



# Energiebalans Champignon Productiecel

Een kwantitatieve verkenning

Jeroen Wildschut

Rapport WPR-1035

## Referaat

Met het rekenmodel "Energiebalans Champignon Productiecel" kan het energieverbruik (per m<sup>2</sup> netto teeltoppervlak per uur) berekend worden als gevolg van de temperatuur en de RV van de buitenlucht, van het ventilatiedebiet *en* als gevolg van de vereisten aan het celklimaat (temperatuur, RV en CO<sub>2</sub>-concentratie). Hiermee kan het energieverbruik per teeltfase en per teelt berekend worden. En zo het energieverbruik per jaar. De resultaten komen overeen met de gemiddelde bedrijfsgegevens van de Energiemonitor van de Nederlandse Paddenstoelensector 2007 t/m 2018. De spreiding rond dit laatste gemiddelde is erg groot en kan voor een groot deel met de Energiebalans verklaard worden: kleine variaties in de temperatuur en de RV van de buitenlucht, en van het gerealiseerde celklimaat in termen van temperatuur, RV en CO<sub>2</sub>-concentratie *en* van de geschatte compostactiviteit leiden tot grote verschillen in energieverbruik voor koeling en/of verwarming. Deze verschillen kunnen oplopen tot een factor 2 – 5.

Enkele bevindingen zijn dat tijdens de myceliumgroei het energieverbruik het laagst is bij een buitentemperatuur van 2°C. Bij de 1<sup>ste</sup> vlucht is het energieverbruik het laagst bij een buitentemperatuur van 14°C. Bij een hogere of lagere temperatuur neemt het energieverbruik fors toe voor respectievelijk koeling en verwarming.

## Abstract

Wageningen University & Research developed a model, the "Energy Balance in a Mushroom Production Unit", which calculates the energy use per m<sup>2</sup> per hour as a function of the ambient temperature, the Relative Humidity (RH) and the ventilation airflow, as well as the required conditions inside the production unit (temperature, RH and CO<sub>2</sub>-concentration). Thus, energy use can be calculated per production phase, per production cycle and per year. Results are in line with data from companies participating in the Energy Monitor of the Dutch Mushroom Sector from 2007 to 2018. The model explains the observed huge differences between companies as well: small variations in ambient temperature and RH and in conditions in the production unit, including the activity of the compost (in terms of CO<sub>2</sub>-production), result in big differences in energy use for cooling or heating, amounting to a factor of 2 – 5.

Some findings are that during mycelium growth energy use is lowest when ambient temperature is 2°C. During the first flush energy use is lowest when the ambient temperature is 14°C. At a higher or lower temperature energy use is increased strongly due to cooling and heating respectively.

## Rapportgegevens

Rapport WPR-1035

Projectnummer: 3742 2881 00

DOI: <http://doi.org/10.18174/544655>

Thema: Klimaat en energie

Dit project is uitgevoerd in opdracht van en gefinancierd door de Stuurgroep MJA-e Paddenstoelen. Hierin werken de LTO Vakgroep Paddenstoelen, het Ministerie van LNV, RVO.nl en paddenstoelentelers samen aan de Meerjarenafspraak energie (MJA-e).

## Disclaimer

© 2021 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Glastuinbouw - Bollen

Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk T 0317 48 56 06, [www.wur.nl/plant-research](http://www.wur.nl/plant-research).

Kamer van Koophandel nr.: 09098104

BTW nr.: NL 8113.83.696.B07

Stichting Wageningen Research. 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 Stichting Wageningen Research.

Stichting Wageningen Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

## Adresgegevens

### Wageningen University & Research, BU Glastuinbouw - Bloembollen

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk

Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk

T +31 (0)317 48 56 06

# Inhoud

	<b>Samenvatting</b>	<b>5</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Werkwijze</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>Resultaten</b>	<b>11</b>
	3.1 Teeltfasen	11
	3.2 Rekenmodel	12
	3.3 Scenario's	14
	3.4 Buitentemperatuur	16
	3.5 RV% van de buitenlucht	17
	3.6 Compostactiviteit	18
<b>4</b>	<b>Conclusies en Aanbevelingen</b>	<b>21</b>
	<b>Literatuur en Bronnen</b>	<b>23</b>
	<b>Bijlage 1 Energieverbruik/m<sup>2</sup> van bedrijven met witte champignons (uit de Energiemonitor 2007 t/m 2018)</b>	<b>25</b>



# Samenvatting

Doel en verwacht resultaat van dit rekenmodel "Energiebalans Champignon Productiecel" is dat door het gebruik ervan het inzicht vergroot wordt in het energieverbruik op de verschillende bedrijven (en de grote verschillen hierin tussen de bedrijven).

Met de Energiebalans wordt het energieverbruik (per m<sup>2</sup> netto teeltoppervlak per uur) als gevolg van de temperatuur en de RV van de buitenlucht, van het ventilatiedebiet *en* als gevolg van de vereisten aan het celklimaat (temperatuur, RV en CO<sub>2</sub>-concentratie) berekend. Hiermee kan het energieverbruik per teeltfase en per teelt berekend worden. En zo het energieverbruik per jaar.

Het met de Energiebalans berekende energieverbruik per jaar, vergeleken met het energieverbruik per m<sup>2</sup> teeltoppervlak per jaar zoals berekend uit de gemiddelde bedrijfsgegevens van de Energiemonitor van de Nederlandse Paddenstoelensector 2007 t/m 2018 is van dezelfde orde. De spreiding rond dit laatste gemiddelde is erg groot en kan voor een groot deel met de Energiebalans verklaard worden: variaties in de temperatuur en de RV van de buitenlucht, en van het gerealiseerde celklimaat in termen van temperatuur, RV en CO<sub>2</sub>-concentratie *en* van de geschatte compostactiviteit leiden tot grote verschillen in energieverbruik voor koeling en/of verwarming. Deze verschillen kunnen oplopen tot een factor 2 – 5.

Enkele bevindingen volgens de berekeningen met de Energiebalans bij algemene klimaatinstellingen: Gemiddeld op jaarbasis is tijdens de myceliumgroei en de knopvorming nauwelijks warmte nodig, maar wel koeling. De compostactiviteit produceert voldoende warmte en door een hoge CO<sub>2</sub>-concentratie aan te houden is weinig ventilatie nodig.

De 1<sup>ste</sup> vlucht is de teeltfase die op jaarbasis de meeste energie vraagt, vooral voor verwarming.

Tijdens de myceliumgroei is het energieverbruik het laagst bij een buitentemperatuur van 2°C. Bij een lagere buitentemperatuur neemt het energieverbruik toe voor verwarming, bij een hogere temperatuur neemt het energieverbruik toe voor koeling.

Bij de 1<sup>ste</sup> vlucht is het energieverbruik het laagst bij een buitentemperatuur van 14°C. Zowel bij een hogere als bij een lagere temperatuur van de buitenlucht neemt het energieverbruik fors toe voor respectievelijk koeling en verwarming.

Bij een hoge temperatuur van de buitenlucht (bijv. 24°C) tijdens de 1<sup>ste</sup> vlucht neemt het energieverbruik voor koeling fors toe bij een toenemende RV van de buitenlucht. Bij een lage temperatuur (bijv. 4°C) neemt het energieverbruik voor verwarming dan juist iets af.

Afhankelijk van de gehanteerde norm voor CO<sub>2</sub>-concentratie voor een optimaal celklimaat per teeltfase neemt bij een hoge temperatuur van de buitenlucht (bijv. 24°C) het energieverbruik voor koelen fors toe met een toenemende compostactiviteit. Bij een lage temperatuur van de buitenlucht (bijv. 4°C) neemt het energieverbruik voor verwarming dan fors toe. Maar bij een buitentemperatuur van 14°C heeft de compostactiviteit nauwelijks effect op het energieverbruik.

Het is aanbevolen deze Energiebalans te verifiëren door op enkele bedrijven voor een aantal teelten data uit de klimaatcomputer uit te lezen en deze te combineren met metingen van ventilatiedebiet en CO<sub>2</sub>-concentraties, zodat de warmteproductie als gevolg van ademhaling tijdens de verschillende teeltfasen bepaald kan worden.



# 1 Inleiding

Sinds 1995 wordt het energieverbruik van de Paddenstoelen Sector gemonitord. Dat energieverbruik vertoont een dalende trend. Die daling hangt voor een deel samen met een toename van genomen energiebesparende maatregelen. Hoe het energiemanagement op het bedrijf gevoerd wordt komt hieruit echter minder duidelijk naar voren. Daarom zijn de 8 energiezuinigste bedrijven benaderd voor aanvullende informatie. Uit deze verdiepingsanalyse (Wildschut J. en van Leeuwen P., 2019) kwam naar voren dat de instellingen van de klimaatcomputer flexibel toegepast worden, en dat de bedrijven hier verschillend mee omgaan. Juist de energiezuinigste bedrijven stellen zelf dagelijks de klimaatcomputer in i.p.v. te vertrouwen op zg. energiezuinige klimaatregelingen. Op de RV wordt nauwelijks gestuurd, wel op de temperatuur. Ook het z.g. doodstomen van een cel na een teelt wordt vaak pas gedaan nadat de compost is afgevoerd. Intuïtie, 'groene vingers' en ervaringsdeskundigheid spelen bij de energiezuinigste bedrijven een belangrijke rol.

Een rekenmodel waarmee de energiebalans en daarmee het energieverbruik in de paddenstoelencel in kaart gebracht kan worden zou van dienst kunnen zijn om het inzicht in het energieverbruik te vergroten, en vooral ook het inzicht in de grote verschillen tussen de bedrijven (zie Bijlage 1). Met het model kan (bijvoorbeeld per uur) worden doorgerekend wat de consequenties zijn van o.a. weersomstandigheden, compostactiviteit en de instellingen van de klimaatcomputer voor de teeltomstandigheden in de productiecel en voor het energieverbruik. Met deze inzichten kan een bedrijf het teeltklimaat optimaliseren tegen de laagste energiekosten.

Doelstelling van dit project is een kwalitatief en kwantitatief hoge paddenstoelenproductie met een zo laag mogelijk energieverbruik en zo de laagste CO<sub>2</sub>-uitstoot per kg paddenstoel.

De te verwachten resultaten zijn dat door het gebruik van het rekenmodel het inzicht in het energieverbruik en CO<sub>2</sub>-uitstoot vergroot wordt. Hierdoor wordt met meer vertrouwen en zekerheid de klimaatcomputer ingesteld, zodat niet meer energie verbruikt wordt dan nodig is. Daarnaast geeft het misschien inspiratie om met nieuwe (teelt- en energie)maatregelen het energieverbruik voor de verschillende teeltfasen te verlagen.



## 2 Werkwijze

Op basis van de beschikbare literatuur (onderzoeksrapporten) en gegevens uit de jaarlijkse EnergieMonitor van de paddenstoelensector, Wildschut J., 2020, is een algemeen "standaard" teeltschema opgesteld en het daar bij horende optimale teeltklimaat in de productiecel. Aanvullende gegevens zijn verzameld m.b.t. ventilatie/circulatie van de cel, het vermogen van de ventilator, COP van de koelmachine, en de warmte-, CO<sub>2</sub>- en waterproductie van de compost tijdens de verschillende teeltfasen vanaf het vullen van de cel met doorgroeide compost.

Gegevens van de gemiddelde temperatuur en RV van de buitenlucht in lente, zomer, herfst en winter zijn van het KNMI.

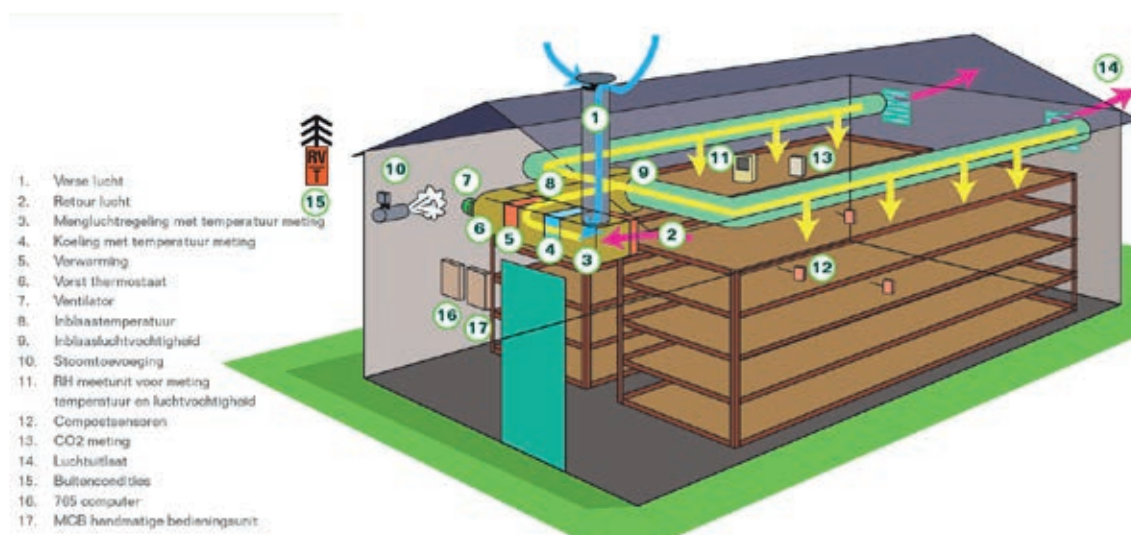
In een Excel-bestand is vervolgens de energie (warmte)balans opgesteld, waarbij alle energiestromen teruggerekend zijn naar m<sup>2</sup> netto teelt. Hieruit is de netto balans omgerekend naar (primaire)energieverbruik voor verwarming, koeling en ventilatoren.

Met dit rekenmodel zijn een aantal scenario's doorgerekend per onderscheiden teeltfase, namelijk Fase 1: Myceliumgroei in de dekaarde, Fase 2: Knopvorming, Fase 3: Knopuitgroei, fase 4: 1<sup>ste</sup> Vlucht en Fase 5: 2<sup>de</sup> Vlucht.

De som van het energieverbruik van deze teeltfasen geeft het energieverbruik per teelt. De scenario's bestaan o.a. uit de weersomstandigheden per seizoen. De som hiervan (x het aantal teelten per jaar) geeft het energieverbruik per jaar en is vergeleken met de gegevens uit de EnergieMonitor van de paddenstoelensector.

Per teeltfase zijn ook scenario's doorgerekend waarbij de temperatuur en de RV van de buitenlucht varieert, en ook waarbij de CO<sub>2</sub>-productie als gevolg van compostactiviteit tijdens de teelt varieert.

Het type productiecel waarvan de energiebalans per teeltfase is opgesteld is schematisch weergegeven door Figuur 1, uit een informatiebrochure van Fancom B.V. "



**Figuur 1** Schematische weergave van een moderne champignon productiecel. Uit: "Van compost tot champignon", Fancom B.V. <https://www.fancom.nl/champignons/champignonteelt>



## 3 Resultaten

### 3.1 Teeltfasen

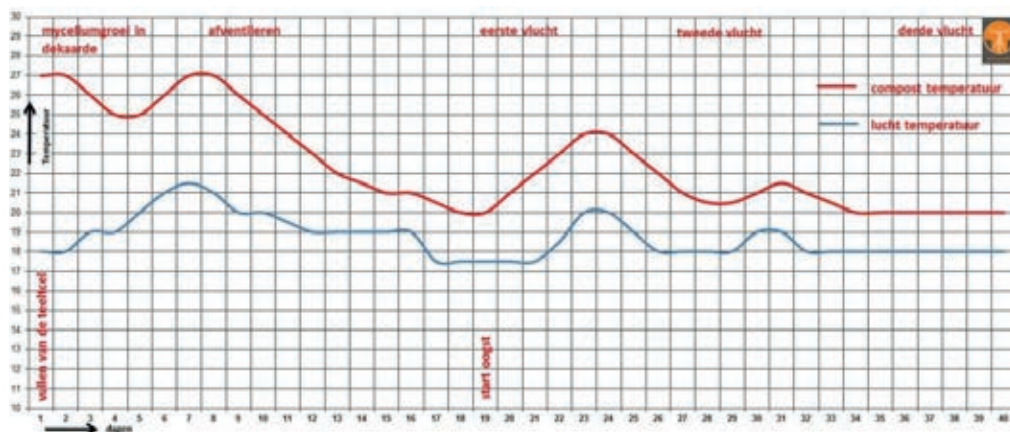
Het "standaard" teeltschema waarmee gerekend is, is samengevat in Tabel 1. Dit teeltschema is een gemiddelde, gebaseerd op Blok, C. *et al.* (2010), Vos, A.M. (2017), van Seggelen, M. (2006), die o.a. het teeltschema van een van de deelnemers aan de Energiemonitor (id 2) beschrijft, en Eastwood, D.C. *et al.* (2013). Daarnaast is voor inzicht in de teeltomstandigheden gebruik gemaakt van Amsing J.G.M. & Straatsma G., 2004 en van Doremaele R., 2002.

Tabel 1

*Kenmerken van de verschillende teeltfasen van een champignonteelt.*

Teeltfase	dgn	Temp	RV max	CO <sub>2</sub> ppm	CO <sub>2</sub> productie
		°C	%	ppm	l/m <sup>2</sup> /uur
Myceliumgroei	7	22	95	>3000	5,82
knopvorming	4	22	95	3000	3,88
knoppen groeien uit	7	18	90	1000-1200	3,88
1ste vlucht	7	18	85	1000-1200	7,76
2de vlucht	8	18	85	1000-1200	5,82

De in de tabel aangegeven temperatuur is de per teeltfase gemiddelde luchttemperatuur in de cel, de composttemperatuur ligt hier door biologische activiteit enkele graden boven. Dit wordt geïllustreerd door Figuur 2 (uit: <https://geurts-champignons.nl/wp-content/uploads/2014/11/teeltschema-1024x438.jpg>).



**Figuur 2** Luchttemperatuur en composttemperatuur tijdens de teelt van champignons. Bron: <https://geurts-champignons.nl/wp-content/uploads/2014/11/teeltschema-1024x438.jpg>.

## 3.2 Rekenmodel

In het rekenmodel in Excel kunnen o.a. de **omstandigheden** van de buitenlucht worden ingevoerd: de temperatuur in °C en de Relatieve Luchtvochtigheid (RV) in %, en de **instellingen**: de klepstand die het deel van het debiet van de ventilator bepaalt dat uit buitenlucht bestaat en de ventilatorstand, die aangeeft of de ventilator op voltoeren staat (=100%) of teruggetoerd is. Vervolgens wordt de temperatuur van de cellucht ingevoerd, de hoeveelheid water dat verdampt wordt (liter/m<sup>2</sup>/dag) en de CO<sub>2</sub> die vrijkomt door de omzettingsprocessen in de compost, zie Figuur 3. Eventueel kunnen het maximale debiet, het vermogen van de ventilator en de COP van de koelmachine nog aangepast worden.

aantal dagen teeltfase	7
<b>Omstandigheden</b>	
buitentemperatuur	11.0 °C
buiten RV	83%
abs Vocht	8.3 ml/m <sup>3</sup>
<b>Instellingen</b>	
klepstand	50%
ventilatorstand	70%
celluchttemperatuur	18.0 °C
verdamping (max 1,79)	1.20 l/m <sup>2</sup> /dag
CO <sub>2</sub> productie	7.76 l/m <sup>2</sup> /uur
1=gemiddeld	2.00
max debiet ventilator	30 m <sup>3</sup> /uur/m <sup>2</sup>
ventilatie	10.5 m <sup>3</sup> /uur/m <sup>2</sup>
circulatie	21.0 m <sup>3</sup> /uur/m <sup>2</sup>

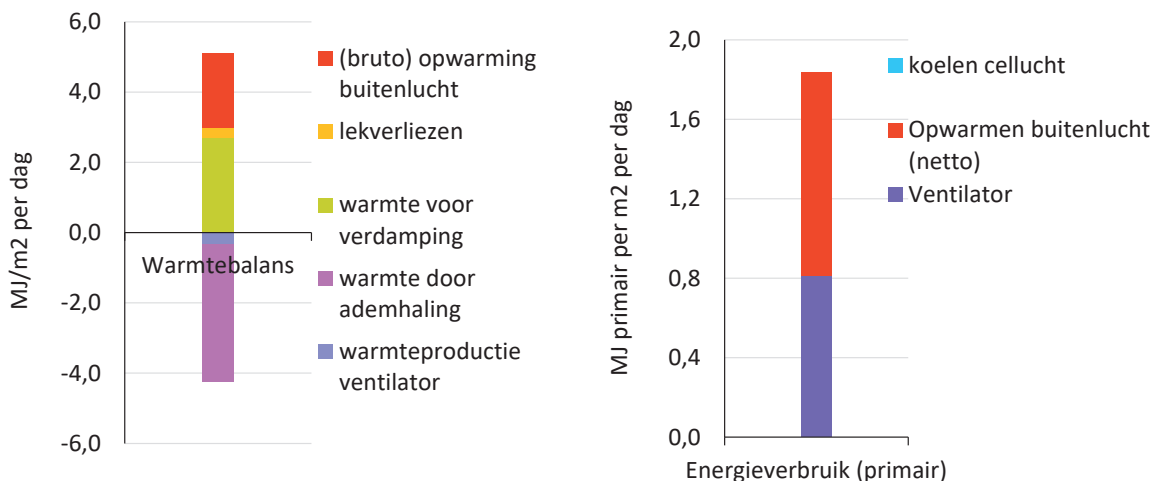
<b>Resultaat</b>	
CO <sub>2</sub> in de cel	1149
RV cellucht	85%
<b>Energieverbruik per m<sup>2</sup> per dag</b>	
totaal (primaire) MJ/m <sup>2</sup>	1.84
Ventilator	0.81
Opwarmen buitenlucht (netto)	1.02
koelen cellucht	0.00
<b>Warmtebalans (MJ/m<sup>2</sup>/dag)</b>	
warmte voor verdamping	2.71
warmte door ademhaling	-3.91
warmteproductie ventilator	-0.33
lekverliezen	0.27
(bruto) opwarming buitenlucht	2.12

**Figuur 3** Invoer van gegevens (groene cellen en blauwe cel) en resultaten van de energiebalans in Excel. In dit voorbeeld is de energiebalans tijdens de 1<sup>ste</sup> vlucht in een teelt in de herfst weergegeven.

In het voorbeeld van Figuur 3 wordt het **resultaat** berekend wanneer het buiten 11°C is en de RV 76%. Met een ingestelde klepstand van 50% en een ventilatorstand van 70%, en wanneer de temperatuur van de cellucht 18°C ingesteld is en er tijdens de 1<sup>ste</sup> vlucht gemiddeld 1,20 liter water per m<sup>2</sup> per dag verdampt, dan wordt de RV van de cellucht 85%. Bij een CO<sub>2</sub>-productie van 7,76 liter/m<sup>2</sup>/uur wordt de CO<sub>2</sub> concentratie van de cellucht dan 1149 ppm. Gegevens m.b.t. verdamping en CO<sub>2</sub>-productie per teeltfase zijn gebaseerd op Blok, C. et al. (2010).

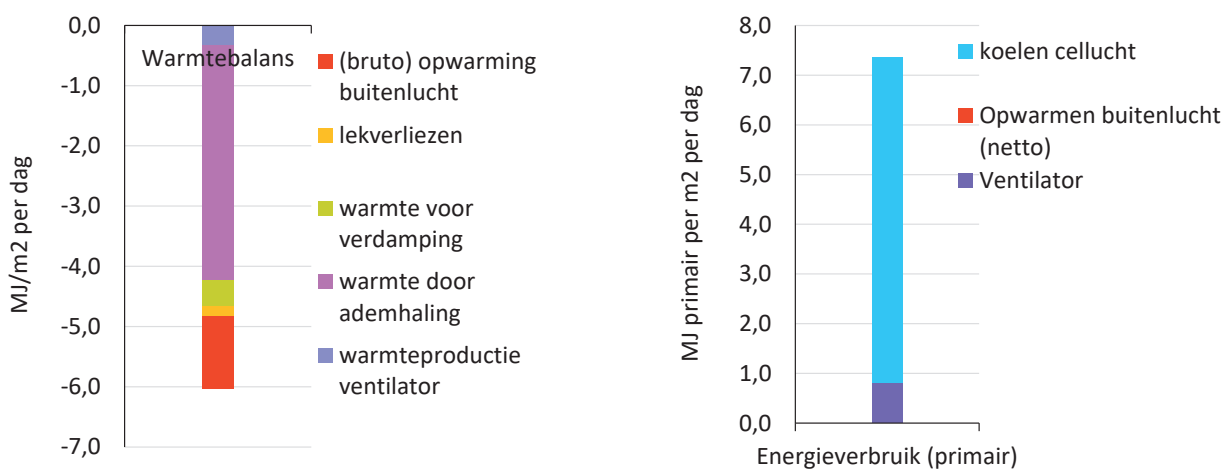
Het model berekent dan 1- de benodigde warmte voor de verdamping van (i.d.g) de 1,20 liter water/m<sup>2</sup>/dag, 2- de warmte die vrijkomt bij de biologische activiteit van de compost (gerelateerd aan de hoeveelheid CO<sub>2</sub> die vrijkomt), 3- de warmteproductie van de ventilator, 4- de warmteverliezen die naar buiten lekken en 5- de bruto benodigde warmte om de hoeveelheid buitenlucht met een RV 76% van 11 naar 18 graden op te warmen. Deze warmtebalans wordt weergegeven in Figuur 4. De warmte door de compostactiviteit en de warmte van de ventilator staan i.d.g. "onder de streep"; de som van de bruto benodigde warmte + de lekverliezen + de warmte voor verdamping staan boven de streep.

De netto benodigde warmte is het verschil tussen boven en onder de streep en wordt weergegeven in Figuur 5. Hierin wordt de benodigde elektrische energie voor de ventilator in primaire energie (1 kWh = 9 MJ primair) weergegeven.



**Figuur 4 en 5** Warmtebalans bij het scenario in Figuur 3 en resulterend primair energieverbruik.

Wanneer in het scenario van Figuur 3 de temperatuur van de buitenlucht echter 22°C zou zijn (en de RV nog steeds 83%) ontstaat een geheel andere warmtebalans, Figuur 6. De bruto benodigde energie om de buitenlucht op te warmen is nu negatief: de lucht moet afgekoeld worden. Ook het lekverlies is nu negatief, er lekt warmte naar binnen i.p.v. naar buiten. Er kan geen water meer verdampen daar de RV in de cel 100% wordt en er condenseert zelfs water (0,19 l/m²/dag) uit de ventilatielucht in de cel, waardoor er warmte vrijkomt. Alle warmteposten staan dus nu onder de streep en moeten weggekoeld worden, wat resulteert in een fors energieverbruik voor koeling, Figuur 7. De RV in de cel wordt echter pas de gewenste 85% als er actief ontvochtigd wordt (er moet daarmee 0,79 l/m²/dag worden afgevoerd).



**Figuur 6 en 7** Warmtebalans bij het scenario in Figuur 3 waarbij de buitentemperatuur 22°C is, en resulterend primair energieverbruik.

Door per teeltfase met een gemiddelde celtemperatuur, CO<sub>2</sub>-productie van de compost en de vereiste RV% en CO<sub>2</sub>-concentratie over de duur van de teeltfase te rekenen, en dan de resultaten met het aantal dagen per teeltfase te vermenigvuldigen, en vervolgens de resultaten hiervan voor de verschillende teeltfasen bij elkaar op te tellen, wordt de energiebalans en het energieverbruik per m² voor een teelt berekend.

Tabel 2

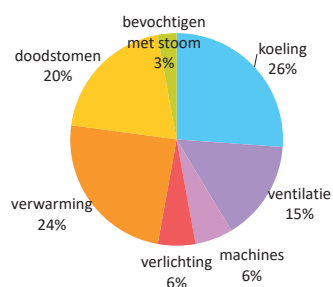
Gemiddelde omstandigheden buiten.

	Temperatuur	RV
winter	4	88%
lente	11	76%
zomer	18	73%
herfst	11	83%

Bron: KNMI

Door te rekenen met de gemiddelde/afgeronde omstandigheden per teelt per seizoen, zie Tabel 2, en dan het energieverbruik van de teelten van elk van de 4 seizoenen met 3 te vermenigvuldigen (= 12 teelten), bij elkaar op te tellen, en te vermenigvuldigen met "11 teelten per jaar *gedeeld* door 12 = 0,917 (achtergrond: 12 teelten van 33 dagen = 396 dagen > 365)) levert een benadering van het gemiddelde energieverbruik per m<sup>2</sup> per jaar in de paddenstoelensector.

Het model berekent *niet* het energieverbruik voor het doodstomen *na* een teelt. De Energiemonitor van 2014 liet zien dat de bedrijven met witte champignons het gemiddelde energieverbruik voor doodstomen inschatten op 20%, voor bevochtigen met stoom op 3% en voor verwarming op 24% van het totale primaire energieverbruik, Figuur 8. Het door het model berekende energieverbruik voor *teelt is dan 24/47= 51% van het totale energieverbruik per teelt*.

**Figuur 8** Verdeling primaire energie.

Gielen J., 2015, schatte het energieverbruik voor de teelt op 44% van het totale gasverbruik (1,06 m<sup>3</sup> gas/m<sup>2</sup>/teelt en voor het doodstomen na een teelt 1,30 m<sup>3</sup> gas/m<sup>2</sup>/teelt). Polman, E., 2015, liet zien dat het fors uitmaakt of een nog gevulde cel gedoodstoemd werd (1,36 – 2,22 m<sup>3</sup> gas) of een lege cel (0,65 – 1,15 m<sup>3</sup> gas/teelt). De Energiemonitor van 2018 (Wildschut, J., 2020) liet zien dat ruim 70% van de deelnemers alleen lege cellen doodstomen, en dat die per teelt 64 MJ warmte per teelt verbruiken tegen 110 MJ warmte door de bedrijven die gevulde cellen doodstomen. Om de resultaten van de Energiebalans te vergelijken met de resultaten van de Energiemonitor wordt hier daarom gerekend met een percentage van minstens 50% voor het gasverbruik voor de teelt.

Figuur 8 laat ook zien dat door de champignonbedrijven het elektraverbruik voor koelen en ventilatie geschat wordt op 77% van het totale energieverbruik voor elektra (de rest is voor verlichting, machines e.d.).

### 3.3 Scenario's

Uit de database van de Energiemonitor 2018 is het gemiddelde primaire energieverbruik per m<sup>2</sup> per bedrijf per jaar voor verwarming en elektra berekend voor 2007 t/m 2018. Van het verbruik voor verwarming is het geschatte deel voor doodstomen afgetrokken (geschat op 50 %, zie hierboven). En het energieverbruik voor elektra is vermenigvuldigd met 0,77 omdat de energie voor verlichting en machines door de Energiebalans niet wordt meeberekend. Met deze waarden zijn de resultaten van de verschillende scenario's vergeleken.

Scenario 1 is het scenario volgens Tabel 1 (teeltfasen) en Tabel 2 (buitenomstandigheden). In Scenario 2 wordt geteeld bij 1 graad lagere celtemperatuur, in Scenario 3 nog een graad lager. Telen bij een lagere temperatuur vraagt op jaarbasis minder energie voor verwarmen, maar meer voor koelen.

In Scenario 4 wordt in vergelijking met Scenario 1 de ventilator op een lagere stand gezet (70%), de hoeveelheid buitenlucht per m<sup>2</sup> teelt blijft echter gelijk door de klepstand evenredig aan te passen (zie ook Figuur 3). Het energieverbruik van de ventilator vermindert hierdoor fors en daarmee de warmteproductie. Er hoeft daarom op jaarbasis minder gekoeld te worden, maar meer verwarmd.

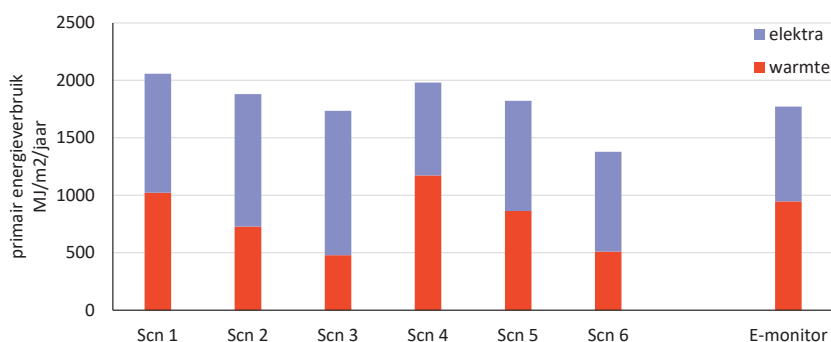
In Scenario 5 is in vergelijking met Scenario 1 de CO<sub>2</sub>-productie door de compostactiviteit 75%, en in Scenario 6 is dat 50%. Bij een lagere CO<sub>2</sub>-productie zou er tijdens de uitgroei van de knoppen en de tijdens de vluchten minder geventileerd hoeven worden waardoor er in de winter minder verwarmd hoeft te worden. In de zomer hoeft minder gekoeld te worden. En ook hoeft minder compostwarmte weggekoeld te worden. De resultaten zijn samengevat in Tabel 3.

**Tabel 3**

*Jaarlijks energieverbruik/m<sup>2</sup> in de teelt voor verschillende Scenario's (zie tekst).*

Scenario	Tcel	CO <sub>2</sub> l/uur/ m <sup>2</sup>	Ventilator stand	berekend energieverbruik (MJ/m <sup>2</sup> /jaar)				
				verwarmen	koelen	Ventilator	tot. elektra	totaal
1	22 - 18	3,88	80%	511	316	482	798	1308
2	21 - 17	3,88	80%	364	406	482	888	1252
3	20 - 16	3,88	80%	239	486	482	968	1207
4	22 - 18	3,88	70%	586	299	323	622	1208
5	22 - 18	2,91	80%	431	256	482	738	1169
6	22 - 18	1,94	80%	255	188	482	669	924
				473	-	-	728	1201

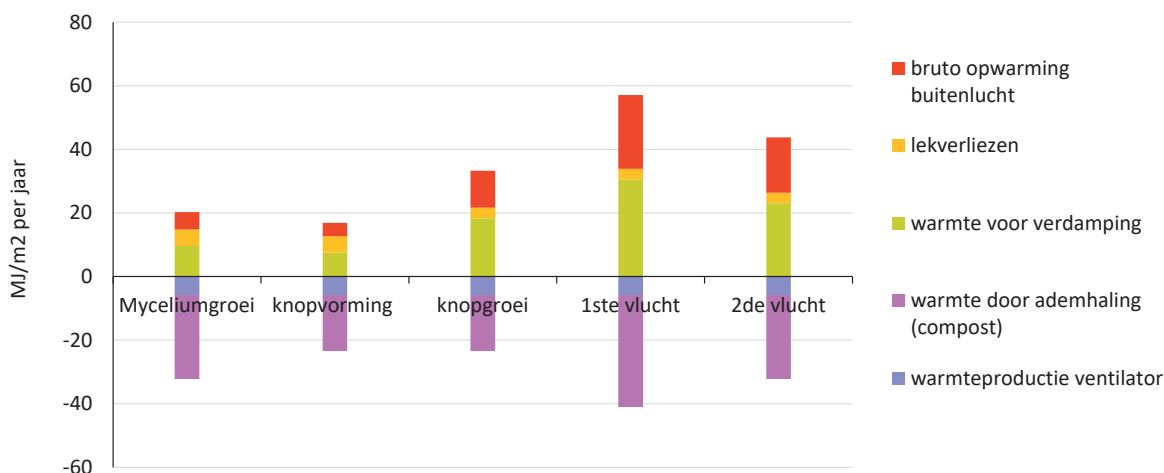
Vergeleken met de gecorrigeerde energiecijfers van de Energiemonitor komen Scenario's 1 en 5 voor warmte het meest overeen, Scenario's 5 en 6 komen het meest overeen voor het elektraverbruik. Een-en-ander is ook samengevat in Figuur 9, waarin de berekeningen met de Energiebalans gecorrigeerd zijn voor een vergelijking met de gemiddelde waarden van de Energiemonitor 2007 t/m 2018 (d.w.z. het door de Energiebalans berekend energieverbruik voor warmte wordt gedeeld door 0,5 en het energieverbruik voor elektra wordt gedeeld door 0,77).



**Figuur 9** Gecorrigeerde resultaten van 6 Scenario's, vergeleken met het gemiddelde energieverbruik (primair) over de bedrijven van de Energiemonitor 2007 t/m 2018.

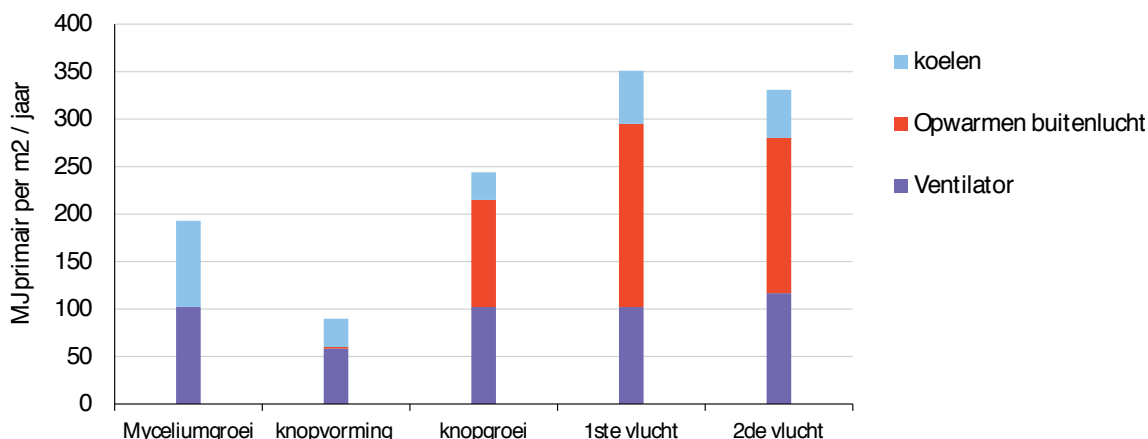
Scenario's 2 en 5 komen het meest overeen met het sectorgemiddelde. De spreiding rond dat sectorgemiddelde is echter vrij groot, zie Bijlage 1: Energieverbruik/m<sup>2</sup> van bedrijven met witte champignons.

Voor de verschillende teeltfasen wordt de energiebalans op jaarbasis in Scenario 5 weergegeven door Figuur 10 en het resulterende (primaire) energieverbruik door Figuur 11.



**Figuur 10** Energiebalans op jaarbasis voor de verschillende teeltfasen in Scenario 5.

Zelfs in de winter hoeft er tijdens myceliumgroei en knopvorming niet of nauwelijks (extreme temperaturen uitgezonderd) verwarmd te worden, de warmte van de compost en de ventilator is voldoende om de cel op temperatuur te houden bij de in deze fase erg lage klepstanden. Tijdens de 1<sup>ste</sup> vlucht wordt de meeste energie verbruikt.

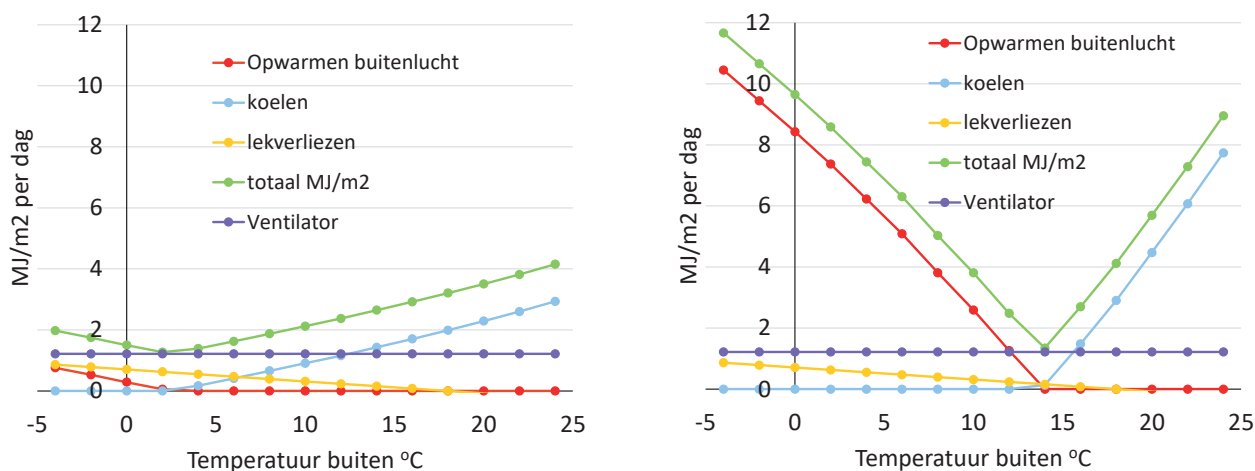


**Figuur 11** Primair energieverbruik voor de verschillende teeltfasen in Scenario 5.

Deze resultaten laten zien dat de Energiebalans redelijk klopt, maar dat op onderdelen verfijning nog mogelijk is (zoals CO<sub>2</sub>-productie per teeltfase).

### 3.4 Buitentemperatuur

Het effect van de buitentemperatuur zoals berekend met de Energiebalans voor de fase Myceliumgroei in Scenario 5 zijn samengevat in Figuur 12. Voor de fase 1<sup>ste</sup> vlucht is dit samengevat in Figuur 13.



**Figuur 12 en 13** Het (primair) energieverbruik bij verschillende buitentemperaturen tijdens de Myceliumgroei en tijdens de 1<sup>ste</sup> Vlucht, berekend voor Scenario 5, bij een vaste RV van 76%.

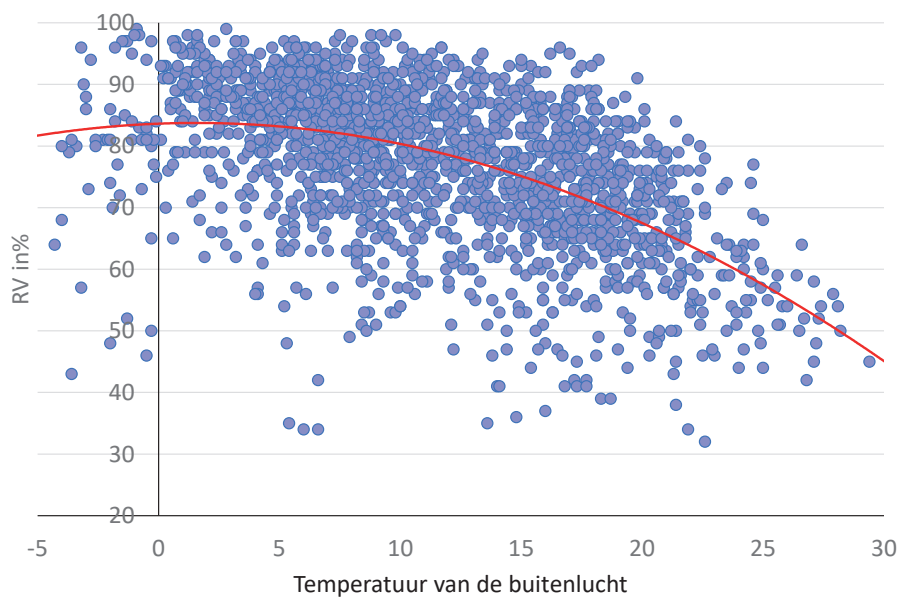
Figuur 12 laat zien dat het laagste energieverbruik bij de Myceliumgroei te verwachten is bij een buitentemperatuur van 2°C. Daalt de temperatuur buiten onder de 2°C dan moet ondanks de lage ventilatie buitenlucht opgewarmd worden. Stijgt de temperatuur buiten, dan is voor de koeling van buitenlucht steeds meer energie nodig. De lekverliezen naar buiten nemen steeds meer af naarmate de temperatuur buiten naar de 22°C van de cellucht gaat. Klep- en ventilatorstand, CO<sub>2</sub>-concentratie, RV en temperatuur in de cel zijn bij deze temperatuurreeks constant gehouden. Om de RV van de cellucht op 95% te houden neemt met de stijgende temperatuur van de buitenlucht de verdamping exponentieel af, omdat het absolute vochtgehalte juist exponentieel toeneemt.

Het energieverbruik per dag tijdens de 1<sup>ste</sup> vlucht is vergeleken met het verbruik tijdens de Myceliumgroei fors hoger bij lage en hoge temperaturen van de buitenlucht. Maar bij een buitentemperatuur van 14°C is het energieverbruik even laag ( $\pm 1,5$  MJ/m<sup>2</sup>/dag), Figuur 13: buitenlucht hoeft niet gekoeld of verwarmd te worden. Daalt de temperatuur, dan neemt het energieverbruik door verwarming snel toe, tot bijna 12 MJ/m<sup>2</sup>/dag wanneer het buiten 4°C vriest. Wanneer de temperatuur boven de 14°C stijgt, dan stijgt het energieverbruik voor koeling naar 9 MJ/m<sup>2</sup>/dag bij 22°C.

### 3.5 RV% van de buitenlucht

De RV van de buitenlucht varieert dagelijks als gevolg van temperatuursveranderingen (dag-nachtverschillen) en over de seizoenen door weersveranderingen. De effecten van een verandering in RV zijn met de Energiebalans nagegaan bij een temperatuur van de buitenlucht van 4, 14 en 24°C, bij de eerste vlucht volgens het Scenario 5. Het RV% varieerde hierbij in realistische waarden van 40% (zeldzaam) tot 98% (vaak voorkomend wanneer de temperatuur onder de 10°C is), Figuur 14.

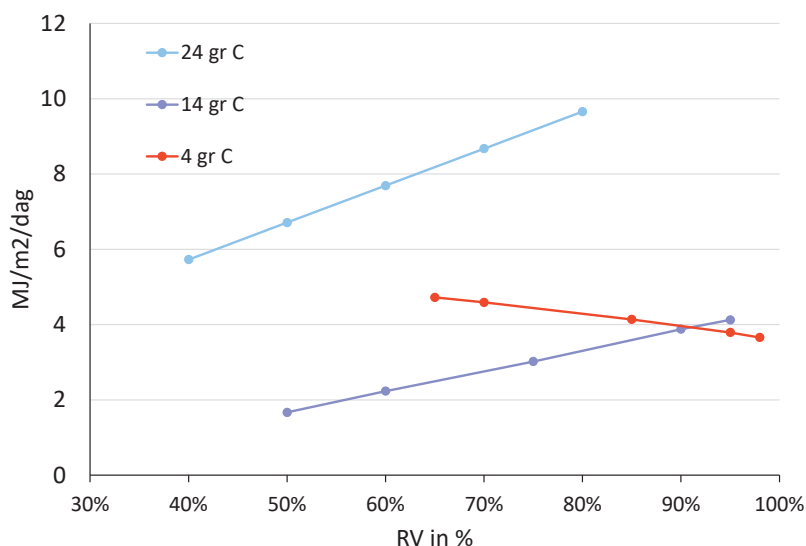
De resultaten laten zien dat bij toenemende RV van de buitenlucht bij een buitentemperatuur van 24°C steeds meer energie voor koeling nodig is. Bij een RV buiten van 40% moet in de cel water verdampen om de RV in de cel op 85% te houden, maar bij een hogere RV buiten hoeft er steeds minder verdampd te worden om de RV in de cel op 85% te houden, zodat het koelende effect van verdampen vermindert en er meer gekoeld moet worden.



**Figuur 14** De daggemiddelde Relatieve luchtvochtigheid (RV%) van 2015 tot 2020 uitgezet tegen de gemiddelde dagtemperatuur, Eindhoven. Bron: KNMI.

Bij een buitentemperatuur van 14°C en een RV van de buitenlucht van 50% is het energieverbruik voor koeling voor de eerste vlucht het laagst, maar neemt toe bij toenemende RV van de buitenlucht. Ook hier, omdat in de cel steeds minder water verdampt wordt om de RV van de cel op 85% te houden.

Maar bij een buitentemperatuur van 4°C neemt vanaf een RV van de buitenlucht van 65% het energieverbruik voor verwarming juist (iets) af bij een hoger RV, omdat er minder hoeft te verdampen.

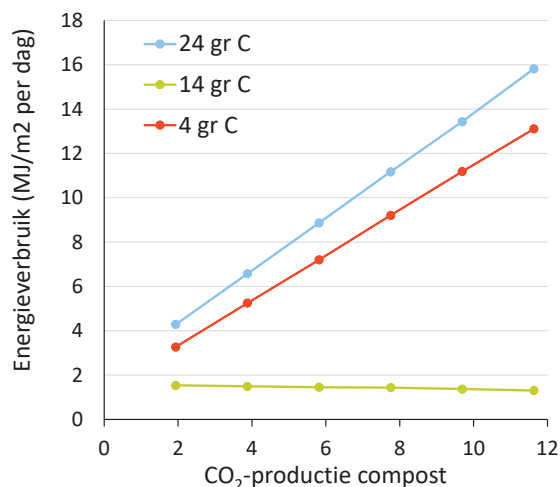


**Figuur 15** Energieverbruik bij de 1<sup>ste</sup> vlucht bij toenemende RV van de buitenlucht: voor koelen wanneer de buitentemperatuur 14 of 24°C is, en voor verwarmen wanneer die 4°C is.

## 3.6 Compostactiviteit

De compostactiviteit, biologische activiteit, vertering van compost door bacteriën en schimmels, en de groei van de champignons, resulteert in het vrijkomen van CO<sub>2</sub> gas, en in verhouding daartoe de productie van warmte en ook water. De warmte waarmee in de Energiebalans gerekend is, is 21 kJ per liter CO<sub>2</sub> geproduceerd (zie Bot G. & Wildschut J., 2008). De hoeveelheid water die hierbij vrijkomt en eventueel verdampt moet worden, wordt in de energiebalans integraal meegenomen met het invoeren van de hoeveelheid te verdampen water per dag om het optimale RV% in de cel te realiseren volgens het teeltschema in Tabel 1 (zie Figuur 3).

Met de Energiebalans is nagegaan wat bij verschillende temperaturen van de buitenlucht (4, 14 en 24°C) in Scenario 1 het effect is van toenemende CO<sub>2</sub>-productie door compostactiviteit en champignon groei op het energieverbruik (MJ/m<sup>2</sup>/dag) tijdens de 1<sup>ste</sup> vlucht, Figuur 16.



**Figuur 16** Het effect van toenemende CO<sub>2</sub>-productie (L/m<sup>2</sup>/dag) in een champignon-cel bij verschillende temperaturen van de buitenlucht.

De Figuur laat zien dat bij hogere CO<sub>2</sub>-productie het energieverbruik fors toeneemt, zowel voor koeling bij een hogere temperatuur van de buitenlucht, als bij een lage temperatuur van de buitenlucht, maar dan voor verwarming.

Omgekeerd: wordt als norm voor een optimaal celklimaat bij de 1<sup>ste</sup> vlucht een veel lager CO<sub>2</sub>-gehalte gehanteerd dan neemt het energieverbruik voor deze teeltfase fors toe voor koelen (als het buiten >14°C is) of voor verwarmen (als het buiten <14°C is), omdat dan meer geventileerd wordt.



## 4 Conclusies en Aanbevelingen

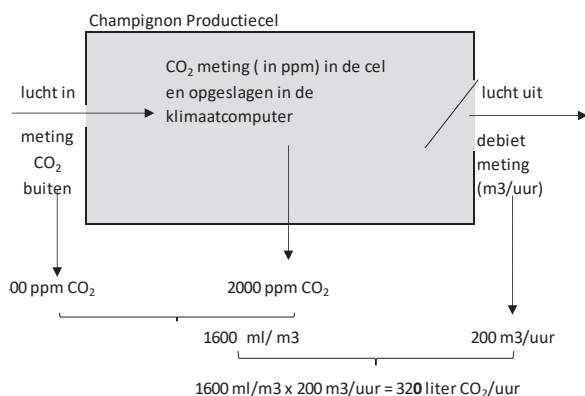
Met dit rekenmodel "Energiebalans Champignon Productie Cel" wordt het resulterende energieverbruik (per m<sup>2</sup> netto teeltoppervlak) als gevolg van de temperatuur en de RV van de buitenlucht en als gevolg van de vereisten aan het celklimaat (temperatuur, RV en CO<sub>2</sub>-concentratie) op uurbasis berekend. Hiermee kan het energieverbruik per teeltfase en per teelt berekend worden. En zo het energieverbruik per jaar.

Het door de Energiebalans berekende energieverbruik per jaar, vergeleken met het energieverbruik per m<sup>2</sup> teeltoppervlak per jaar zoals berekend uit de gemiddelde bedrijfsgegevens van de Energiemonitor van de Nederlandse Paddenstoelensector is van dezelfde orde. De spreiding rond dit laatste gemiddelde is erg groot en kan voor een groot deel met de Energiebalans verklaard worden: variaties in de temperatuur en de RV van de buitenlucht, en van het gerealiseerde celklimaat in termen van temperatuur, RV en CO<sub>2</sub>-concentratie en van de geschatte compostactiviteit leiden tot grote verschillen in energieverbruik voor koeling en/of verwarming. Deze verschillen kunnen oplopen tot een factor 2 – 5.

Enkele bevindingen volgens de berekeningen door de Energiebalans bij algemene klimaatinstellingen:

- Gemiddeld op jaarbasis is tijdens de myceliumgroei en de knopvorming nauwelijks warmte nodig, maar wel koeling. De compostactiviteit produceert voldoende warmte en door een hoge CO<sub>2</sub>-concentratie aan te houden is weinig ventilatie nodig.
- De 1<sup>ste</sup> vlucht is de teeltfase die op jaarbasis de meeste energie vraagt, vooral voor verwarming.
- Tijdens de myceliumgroei is het energieverbruik het laagst bij een buitentemperatuur van 2°C. Bij een lagere buitentemperatuur neemt het energieverbruik toe voor verwarming, bij een hogere temperatuur neemt het energieverbruik toe voor koeling.
- Bij de 1<sup>ste</sup> vlucht is het energieverbruik het laagst bij een buitentemperatuur van 14°C. Zowel bij een hogere als bij een lagere temperatuur van de buitenlucht neemt het energieverbruik fors toe voor respectievelijk koeling en verwarming.
- Bij een hoge temperatuur van de buitenlucht (bijv. 24°C) tijdens de 1<sup>ste</sup> vlucht neemt het energieverbruik voor koeling fors toe bij een toenemende RV van de buitenlucht. Bij een lage temperatuur (bijv. 4°C) neemt het energieverbruik voor verwarming dan juist iets af.
- Afhankelijk van de gehanteerde norm voor CO<sub>2</sub>-concentratie voor een optimaal celklimaat per teeltfase neemt bij een hoge temperatuur van de buitenlucht (bijv. 24°C) het energieverbruik voor koelen fors toe met een toenemende compostactiviteit. Bij een lage temperatuur van de buitenlucht (bijv. 4°C) neemt het energieverbruik voor verwarming dan fors toe. Maar bij een buitentemperatuur van 14°C heeft de compostactiviteit nauwelijks effect op het energieverbruik.

Het is aanbevolen deze Energiebalans te verifiëren door op enkele bedrijven voor een aantal teelten data uit de klimaatcomputer uit te lezen en deze te combineren met metingen van ventilatiedebiet en CO<sub>2</sub>-concentraties, schematisch voorgesteld door Figuur 17. Hiermee kan de warmteproductie als gevolg van ademhaling tijdens de verschillende teeltfasen bepaald worden.



**Figuur 17** Meetopzet CO<sub>2</sub>-productie in een productiecel.



# Literatuur en Bronnen

Wildschut J. en Van Leeuwen P., 2019.

"Bedrijfsverschillen in Energieverbruik bij de Paddenstoelenproductie". Rapport WPR-860, Wageningen University & Research, BU Glastuinbouw-Bloembollen.

Wildschut J., 2020.

"Energiemonitor van de Nederlandse Paddenstoelensector 2018". Rapport WPR-967, Wageningen University & Research, BU Glastuinbouw-Bloembollen.

Fancom B.V.. <https://www.fancom.nl/champignons/champignonteelt>

Blok C., Elings A., Sonnenberg A., Amsing J., Nederhoff E., Khodabaks R., 2010.

"Balansen voor substraat in de champignonteelt, Metingen per laag en in de tijd". Rapport GTB-1112, Wageningen University & Research, BU Glastuinbouw.

Vos, A.M., 2017.

"Compost degradation and growth of *Agaricus bisporus*". Proefschrift, Universiteit van Utrecht, ISBN/EAN 9789462956025.

Van Seggelen M., 2006.

"Champignonkweker kan opbrengst sturen". Agrabeton, nr 5, 2006.

Daniel C. Eastwood, Bram Herman, Ralph Noble, Andreja Dobrovin-Pennington, S. Sreenivasaprasad, Kerry S. Burton, 2013.

"Environmental regulation of reproductive phase change in *Agaricus bisporus* by 1-octen-3-ol, temperature and CO<sub>2</sub>". Fungal Genetics and Biology 55 (2013) 54–66

Amsing J.G.M. & Straatsma G., 2004

"Relatie tussen warmte- vocht- en CO<sub>2</sub>-afgifte tijdens de teelt van champignons met groei en kwaliteit". Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V., Sector Paddestoelen.

Van Doremaele R., 2002.

"Vergelijkingsonderzoek luchtverdeelsystemen in de champignonteelt". C-point B.V., projectnr. 02.71.01, Horst.

<https://geurts-champignons.nl/wp-content/uploads/2014/11/teeltschema-1024x438.jpg>

KNMI, temperatuur en RV, <https://www.knmi.nl/>

Gielen J., 2015.

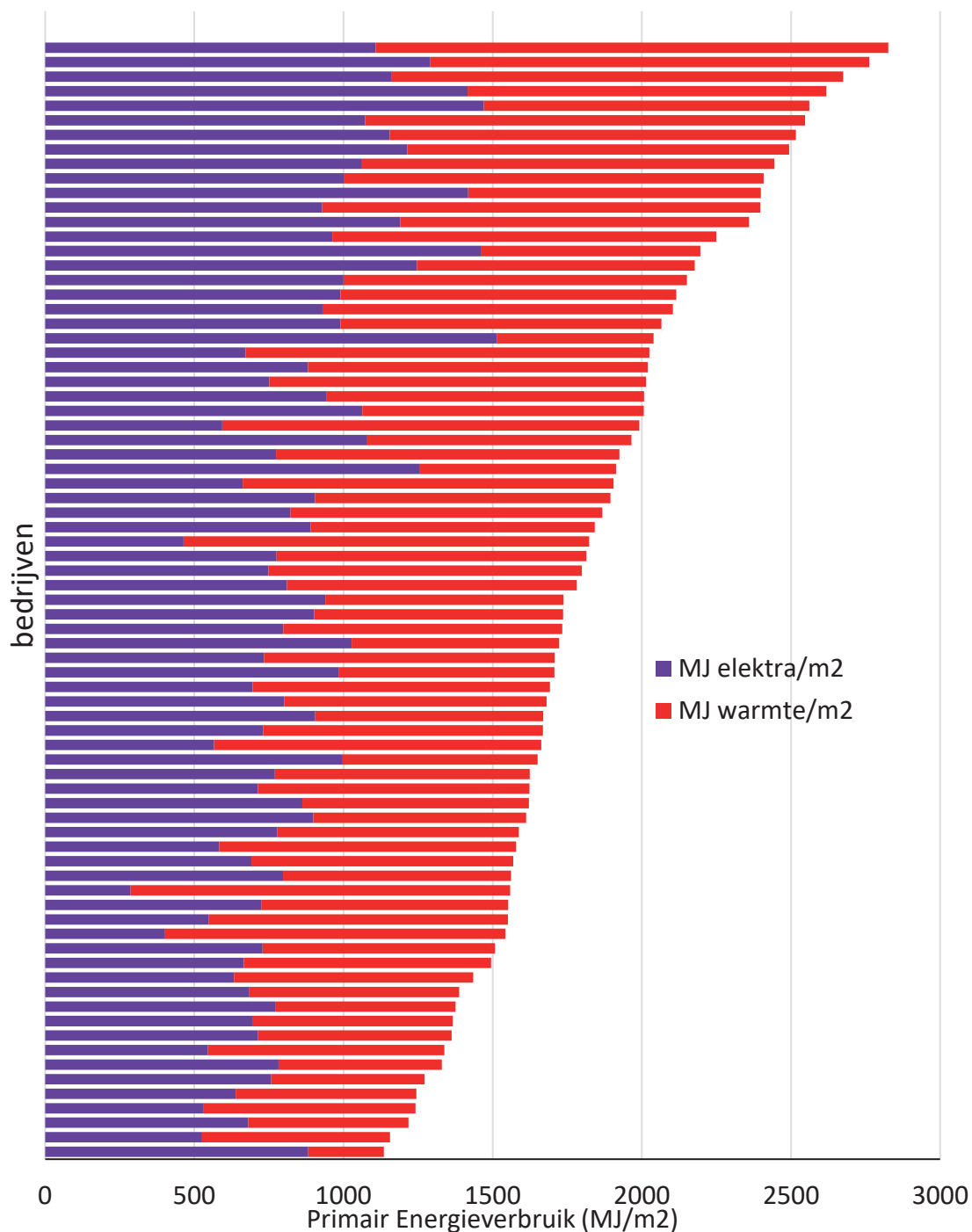
"Energiestromen en doodstomen in de champignonteelt". Deelrapport 1: Energiestromen, DLV Plant Mushrooms.

Polman E., 2015.

Energiestromen en doodstomen in de champignonteelt. Deelrapport 2: Doodstomen, DLV Plant Mushrooms.



## Bijlage 1 Energieverbruik/m<sup>2</sup> van bedrijven met witte champignons (uit de Energiemonitor 2007 t/m 2018)



**Figuur 18** Energieverbruik (MJ primair/m<sup>2</sup>) van bedrijven met witte champignons, deelnemers aan de Energiemonitor van de Nederlandse Paddenstoelensector. Per bedrijf is het gemiddelde over de periode 2007 t/m 2018 weergegeven.





To explore  
the potential  
of nature to  
improve the  
quality of life



Wageningen University & Research,  
BU Glastuinbouw - Bloembollen  
Postbus 20  
2665 ZG Bleiswijk  
Violierenweg 1  
2665 MV Bleiswijk  
T +31 (0)317 48 56 06  
F +31 (0) 10 522 51 93  
[www.wur.nl/glastuinbouw](http://www.wur.nl/glastuinbouw)

Rapport WPR-1035

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 5.000 medewerkers en 12.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.