op basis van dit onderzoek komen we tot aanbevelingen voor mogelijke interessante en realistische praktijktoepassingen op het vlak van restwarmte. Behalve de mogelijkheden in de huidige teeltsystemen zijn er mogelijk ook toepassingen denkbaar in de recente ontwikkelingen op het vlak van bedkoeling/-verwarming. In een dergelijk systeem zal laagwaardige warmte naar verwachting makkelijker inzetbaar zijn.

1.2 State of the Art

We weten al dat binnen de mogelijkheden van de teelt van champignons afzonderlijke toegepaste technieken vormgeven aan “de champignonkwekerij van de toekomst”. Hierbij is benutting van restwarmte een onderdeel van de mogelijkheden tot energiebesparing. Het benutten van restwarmte is voor alle ondernemers en organisaties één van de grootste uitdagingen bij het efficiënt omgaan met energie. Vele innovatieve technieken zijn pas rendabel als deze restwarmte goed kan worden benut. Voor de paddenstoelenteelt is het de uitdaging om de restwarmte die vrijkomt tijdens de teelt, optimaal te benutten in de behoefte aan energie in de bedrijfsvoering. In de benutting van restwarmte kunnen de afzonderlijk technische mogelijkheden in een totaal concept gecombineerd worden met duurzame energie opties. Ontwikkelingen op het gebied van directe sturing van het groeiproces (bedkoeling/-verwarming) kunnen hierin worden meegenomen om zo de beschikbare restwarmte optimaal te kunnen benutten.

In de champignonteelt is een groot overschot aan (laagwaardige) warmte. De basis hiervan wordt gevormd door de activiteit van de compost gedurende het groeiproces. De hierbij ontwikkelde warmte wordt uiteindelijk enerzijds via de condensor van het koelsysteem en anderzijds via de overdrukopening afgevoerd en aan de buitenlucht afgegeven. Het “weggooien” van deze energie is veel telers een doorn in het oog, omdat men gelijktijdig geconfronteerd wordt met hoge en telkens maar toenemende energiekosten. Ook uit het oogpunt van CO₂-reductie, zou benutting van deze energie, en de hiermee samenhangende vermindering van de primaire energiebehoefte, een zeer positieve ontwikkeling zijn. Het terugwinnen van de vrijkomende warmte van het groeiproces (incl. doodstomen) kan worden gerealiseerd door warmte terugwinning op de koelcondensor(s) en op de uitgaande lucht. Om de investering in een installatie eerder rendabel te maken, kunnen hieraan eventueel nog twee vormen van duurzame energiewinning worden toegevoegd, namelijk koude-warmte opslag (KWO) en zonnepanelen. Op deze wijze wordt er dan warmte gewonnen vanuit het groeiproces, de bodem en de zon.

In de champignonteelt heeft men te maken met een overschot aan laagwaardige warmte enerzijds en koelbehoefte anderzijds. Omdat er maar een beperkte gelijktijdige behoefte aan warmte en koude is, zijn er 2 mogelijkheden om de op deze wijze gewonnen warmte op het eigen bedrijf voor de klimaatregeling te benutten: Enerzijds kan men de warmte opslaan (zoals met koude / warmte opslag), tot het jaargetijde waarin deze benut kan worden. Anderzijds als voorkeursoptie bestaat de mogelijkheid om deze warmte rechtstreeks om te zetten en te benutten t.b.v. koeling door middel van een absorptie koelsysteem. Hierbij wordt warmte gebruikt om koeling op te wekken, het omgekeerde koelkastprincipe. Omdat de aangeboden warmte voor rechtstreekse benutting onvoldoende hoogwaardig zal zijn, zal deze moeten worden opgehoogd. Hiervoor zou bv. een warmtepomp en/of een aanvullende gasverwarming kunnen worden gebruikt.

Daarnaast bestaat de mogelijkheid om de gewonnen warmte te benutten t.b.v. het indrogen van champost. Op deze wijze kan men het transportgewicht verlagen c.q. komt het verbranden van champost t.b.v. energieopwekking dichterbij. Indien er op de eigen kwekerij onvoldoende gebruik kan worden gemaakt van de gewonnen warmte, is er ook nog de optie van het leveren van warmte aan derden, ofwel de champignonkwekerij als energieleverancier.

2 Aanpak

2.1 Opzet

In het haalbaarheidsonderzoek is in eerste instantie gekeken naar waar in een standaard teeltsysteem warmteoverschotten worden gerealiseerd. Voor zover mogelijk is tevens nagegaan, berekend of anders indicatief, om hoeveel warmteoverschot het gaat en met welke temperatuur. Voor de benutting van de warmteoverschotten is gekeken naar technieken zoals warmteterugwinning, koude /warmte opslag (KWO), absorptiekoeling, champost droging, gebruik door derden, koppeling van technieken, technische en economische haalbaarheid etc.

2.2 Werkwijze

Het plan van aanpak is opgesplitst in een aantal activiteiten welke moeten leiden naar de technische en tevens economisch haalbare opties voor hergebruik van restwarmte. Hierbij kan het haalbaarheidsonderzoek in de volgende werkzaamheden worden opgesplitst, waarin de kansen verder worden onderbouwd:

- Inventarisatie waar, hoe en hoeveel warmte uit het productieproces kan worden teruggewonnen
- Inventarisatie mogelijkheden voor direct hergebruik (in de teelt, bedkoeling/-verwarming, champost droging of levering derden)
- Inventarisatie mogelijkheden omzetting naar koude (via absorptie koeling)
- Inventarisatie mogelijkheden KWO seizoensopslag (koude/warmte opslag)
- Mogelijke technische combinaties
- Technische en economische evaluatie

3 Resultaten technische haalbaarheid

3.1 Waar is restwarmte beschikbaar c.q. hoe terug te winnen?

Bij het bepalen van de mogelijkheden om warmte terug te winnen, wordt uitgegaan van een standaard teeltbedrijf met een standaard klimaatinstallatie. Als men het teeltproces nader analyseert, dan wordt duidelijk dat er alleen warmte kan worden teruggewonnen op momenten dat er ook warmte uit de cel moet worden afgevoerd.

Koelcondensor(s) en overdrukopening(en)

Er is dus alleen sprake van een warmte overschot op momenten dat er moet worden gekoeld (via de koeling of via de luchtverversing). Door de activiteit van de compost gedurende het groeiproces wordt warmte ontwikkeld, welke uiteindelijk ofwel via de condensor van het koelsysteem of via de overdrukopening moet worden afgevoerd naar de buitenlucht. Het terugwinnen van de vrijkomende warmte van het groeiproces (incl. doodstomen) kan dan ook worden gerealiseerd door het toepassen van warmte terugwinning op de koelcondensor(s) en op de overdrukopening(en).

Bedkoeling

Behalve het huidige teeltsysteem zijn er sinds kort ook enkele bedrijven welke gebruik maken van bedkoeling/-verwarming. Hierbij ligt een leidingsysteem onder de compost waarmee indien nodig de compost direct gekoeld (of verwarmd) kan worden. Indien dit systeem wordt gebruikt om de compost te koelen, is er ook sprake van warmteoverschot. Via een warmteterugwinning op de bedkoeling zou deze (laagwaardige) warmte kunnen worden teruggewonnen. Opgemerkt dient te worden dat bij directe bedkoeling er natuurlijk minder warmte via de gewone koeling en de overdrukopening(en) hoeven te worden afgevoerd.

Stoomketel

Qua technische installatie moet worden nagegaan of er, behalve de warmteterugwinning op de koelcondensor(s), overdrukopening(en) en eventueel bedkoeling, ook nog andere mogelijkheden tot warmteterugwinning zijn. Tegenwoordig zijn bijna alle bedrijven voorzien van een HR verwarmingsketel dus op dit vlak liggen weinig mogelijkheden meer.,mits bij gebruik van een stoomketel die bovendien als verwarmingsbron wordt gebruikt Omdat er vaak geen rookgascondensor aanwezig is, zal er tijdens het gebruik van de stoomketel onnodig warmte via de rookgassen verloren gaan. Via een rookgascondensor op de stoomketel kan deze worden teruggewonnen.

Samengevat zijn er dus 4 mogelijkheden om restwarmte terug te winnen:

- Via warmtewisselaar(s) op de overdrukopening(en)
- Via warmtewisselaar(s) op de koelcondensor(s)
- Alleen bij bedkoeling: via warmtewisselaar(s) op de bedkoeling(en)
- Via rookgascondensor(s) op de stoomketel(s)

Bovengenoemde 4 technieken worden binnen de champignonsector individueel al op enkele bedrijven toegepast. Dit betekent echter niet dat de teruggewonnen warmte ook in alle gevallen weer zinvol wordt herbenut. Dit is namelijk geheel afhankelijk van de technieken voor herbenutting die worden gebruikt.

3.2 Indicatie beschikbare hoeveelheden restwarmte

Het bepalen van de beschikbare c.q. terug te winnen hoeveelheden restwarmte is niet eenvoudig. Ondanks dat er wel energie verbruikscijfers zijn van het elektra- en gasverbruik op een kwekerij, geven deze niet aan hoeveel energie er bij overdrukopeningen, koelcondensoren, bedkoeling en rookgascondensoren kan worden teruggewonnen. Hiervoor zou het nodig zijn om onder teeltomstandigheden jaarrond metingen op deze plekken te verrichten. Zelfs dan zullen er nog verschillen zijn tussen de diverse teeltmethodes c.q. tussen pluk- en mechanische oogstbedrijven zijn. De meest nauwkeurige indicaties zijn te herleiden uit de projectrapportage “Energiebalans tussen groeiproces en klimaatregeling in de champignonteelt”, uit 1988.(1). Het betreft jaarrond metingen van meerdere teelten (mechanische oogst) op doorgroeide compost. De gegevens zijn gemiddeld van een 6,5 weken teeltschema met een vulgewicht van 95 kg/m², met 1 kg/m² bijgevoed en een productie van 33 kg/m². Momenteel zijn de teeltschema’s meestal korter, is het vulgewicht wat lager, wordt er wat meer bijgevoed en is de productie wat hoger. Een korter teeltschema en een lager vulgewicht zullen minder warmte overschot tot gevolg hebben, maar meer bijvoeden en een hogere productie juist weer meer. Omdat er geen aanvullende meetgegevens beschikbaar zijn voor een nauwkeurigere bepaling, zullen ter indicatie de gegevens uit de genoemde rapportage worden gebruikt.

Restwarmte via de overdrukopening(en)*

Teelt tot aan doodstomen

Op basis van de geregistreerde gegevens uit het project “Energiebalans tussen groeiproces en klimaatregeling in de champignonteelt” wordt er luchtzijdig via de overdrukopening per teeltronde tot aan het doodstomen een gemiddelde hoeveelheid warmte van afgerond 22 kWh/teelt/m² teeltoppervlakte afgegeven. Op basis van benaderingsberekeningen t.b.v. deze rapportage, lijkt dit zelfs nog hoger te kunnen liggen.

Doodstomen

Behalve de warmte die tijdens de teelt wordt afgegeven via de overdrukopening, zal er ook bij het afkoelen na het (eventuele) doodstomen warmte via de overdrukopening worden afgegeven. Hieraan is echter nooit gemeten. Verder is deze hoeveelheid warmte sterk afhankelijk van de wijze van doodstomen en de constructie van het gebouw (niet / leeg / vol doodstomen, temperatuur niveau, tijdsduur en ventilatorstand doodstomen, gasbeton of panelen). In de huidige kortere teeltschema’s is ziektedruk sterk verminderd en wordt er ook beperkter doodgestoomd. Hierdoor zal ook warmteterugwinning van het doodstomen minder interessant worden.

Omdat in het project “Energiebalans tussen groeiproces en klimaatregeling in de champignonteelt” wel de benodigde warmte is gemeten voor het opwarmen en doodstomen, zou men deze als een indicatieve waarde kunnen gebruiken van de warmte die na het doodstomen ook weer moet worden afgevoerd. De gemiddelde hoeveelheid luchtzijdige warmte per teeltronde voor het opwarmen en doodstomen bedroeg afgerond 7,5 kWh/teelt/m² teeltoppervlakte. Deze waarde wordt verder gehanteerd in deze rapportage omdat er geen betere informatie beschikbaar is.

Restwarmte via de koelcondensor(s)*

Ook uit het eerder genoemde project wordt er luchtzijdig door de koeling per teeltronde tot aan het doodstomen een gemiddelde hoeveelheid warmte van afgerond 33 kWh/teelt/m²

teeltoppervlakte opgenomen. Op basis van benaderingsberekeningen t.b.v. deze rapportage, zou dit lager te kunnen liggen. De bij de condensor afgegeven hoeveelheid warmte zal waarschijnlijk hoger liggen omdat ook een deel van de warmte van de compressor via de condensor moet worden afgevoerd. Hiervoor mag globaal 10 % extra capaciteit worden gehanteerd, zodat door de condensor een gemiddelde hoeveelheid warmte van ongeveer 36 kWh/teelt/m² teeltoppervlakte zal worden afgegeven.

Alleen bij bedkoeling: Restwarmte via de bedkoeling(en)*

Op basis van de geregistreerde gegevens uit het project "Energiebalans tussen groeiproces en klimaatregeling in de champignonteelt" wordt er luchtzijdig door de compost per teeltronde tot aan het doodstomen een gemiddelde hoeveelheid warmte van afgerond 23 kWh/teelt/m² teeltoppervlakte afgegeven. Op basis van benaderingsberekeningen t.b.v. deze rapportage, lijkt dit zelfs iets hoger te kunnen liggen. Globaal mag men er van uitgaan, dat bij een bedkoeling systeem iets minder warmte door de compost hoeft te worden afgegeven, omdat de activiteit hiermee beter beheersbaar is. Verder zal bij gebruik van bedkoeling maar een deel van de warmte via de bedkoeling worden afgegeven en het andere deel zal nog steeds aan de cellucht worden afgegeven. Hoe deze verhouding zal zijn is niet bekend, omdat er nog geen energiemetingen aan het systeem van bedkoeling hebben plaatsgevonden. Voor deze rapportage wordt daarom uitgegaan dat ongeveer de helft ofwel 11,5 kWh/teelt/m² teeltoppervlakte via de bedkoeling wordt afgegeven (en de andere helft traditioneel via de cellucht).

Stoomketel(s): Restwarmte via de rookgassen*

In de champignonteelt wordt veelal gebruik gemaakt van lage druk (< 0,5 bar) stoomketels voor doodstomen/stoombevochtiging en in enkele gevallen tevens voor de verwarming. In nagenoeg alle gevallen zijn deze niet van een rookgascondensator voorzien. Naarmate een stoomketel meer bedrijfsuren kent wordt het interessanter om hierop een rookgascondensator toe te passen voor warmteterugwinning. Het aantal bedrijfsuren van een stoomketel kent echter een enorme variatie per bedrijf (afhankelijk van al dan niet; doodstomen, met stoom bevochtigen of met stoom verwarmen). Om toch tot een sector inschatting te komen zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd: Het gemiddelde gasverbruik in de sector is ongeveer 4 m³/teelt/m² teeltoppervlakte. Hiervan wordt met het huidige beperkte doodstoom regime ongeveer 25 % ofwel 1 m³/teelt/m² teeltoppervlakte voor het doodstomen gebruikt. Bij de verbranding van 1 m³ aardgas komt 31,65 MJ ofwel 8,8 kW thermische energie vrij. Voor het doodstomen is globaal 1 m³/teelt/m² teeltoppervlakte nodig ofwel omgerekend 8,8 kW/teelt/m² teeltoppervlakte. Dit ligt overigens vrij aardig in lijn met de eerder aangegeven luchtzijdige meetwaarde van 7,5 kWh/teelt/m². Het aandeel dat via de rookgassen van de stoomketel wordt afgevoerd zou in grote lijnen het verschil tussen deze 2 waarden moeten zijn ofwel (8,8-7,5 =) 1,3 kWh/teelt/m² teeltoppervlakte.

Samengevat*

Wat de afvoer van restwarmte uit de champignonteelt betreft, vindt deze plaats via de overdrukopening(en), de koelcondensor(s) en de rookgassen van de stoomketel. Bij de overwegend toegepaste HR verwarmingsketel wordt al restwarmte uit de rookgassen teruggewonnen, dus hier valt niets meer te halen. Bij het systeem met bedkoeling wordt een deel van de compostwarmte via de bedkoeling afgegeven en hierdoor minder via de overdrukopening(en) en de koelcondensor(s).

In totaal* wordt er op basis van de voorgaande analyse per teeltronde globaal: 22 kWh/teelt/m² (via de overdrukopening tot doodstomen) + 7,5 kWh/teelt/m² (via de overdrukopening na doodstomen) + 36 kWh/teelt/m² (via de koelcondensoren) + 1,3 kWh/teelt/m² (via de stoomketel rookgassen) is 66,8 kWh/teelt/m² teeltoppervlakte afgegeven (zie onderstaande tabel 1). Bij het systeem met bedkoeling zullen deze waarden door de betere beheersbaarheid iets lager liggen. Hiervan zijn nog geen meetgegevens beschikbaar.

Restwarmte per teelt per m ² (kWh/teelt/m ²)*	
Overdrukopening teelt tot Doodstomen	22
Afkoelen na Doodstomen	7,5
Koelcondensor	36
Rookgassen stoomketel	1,3
Totaal restwarmte	66,8

* Gegevens in kWh thermische energie

3.3 Mogelijkheden direct hergebruik van restwarmte

De meest simpele manier om vrij gekomen warmte te benutten is om deze direct te hergebruiken. Vaak is dit niet altijd mogelijk en onder andere afhankelijk van het teeltproces, het buitenklimaat en de temperatuur van de beschikbare warmte. Een van de knelpunten hierbij is de gelijktijdigheid. Met andere woorden: wanneer er bij een cel restwarmte teruggewonnen kan worden, wil dit niet altijd zeggen dat deze restwarmte op hetzelfde moment bij dezelfde cel ook weer kan worden hergebruikt. Per situatie zullen we de mogelijkheden voor direct hergebruik op cel niveau en eventueel ook op bedrijfsniveau bekijken.

Direct hergebruik restwarmte via de overdrukopening(en)

Overdrukopening(en) en teelt tot aan het doodstomen

Zoals in het vorige hoofdstuk aangegeven, wordt er luchtzijdig via de overdrukopening per teeltronde tot aan het doodstomen (indicatief) een gemiddelde hoeveelheid warmte van afgerond 22 kWh/teelt/m² teeltoppervlakte afgegeven. Indien deze warmte vrijkomt op momenten dat de teelt (qua temperatuur) gekoeld moet worden, zal er dus op celniveau geen behoefte zijn om de restwarmte te hergebruiken. Indien een teelt moet worden verwarmd, terwijl gelijktijdig restwarmte via de overdrukopening wordt afgevoerd, is directe herbenutting mogelijk. Dergelijke situaties doen zich voor tijdens het ontvochtigen (koeling en naverwarming nodig) en tijdens het verwarmen in de koudere jaargetijden. Dit in combinatie met de noodzakelijke luchtverversing voor de teelt, waarbij dan warmte via de overdrukopeningen wordt afgevoerd.

Concreet: indien er verversing plaatsvindt en er wordt tevens verwarming gevraagd, kan de restwarmte van de overdrukopening(en) op celniveau direct worden hergebruikt, mits de afgevoerde cellucht warmer is dan de buitenlucht. Voor deze directe herbenutting kan dan een kruisstroom lucht-lucht warmtewisselaar worden gebruikt, waarbij de uitgaande luchtstroom van de cel (overdruk lucht) warmte afgeeft aan de ingaande luchtstroom van de cel (verse lucht). Omdat er echter ook situaties voorkomen waarbij deze kruisstroom lucht-lucht warmtewisselaar averechts werkt (denk maar aan het afkoelen van de cel na doodstomen), zal er tevens een automatisch geregelde bypass nodig zijn. Deze bypass moet dan opengaan als er geen warmte wordt gevraagd en/of de buitenlucht warmer is dan de afgevoerde cellucht. De hoeveelheid energie die op deze wijze terug te winnen is, is indicatief gezien het grote aantal variabelen. In de geregistreerde warmte afvoer via de overdrukopening(en) van afgerond 22 kWh/teelt/m² teeltoppervlakte is al verwerkt dat er verversing nodig is én dat de cellucht warmer is dan de buitenlucht. Voor deze benadering wordt uitgegaan dat een kruisstroom lucht-lucht warmtewisselaar een gemiddeld rendement van 50 % haalt en dat er gemiddeld op jaarbasis gedurende 60 % van de teeltduur enige vorm van verwarming/naverwarming nodig is. (bron: "Energiebalans tussen groeiproces en klimaatregeling in de champignonteelt" (1)) De warmtewisselaar kan in dat geval globaal 50 % van afgerond 22 kWh/teelt/m² = 11 kWh/teelt/m² teeltoppervlakte terugwinnen. Omdat deze terugwinning alleen zinvol is indien er verwarming wordt gevraagd zal er globaal 60 % van 11 kWh/teelt/m² = 6,6 kWh/teelt/m² teeltoppervlakte direct kunnen worden hergebruikt. De overige (22 - 6,6 =) 15,4 kWh/teelt/m² kunnen niet worden hergebruikt en worden gewoon via de overdrukopening(en) afgevoerd (bypass gaat indien nodig open).

Verwarmingsblok en afkoelen na Doodstomen

In periodes dat er geen verwarming wordt gevraagd, maar er wel een warmteoverschot via de overdrukopening(en) wordt afgevoerd, zal de bypass open moeten staan en wordt er dus geen warmte teruggewonnen. Hieronder valt ook het afkoelen na doodstomen. Directe herbenutting op celniveau is dus niet mogelijk. Wel kan er eventueel enige warmte worden teruggewonnen in het verwarmingscircuit mits dit op lagere temperaturen is uitgelegd. (Bij een verwarmingscircuit dat bv. op 70 °C werkt is deze oplossing niet toepasbaar).

Voorbeeld: Indien er op 65 °C wordt doodgestoomd en het verwarmingsstelsel werkt op bv. 45 °C, dan kan op eenvoudige wijze het verwarmingsblok van de cel worden opengestuurd tijdens het afkoelen na doodstomen (luchtklep blijft dan dicht), waardoor de cellucht wordt afgekoeld met het verwarmingsblok tot de cellucht daalt naar een temperatuur van bv. 50 °C en de afkoeling vanwege het te geringe temperatuurverschil te traag gaat worden. Op dat punt kan de verwarming weer dicht worden gestuurd en hierna de luchtklep open om de verdere afkoeling te realiseren. Voor een dergelijke oplossing dient bij voorkeur de watertemperatuur van het verwarmingsblok gemeten te worden om zo een nauwkeurige sturing mogelijk te kunnen maken.

Zoals in het vorige hoofdstuk aangegeven, wordt er tijdens het afkoelen na doodstomen luchtzijdig via de overdrukopening per teeltronde een gemiddelde hoeveelheid warmte van afgerond 7,5 kWh/teelt/m² teeltoppervlakte afgegeven. Zoals hierboven aangegeven, kan een deel van deze restwarmte teruggewonnen worden via het verwarmingsblok in een lage temperatuur verwarmingscircuit. Om een indicatie te krijgen van de hoeveelheid restwarmte die op deze wijze terug te winnen is, moeten er een aantal aannames worden gedaan: het rendement van het verwarmingsblok als warmtewisselaar is bv. 70 % en omdat de cellucht maar tot +/- 50 °C zal worden afgekoeld wegens het temperatuurniveau van het laagwaardige verwarmingscircuit, zal er slechts 1/3 van de doodstoom warmte kunnen worden afgevoerd. De via het verwarmingsblok terug te winnen hoeveelheid restwarmte bij het afkoelen doodstomen is dan: $((7,5 \text{ kWh/teelt/m}^2 * 1/3) * 0,7 =) 1,75 \text{ kWh/teelt/m}^2$ teeltoppervlakte. De overige $(7,5 - 1,75 =) 5,75 \text{ kWh/teelt/m}^2$ kunnen niet worden hergebruikt en worden gewoon via de overdrukopening(en) afgevoerd (luchtklep en bypass indien nodig gaan dan open).

Direct hergebruik restwarmte via de koelcondensor

Naverwarmen tijdens ontvochtigen

Zoals in het vorige hoofdstuk aangegeven, wordt er luchtzijdig via de koelcondensor per teeltronde tot aan het doodstomen (indicatief) een gemiddelde hoeveelheid warmte van afgerond 36 kWh/teelt/m² teeltoppervlakte afgegeven. Deze warmte kan middels een extra (naar behoefte inschakelbare) watergekoelde condensor worden teruggewonnen in het verwarmingscircuit, mits dit op lagere temperaturen (bv. 45 °C) werkt. Bij een verwarmingscircuit dat bv. op 70 °C werkt is deze oplossing niet toepasbaar.

De op deze wijze teruggewonnen warmte kan op bedrijfsniveau worden ingezet voor de cellen die (ondanks het koelseizoen) verwarming vragen voor de temperatuurregeling of voor het naverwarmen tijdens het ontvochtigen. Aangezien er in het koelseizoen hoofdzakelijk alleen maar warmte nodig is voor het naverwarmen tijdens het ontvochtigen, hoeft maar een deel van het warmteoverschot van de koelcondensoren te worden teruggewonnen. Op basis van klimaatniveaus in de champignonenteelt kan globaal worden vastgesteld (zie onderstaande tabel 2), dat voor het naverwarmen ongeveer 34 % van de condensorwarmte kan worden hergebruikt. Op basis van de gemiddelde hoeveelheid

afgegeven condensorwarmte van afgerond 36 kWh/teelt/m² teeltoppervlakte, zou er dus 34 % van 36 kWh/teelt/m² = 12,2 kWh/teelt/m² teeltoppervlakte kunnen worden hergebruikt. De overige (36-12,2 =) 23,8 kWh/teelt/m² teeltoppervlakte kunnen niet direct worden hergebruikt. In het volgende hoofdstuk wordt nagegaan of hiervoor nog een oplossing mogelijk is.

	Temp. C	RV %	h kJ/kg
Celklimaat	18,5	88	48,4
Na koeling	10,5	100	30,4
Na verwarming	17,0	66	37,1
Warmte afvoer koelen			18,0 kJ/kg
Compressorwarmte (10 %)			1,8 kJ/kg
Condensor warmteafvoer			19,8 kJ/kg
Naverwarming			6,6 kJ/kg
% naverwarming			34%

Direct hergebruik restwarmte bedkoeling(en) (alleen bij bedkoeling)

Doordat via bedkoeling de composttemperatuur (uitgaande van gelijke vulgewichten) beter beheersbaar is en dus minder ver zal oplopen, zal deze ook minder activiteit ontwikkelen en dus minder warmte afgeven dan in een traditioneel teeltsysteem. In hoeverre bedkoeling hierdoor ook een lager energiegebruik zal hebben is nog niet bekend.

Bedkoeling en teelt tot aan het doodstomen

Zoals aangegeven, wordt er door de compost per teeltronde tot aan het doodstomen een gemiddelde hoeveelheid warmte van 11,5 kWh/teelt/m² teeltoppervlakte via de bedkoeling afgegeven (en de andere helft traditioneel via de cellucht). Deze restwarmte kan niet bij dezelfde cel worden herbenut. Voor benutting in een andere cel die bedverwarming vraagt, zou benutting wel mogelijk zijn. Probleem is echter dat deze restwarmte maar een maximale watertemperatuur van 20-23 °C zal hebben. Normaal vindt bedkoeling/bedverwarming plaats door een bedcircuit dat via warmte wisselaars is gekoppeld aan de koeling en de verwarming. Zelfs al zou er van een z.g. lage temperatuur verwarmingscircuit gebruik gemaakt worden, dan zal hiervan de watertemperatuur +/- 45 °C bedragen. Dus onmogelijk om eventuele teruggewonnen warmte (20-23 °C) van de bedkoeling af te geven aan een lage temperatuur verwarmingscircuit (45 °C).

Warmteterugwinning via de bedkoeling (periode tot doodstomen) heeft dan ook geen enkel nut.

Bedkoeling en afkoelen na doodstomen

Om warmte terug te kunnen winnen vanuit de bedkoeling, dient de watertemperatuur van de bedkoeling hoger te liggen dan het water van bv. een laagwaardig verwarmingscircuit. Dit komt eigenlijk alleen voor tijdens het afkoelen na doodstomen. Op dezelfde wijze (zoals aangegeven bij het terugwinnen van de doodstoom warmte via het verwarmingsblok) kan bij het bedkoeling systeem, enige warmte van het doodstomen worden teruggewonnen in het verwarmingscircuit mits dit op lagere temperaturen werkt. (Bij een verwarmingscircuit dat bv. op 70 °C werkt is deze oplossing niet toepasbaar). Voorbeeld: Indien er op 65 °C wordt doodgestoomd en het verwarmingscircuit werkt op bv. 45 °C, dan kan op eenvoudige wijze de bedkoeling van de cel worden opgestuurd tijdens het afkoelen na doodstomen (luchtklep blijft dan dicht), waardoor de compost/lucht (afhankelijk of vol/leeg

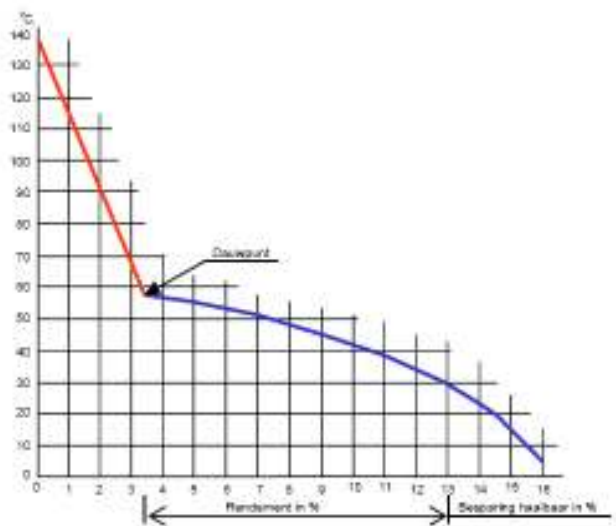
wordt doodgestoomd) wordt afgekoeld met de bedkoeling tot de compost/lucht daalt naar een temperatuur van bv. 50 °C en de afkoeling vanwege het te geringe temperatuurverschil te traag gaat worden. Op dat punt kan de bedkoeling weer dicht worden gestuurd en hierna de luchtklep open om de verdere afkoeling te realiseren. Voor een dergelijke oplossing dient bij voorkeur de watertemperatuur van de bedkoeling gemeten te worden om zo een nauwkeurige sturing mogelijk te kunnen maken.

Zoals eerder aangegeven, wordt er tijdens het afkoelen na doodstomen luchtzijdig via de overdrukopening per teeltronde circa 7,5 kWh/teelt/m² teeltoppervlakte afgegeven. Een deel van deze restwarmte kan worden teruggewonnen via de bedkoeling in een lage temperatuur verwarmingscircuit. De terug te winnen hoeveelheid restwarmte via de bedkoeling bij het afkoelen doodstomen is dan indicatief: $((7,5 \text{ kWh/teelt/m}^2 * 1/3) * 0,7 =) 1,75 \text{ kWh/teelt/m}^2$ teeltoppervlakte. De overige $(7,5 - 1,75 =) 5,75 \text{ kWh/teelt/m}^2$ kunnen niet worden hergebruikt en worden gewoon via de overdrukopening(en) afgevoerd (luchtklep en bypass indien nodig gaan dan open). Op basis van eerder genoemde aannames als bij warmteterugwinning via het verwarmingsblok.

Direct hergebruik restwarmte rookgassen stoomketel(s)

Rookgascondensator op stoomketel(s)

Zoals in het vorige hoofdstuk aangegeven, wordt er via de rookgassen van de stoomketel per teeltronde in grote lijnen een gemiddelde hoeveelheid warmte van afgerond 1,3 kWh/teelt/m² teeltoppervlakte afgegeven. Voor het doodstomen is ca. 1 m³/teelt/m² teeltoppervlakte nodig ofwel omgerekend 8,8 kW/teelt/m² teeltoppervlakte. De besparing van een rookgascondensator bedraagt ongeveer 8 % op het gasverbruik van de stoomketel (zie onderstaande tekening). Omgerekend is dit $(8,8 \text{ kW/teelt/m}^2 * 8 \% =) 0,7 \text{ kW/teelt/m}^2$ teeltoppervlakte.



Bron: Van der Mark Ketelonderhoud B.V.

Van de 1,3 kW/teelt/m² teeltoppervlakte die via de rookgassen wordt afgevoerd kan dus ca. 0,7 kW/teelt/m² teeltoppervlakte worden teruggewonnen. De rookgascondensator zelf heeft dan een rendement van $(0,7/1,3 =) 54 \%$. Ondanks dat dit een rekenkundige benadering is, levert dit naar inschatting vrij realistische getallen op. Direct hergebruik van de via de rookgascondensator teruggewonnen restwarmte van 0,7 kW/teelt/m² teeltoppervlakte is mogelijk, door hiermee het aanvoerwater van de stoomketel voor te verwarmen.

Samengevat*

Direct hergebruik van de restwarmte in de champignonteelt is gedeeltelijk mogelijk via een kruisstroom lucht-lucht warmtewisselaar met automatisch geregelde bypass op de overdrukopening(en), en een rookgascondensator op de stoomketel waarmee het aanvoerwater wordt voorverwarmd. Indien men over een lage temperatuur verwarmingscircuit beschikt, kan ook een deel van de koelcondensator warmte hierin worden teruggewonnen, evenals een deel van de doodstoom warmte (door het verwarmingsblok c.q. de bedkoeling als warmtewisselaar te gebruiken).

Restwarmte balans

In totaal* wordt er op basis van de voorgaande analyse per teeltronde globaal 66,8 kWh/teelt/m² teeltoppervlakte aan restwarmte afgegeven. Bij het systeem met bedkoeling zullen deze waarden door de betere beheersbaarheid iets lager liggen. (Hiervan zijn echter nog geen meetgegevens beschikbaar). In onderstaande tabel is aangegeven waar en hoeveel van deze restwarmte kan worden teruggewonnen voor direct hergebruik.

Restwarmte per teelt per m ² (kWh/teelt/m ²)*		Directe terugwinning	Niet direct benutbaar	
Overdrukopening teelt tot Doodstomen	22	6,6	15,4	18 °C cellucht
Afkoelen na Doodstomen	7,5	1,75	5,75	< 50 °C doodstoom lucht
Koelcondensator	36	12,2	23,8	> 45 °C water, elders benutbaar?
Rookgassen stoomketel	1,3	0,7	0,6	> 60 °C rookgas
Totaal restwarmte	66,8	21,25	45,55	

* Gegevens in kWh thermische energie

Van de 66,8 kWh/teelt/m² aan restwarmte kan dus 21,25 kWh/teelt/m² teruggewonnen en direct weer herbenut worden. Dit komt overeen met 31,8 %. Van de overige 45,55 kWh/teelt/m² (ofwel 68,2 %) zal hooguit het overtollige deel van de koelcondensator warmte c.q. 23,8 kWh/teelt/m² (ofwel 35,6 %) nog elders ingezet kunnen worden. Dit is beschikbaar als water van >45 °C.

3.4 Niet bruikbare restwarmte

Het gedeelte niet bruikbare of niet direct herbruikbare restwarmte is te vinden in:

Overdrukopening(en)

Via een kruisstroom lucht-lucht warmtewisselaar met automatisch geregelde bypass op de overdrukopening(en) kan 6,6 kWh/teelt/m² van de teelt tot doodstomen worden teruggewonnen en direct hergebruikt voor de voorverwarming van de inkomende verse lucht. De overige 15,4 kWh/teelt/m² kunnen niet worden hergebruikt, omdat deze vrijkomen op momenten dat er koelbehoefte is c.q. kunnen niet worden teruggewonnen omdat de warmtewisselaar maar een beperkt rendement heeft. Deze niet bruikbare restwarmte komt vrij in de vorm van cellucht van +/- 18 °C, met een redelijke hoeveelheid, maar een veel te lage warmte inhoud om op een andere wijze in te zetten.

Afkoelen na doodstomen

Via het verwarmingsblok (en/of de bedkoeling bij een bedkoeling systeem) kan 1,75 kWh/teelt/m² van het afkoelen na Doodstomen worden teruggewonnen en opgeslagen in een laagwaardig verwarmingscircuit voor direct hergebruik bij andere cellen. De overige 5,75 kWh/teelt/m² kunnen niet worden teruggewonnen, omdat het verwarmingsblok (c.q. de bedkoeling) in de functie van warmtewisselaar maar een beperkt rendement heeft. Deze niet bruikbare restwarmte komt via de overdrukopening(en) vrij in de vorm van doodstoom lucht van < 50 °C, met een te beperkte hoeveelheid en een relatief lage warmte inhoud om op een andere wijze in te zetten.

Stoomketel

Via een rookgascondensator op de stoomketel kan 0,7 kWh/teelt/m² van de stoom energie worden teruggewonnen en direct worden hergebruikt voor het voorverwarmen van het aanvoerwater van de stoomketel. De overige 0,6 kWh/teelt/m² kunnen niet worden teruggewonnen, omdat de rookgascondensator maar een beperkt rendement heeft. Deze niet bruikbare restwarmte komt via de schoorsteen vrij in de vorm van rookgassen van > 60 °C, maar ondanks een redelijke warmte inhoud met een veel te beperkte hoeveelheid om op een andere wijze in te zetten.

Koelcondensator

Via een warmteterugwinning op de koelcondensator (34 % condensator capaciteit op watergekoelde condensator) kan het benodigde deel van 12,2 kWh/teelt/m² worden teruggewonnen en opgeslagen in een laagwaardig verwarmingscircuit voor direct hergebruik bij het naverwarmen tijdens het ontvochtigen. De overige 23,8 kWh/teelt/m² kunnen eventueel op eenzelfde wijze worden teruggewonnen (dus overige 66 % condensator capaciteit op een aparte watergekoelde condensator), maar deze extra warmte kan niet op het laagwaardige verwarmingscircuit worden hergebruikt. Dit omdat er al voldoende warmte voor naverwarming is geladen via de 34 % warmteterugwinning.

De 66 % warmteterugwinning op de koelcondensator heeft dus een capaciteit van 23,8 kWh/teelt/m² en is beschikbaar in de vorm van water van > 45 °C. Vraag is of deze niet benodigde restwarmte nog elders ingezet kan worden.

3.5 Mogelijkheden indirect bruikbare restwarmte

Zoals in het vorige hoofdstuk aangegeven is er (door een extra 66 % warmteterugwinning op de koelcondensor) eventueel nog 23,8 kWh/teelt/m² aan restwarmte beschikbaar in de vorm van water van > 45 °C. Deze restwarmte kon niet direct worden gebruikt, dus worden de mogelijkheden van indirect gebruik nagegaan.

De mogelijkheden voor indirect hergebruik van de resterende koelcondensor restwarmte van 23,8 kWh/teelt/m² zijn globaal als volgt onder te verdelen:

- opslag tot seizoen dat er meer warmte wordt gevraagd
- omzetten naar koude
- gebruik voor andere doelen

Restwarmte opslag in KWO (Koude/Warmte Opslag)

Het opslaan van deze restwarmte in een warme bron van een KWO installatie is alleen interessant als een dergelijke installatie reeds aanwezig is. Het specifiek voor een dergelijke beperkte hoeveelheid restwarmte bouwen van een KWO installatie zal niet rendabel gemaakt kunnen worden. Zelfs al is er een bestaande KWO installatie beschikbaar, dan moet men zich nog steeds realiseren, dat er in de champignonteelt een warmte overschot is en dat het dus problemen kan opleveren om de warmtebalans van de bronnen in orde te houden. Voor zover de ervaringen met KWO in de champignonteelt uitwijzen, heeft men meestal meer warmte dan koude in de bronnen, waardoor men soms dit warmteoverschot via een koeltoren moet afvoeren.

Conclusie: de 23,8 kWh/teelt/m² restwarmte van de koelcondensoren aan de warme bron van een KWO installatie toevoegen zal problemen met de warmtebalans van de bronnen geven, zodat men deze warmte uiteindelijk toch nog via een koeltoren moet afvoeren. Deze optie valt dus af.

KWO en warmtepomp (zie bijlagen)

Een andere situatie ontstaat indien men geen traditionele koeling en verwarming heeft, maar een warmtepomp. Deze produceert op hetzelfde moment warmte en koude en de functie hiertussen kan naar behoefte van de teelt worden gewisseld. Het overschot aan warmte of koude dat hierbij vrijkomt, kan dan tot later hergebruik in de KWO bronnen worden opgeslagen. Echter ook in dat geval ontkomt men meestal niet aan een koeltoren om de warmtebalans van de bronnen in evenwicht te houden.

Absorptiekoeling (zie bijlagen)

Er zijn mogelijkheden om warmte om te zetten naar koude via een z.g. absorptie koeling. Dergelijke koelsystemen worden niet met elektriciteit, maar met warmte gevoed. Bij voorkeur wordt stoom als verwarmingsbron gebruikt. Er zijn echter fabrikanten die aangeven, dat heetwater ook toepasbaar is. De ondergrens van de heetwater temperatuur ligt hierbij op ongeveer 95 °C.

Conclusie: Aangezien een warmtepomp bij voorkeur stoom, doch minimaal heetwater van +/- 95 °C nodig heeft, zal de beschikbare restwarmte van de koelcondensoren met een temperatuur van ongeveer 45 °C (of hooguit iets warmer) onvoldoende zijn om te kunnen functioneren. Deze optie valt dus ook af.

Gebruik voor andere doelen

Op basis van de voorgaande analyse wordt duidelijk dat er op het eigen bedrijf geen mogelijkheden zijn voor indirect hergebruik van de resterende koelcondensator restwarmte van 23,8 kWh/teelt/m². Indien men tevens beseft dat deze warmte grotendeels alleen in het zomerseizoen beschikbaar is, kan men zich de vraag stellen wie er in de zomerperiode behoefte heeft aan restwarmte in de vorm van water met een temperatuur van ongeveer 45 °C (of hooguit iets warmer). Veel verder dan hergebruik voor het verwarmen van een zwembad komt men dan ook niet....

Conclusie: Op geen enkele zinvolle wijze kan de 66 % warmteterugwinning op de koelcondensator (capaciteit 23,8 kWh/teelt/m², beschikbaar als water van > 45 °C) worden hergebruikt. Het heeft dan ook geen enkel nut om (buiten de 34 % warmteterugwinning van de koelcondensator, welke tbv. de naverwarming kan worden ingezet) ook de resterende 66 % nog terug te winnen.

4 Evaluatie technieken en economische perspectieven

Uit de technische haalbaarheid komt naar voren dat de mogelijkheden voor hergebruik van restwarmte maar zeer beperkt zijn. Van de 66,8 kWh/teelt/m² aan restwarmte kan globaal 21,25 kWh/teelt/m² (ofwel 31,8 %) weer teruggewonnen worden voor direct hergebruik. De overige 45,55 kWh/teelt/m² (ofwel 68,2 %) kan niet zinvol worden teruggewonnen. Enerzijds ligt dit aan de laagwaardigheid van deze restwarmte en anderzijds komt deze restwarmte beschikbaar op momenten dat er maar een beperkte warmte behoefte is.

Navolgend zullen in het kort de geschikte technieken worden beschreven evenals de economische perspectieven hiervan (mits hiervan informatie kon worden verkregen). In de bijlagen zijn uitgebreidere beschrijvingen van de technieken toegevoegd.

4.1 Kruisstroom lucht-lucht warmtewisselaar (zie bijlage)

Voor het terugwinnen van de restwarmte van de overdrukopening(en) tot aan het doodstomen kan zoals in hoofdstuk 3.3 is beschreven het beste een kruisstroom lucht-lucht warmtewisselaar worden gebruikt, waarbij de uitgaande luchtstroom van de cel (overdruk lucht) warmte afgeeft aan de ingaande luchtstroom van de cel (verse lucht). Dit betekent, dat de klimaatunit midden op de cel moet staan om dit mogelijk te maken. Een dergelijke opstelling komt alleen bij grotere/langere (> 35 á 40 meter) teeltcellen voor omdat de lengte van de luchtzakken hier de beperkende factor is voor een goede luchtverdeling. Dus deze oplossing is niet toepasbaar met een klimaatunit voor de cel!

De kruisstroom lucht-lucht warmtewisselaar kan in enkele gevallen averechts werken, denk bijvoorbeeld aan het afkoelen van de cel na doodstomen, zodat er tevens een automatisch geregelde bypass nodig is. Deze bypass moet open gaan als er geen warmte wordt gevraagd en/of de buitenlucht warmer is dan de afgevoerde cellucht. Een ander aandachtspunt is condensvorming. Door de temperatuurverschillen bij de kruisstroom lucht-lucht warmtewisselaar kan er condensvorming optreden. Hiervoor moet een lekbak met afvoer zijn voorzien.

Een volgend niet onbelangrijk punt is de luchtweerstand van een kruisstroom lucht-lucht warmtewisselaar. Deze is afhankelijk van de luchthoeveelheid die er doorheen gaat. Voor de champignonteelt is een lage weerstand van belang om gemakkelijk lucht in en uit de cel te krijgen. Om dit te bereiken worden er vaak eigenbouw oplossingen gebruikt. In deze haalbaarheid is een kruisstroom lucht-lucht warmtewisselaar is gekozen met een gemiddeld rendement van 50 % en een maximale weerstand van 50 Pascal. Deze extra luchtweerstand kost natuurlijk enig ventilatorvermogen. Dit extra ventilatorvermogen is volledig afhankelijk van de gekozen ventilatorstand, maar kan globaal op 10 % worden ingeschat. Van de andere kant wordt er ook wat elektriciteit op het koelvermogen bespaard, omdat in de zomer ook koude terugwinning kan plaatsvinden via de warmtewisselaar. Gemakshalve wordt dit tegen elkaar weggestreept, zodat men als uitgangspunt kan stellen dat de kruisstroom lucht-lucht warmtewisselaar met name alleen op gas bespaard.

Economische perspectieven

Wat de investeringskosten betreft zou men globaal bij 5 cellen van 1000 m² een bedrag van € 75.000 kunnen aanhouden. Dit is gebaseerd op € 15.000 per cel voor de warmtewisselaar, de bypass, de sturing en de installatie van het geheel. In de onderstaande tabel is op basis van de MJA-e monitoring gegevens van 2008 het globale gasverbruik van een dergelijk bedrijf berekend (energiekosten zijn exclusief vastrecht en BTW). Op basis van de afgeronde gasbesparing van 13,5 %, gebaseerd op de analyse van dit rapport, komt men op een terugverdientijd van 11,1 jaar. **Daarmee ligt een investering in kruisstroom lucht-lucht warmtewisselaars net buiten het gangbare bereik om binnen redelijke termijn rendabel te zijn.**

Voorbeeldberekening kruisstroom warmtewisselaar	
Aantal cellen	5
Teeltoppervlakte per cel	1.000 m ²
Teeltschema	5 weken
Gasverbruik op jaarbasis	50.000 €/jaar
Gasbesparing (13,5 %)	6.750 €/jaar
Investerings kruisstroom warmtewisselaars met bypass	75.000 €
Terugverdientijd	11,1 jaar

4.2 Warmteterugwinning deel koelcondensor (zie bijlage)

Voor het terugwinnen van een deel van de restwarmte van de koelcondensor(s) kan, zoals in hoofdstuk 3.3 is beschreven, een combinatie van een watergekoelde en een luchtgekoelde condensor worden gebruikt. Omdat koeling hoofdzakelijk in de zomerperiode draait, heeft het alleen nut de restwarmte terug te winnen die nodig is voor het naverwarmen tijdens het ontvochtigen, wat ca 1/3 van de condensorcapaciteit zal zijn. Het merendeel zal dan traditioneel via een luchtgekoelde condensor afgevoerd moeten worden, omdat hiervoor geen zinvolle toepassing is. Maximaal 1/3 van de condensorcapaciteit kan dan via een watergekoelde condensor worden teruggewonnen in het verwarmingscircuit. Pas op dat het verwarmingscircuit wel op lage temperatuur verwarming moet zijn uitgevoerd, dat wil zeggen dat zowel de leidingen als de verwarmingsblokken bij de cellen gedimensioneerd moeten zijn op een verwarmingstemperatuur van bv. < 45 °C. Warmteterugwinning van een koelcondensor in een hoog temperatuur verwarmingscircuit (bv. 70 °C) is niet mogelijk.

Economische perspectieven

Wat de investeringskosten betreft zou men bij 5 cellen van 1000 m² een bedrag van € 15.000 kunnen aanhouden, mits de koelinstallatie verder geschikt is. Dit is gebaseerd op een enkele watergekoelde condensor (voor 1/3 van de totale condensorcapaciteit), de sturing en de installatie van het geheel. In de onderstaande tabel is op basis van de MJA-e monitoring gegevens van 2008 het globale gasverbruik van een dergelijk bedrijf berekend (energiekosten zijn exclusief vastrecht en BTW). Op basis van de afgeronde gasbesparing van 24,5 %, gebaseerd op de analyse van dit rapport, komt men op een terugverdientijd van 1,2 jaar. **Mits men over een laagwaardig verwarmingscircuit beschikt, is investeren in (1/3) warmteterugwinning op de koelcondensor(s) een economisch rendabele investering met een zeer korte terugverdientijd.**

Voorbeeldberekening 1/3 warmteterugwinning koelcondensor	
Aantal cellen	5
Teeltoppervlakte per cel	1.000 m ²
Teeltschema	5 weken
Gasverbruik op jaarbasis	50.000 €/jaar
Gasbesparing (24,5 %)	12.250 €/jaar
Investerings 1/3 warmteterugwinning koelcondensor	15.000 €
Terugverdientijd	1,2 jaar

Optioneel: warmteterugwinning restwarmte doodstomen

Indien men al over een lage temperatuur (< 45 °C) verwarmingscircuit beschikt, heeft men nog de aanvullende mogelijkheid om een deel van de restwarmte tijdens het afkoelen na doodstomen (indien toegepast) hierin terug te winnen, .

Tijdens het afkoelen na doodstomen kan het verwarmingsblok (en/of indien aanwezig de bedkoeling) worden opengestuurd, om zo enige restwarmte van het doodstomen terug te winnen in het lage temperatuur verwarmingscircuit. Hiervoor hoeft geen technische aanpassing aan de installatie plaats te vinden. Hooguit moet de watertemperatuur van het verwarmingsblok c.q. de bedkoeling worden gemeten. Werkwijze: tijdens het afkoelen na doodstomen wordt het verwarmingsblok c.q. bedkoeling opengestuurd, waarbij de luchtklep nog dicht blijft. Zodra de watertemperatuur van het verwarmingsblok nog maar enkele graden hoger is dan de watertemperatuur van het verwarmingscircuit, zal de afkoeling vanwege het te geringe temperatuurverschil te traag gaan worden. Op dat punt kan de verwarming weer dicht worden gestuurd, en daarna de luchtklep open, om de verdere afkoeling te realiseren. Bijna 1/4 van de doodstoom warmte kan zodoende worden teruggewonnen in het verwarmingscircuit.

Economische perspectieven

Mocht men al beschikken over een lage temperatuur verwarming dan is het terugwinnen van een deel van de doodstoom warmte economisch interessant, omdat hiervoor hooguit een voeler en een aanpassing in de sturing nodig is. Exacte investeringsbedragen zijn niet te geven, maar bij 5 cellen van 1000 m2 zou men een bedrag van € 5.000 kunnen aanhouden. Dit is gebaseerd op € 1.000 per cel voor een voeler, een aangepaste sturing en de installatie van het geheel. In de onderstaande tabel is op basis van de MJA-e monitoring gegevens van 2008 het globale gasverbruik van een dergelijk bedrijf berekend (energiekosten zijn exclusief vastrecht en BTW). Op basis van de afgeronde gasbesparing van 3,5 %, gebaseerd op de analyse van dit rapport, komt men op een terugverdientijd van 2,9 jaar. **Mits men over een laagwaardig verwarmingscircuit beschikt, is investeren in gestuurde warmteterugwinning van het doodstomen (middels bestaande voorzieningen) een economisch rendabele investering met een korte terugverdientijd.**

Voorbeeldberekening terugwinnen Doodstoomwarmte	
Aantal cellen	5
Teeltoppervlakte per cel	1.000 m2
Teeltschema	5 weken
Gasverbruik op jaarbasis	50.000 €/jaar
Gasbesparing (3,5 %)	1.750 €/jaar
Investerings sturing terugwinnen doodstoomwarmte	5.000 €
Terugverdientijd	2,9 jaar

4.3 Rookgascondensor stoomketel (zie bijlage)

Voor het terugwinnen van een deel van de warmte uit de rookgassen van een stoomketel kan zoals in hoofdstuk 3.3 is beschreven een z.g. rookgascondensor (warmtewisselaar) worden gebruikt. Tijdens het gebruik van de stoomketel gaan de rookgassen dan door de rookgascondensor, waarbij deze worden afgekoeld en hierbij een deel van de warmte afgeven aan het water van de rookgascondensor. Dit water komt in een voorraadvat terecht van waaruit de stoomketel wordt gevoed. Op deze wijze wordt de stoomketel met voorverwarmd water gevoed, wat een lager gasverbruik tot gevolg heeft.

Economische perspectieven

Wat de investeringskosten betreft zou men globaal bij 5 cellen van 1000 m² een bedrag van € 10.000 kunnen aanhouden. Dit is gebaseerd op een enkele rookgascondensor (uitgaande van 1 stoomketel), de sturing en de installatie van het geheel. In de onderstaande tabel is op basis van de MJA-e monitoring gegevens van 2008 het globale gasverbruik van een dergelijk bedrijf berekend (energiekosten zijn exclusief vastrecht en BTW). Op basis van de afgeronde gasbesparing van 2 %, gebaseerd op de analyse van dit rapport, komt men op een terugverdientijd van 10,0 jaar. **Daarmee ligt een investering in een rookgascondensor voor de stoomketel net buiten het gangbare bereik om binnen redelijke termijn rendabel te zijn.**

Voorbeeldberekening rookgascondensor stoomketel	
Aantal cellen	5
Teeltoppervlakte per cel	1.000 m ²
Teeltschema	5 weken
Gasverbruik op jaarbasis	50.000 €/jaar
Gasbesparing (2 %)	1.000 €/jaar
Investeringskosten rookgascondensor stoomketel	10.000 €
Terugverdientijd	10,0 jaar

Opmerking: In feite bespaart een rookgascondensor op de stoomketel globaal 8 % op het gasverbruik, maar omdat in deze rapportage is aangehouden dat maar 25 % van het totale gasverbruik voor de stoomketel is, zal de besparing op het totale gasverbruik niet meer dan 2 % bedragen.

Verwarmen met stoom

Dit percentage stijgt natuurlijk naar volledig 8 % indien men ook de stoomketel voor verwarming gebruikt (wat ook op enkele bedrijven voorkomt). **In het geval dat er ook wordt verwarmd via een stoomketel, zal de terugverdientijd dalen naar 2,5 jaar en is investeren in een rookgascondensor voor de stoomketel een economisch rendabele investering met een korte terugverdientijd.**

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

De afvoer van restwarmte uit de champignonteelt betreft vindt deze in een standaard situatie plaats via de overdrukopening(en), de koelcondensor(s) en de rookgassen van de stoomketel. Bij de overwegend toegepaste HR verwarmingsketel wordt al restwarmte uit de rookgassen teruggewonnen, dus hier valt niets meer te halen.

Het overgrote deel van de restwarmte is erg laagwaardig, wat betekent dat de teruggewonnen energie alleen maar ingezet kan worden op plaatsen, waar volstaan kan worden met een dergelijke laagwaardige warmte. Een groter deel van de restwarmte kan worden benut indien men een lage temperatuur verwarmingscircuit (+/- 40 °C water) heeft.

Lage temperatuur verwarming

Het aantal bedrijven in de paddenstoelenteelt waar al gebruik gemaakt wordt van een lage temperatuur verwarming, is nog zeer beperkt. Aantallen zijn niet bekend, maar wel ziet men bij verbouwingen/nieuwbouw steeds vaker lage temperatuur verwarming toegepast worden. Bij een bestaande installatie een hoge temperatuur verwarming ombouwen, betekend meestal dat alle verwarmingsblokken en -leidingen moeten worden vervangen door groter gedimensioneerde. Dit omdat er bij lagere temperaturen meer water nodig is en een groter uitwisselingsoppervlak. In de bestaande klimaatunit moeten dan bredere verwarmingsblokken geplaatst worden, waardoor de luchtweerstand voor de ventilator toeneemt. Dit kan extra ventilator energie kosten en mogelijk een tekort aan ventilatorcapaciteit veroorzaken. Daarnaast kan een traditionele verwarmingsketel niet op dergelijk lage temperaturen werken en moet men dit via een warmtewisselaar omzetten naar een lagere temperatuur, of een warmtepomp toepassen. Technisch is ombouwen dus wel mogelijk, maar economisch alleen verantwoord indien men door het significant vergroten van de teeltoppervlakte per cel toch al grotere klimaatunits, leidingen en verwarmingscapaciteit nodig heeft, dus al deze zaken toch al moeten worden aangepast.

Restwarmte

Er zijn weinig harde gegevens over restwarmte bekend. Via herleidingen uit het energieverbruik, aannames en gegevens uit de projectrapportage "Energiebalans tussen groeiproces en klimaatregeling in de champignonteelt" zijn de volgende globale waarden aan thermische restwarmte vastgesteld: 22 kWh/teelt/m² (via de overdrukopening tot doodstomen) + 7,5 kWh/teelt/m² (via de overdrukopening na doodstomen) + 36 kWh/teelt/m² (via de koelcondensoren) + 1,3 kWh/teelt/m² (via de stoomketel rookgassen). In totaal komt er dan 66,8 kWh/teelt/m² teeltoppervlakte aan restwarmte vrij. Bij het nieuwe systeem met bedkoeling zullen deze waarden door de betere beheersbaarheid iets lager liggen. Hiervan zijn echter (nog) geen meetgegevens beschikbaar.

Een deel van deze restwarmte kan direct worden hergebruikt door gebruik te maken van een kruisstroom lucht-lucht warmtewisselaar met automatisch geregelde bypass tussen verversing en overdrukopening(en) en een rookgascondensor op de stoomketel waarmee het aanvoerwater wordt voorverwarmd. Verder kan alléén indien men over een lage temperatuur verwarmingscircuit beschikt, ook een deel van de koelcondensor warmte

hierin worden teruggewonnen, evenals een deel van de doodstoom warmte (door het verwarmingsblok c.q. de bedkoeling als warmtewisselaar te gebruiken).

Indien alle genoemde terugwinmogelijkheden worden benut, kan van de 66,8 kWh/teelt/m² aan restwarmte, ongeveer 21,25 kWh/teelt/m² zinvol worden teruggewonnen voor directe herbenutting. Dit komt overeen met 31,8 % van het totaal. Hierbij is er van uitgegaan, dat 1/3 van de koelcondensor warmte wordt teruggewonnen voor directe naverwarming.

De overige 2/3 van de koelcondensor warmte c.q. 23,8 kWh/teelt/m² (ofwel 35,6 % van het totaal), zouden ook nog kunnen worden teruggewonnen (als water van +/- 40 °C), echter hiervoor is geen gelijktijdige warmtevraag op de kwekerij. Investeringen in seizoensopslag, levering aan derden (warmte in de zomer!) e.d. zijn niet zinvol, zodat er geen opties zijn om dit deel van de restwarmte te herbenutten. (Hooguit het verwarmen van een zwembad....).

Kruisstroom lucht-lucht warmtewisselaars met automatische bypass

Op basis van de afgeronde gasbesparing van 13,5 %, gebaseerd op de analyse van dit rapport, komt men op een terugverdientijd van 11,1 jaar. Daarmee ligt een investering in kruisstroom lucht-lucht warmtewisselaars met automatische bypass net buiten het gangbare bereik om binnen redelijke termijn rendabel te zijn.

Warmteterugwinning (1/3) op de koelcondensor(s)

Op basis van de afgeronde gasbesparing van 24,5 %, gebaseerd op de analyse van dit rapport, komt men op een terugverdientijd van 1,2 jaar. Mits men over een laagwaardig verwarmingscircuit beschikt, is investeren in (1/3) warmteterugwinning op de koelcondensor(s) een economisch rendabele investering met een zeer korte terugverdientijd.

Warmteterugwinning doodstomen (middels bestaande voorzieningen)

Op basis van de afgeronde gasbesparing van 3,5 %, gebaseerd op de analyse van dit rapport, komt men op een terugverdientijd van 2,9 jaar.

Mits men over een laagwaardig verwarmingscircuit beschikt, is investeren in gestuurde warmteterugwinning van het doodstomen (middels bestaande verwarmingsblok en/of bedkoeling indien aanwezig) een economisch rendabele investering met een korte terugverdientijd.

Rookgascondensor op stoomketel(s)

Een rookgascondensor op de stoomketel bespaart globaal 8 % op het gasverbruik. Omdat in deze rapportage is aangehouden, dat maar 25 % van het totale gasverbruik voor de stoomketel is, zal de besparing op het totale gasverbruik niet meer dan 2 % bedragen. Hierdoor komt men op een terugverdientijd van 10,0 jaar. Daarmee ligt een investering in een rookgascondensor voor de stoomketel net buiten het gangbare bereik om binnen redelijke termijn rendabel te zijn.

Stoomketel ook voor verwarming

Indien men de stoomketel ook voor verwarming gebruikt (en er dus geen verwarmingsketel aanwezig is, zoals op enkele bedrijven voorkomt), dan is het besparingspercentage globaal 8 %. De terugverdientijd is in dat geval maar 2,5 jaar en is een rookgascondensor voor de stoomketel een economisch rendabele investering met een korte terugverdientijd.

EIA

Ondernemers die investeren in energiebesparende technieken of duurzame energie kunnen mogelijk gebruikmaken van de Energie Investeringsaftrek (EIA).

Energiebesparende investeringen leiden dan niet alleen tot lagere energiekosten, maar ook tot minder inkomsten- of vennootschapsbelasting. De EIA kan worden toegepast naast de 'gewone' investeringsaftrek. In 2011 kunnen ondernemers met de EIA 41,5 % van de investeringskosten aftrekken van de fiscale winst. Het directe financiële voordeel is afhankelijk van het belastingpercentage, maar zal ter indicatie ongeveer 10 % van de goedgekeurde investeringskosten bedragen. Hierdoor zullen de bovengenoemde terugverdientijden globaal ook 10 % korter worden, waardoor dergelijke investeringen eerder interessant worden (zie ook 5.2 Aanbevelingen).

5.2 Aanbevelingen

Op basis van de conclusies kunnen de volgende aanbevelingen worden gedaan:

Rookgascondensor op stoomketel (mits deze ook voor verwarming wordt gebruikt)

Indien de stoomketel ook voor verwarming wordt gebruikt en dus het volledige gasverbruik alleen t.b.v. de stoomketel is, kan men via een rookgascondensor globaal 8% op het gasverbruik besparen, waardoor een dergelijke investering in ongeveer 2,5 jaar kan worden terugverdiend (+/- 2,3 jaar met EIA). Zowel bij bestaande als ook voor nieuwe stoomketels (mits ook voor verwarming gebruikt), is de keuze voor een rookgascondensor aan te bevelen. Indien de stoomketel alleen voor (beperkt) doodstomen en eventueel stoombevochtiging wordt gebruikt (zoals op de meeste bedrijven), kan een investering in een rookgascondensor (met de huidige energieprijzen) nog niet worden aanbevolen.

Lage temperatuur verwarmingscircuit (eventueel met warmtepomp)

Bij bestaande installaties komt overwegend een hoge temperatuur verwarmingscircuit voor. Ombouw naar lage temperatuur verwarming is meestal niet mogelijk, omdat hiervoor de verwarmingsblokken en de leidingen niet groot genoeg gedimensioneerd zijn en alles zou moeten worden vervangen. Verder zijn de verwarmingsketels niet geschikt om rechtstreeks op dergelijke lage temperaturen te werken. Indien het mogelijk is om bij renovatie, uitbreiding of nieuwbouw over te gaan naar een lage temperatuur verwarmingscircuit, dan kan dit zonder meer worden aanbevolen.

Warmtepomp

Tevens kan dan ook het gebruik van een warmtepomp (als lage temperatuur verwarming) worden aanbevolen, omdat de kosten van het verwarmen met een warmtepomp lager liggen dan van een (hoge temperatuur) gasgestookte verwarmingsketel. Daarnaast kan de warmtepomp in de zomer als koeling worden gebruikt.

Warmteterugwinning (1/3) op de koelcondensor(s)

Alléén indien er een lage temperatuur verwarmingscircuit aanwezig is, kan worden aanbevolen om een warmteterugwinning op de koelcondensor te installeren, waarmee maximaal 1/3 van condensorwarmte kan worden teruggewonnen. Dit levert globaal een gasbesparing van 24,5 % op en een zeer korte terugverdientijd van ongeveer 1,2 jaar (+/- 1,1 jaar met EIA).

Warmteterugwinning doodstomen (middels bestaande voorzieningen)

Alléén indien er een lage temperatuur verwarmingscircuit aanwezig is, kan worden aanbevolen om te investeren in gestuurde warmteterugwinning van het doodstomen (middels het verwarmingsblok en/of bedkoeling indien aanwezig). Dit levert globaal een gasbesparing van 3,5 % op en een korte terugverdientijd van ongeveer 2,9 jaar (+/- 2,6 jaar met EIA).

Kruisstroom lucht-lucht warmtewisselaars (met automatische bypass)

Ondanks dat met een kruisstroom lucht-lucht warmtewisselaar (tussen luchtverversing en overdrukopening(en) en globale gasbesparing van 13,5 % kan worden gerealiseerd, zijn de investeringskosten bij nieuwbouw (en zeker bij bestaande installaties) dusdanig hoog, dat de terugverdientijd op ongeveer 11,1 jaar uitkomt (+/- 10 jaar met EIA). Daarmee kunnen investeringen in kruisstroom lucht-lucht warmtewisselaars (met de huidige energieprijzen) nog niet worden aanbevolen.

Bijlagen

5.3 Bijlage 1: Informatiebronnen

In het haalbaarheidsonderzoek zijn de volgende informatiebronnen gebruikt:

- Literatuur: (1) “Energiebalans tussen groeiproces en klimaatregeling in de champignonteelt” door J.H. Gielen, juli 1998
- Toeleveranciers technische apparatuur
- Technische product documentatie
- Internet
- Telers

5.4 Bijlage 2: Algemene technische beschrijvingen

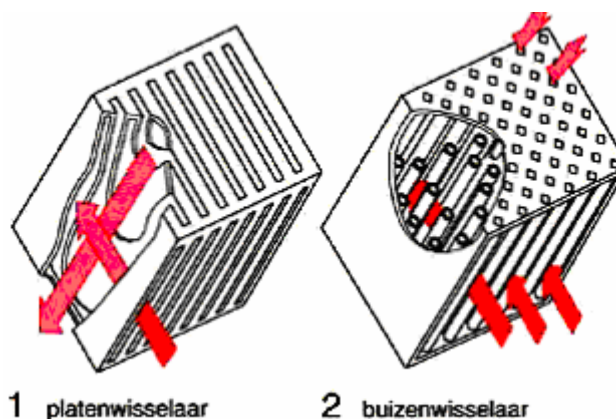
In het haalbaarheidsonderzoek zijn de volgende technieken onderzocht:

Kruisstroom lucht-lucht warmtewisselaar

Een warmtewisselaar wint energie terug uit lucht die de teeltcel verlaat via de uitlaatopening(en). Dit gebeurt volgens het tegenstroomprincipe. De uitgaande lucht wordt langs een aantal buizen geleid en door die buizen stroomt ingaande lucht die energie opneemt uit de uitgaande lucht. Afvlakking van de piek vindt plaats, doordat in de “zomer” de warme lucht voor een groot gedeelte wordt voorgekoeld. In de “winter” wordt de koude lucht op dezelfde manier voorverwarmd. Hoe vochtiger de lucht is, hoe hoger het rendement van de warmtewisselaar wordt.

Een goed geconstrueerde warmtewisselaar is voorzien van een automatisch geregelde bypass. Op deze wijze kan voor elke cel individueel worden bepaald wat de meest geschikte lucht is om te kiezen; rechtstreeks van buiten, via de warmtewisselaar of een combinatie hiervan. Als bijvoorbeeld een cel wordt afgekoeld na het doodstomen, kan men hiervoor beter rechtstreeks buitenlucht nemen, omdat de lucht van de warmtewisselaar door de uitgaande cellucht wordt opgewarmd, wat het afkoelproces onnodig zou vertragen.

Een warmtewisselaar is nagenoeg onderhoudsvrij en heeft als voordeel dat hiermee niet alleen warmte, maar ook koude kan worden teruggewonnen. Een warmtewisselaar heeft wel als nadeel dat hierdoor extra weerstand voor de ventilator wordt gecreëerd, waardoor deze dus iets mee energie zal gaan verbruiken (maar dit zal in grote lijnen gecompenseerd worden doordat er ook iets minder koelenergie nodig is). Warmtewisselaars met bypass leveren over het algemeen een rendement van 50 tot 70 % en zijn gezien de investeringen vooral interessant voor relatief grote teeltcellen.



Warmteterugwinning deel koelcondensator

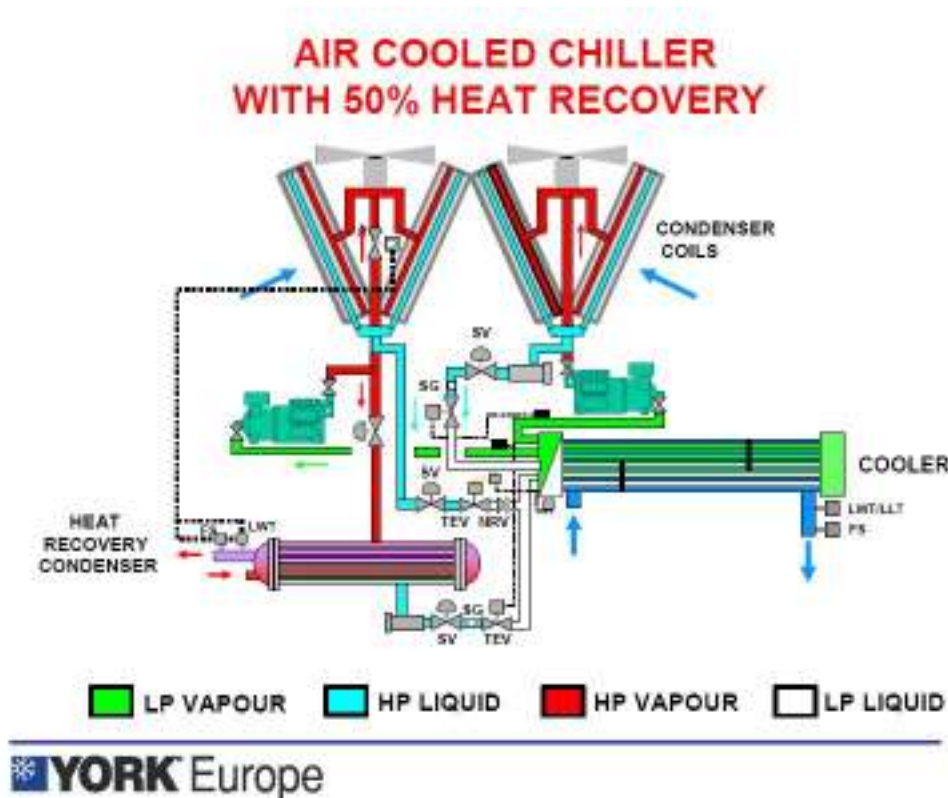
Het is mogelijk de luchtgekoelde condensators (deels) om te bouwen naar watergekoelde condensators. De vrijgekomen warmte (in de vorm van warm water) kan onder andere worden toegevoerd aan een laag temperatuur verwarmingssysteem (+/- 40°C). In de zomermaanden dient de overbodige warmte tevens via een luchtgekoelde condensator te kunnen worden afgevoerd naar de buitenlucht.

Toepasbaarheid: vooral bij nieuwbouw en renovaties.

Voor- en nadelen milieu: vermindering van het gasgebruik van circa 30%.

Financiële aspecten: de investeringen zijn sterk afhankelijk van de manier van warmteterugwinning. Bij warmteterugwinning door middel van het toepassen van een tussenmedium (bijv. water) is de investering circa € 6.000 tot € 7.500. Bij het toepassen van een tussenmedium is de regelbaarheid van het systeem beter.

De terugverdientijd ligt globaal tussen 3 en 8 jaar. (Bron: www.infomil.nl)



Rookgascondensator stoomketel

Via een rookgascondensator kan de restwarmte uit de rookgassen van een gasgestookte stoomketel worden onttrokken. Deze restwarmte of wel energie, gaat normaal gesproken verloren in de atmosfeer. Kan deze restwarmte worden benut, dan gaat het rendement van de installatie omhoog. Normaal gesproken zal iedere procentuele verhoging van het rendement een evenredige besparing van het energieverbruik opleveren. Om het rendement zo hoog mogelijk te maken zal er volgens het tegenstroom principe met behulp van een water – rookgas warmtewisselaar energie worden teruggewonnen. Dit soort installaties is zowel in nieuwbouw als in de meeste bestaande situaties in te bouwen. Natuurlijk zal bij nieuwbouw de terugverdientijd korter zijn.

Wordt de warmtewisselaar boven de ketel in verticale lijn geplaatst dan moet er een voorziening zijn om te voorkomen dat condenswater in het schoorsteenkanaal terug in de ketel stroomt. Vindt er condensatie van rookgassen plaats, dan wordt de maximale hoeveelheid warmte onttrokken. De condensatiegraad van rookgassen ligt gemiddeld op 58 °C. Bij een niet condenserende werking ligt het rendement op 1-3 %. Bij een condenserende werking op 3-13 %. Het opgewarmde water kan weer als ketel voedingswater dienen. Ook bestaat de mogelijkheid om dit water te gebruiken als voorverwarming van een warm water voorziening of te gebruiken als vloerverwarming in bijvoorbeeld kantine. (Bron: van der Mark ketelonderhoud B.V.)



Koude Warmte Opslag (KWO)

Werking koelseizoen:

Tijdens het koelseizoen (zomersituatie) is de koelvraag voor een belangrijk deel te dekken met de aquifer en de resterende vraag met de warmtepomp (als zijnde een koelmachine, echter met een zeer gunstig rendement, vanwege de zeer lage condensor temperatuur). De installatie dient geschikt te zijn om de buitenlucht afzonderlijk voor te koelen (bv. via een blok in een centraal kanaal of met een extra blok per cel). Dit voorkoelblok moet geschikt zijn voor een iets hogere koelwatertemperatuur dan gebruikelijk met een koelmachine, bijvoorbeeld 8 gr. C. De nakoeling gebeurt met de blokken in de cellen, te voeden met water van ca. 6 gr. C. In feite is bij koelen sprake van warmte onttrekken. In het geval van een koude/warmte opslag wordt deze warmte tijdens het koelseizoen opgeslagen.

Uit diverse praktijksituaties is gebleken, dat circa 70 % van de koelvraag gedekt kan worden met een koude/warmte opslagsysteem. Er is altijd sprake van 1 of meer doubletten, terwijl elke doublet bestaat uit 1 koude en 1 warmte bron. De gemiddelde capaciteit ligt tussen de 50 - 100 m³/h per bron.

T.b.v. de koelvraag, welke wordt gedekt met de aquifer wordt alleen elektra verbruikt t.b.v. de bronpomp. De onttrokken warmte van de koeling, gepresteerd met de warmtepomp (circa 30 % van de koelvraag) wordt eveneens opgeslagen in de aquifer. Eveneens als de warmteontwikkeling van de elektrische energie voor de warmtepomp. Voor 70 % van de koelvraag is er dus alleen elektra voor de bronpomp nodig, tijdens de overige 30 % van de koelvraag is er elektra voor de bronpomp en de warmtepomp nodig.

Werking verwarmingsseizoen:

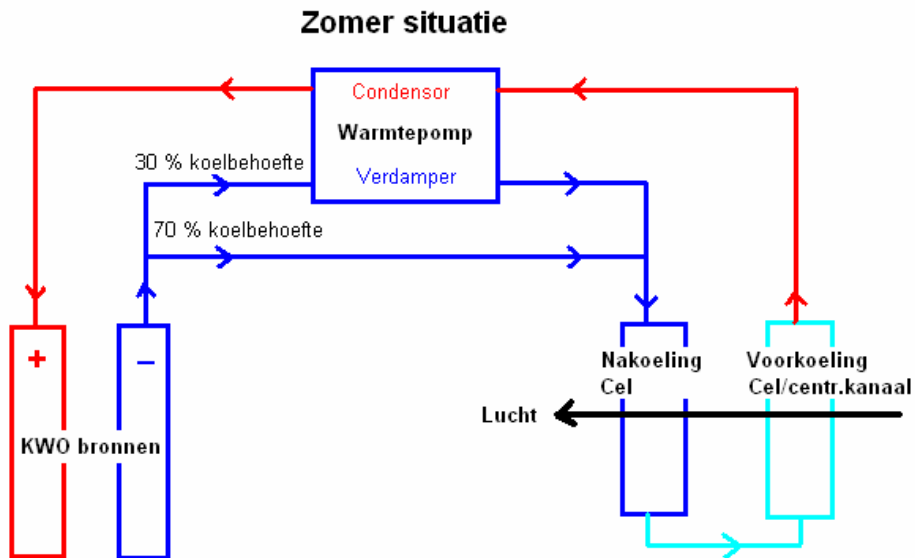
Tijdens het verwarmingsseizoen (wintersituatie) is een belangrijk deel van de warmtevraag te dekken met de warmtepomp, teneinde het verbruik van aardgas fors te beperken. De in de zomer opgeslagen warmte wordt gebruikt om de cellen voor te verwarmen d.m.v. het onttrekken van warmte uit de bodem. Daarnaast wordt de condensorwarmte van de warmtepomp gebruikt om de cellen na te verwarmen. Gelijkijdig betekent dit het afkoelen van de bodem, te weten de koude bron(nen).

Energie balans:

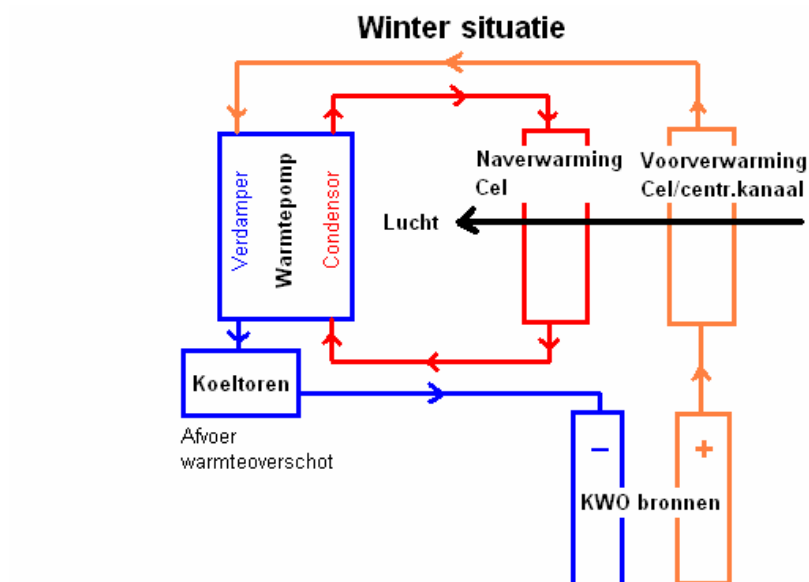
Volgens de eisen van de overheid en bovendien voor een goede werking van het systeem dient er sprake te zijn van een energiebalans. Dit betekent, dat tijdens de winterperiode dezelfde hoeveelheid warmte wordt benut, als welke tijdens de zomerperiode is opgeslagen. Omdat er vaak meer warmte aanbod is, zal een eventueel warmteoverschot via een koeltoren moeten worden afgevoerd.

Volgorde koelen en verwarmen

Ter verduidelijking is in de onderstaande tekeningen aangegeven hoe en via welke componenten de koeling en verwarming wordt gerealiseerd.



Zomersituatie: koudebron - voor extra koeling eventueel gedeelte via verdamper warmtepomp - nakoeling - voorkoeling - condensor warmtepomp - warmtebron



Wintersituatie: warmtebron - voorverwarming - verdamper warmtepomp - afvoer eventueel warmte overschot via koeltoren - koudebron. Daarnaast condensor warmtepomp – naverwarming.

Warmtepomp

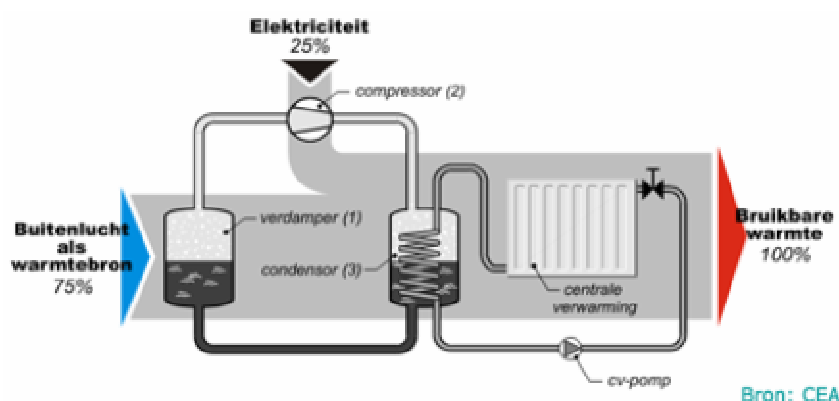
Een nadeel van een K/W opslag is, dat het in de zomerperiode niet altijd eenvoudig is om de lucht te ontvochtigen. Een warmtepomp zorgt voor extra koelcapaciteit en vergemakkelijkt het bereiken van de energiebalans in de bodem. Met een warmtepomp kan een extra verlaging van de watertemperatuur uit de koudebron van 2 tot maximaal 4 graden worden verkregen.

Het hoofddoel van de warmtepomp is warmteproductie, maar in het geval van de champignonteelt, levert de koudeproductie meer voordeel op. Aan de koude zijde van de pomp wordt water van 8 tot 11 graden afgekoeld naar 6 tot 9 graden Celsius. Afhankelijk van zomer of winterstand, gaat het afgekoelde water naar de koelblokken van de cellen of naar de koudebron.

Het water van de verwarming wordt via de warmtepomp naar ongeveer 40 graden verwarmt. De warmte wordt onttrokken uit het warme water, dat het water van het verwarmingssysteem weer opwarmt. Nadat het water over de verwarmingsblokken is geweest, is het water afgekoeld met 6-8 graden. Vervolgens wordt het water in het systeem weer met behulp van de warmtepomp op 40 graden gebracht. Wanneer de warmtebehoefte hoger is, wordt de (HR) verwarmingsketel ingeschakeld. Doordat er gewerkt wordt met beduidend lagere temperaturen zal de capaciteit van de verwarmingsblokken wel groter moeten worden uitgevoerd.

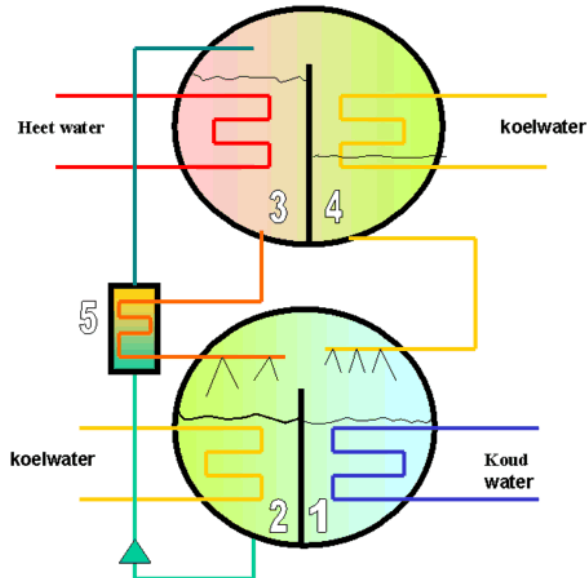
Het rendement van een warmtepomp in combinatie met een K/W opslag is ongeveer het dubbele van een traditionele koelmachine. Daarnaast heeft de combinatie van K/W opslag als voordeel dat de afname van zowel elektriciteit als gas stabiel is. De pieken kunnen dus lager worden afgesloten bij de energieleveranciers. Ook de aansluitwaardes liggen beduidend lager dan die van traditionele kwekerijen.

Als er geïnvesteerd moet worden in een nieuwe koeling dan is een warmtepomp in combinatie met een K/W opslag zeer gunstig.



Absorptiekoeling

Gewoonlijk wordt koude geproduceerd door het verdampen van een koelmiddel, dat door een compressor wordt aangezogen. De compressor brengt het gasvormige koelmiddel op een zodanig hoge druk, dat het in een condensor weer vloeibaar wordt bij een hogere temperatuur. Het vloeibare koelmiddel stroomt dan weer terug naar de verdamper, waarop de kringloop opnieuw begint.



Schema eentraps absorptiekoelmachine www.energieprojecten.com

1. verdamper
2. absorber
3. generator
4. condensor
5. warmtewisselaar

Bij absorptiekoelmachines wordt ook gebruik gemaakt van het effect, dat een vloeistof bij verdamping warmte opneemt en bij condenseren op een hogere temperatuur weer afgeeft. Maar het bijzondere is, dat men bij de absorptiekoeling geen compressor nodig heeft! Er wordt gewerkt met chemische aantrekkingskrachten en met warmte als energiebron. De meeste absorptiekoelmachines werken met water en het zout lithiumbromide. Het water is het koudemiddel en verdampt onder vacuüm in de verdamper (1) van de koelmachine bij lage temperatuur. Het verdampen wordt bereikt door de aantrekkingskracht van een sterke wateroplossing met lithiumbromide in de absorber (2), die in openverbinding staat met de verdamper. De oplossing in de absorber trekt waterdamp aan net zoals keukenzout vochtig wordt als het zoutvaatje open blijft. Om het proces gaande te houden, moet de concentratie zout in de absorber op peil blijven en moet er steeds vers water naar de verdamper gaan. Vanuit de absorber wordt daarom vloeistof naar de generator (3) gepompt, waar water uitgedampt wordt door toevoer van warmte. De geconcentreerde vloeistof stroomt terug naar de absorber en wisselt warmte uit met de oplossing uit de absorber in een warmtewisselaar (5). De waterdamp uit de generator wordt weer neergeslagen tot water in de condensor(4) met behulp van koelwater. Dit water kan weer terug naar de verdamper.

Absorptiekoelmachines worden geleverd voor diverse vormen van warmtetoevoer: c.v.-water, heet water van 120 tot 140 °C, stoom, hete uitlaatgassen van een gasturbine of oven of direct gestookt met een gas- of oliebrander. De verhouding tussen warmteverbruik en koudeproductie is veel lager dan bij een compressorkoelmachine. Een direct gestookte absorptiekoelmachine of een tweetraps unit op stoom haalt een C.O.P. van ca. 1,2; bij toevoer van c.v.-water op 90 °C is dit gewoonlijk slechts 0,7.

Met absorptiekoeling kan een interessante besparing op energieverbruik worden bereikt als er afvalwarmte of een brandbaar gas, dat anders afgefakkeld moet worden, beschikbaar is. Een op aardgas gestookte absorptiekoelmachine levert in het algemeen geen besparing op t.o.v. een watergekoelde compressorkoelmachine.

(Bron: www.energiotech.info)