



Conditionering bij biologische vruchtgroenten

Technisch, teeltkundig en economisch onderzoek in de gesloten kas van BiJo te 's-Gravenzande

Marcel Raaphorst



Referaat

BiJo is een biologisch groententeeltbedrijf dat sinds 2009 vruchtgroenten in een gesloten kas-systeem teelt. Gedurende twee jaar zijn de teelten, het kasklimaat en het energieverbruik in de gesloten kas gemonitord en begeleid met financiering van het programma Kas als Energiebron.

Met luchtbehandelingskasten wordt geconditioneerde lucht via luchtslangen tussen het gewas geblazen. Indien nodig, bijvoorbeeld bij gewaswerkzaamheden, kunnen de luchtslangen boven het gewas worden opgehesen. Hoewel de luchtbehandelingskasten voldoende capaciteit hebben om de kas volledig gesloten te houden is toch regelmatig een raamkier aangehouden. In het eerste jaar is dat vooral doordat de temperatuur van de koude bron nog te hoog was, maar ook in het tweede jaar is regelmatig gelucht om de CO₂-concentratie niet te hoog op te laten lopen.

Over het hele jaar is een hogere CO₂-concentratie bereikt dan in een gemiddelde open kas, zodat zonlicht beter is benut voor de fotosynthese. Hier is nog verdere verbetering mogelijk door meer te koelen of meer CO₂ te doseren.

De productie is bij tomaat hoger geweest dan de prognose. Bij komkommer en paprika is de productieverhoging onder andere door ziekten en plagen minder hoog gebleven.

In het eerste jaar is te veel warmte ingezet voor de ontvochtiging van de kas. In het tweede jaar is de warmtevraag vergelijkbaar met andere biologische bedrijven. Deze warmte is CO₂-neutraal grotendeels opgewekt met groene stroom in een warmtepomp, terwijl 8% is opgewekt in een bio-olieketel. Het elektriciteitsverbruik van de warmtepomp is laag gebleven vanwege een hoge COP (ruim 6). Daarentegen is veel elektriciteit nodig geweest voor overige doeleinden, zoals de ventilatoren en de bronpompen.

In de afgelopen twee jaren is meer warmte dan koude uit de bodem onttrokken. Op den duur kan dit leiden tot een te sterke afkoeling van de bronnen. Voor de toekomst wordt daarom geadviseerd om meer warmte te oogsten.

De investering in de gesloten kas moet voor een groot deel worden terugbetaald uit een hogere prijs voor de CO₂-neutrale productie.

© 2011 Wageningen, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO)

Wageningen UR Glastuinbouw

Adres : Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk
: Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk
Tel. : 0317 - 48 56 06
Fax : 010 - 522 51 93
E-mail : glastuinbouw@wur.nl
Internet : www.glastuinbouw.wur.nl

Inhoudsopgave

1	Inleiding	5
	1.1 Het bedrijf	5
	1.2 De energievoorziening	6
2	Monitoring van het kasklimaat	7
	2.1 Luchtdebiet door LBK's	7
	2.2 Raamstand	9
	2.3 CO ₂ -dosering en concentratie	11
	2.4 Verwarming	12
	2.5 Schermgebruik	14
	2.6 Koeling met LBK's	14
	2.7 Kasteratuur	17
	2.8 Luchtvochtigheid (RV)	18
	2.9 Absoluut vochtgehalte (AV)	19
3	Het energieverbruik	23
	3.1 Warmtegebruik	23
	3.2 Koudegebruik	23
	3.3 Inzet van de warmtepompen en bio-olie	24
	3.4 Elektriciteitsverbruik	25
4	De teelt	27
	4.1 Groei en productie	27
	4.2 Gewasgezondheid	28
	4.3 Arbeidsomstandigheden	28
5	Economische haalbaarheid	29
6	Conclusies en aanbevelingen	31
	6.1 Discussies	31
	6.2 Conclusies	31
	6.3 Aanbevelingen	31
7	Literatuur	33

1 Inleiding

Koeling en verwarming met behulp van warmtepompen en opslag van warmte en koude in de aquifer wordt ook wel (semi)-gesloten of geconditioneerd telen genoemd. Aangezien in geconditioneerde kassen het gebruik van fossiele energie kan worden beperkt, heeft Wageningen UR Glastuinbouw met financiering van het programma Kas als Energiebron teeltbegeleiding en monitoring uitgevoerd bij verschillende conditionerende bedrijven. In dit kader zijn vier rapporten verschenen:

1. CO₂-opname in een gesloten kas,
2. Conditionering bij biologische vruchtgroenten,
3. Teeltbegeleiding semi-gesloten Phalaenopsis,
4. Teeltbegeleiding geconditioneerde tomaat.

Dit rapport is de tweede uit de serie, waarin een verslag wordt gedaan over het kasklimaat, het energieverbruik, de teelt en de economie voor kasconditionering bij het biologisch glasgroentenbedrijf BiJo te 's Gravenzande.

BiJo is een groot en modern bedrijf van de familie Jonker uit 's-Gravenzande dat zich richt op het telen, snijden en verpakken van biologische groenten. In 2009 is in een nieuwe gesloten kas gestart met het telen van vruchtgroenten (tomaat, komkommer en paprika). Deze start is gedurende ruim een jaar gemonitord door Wageningen UR Glastuinbouw vanuit de projecten "Monitoring technische systemen in semi-gesloten kassen" en "Teeltbegeleiding en resultaatmonitoring geconditioneerde kassen". Naast het volgen van de teelt, het kasklimaat en de energiestromen in de gesloten kas is teeltbegeleiding gegeven met medewerking van Innogrow en later GreenQ.

De belangrijkste onderzoeksdoelen van de monitoring zijn het achterhalen van de perspectieven en verbeterpunten van conditioneren in een grondgebonden vruchtgroententeelt. De teeltbegeleiding heeft enerzijds als doel om de telers van BiJo te ondersteunen in de combinatie van een nieuw teeltsysteem bij voor het bedrijf nog nieuwe gewassen. Anderzijds biedt de teeltbegeleiding ook informatie die voor monitoring relevant is.

1.1 Het bedrijf

BiJo heeft een open kas met 7 hectare bladgewassen (inclusief radijs) en een gesloten kas van 2,5 hectare met 4 afdelingen. De gesloten kas is in gebruik genomen in januari 2009.

Tabel 1. Oppervlakte en teelten van de verschillende afdelingen

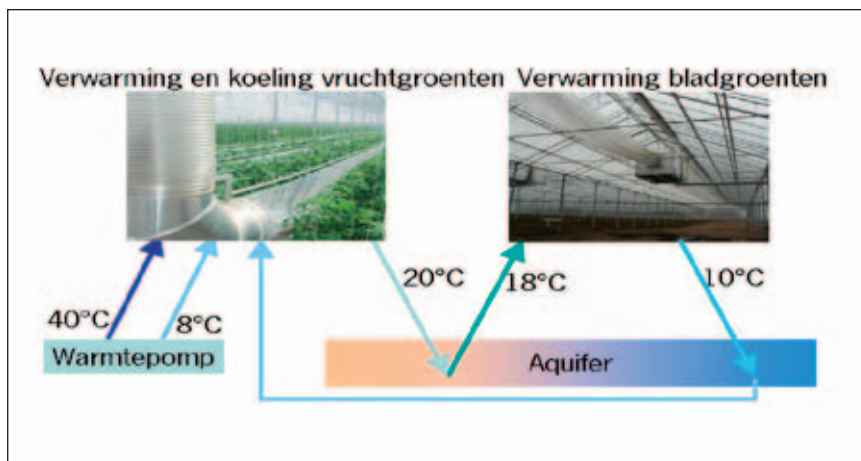
Kas	Oppervlakte (m ²)	Teelt 2009	Teelt 2010
Open kas	70000	Bladgewassen	Bladgewassen
Gesloten kas afd. 1	6200	Tomaat	Komkommer
Gesloten kas afd. 2	7500	Tomaat	Paprika
Gesloten kas afd. 3	5400	Komkommer	Tomaat
Gesloten kas afd. 4	6200	Paprika	Tomaat

1.2 De energievoorziening

Gelijktijdig met de bouw van de gesloten kas zijn drie elektrisch aangedreven warmtepompen van ieder 160 kW_e en een bio-olieketel aangeschaft die de benodigde koude en warmte van het hele bedrijf kunnen leveren. De COP die de warmtepompen kunnen leveren ligt meestal tussen 6 en 7, waardoor het thermische vermogen voor warmte en koude rond 1050 respectievelijk 900 kW_{th} per warmtepomp ligt.

De ondergrondse opslag van warmte en koude wordt uitgevoerd door twaalf bronparen met een nominale pompcapaciteit van ieder $45 \text{ m}^3/\text{uur}$. Bij een onttrekkingstemperatuur van 9°C en een retourtemperatuur van 20°C is het koelvermogen voor de gesloten kas direct vanuit de bronnen dan $45 \cdot 12 \cdot (20-9) \cdot 4,18/3600 = 6,9 \text{ MW}_{th}$. Voor de gehele gesloten kas betekent dit een direct koelvermogen van $270 \text{ W}/\text{m}^2$. Bij vollast kan vanuit de bronnen $270 \cdot 3600 \cdot 24/1000000 = 23 \text{ MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{dag}$ aan koude worden opgepompt. Met behulp van een bovengrondse buffer, waarin zowel warm als koud water kan worden opgeslagen, kunnen pieken in de koelvraag worden opgevangen.

De warmtepomp is in principe bedoeld voor de verwarming van de gesloten kas met vruchtgroenten (zie Figuur 1.). De kas met bladgroenten kan voor een groot deel direct worden verwarmd vanuit de warme bron in de aquifer. In verwarmingssituaties is er concurrentie tussen de warmtevraag van de open kas (7 hectare) en de warmtepomp, die warmte levert aan de gesloten kas. Als alle drie de warmtepompen voluit draaien dan onttrekken zij ieder $\pm 900 \text{ kW}_{th}$ aan de bronnen, ofwel gezamenlijk $2,7 \text{ MW}_{th}$. De drie warmtepompen maken hiervan maximaal $3,2 \text{ MW}_{th}$, ofwel $125 \text{ W}/\text{m}^2$ gesloten kas.



Figuur 1. Vereenvoudigde weergave van de energievoorziening bij BiJo.

Uitgaande van een temperatuurverschil tussen de warme bron en de koude bron van 11°C kunnen de bronnen $6,9 \text{ MW}_{th}$ leveren. Het restant van de beschikbare warmte ($6,9-2,7=4,2 \text{ MW}_{th}$) kan worden gebruikt om de open kas te verwarmen met $4200/70=60 \text{ W}_{th}/\text{m}^2$. Bladgewassen vragen op jaarbasis niet veel warmte, maar bij strenge vorst moet ook deze open kas liefst rond $7-10^\circ\text{C}$, maar in ieder geval vorstvrij worden gehouden. Een verwarmingsvermogen van 60 W_{th} is hiervoor te weinig, zodat bij strenge vorst gebruik moet worden gemaakt van de bio-olie ketel. Ook de warmtebuffer kan helpen om de piekvraag af te vlakken. Omdat warmtepompen geen hoogwaardige warmte leveren, is een relatief grote warmtebuffer ($\pm 5000 \text{ m}^3$) nodig om de piekvraag voldoende op te kunnen vangen.

2 Monitoring van het kasklimaat

Vele kasklimaatdata zijn verzameld vanaf juli 2009. Van deze data zijn drie verschillende perioden geselecteerd dat in alle afdelingen een teelt aanwezig is. Het betreft de perioden:

- Een zomerperiode. 16 juli tot 7 september 2009. Na deze periode is de 2^e komkommerteelt beëindigd.
- Een winterperiode. 1 februari tot 1 april 2010. Jonge opgroeiende gewassen.
- Een voorjaarsperiode. 1 april tot 5 juni 2010. Volproductieve gewassen. Na deze periode is de 1^e komkommerteelt beëindigd.

Van deze drie perioden zijn voor verschillende aspecten cyclische gemiddelde etmalen gemaakt. Een cyclisch gemiddeld etmaal is opgebouwd uit een reeks etmalen binnen een periode. Door het gebruik van cyclische gemiddelde worden incidentele uitschieters afgevlakt en komen de dagelijks terugkerende patronen duidelijker naar voren dan bij een analyse van individuele etmalen.

2.1 Luchtdebiet door LBK's

Het luchtvolume dat door de LBK's is geblazen is voor drie LBK's geregistreerd (afdeling 1 ontbreekt). Het betreft hier berekende volumes op basis van de volumestand. Bij vervuiling van de LBK's zou het werkelijke volume lager kunnen liggen. Over het algemeen wordt 's nachts minder hard geblazen dan overdag omdat voor ontvochtiging en verwarming minder luchtvolume nodig is dan voor koeling. Het minimale volume dat is geblazen varieert van 35 tot 46 m³/m².uur in het eerste jaar (2009), maar dat is in het tweede jaar naar beneden gebracht naar 28 tot 35 m³/m².uur, voornamelijk om te besparen op het elektriciteitsverbruik. Deze volumes zijn nog steeds hoger dan strikt noodzakelijk voor ontvochtiging in de nacht, maar bij een nog lager luchtvolume is er een risico dat de luchtverdeling minder egaal wordt omdat de luchtslangen zijn gedimensioneerd op een hoog luchtvolume voor koeling.

Het maximale volume dat is geregistreerd is 70 m³/m².uur, maar dat is slechts zelden toegepast. Als vuistregel geldt dat het elektriciteitsverbruik van ventilatoren een derde-machts-verhouding heeft met het luchtdebiet. Een verdubbeling van het volume betekent dus een 2³=8 maal hoger elektriciteitsverbruik.

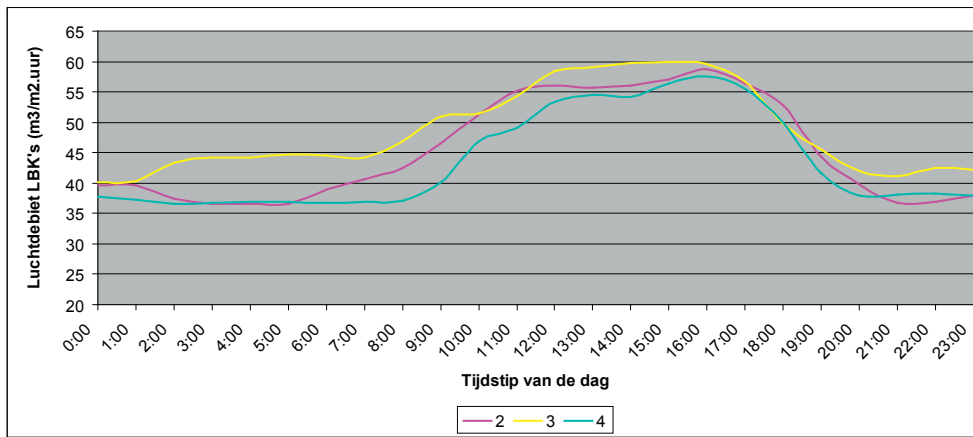
Discussie:

Op een warme zomerdag met een instraling van 900 W/m² is ongeveer 600 W/m² aan koelvermogen nodig om de kas gesloten te houden. Met een luchtdebiet van 70 m³/m².uur, wordt aan kaslucht van 28°C en 80% RV, 600 W/m² aan warmte onttrokken, als deze wordt afgekoeld tot 17°C. Een dergelijk lage uitblaasttemperatuur wordt door veel telers niet als gewenst beschouwd, maar is nodig om de kas volledig gesloten te kunnen houden. Bij tomaat wordt een plotselinge lage uitblaasttemperatuur bij de kop (bijvoorbeeld als de luchtslangen tijdens werkzaamheden omhoog worden gebracht) gezien als een oorzaak van bladrandjes.

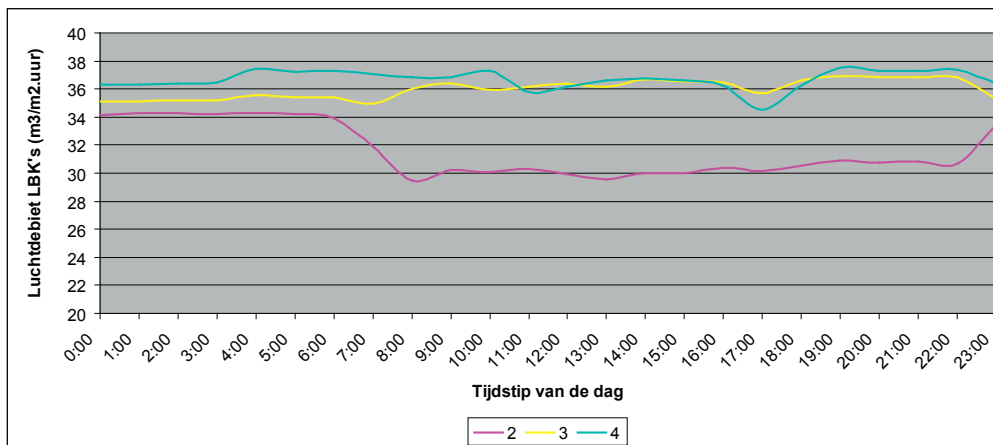
Figuur 2. laat zien dat het luchtdebiet in de zomer van 2009 overdag hoger was dan 's nachts in alle afdelingen. In de afdeling 3 (kommomer) is over het hele etmaal en vooral 's nachts harder geblazen dan in de andere afdelingen.

Figuur 3. laat zien dat in de winterperiode overdag nauwelijks meer luchtdebiet nodig is geweest dan overdag. Er hoefde dan ook niet veel te worden gekoeld. Opvallend is dat het debiet in afdeling 2 (paprika) overdag zelfs lager was dan 's nachts. Dit komt omdat in de nanacht de hoogste temperatuur werd aangehouden en er meer moest worden verwarmd dan overdag.

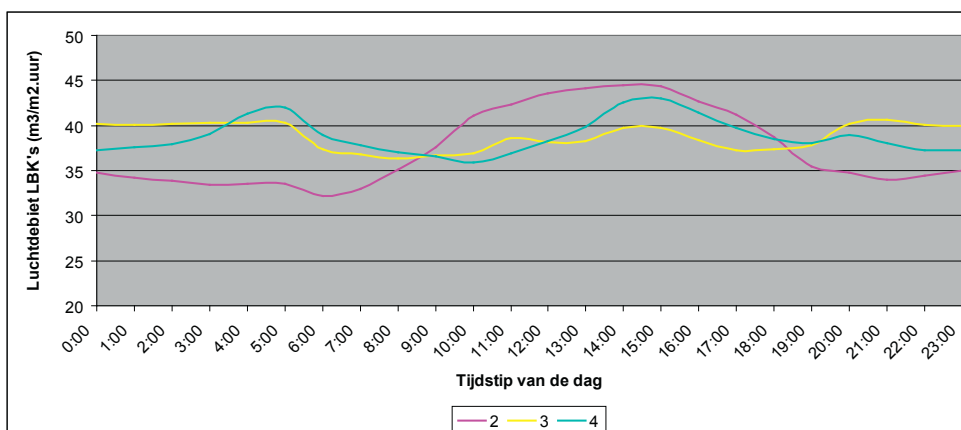
Figuur 4. laat zien dat in afdeling 2 (paprika) vooral overdag een hoog debiet werd aangehouden om voldoende te koelen. De debieten liggen nog iets lager dan in de paprika-afdeling 3 in 2009 van Figuur 2. Bij afdelingen 3 en 4 (tomaat) is geen duidelijk etmaalpatroon te herkennen.



Figuur 2. Cyclisch gemiddelde van 16 juli tot 7 september 2009 van het luchtdebiet door de LBK's in drie van de vier afdelingen



Figuur 3. Cyclisch gemiddelde van 1 februari tot 1 april 2010 van het luchtdebiet door de LBK's in drie van de vier afdelingen



Figuur 4. Cyclisch gemiddelde van 1 april tot 5 juni 2010 van het luchtdebiet door de LBK's in drie van de vier afdelingen

Discussie

Om mechanisch te kunnen ontvochtigen moet eerst worden gekoeld tot onder het dauwpunt. Aangezien 's nachts de temperatuur zelden hoeft te worden verlaagd en omdat moet worden voorkomen dat met vocht verzadigde lucht wordt uitgeblazen, moet de lucht weer worden opgewarmd. Omdat het gaat om grote volumes betekent dit dat veel lucht wordt gekoeld en opgewarmd. Dit kost veel koude en warmte.

Voorbeeld:

's Nachts verdampt een tomatengewas $\pm 25 \text{ g/m}^2\text{.uur}$. Om dit met $36 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{.uur}$ af te voeren moet de ingeblazen lucht dus $25/36 = 0,7 \text{ g/m}^3$ onttrekken. Kaslucht met een temperatuur van 19°C en een RV van 90% bevat $14,7 \text{ g/m}^3$ lucht en heeft een dauwpunt van $17,3^\circ\text{C}$. Om $0,7 \text{ g/m}^3$ te condenseren moet deze lucht verder afkoelen tot $16,4^\circ\text{C}$. Na herverwarming tot 19°C heeft dit 48 W/m^2 aan koeling en 31 W/m^2 aan verwarming gekost.

Indien de hoeveelheid lucht wordt gehalveerd tot $18 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{.uur}$ dan moet deze lucht $1,4 \text{ g/m}^3$ condenseren. Hiervoor moet de lucht in plaats van tot $16,4^\circ\text{C}$ afkoelen tot $15,5^\circ\text{C}$. Het koelen en herverwarmen van deze lucht kost dan nog respectievelijk 39 en 21 W/m^2 . Bij $9 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{.uur}$ moet de lucht afkoelen tot $13,7^\circ\text{C}$, wat voor koelen en herverwarmen respectievelijk nog maar 33 en 16 W/m^2 kost. Voor mechanische ontvochtiging met een halvering van het luchtvolume is dus kouder koelwater nodig, maar dit vereist een veel (30% en 50%) lager vermogen voor koelen respectievelijk herverwarmen.

Aanbevelingen

Om toch met een groot luchtvolume energiezuinig te ontvochtigen wordt aanbevolen om pulsgewijs te koelen en herverwarmen. Als bijvoorbeeld een kwartier per uur wordt ontvochtigd en vervolgens drie kwartier alleen wordt gerecirculeerd zonder koeling of herverwarming wordt dezelfde besparing gerealiseerd als in bijgaand voorbeeld. Ook kan voor een energiezuinige ontvochtiging de een deel van de luchtslangen tijdelijk worden uitgeschakeld. Risico hierbij is, een goede verdeling van de ontvochtiging niet is gegarandeerd.

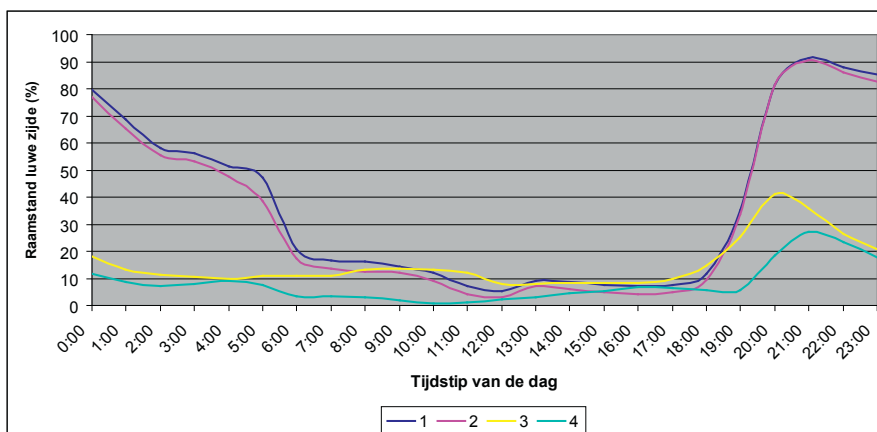
Overigens is het 's nachts nog voordeliger om met droge buitenlucht te ontvochtigen door bijvoorbeeld een kier in de luchtramen aan te houden. Door mechanisch ontvochtigen kan CO_2 -verlies door de ramen worden voorkomen, maar dat heeft 's nachts geen voordeel.

2.2 Raamstand

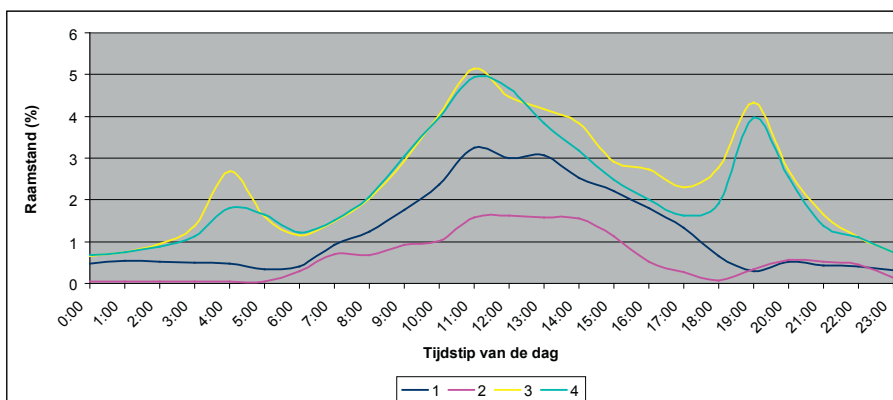
De ramen zijn in de zomer van 2009 niet volledig gesloten gebleven (zie Figuur 5.). Soms worden CO_2 en andere gassen afkomstig van de organische bemesting [de Visser *et al.*, 2004] afgelucht en bovendien blijkt het vaak eenvoudiger en energiezuiniger te zijn om te ontvochtigen met buitenlucht dan met mechanische ontvochtiging (zie paragraaf 2.1). Bij afdelingen 1 en 2 (tomaat) is het meest geventileerd en wel vooral 's nachts.

Figuur 6. laat zien dat ook in de winterperiode van 2010 is geventileerd, al ligt dat op een veel lager niveau dan in de zomer. Bij afdeling 3 en 4 (tomaat) zijn de luchtramen het meest open gegaan. Opvallend zijn de pieken rond zonsopgang en zonsondergang. Op die momenten wordt in korte tijd veel geventileerd om het gewas generatief te krijgen. Hoewel in afdeling 2 (paprika) nauwelijks ontvochtiging nodig is, worden ook daar de ramen dagelijks geopend, vooral om CO_2 en andere gassen af te voeren.

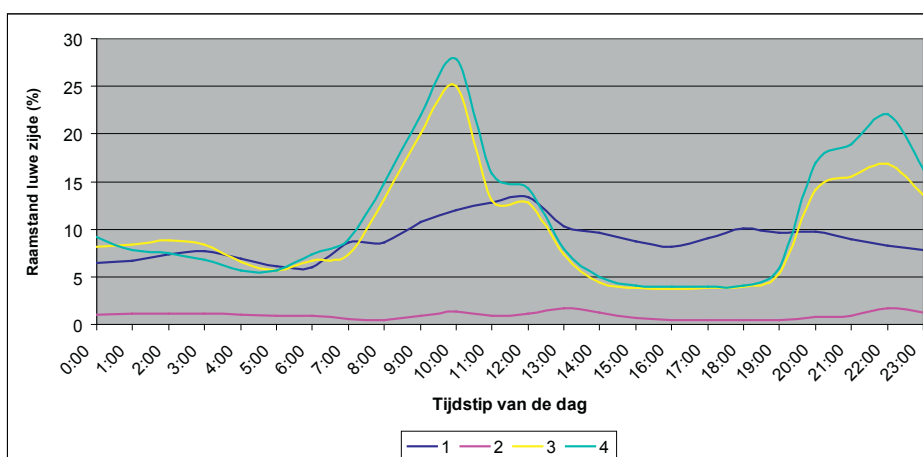
In het voorjaar van 2010 (zie Figuur 7.) wordt alweer meer geventileerd dan in de winter, maar een stuk minder dan in de zomer van 2009. Dit komt enerzijds door lagere buitentemperaturen, maar ook doordat na de eerste winter met het gebruik van een warmtepomp, een lagere temperatuur koelwater beschikbaar is voor koeling van de kas. Bij komkommer (afd 1) en tomaat (afd 3 en 4) is de hoogste raamstand nodig geweest. Bij paprika (afd 2) hoefde nauwelijks te worden geventileerd. Dit is omdat paprika minder verdampt dan tomaat en komkommer zodat nauwelijks ontvochtiging nodig is. Als wordt gekoeld, wordt blijkbaar genoeg vocht onttrokken om de RV laag te houden en is extra ventilatie niet nodig. Ditzelfde verschijnsel was te zien bij het onderzoeksproject met een paprikateelt in de gesloten kas bij Themato [de Gelder *et al.*, 2007]. Komkommer en tomaat verdampen meer en daar moet ook meer vocht via de ramen worden afgevoerd.



Figuur 5. Cyclisch gemiddelde van 16 juli tot 7 september 2009 van de raamstand luwe zijde in de vier afdelingen



Figuur 6. Cyclisch gemiddelde van 1 februari tot 1 april 2010 van de raamstand luwe zijde in de vier afdelingen



Figuur 7. Cyclisch gemiddelde van 1 april tot 5 juni 2010 van de raamstand luwe zijde in de vier afdelingen

Aanbeveling: De combinatie van koelen en ventileren kan elkaar versterken, maar ook tegenwerken. Door te koelen kan de absolute luchtvochtigheid en de enthalpie binnen lager worden dan buiten. Als dan ook wordt geventileerd komt warmere vochtiger lucht de kas binnen en moet zodoende harder worden gekoeld. Dit is tussen 16 juni 2009 en 3 augustus 2010 gemonitord, waaruit blijkt dat dit enkele malen 's nachts is voorgekomen (zie Tabel 2.) en vooral gedurende de zomerperiode bij tomaat. Op die momenten is, om de etmaaltemperatuur te drukken, 's nachts gekoeld waarbij de relatieve

luchtvochtigheid (RV) door de dalende temperatuur oploopt. De hogere RV stuurt automatisch de luchtramen open, maar bij een hogere absolute luchtvochtigheid buiten komt dan juist meer vocht in de kas, waardoor meer mechanisch moet worden ontvochtigd. Hoewel het hier om kleine hoeveelheden gaat, zijn maatregelen gewenst om deze tegenwerking tussen koeling/ontvochtiging en ventilatie te voorkomen.

Tabel 2. Aantal uren tussen 16 juni 2009 en 3 augustus 2010 waarbij is gekoeld met open ramen, terwijl het absoluut vochtgehalte buiten hoger was dan binnen.

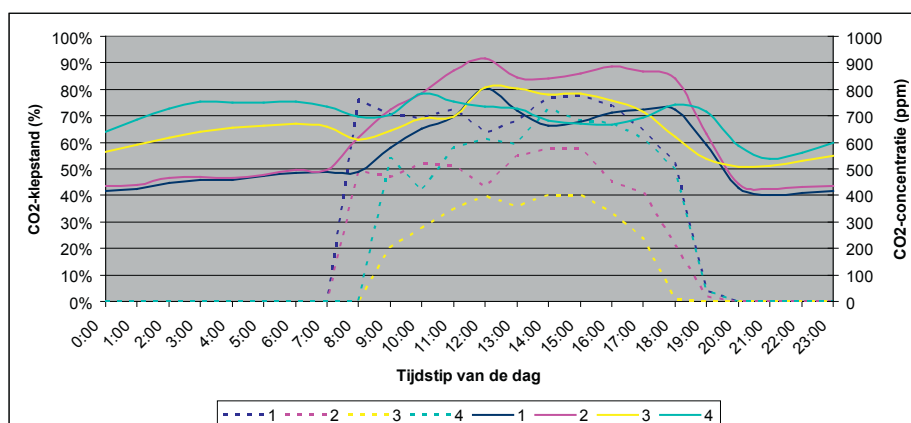
Afdeling	Voorkomen	Gewas
Afdeling 1	12 uur	tomaat
Afdeling 2	24 uur	tomaat en paprika
Afdeling 3	82 uur	tomaat
Afdeling 4	76 uur	tomaat

2.3 CO₂-dosering en concentratie

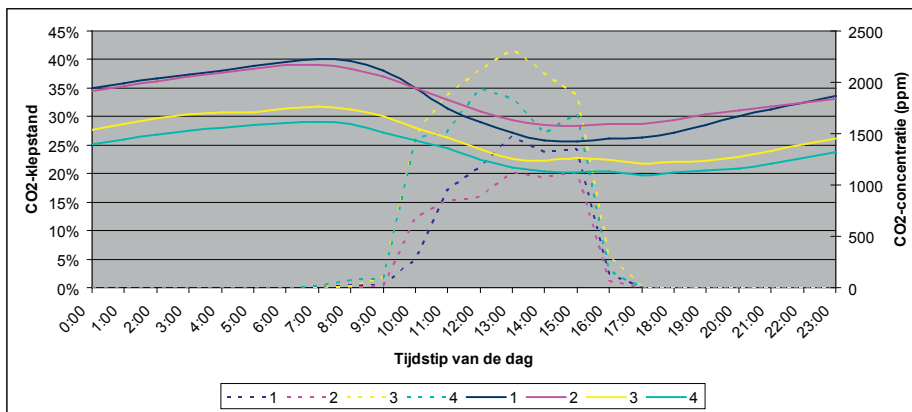
De CO₂-concentratie is bij iedere afdeling onderin de kas gemeten. Door conditionering kan de kas langer gesloten blijven en de CO₂-concentratie hoger worden. Toch is bij BiJo niet altijd een CO₂-concentratie van 1000 ppm aangehouden (zie Figuur 8.). Hiervoor is de capaciteit van de CO₂-dosering (± 100 kg/ha.uur) te laag. Opvallend is dat in afdeling 1 tussen 16 juli en 7 september 2009 vaker is gedoseerd dan in afdeling 2, maar dat de CO₂-concentratie juist lager was. Dit is niet geheel te verklaren door de hogere raamstand in afdeling 1 (zie Figuur 5.), maar kan ook te maken hebben met een lagere druk op de CO₂ klep bij afdeling 1. Ook is het mogelijk dat de luchtstroming in de kas vaak zodanig is dat buitenlucht in afdeling 1 via de ramen naar binnen komt en via afdeling 2 weer naar buiten.

In de winterperiode (1 februari tot 1 april van 2010 zie Figuur 9.) blijven de luchtramen veel langer gesloten. Dit heeft veel impact gehad op de gemiddelde CO₂-concentratie in die periode. In afdelingen 1 en 2 was de gemiddelde CO₂-concentratie 's nachts in deze periode zelfs hoger dan 2000 ppm. Incidenteel werd de grenswaarde van de meter (3000 ppm) overschreden. In afdeling 3 en 4 (tomaat) werd intensiever geventileerd omdat bij een te hoge CO₂-concentratie de hommels minder actief worden.

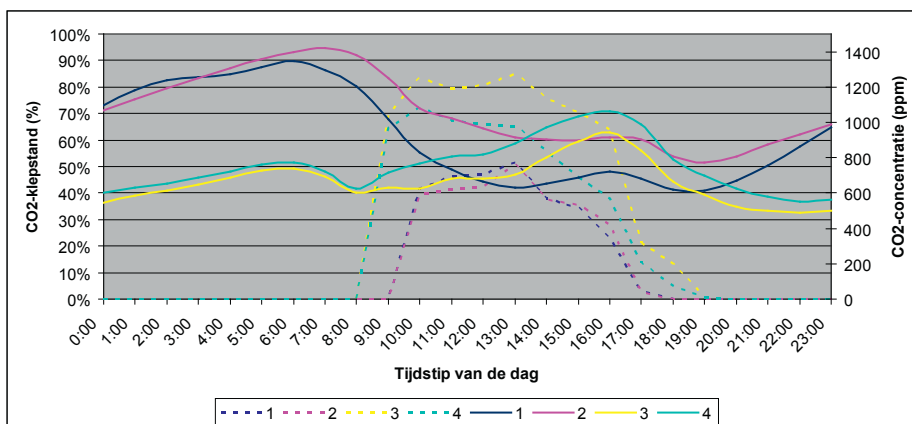
Het voorjaar van 2010 (zie Figuur 10.) laat een vergelijkbaar beeld zien met de zomer van 2009. De concentraties midden op de dag liggen rond 700 tot 800 ppm. Wel is de concentratie in de nacht hoog bij paprika (afd 2) en komkommer (afd1) omdat daar 's nachts minder is gelucht dan bij tomaat (afd 2 en 3).



Figuur 8. Cyclisch gemiddelde van 16 juli tot 7 september 2009 van de CO₂-dosering (onderbroken lijnen) en de CO₂-concentratie (vloeiende lijnen) in de vier afdelingen



Figuur 9. Cyclisch gemiddelde van 1 februari tot 1 april 2010 van de CO₂-dosering (onderbroken lijnen) en de CO₂-concentratie (vloeiende lijnen) in de vier afdelingen



Figuur 10. Cyclisch gemiddelde van 1 april tot 5 juni 2010 van de CO₂-dosering (onderbroken lijnen) en de CO₂-concentratie (vloeiende lijnen) in de vier afdelingen

Efficiëntie van fotosynthese door CO₂

Om te berekenen hoe groot de impact van de CO₂-concentratie is op de fotosynthese kan gebruikt worden gemaakt van de CO₂-vuistregel [Nederhoff, 1994]. Hierin wordt gesteld dat bij een CO₂-concentratie van 400, 600 of 800 ppm de lichtefficiëntie van de fotosynthese respectievelijk gemiddeld 82%, 92% of 97% is ten opzichte van een CO₂-concentratie van 1000 ppm. In Tabel 3. staat voor iedere teelt een op straling gewogen gemiddelde van de berekende lichtefficiëntie van de fotosynthese. Hieruit blijkt dat hoge lichtefficiënties (van 91% tot 96%) zijn gehaald.

Tabel 3. Berekende efficiëntie van de fotosynthese ten opzichte van een continue CO₂-concentratie van 1000 ppm als gevolg van de werkelijke CO₂-concentratie bij de verschillende teelten

	Afd1	Afd2	Afd3	Afd4	Gemiddeld
2009	tomaat	tomaat	komkommer	paprika	
	91%	96%	95%	92%	94%
2010	komkommer	paprika	tomaat	tomaat	
	92%	94%	92%	95%	93%

Discussie

Om tot een hogere lichtefficiëntie te komen (bijvoorbeeld een gemiddelde concentratie van 800 ppm met een efficiëntie van 97%) moet meer gesloten worden geteeld (meer gekoeld) en meer CO₂ worden gedoseerd. Verhoging van het koelvermogen mag er echter zo min mogelijk toe leiden dat de warmtepompen extra draaien voor koeling in de zomer. In principe kunnen de bronnen en de buffers voldoende capaciteit leveren om de kas ook 's zomers volledig gesloten te houden (zie ook paragraaf 1.2). De LBK's moeten met een lage uitblaas temperatuur werken voor voldoende koelcapaciteit (zie discussie in paragraaf 2.1). Verhoging van de CO₂-inkoop brengt extra kosten met zich mee. De gewogen gemiddelde CO₂-concentratie is ±650 ppm geweest. Om dit te verhogen naar bijvoorbeeld 800 ppm zal ongeveer 50% meer CO₂-dosering nodig zijn dan de huidige 10 kg/m².jaar. Een hogere aansluitcapaciteit en een hoger volume kost ongeveer 0,08 €/kg CO₂. Dus als 50% meer wordt gedoseerd dan kost dat 50%*10 kg/m²*0,08 €/kg= 0,40 €/m². 3% extra productie levert ongeveer 1,20 €/m² meer op.

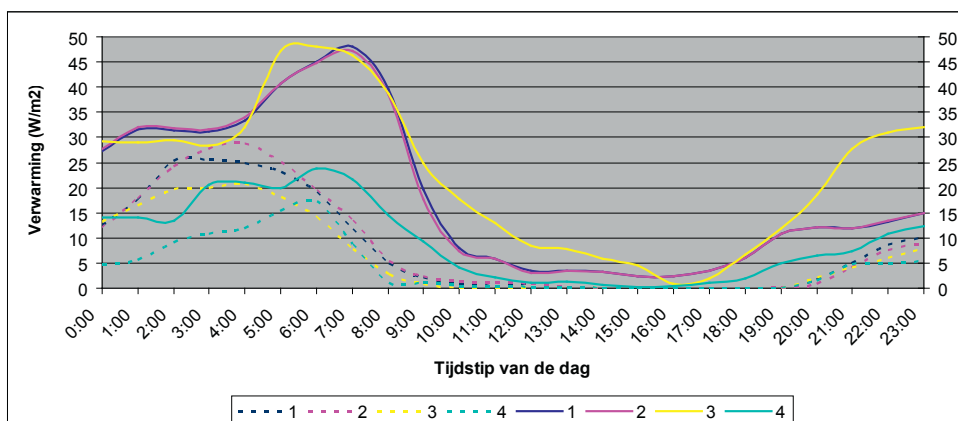
2.4 Verwarming

Het verwarmend vermogen van de LBK's is berekend door de inblaas temperatuur min de kastemperatuur te vermenigvuldigen met de het volume en de warmtecapaciteit van de ingeblazen lucht. Op de momenten dat is gekoeld is de inblaas temperatuur lager dan de kastemperatuur en is het verwarmend vermogen gelijk aan 0. Bij ontvochtiging (koelen + herverwarmen) is het verwarmend vermogen gesteld op het saldo tussen koelen en verwarmen. Van afdeling 1 is het luchtdebiet door de LBK's niet bijgehouden. Het verwarmend vermogen is hier berekend door uit te gaan van het debiet van afdeling 2. Het verwarmend vermogen van de LBK's is in onderstaande figuren vergeleken met het verwarmend vermogen van de buizen. Het verwarmend vermogen van de buizen is berekend op basis van de buistemperatuur, de kastemperatuur en het verwarmend oppervlak van de buizen.

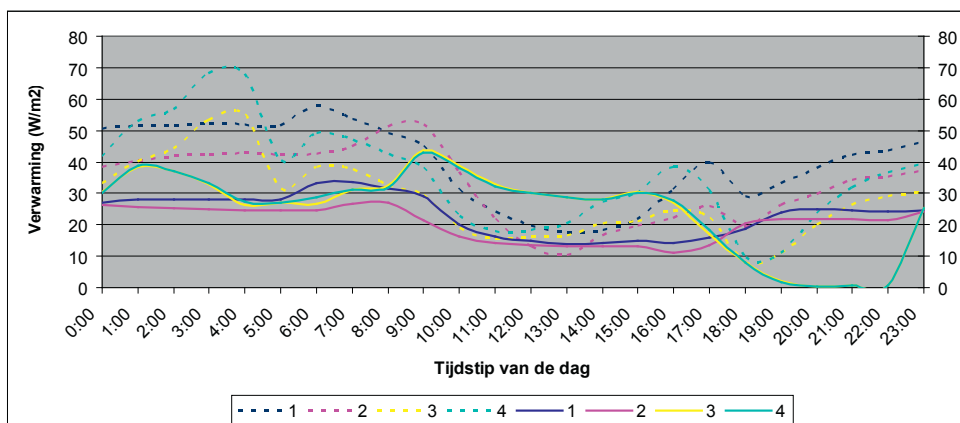
Wat opvalt aan Figuur 11. is dat in de zomerperiode van 2009 de buisverwarming de boventoon voert. Er wordt vrij traditioneel geteeld. Verder valt op dat bij afdeling 4 (paprika) veel minder wordt gestookt dan in de andere afdelingen. Met name worden daar rond 24:00 uur en 5:00 uur flinke verhogingen aan de buisverwarming gegeven. De maximale buisverwarming bij een buistemperatuur van 40°C en een kastemperatuur van 18°C is 50 W/m². In Figuur 11. wordt deze waarde 's ochtends meestal behaald.

Figuur 12. laat zien dat in de winter van 2010 's nachts minder buisverwarming wordt gegeven dan in de zomer, maar dat overdag meer met de buizen wordt verwarmd. Over de hele linie ligt het aandeel LBK-verwarming hoger dan het aandeel buisverwarming.

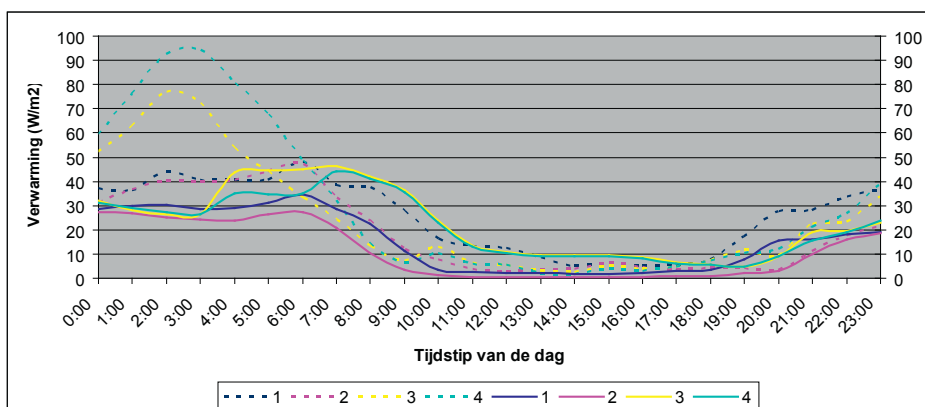
In het voorjaar (Figuur 13.) wordt alweer meer buisverwarming gegeven in de ochtend. LBK-verwarming wordt bij afdeling 3 en 4 (tomaat) na middernacht sterk verhoogd. Dit is gedaan om het vegetatief staande gewas generatiever te krijgen.



Figuur 11. Cyclisch gemiddelde van 16 juli tot 7 september 2009 van het verwarmend vermogen van de buisverwarming (vloeiende lijnen) en van de LBK's (onderbroken lijnen) in de vier afdelingen



Figuur 12. Cyclisch gemiddelde van 1 februari tot 1 april 2010 van het verwarmend vermogen van de buisverwarming (vloeiende lijnen) en van de LBK's (onderbroken lijnen) in de vier afdelingen

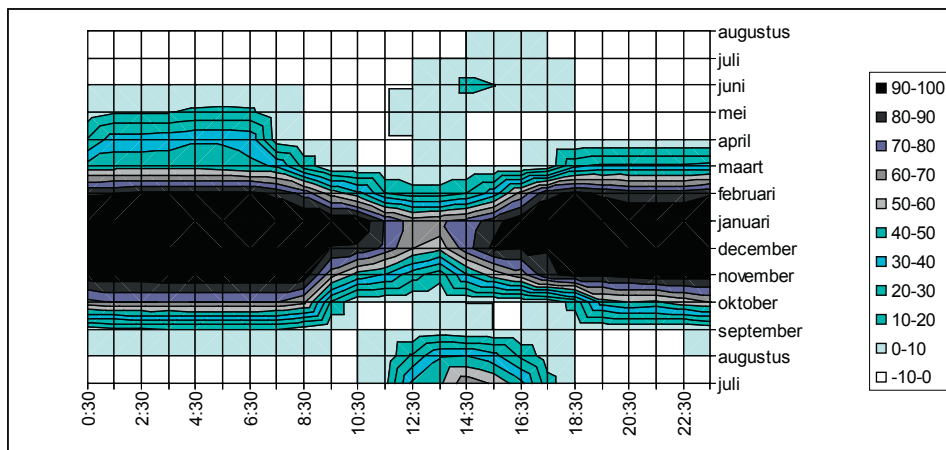


Figuur 13. Cyclisch gemiddelde van 1 april tot 5 juni 2010 van het verwarmend vermogen van de buisverwarming (vloeiende lijnen) en van de LBK's (onderbroken lijnen) in de vier afdelingen

Discussie: Over het algemeen is te zien dat 's nachts meer wordt verwarmd dan overdag. Mogelijkheden om op de warmtevraag te besparen, moeten daarom vooral 's nachts worden gezocht. Bijvoorbeeld door een beter isolerend scherm of door intensiever gebruik van het bestaande scherm.

2.5 Schermgebruik

Alle afdelingen zijn voorzien van een enkel LS-10 schermdoek. In Figuur 14. is van juli 2009 tot augustus 2010 het schermgebruik van afdeling 4 (paprika respectievelijk tomaat) weergegeven. In juli 2009 (paprika) is bijvoorbeeld alleen in het midden van de dag geschermd. Dit is vooral om bij hoge instraling het zonlicht enigszins weg te schermen en meer diffuus te maken. In 2010 is dit het scherm ook enkele malen bij tomaat overdag gesloten, maar dat is niet gebruikelijk. Van november tot februari is iedere nacht en vaak ook overdag geschermd. Van half december tot half januari heeft de kas leeggestaan tijdens de teeltwisseling van paprika naar tomaat. Bij de tomatenteelt werd 's avonds langer gewacht met schermen dan bij paprika om het tomatengewas generatief te krijgen. Vanaf april werd 's avonds niet meer geschermd. Ook niet tijdens de koude periode begin mei. In de nanacht werd nog tot juni tijdens koudere nachten geschermd.

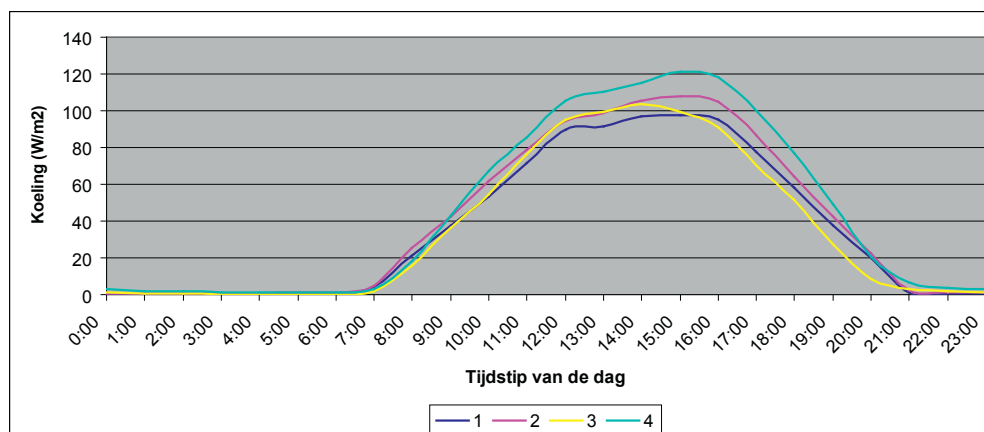


Figuur 14. Cyclisch etmaalgemiddelde per maand van het schermgebruik (%) in afdeling 4 (paprika in 2009; tomaat in 2010)

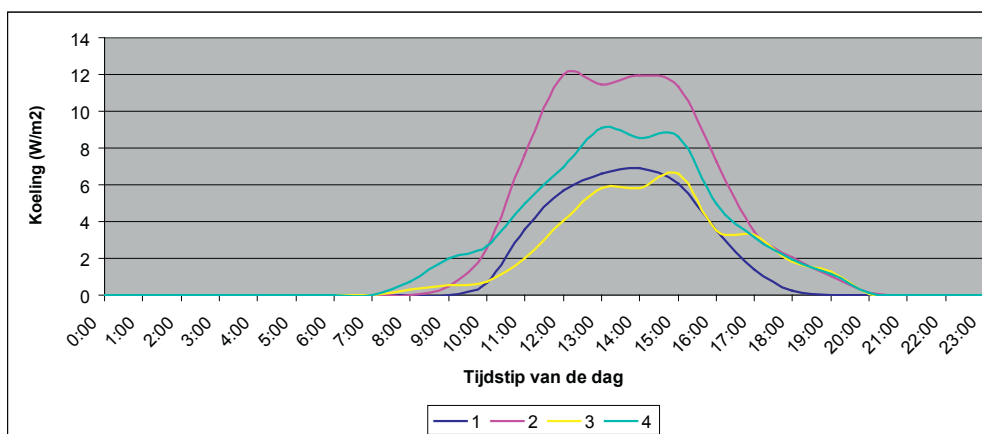
2.6 Koeling met LBK's

Het koelend vermogen van de LBK's is berekend door het temperatuurverschil tussen de kaslucht en de ingeblazen lucht te vermenigvuldigen met de warmtecapaciteit van lucht ($1,2 \text{ kJ/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$) en het luchtdebiet door de LBK. Hierbij is alleen rekening gehouden met voelbare warmte en niet met eventuele ontvochtiging van de kaslucht. Uit Figuur 15., Figuur 16. en Figuur 17. blijkt dat de paprikakas (Afd 4 resp Afd 2) het meest is gekoeld. Hierbij moet wel worden aangetekend dat bij tomaat en komkommer een hogere RV is aangehouden zodat daar mogelijk meer is ontvochtigd, en dus ook meer condenswarmte is onttrokken uit de kassen. Dat bij paprika meer moet worden gekoeld, komt ook doordat het paprikagewas minder verdampt en zichzelf daardoor minder koelt.

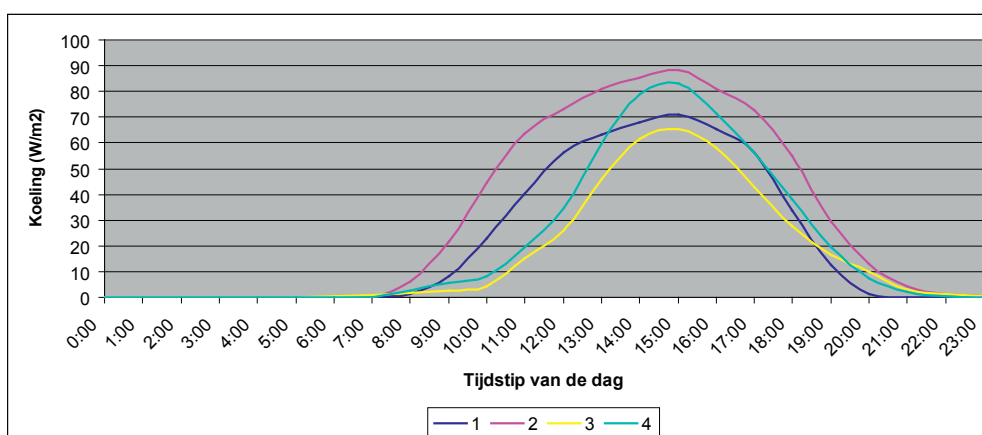
Ook in de winterperiode van 1 februari tot 1 april is gekoeld, al is de hoeveelheid die dagelijks gekoeld werd slechts 5% van het koelvolumen gedurende de zomerperiode van 16 juli tot 7 september. In de voorjaarsperiode van 1 april tot 5 juni is het dagelijkse koelvolumen ruim 50% ten opzichte van de zomerperiode.



Figuur 15. Cyclisch gemiddelde van 16 juli tot 7 september 2009 van het voelbare koelvermogen van de LBK's

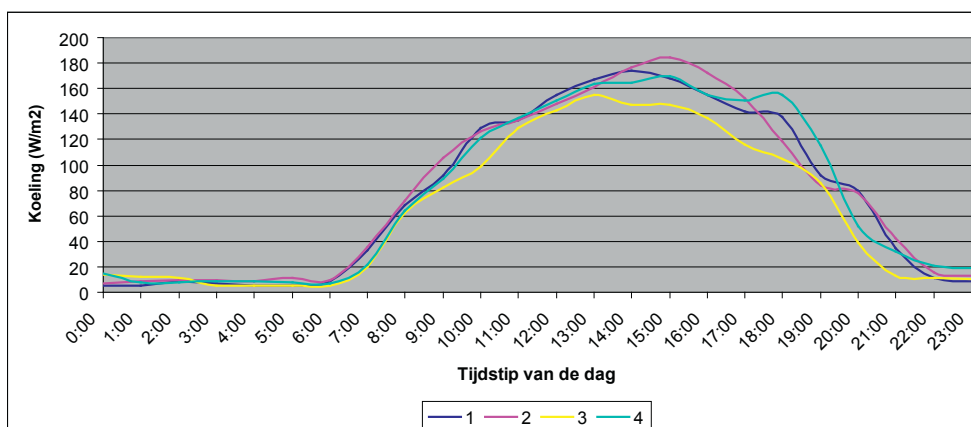


Figuur 16. Cyclisch gemiddelde van 1 februari tot 1 april 2010 van het voelbare koelvermogen van de LBK's



Figuur 17. Cyclisch gemiddelde van 1 april tot 5 juni 2010 van het voelbare koelvermogen van de LBK's

Het maximale voelbare koelvermogen (dus exclusief latente condensatiewarmte) van de LBK's is niet hoger gekomen dan 180 W/m^2 (zie Figuur 18.). Inclusief de onttrokken condensatiewarmte ligt het maximaal aangewende koelvermogen waarschijnlijk 2 tot 3 maal zo hoog. De verzamelde meetgegevens zijn echter onvoldoende om dit nauwkeurig te berekenen.



Figuur 18. Cyclisch maximum van 16 juli tot 7 september 2009 van het voelbare koelvermogen van de LBK's

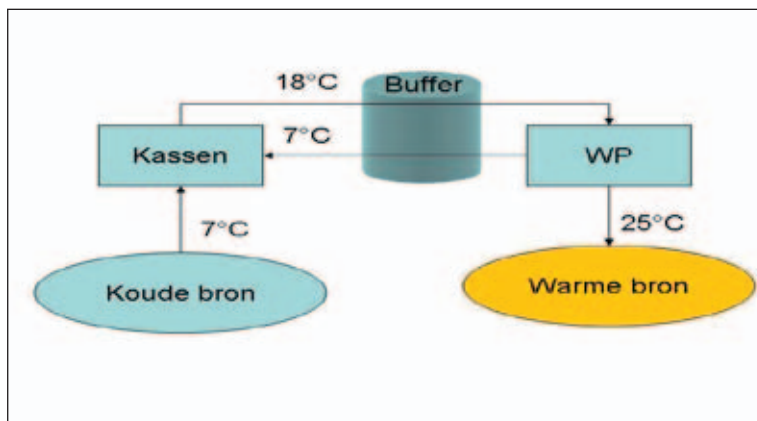
Discussie

Koelen heeft twee belangrijke functies: Het oogsten van warmte, zodat de warmtepomp kan worden gevoed en het verlagen van de raamstand, zodat minder CO₂ verloren gaat. Aangezien er op jaarbasis meer warmte nodig is dan koude (zie paragraaf 3.2), is het oogsten van warmte een belangrijke functie. Met te weinig warmteoogst koelen de bronnen op den duur te veel af en moeten er alternatieve warmtebronnen worden aangewend.

Koelen kost ook geld: Bij een hoger luchtdebiet lopen de elektriciteitskosten op met een derde-machts-verhouding.

Idealiter kan de kas het meest efficiënt worden gekoeld door een hogere temperatuur en luchtvochtigheid toe te laten. Hierbij kan ook verneveling worden toegepast (bijvoorbeeld bij paprika) om de luchtvochtigheid hoog te houden en de hoeveelheid te oogsten latente warmte te verhogen.

Het oogsten van warmte in de kas met bladgewassen is ook een mogelijkheid. Daar zijn al LBK's aanwezig, al hebben deze geen mogelijkheid om condenswater op te vangen. Warmte-oogst heeft vooral nut als deze warmte direct naar de bron kan worden teruggepompt en dus een temperatuur heeft van minstens 18°C. Als deze LBK's alleen worden gebruikt voor warmteoogst als de buitentemperatuur hoger is dan 20°C dan kan dat ongeveer 400 uur per jaar. Door dan 20 m³/m².uur lucht af te koelen van 22 naar 15°C, wordt $400 \cdot 20 \cdot 7 \cdot 1.2 \text{ kJ} = 67 \text{ MJ/m}^2$ aan voelbare warmte geoogst. Dit betekent 200 MJ/m² gesloten kas, terwijl er $\pm 800 \text{ MJ/m}^2$ nodig is om het warmtekort volledig op te vullen. Waarschijnlijk is de kaslucht in de kas met bladgewassen warmer en vochtiger dan de buitenlucht, zodat de totale potentie aan warmteoogst hoger kan zijn. Nadeel is dat op de warmste dagen alle koudecapaciteit juist nodig kan zijn in de gesloten kas en dat de warmtepomp bij moet springen om voldoende koude te leveren, zoals weergegeven in Figuur 19. Dit leidt tot een hoger elektriciteitsverbruik van de warmtepomp, maar is noodzakelijk om de temperatuur van de warme bron en daarmee de COP van de warmtepomp op peil te houden.

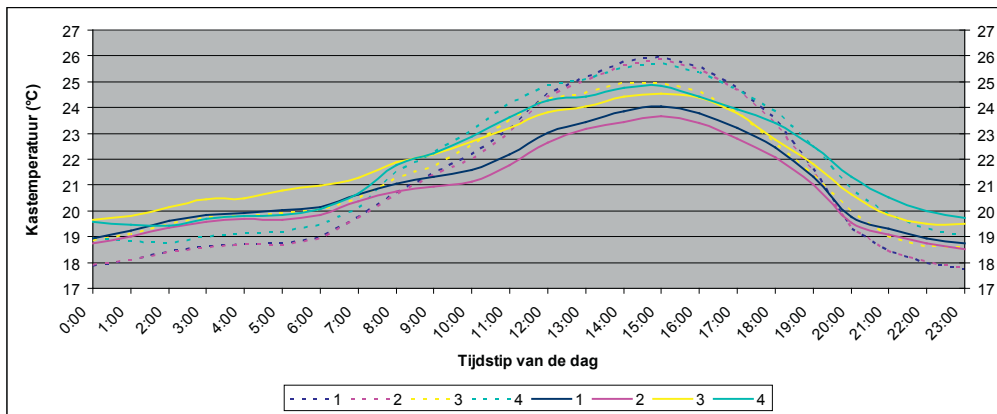


Figuur 19. Voorbeeld van de inzet van de warmtepomp tijdens koeldagen

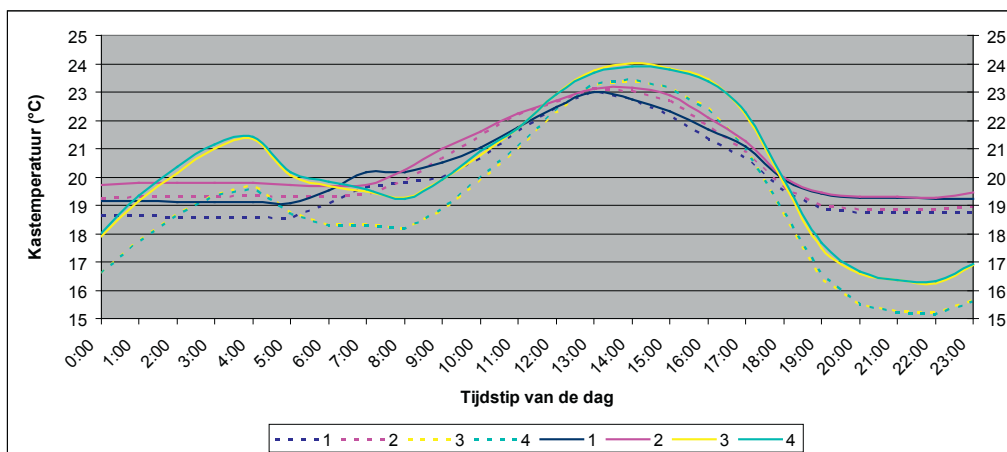
2.7 Kastemperatuur

Net als bij bedrijven met alleen buisverwarming is iedere afdeling 's nachts onderin gemiddeld warmer en overdag bovenin. 's Nachts zit de belangrijkste warmtebron onderin (buizen en luchtslangen) en overdag zit de belangrijkste warmtebron boven (zon). Het grootste verschil tussen ondertemperatuur en boventemperatuur is bij tomaat aangehouden (afd1 en 2 in 2009, afd 3 en 4 in 2010). Dit verschil wordt overdag mede veroorzaakt doordat de koeling bij tomaat het meest plaatsvindt van onderen, terwijl bij komkommer en paprika de koeling vaker van bovenaf plaatsvindt. Bij paprika worden de luchtslangen, die de lucht naar beneden blazen, vaak boven het gewas gehangen om verbranding van de vruchten te voorkomen. Bij komkommer hangen de luchtslangen overdag vaak boven het gewas omdat dagelijks werkzaamheden moeten worden uitgevoerd en het veel tijd en moeite kost om de luchtslangen telkens langs het grootbladige komkommernewas te verplaatsen.

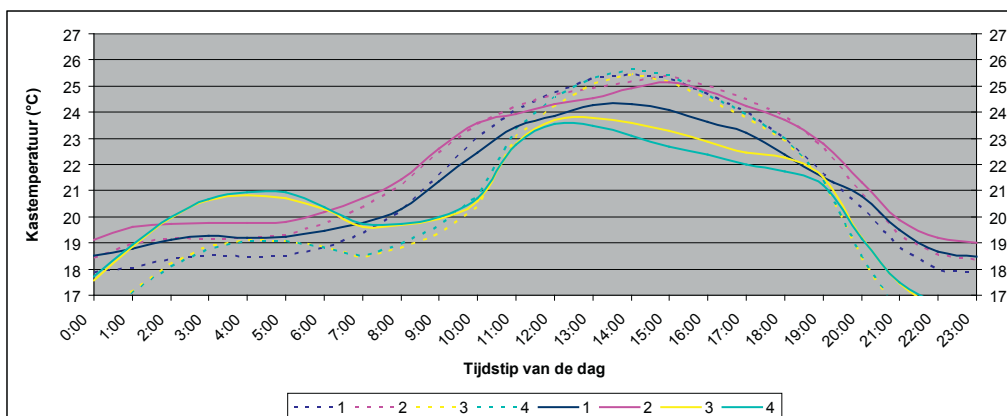
Overdag wordt bij paprika (afd 4 in 2009 en afd 2 in 2010) de hoogste temperatuur aangehouden.



Figuur 20. Cyclisch gemiddelde van 16 juli tot 7 september 2009 van de kasttemperatuur boven (onderbroken lijnen) en de kasttemperatuur onder (vloeiende lijnen) in de vier afdelingen



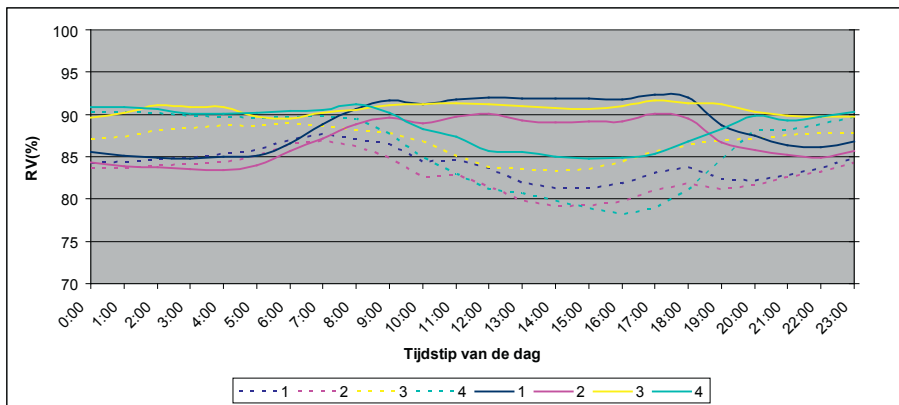
Figuur 21. Cyclisch gemiddelde van 1 april tot 5 juni 2010 van de kasttemperatuur boven (onderbroken lijnen) en de kasttemperatuur onder (vloeiende lijnen) in de vier afdelingen



Figuur 22. Cyclisch gemiddelde van 1 april tot 5 juni 2010 van de kasttemperatuur boven (onderbroken lijnen) en de kasttemperatuur onder (vloeiende lijnen) in de vier afdelingen

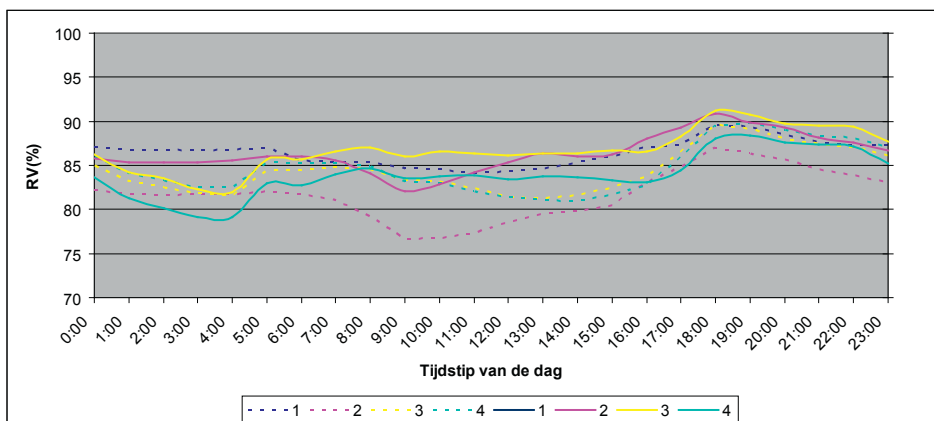
2.8 Luchtvochtigheid (RV)

De luchtvochtigheid is gemeten zowel onder als boven in het gewas. In de zomerperiode is te zien in Figuur 23. dat de RV boven in alle afdelingen 's nachts hoger is dan overdag. De RV onder ligt in afdelingen 1 en 2 (tomaat) overdag juist hoger dan 's nachts. Dit is veroorzaakt doordat bij tomaten de luchtslangen vrijwel altijd onderin hebben gehangen, zodat 's nachts onderin is verwarmd en overdag onderin is gekoeld.



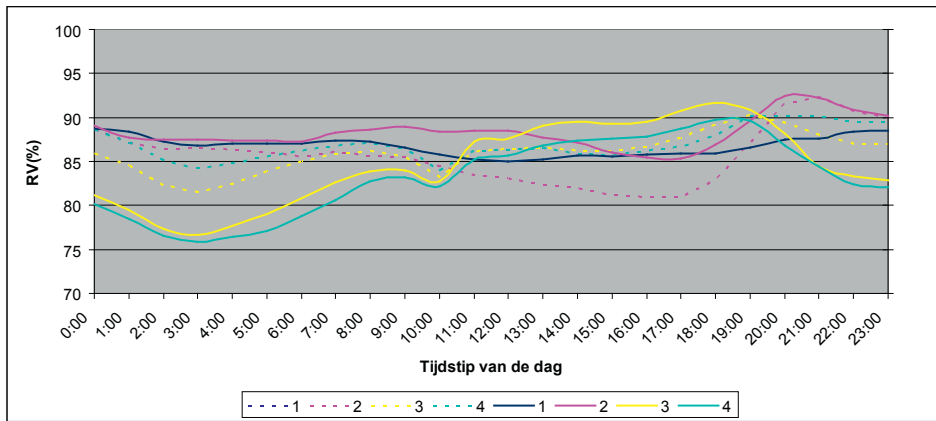
Figuur 23. Cyclisch gemiddelde van 16 juli tot 7 september 2009 van de RV boven (onderbroken lijnen) en de RV onder (vloeiende lijnen) in de vier afdelingen

In de winterperiode heeft de RV-meter van afdeling 1 niet gewerkt. Van de overige meters in Figuur 24. te zien dat in de avond bij het afnemen van de temperatuur de RV zowel onder als boven tijdelijk toeneemt.



Figuur 24. Cyclisch gemiddelde van 1 februari tot 1 april 2010 van de RV boven (onderbroken lijnen) en de RV onder (vloeiende lijnen) in de vier afdelingen

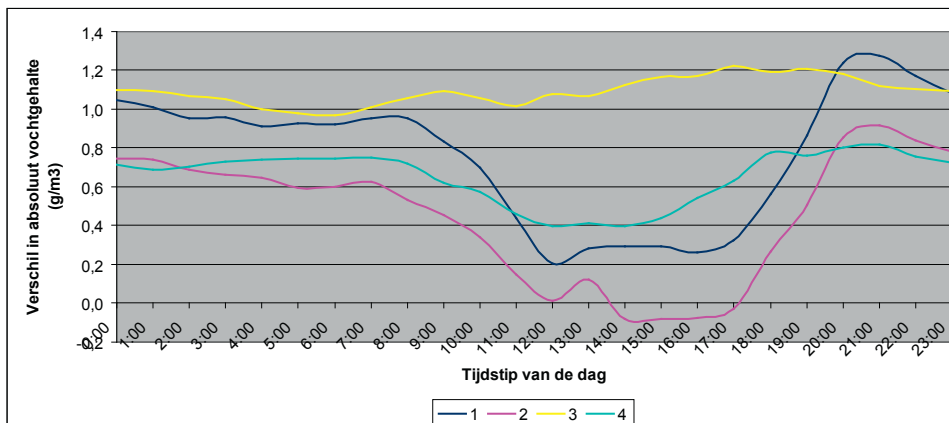
In het voorjaar wijkt de RV onder en boven vaak weinig van elkaar af. Wel is in afdeling 2 (paprika) de RV boven duidelijk lager dan onderin. Bij afdelingen 3 en 4 (tomaat) is de RV boven 's nachts ongeveer 5% hoger dan onderin. In afdeling 1 heeft de RV meter bovenin tijdelijk foutieve waarden aangegeven en is derhalve niet in Figuur 25. opgenomen.



Figuur 25. Cyclisch gemiddelde van 1 april tot 5 juni 2010 van de RV boven (onderbroken lijnen) en de RV onder (vloeiende lijnen) in de vier afdelingen

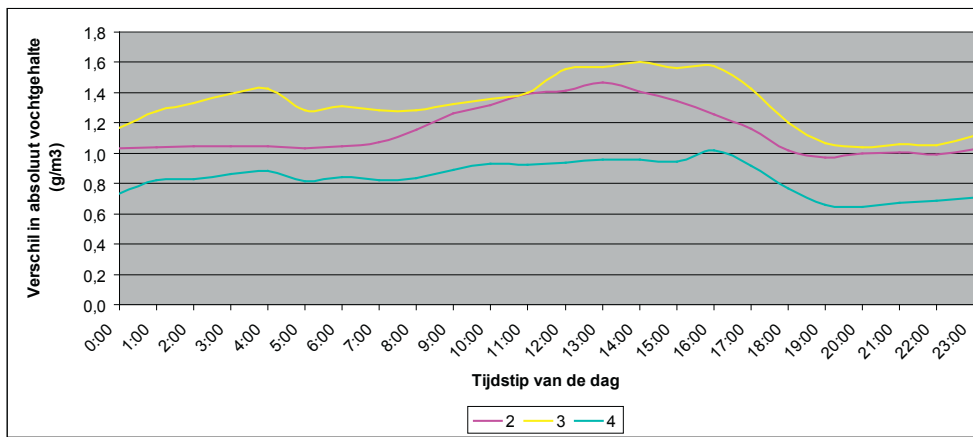
2.9 Absoluut vochtgehalte (AV)

Goed gemengde kaslucht neigt naar een gelijke verdeling van het absolute vochtgehalte. Door het absolute vochtgehalte te meten kan worden aangegeven in welke mate kasluchtmenging heeft plaatsgevonden. Onderin de kas, waar het gewas zorgt voor een bron van vocht, is het absolute vochtgehalte meestal $\pm 1 \text{ g/m}^3$ hoger dan bovenin. Boven in de kas wordt het vocht onttrokken via condensatie van het kasdek of geopende luchtramen. Dit is in bijvoorbeeld in Figuur 26. te zien tijdens de avond en nacht. In Figuur 26. is voor de zomerperiode een cyclisch etmaalgemiddelde weergegeven van het verschil in vochtgehalte tussen onder en boven. Overdag blijkt in afd 1, 2 en 4 het verschil in vochtgehalte te dalen omdat via de luchtslangen onderin gedroogde lucht wordt ingeblazen. In afdeling 3 hangen de luchtslangen blijkbaar meestal bovenin, want daar is deze daling niet te zien.



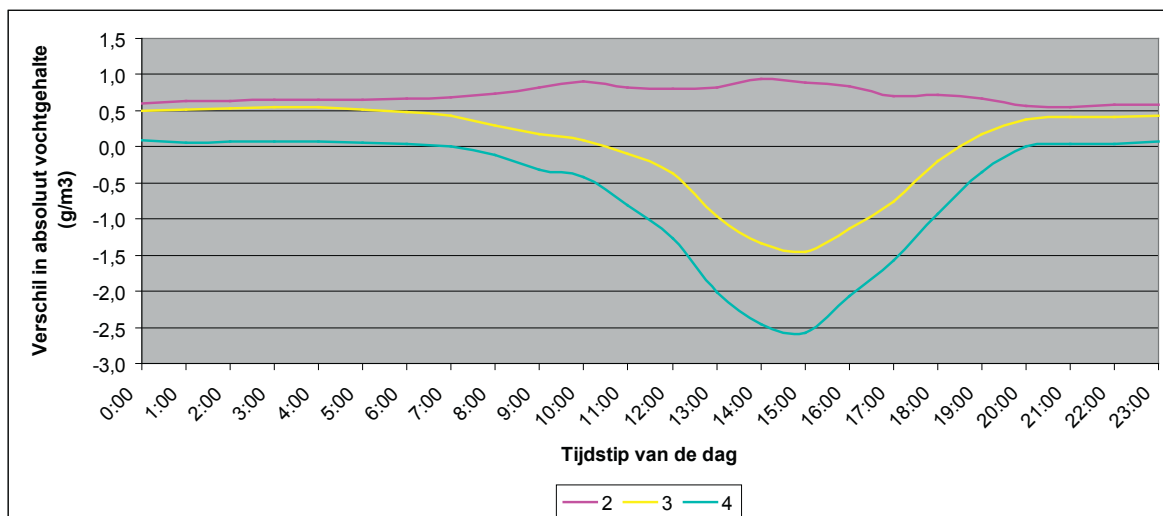
Figuur 26. Cyclisch gemiddelde van 16 juli tot 7 september 2009 van het verschil tussen de absolute luchtvochtigheid onderin en bovenin (g/m^3) in de vier afdelingen

Figuur 27. laat zien dat in de winter bij een jong gewas en lage buitentemperaturen onderin nog nauwelijks actief is ontvochtigd met de luchtslangen. Boven in de kas is het koeler en droger dan onder in het gewas. Afdeling 1 (komkommer) is hier niet vermeld omdat 1 RV meter in deze periode foutieve waarden gaf.



Figuur 27. Cyclisch gemiddelde van 1 februari tot 1 april van het verschil tussen de absolute luchtvochtigheid onderin en bovenin (g/m^3) in drie afdelingen

In het voorjaar (Figuur 28.) is in de afdelingen 3 en 4 (tomaat) overdag sterk ontvochtigd en is het absoluut vochtgehalte onderin zelfs lager dan bovenin. In afdeling 2 (paprika) is weinig ontvochtigd en hebben de slangen vaak bovenin gehangen om de vruchten te beschermen tegen verbranding door direct zonlicht. Ook in Figuur 28. is afdeling 1 (komkommer) niet genoemd in verband met een foutieve RV meter.

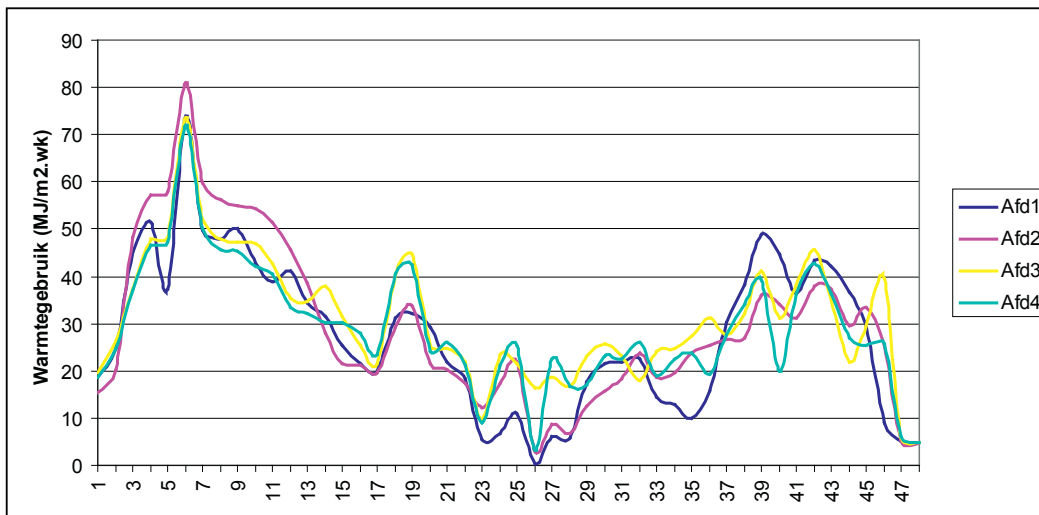


Figuur 28. Cyclisch gemiddelde van 1 april tot 5 juni 2010 van het verschil tussen de absolute luchtvochtigheid onderin en bovenin (g/m^3) in drie afdelingen

3 Het energieverbruik

3.1 Warmtegebruik

Het warmtegebruik ligt in alle afdelingen dicht bij elkaar. In het begin van de teelt vraagt afdeling 2 (paprika) de meeste warmte omdat daar ook de hoogste temperatuur moet worden gerealiseerd. Na week 18 wordt het verbruik in afdelingen 1 (komkommer) en 2 (paprika) lager dan in afdelingen 3 en 4 (tomaat). Bij tomaten wordt het warmtegebruik voor de ontvochtiging dan belangrijker dan bij paprika. Bij komkommer vindt een teeltwisseling plaats rond week 24 en week 34 zodat dan ook minder warmte nodig is.



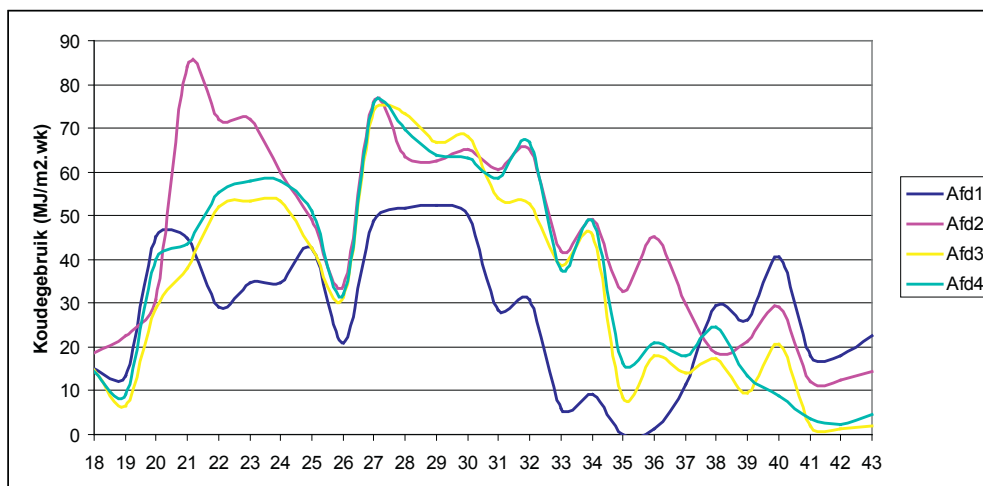
Figuur 29. Verloop van het warmtegebruik in de vier afdelingen in 2010

Het totale warmtegebruik in de vier afdelingen van week 1 tot en met week 48 is respectievelijk 1327, 1409, 1489 en 1398 MJ/m². Dit is gemiddeld 1406 MJ/m², wat neerkomt op 45 m³/m² aardgasequivalenten. Hiervan is 9% via de gevelverwarming en 37% via de buisrailverwarming ingebracht.

In de kas met bladgewassen is ongeveer 240 MJ/m², ofwel 8 m³ aardgasequivalenten/m² aan warmte gebruikt. Dit is omgerekend naar m² gesloten kas $240 \cdot 70000 / 25000 = 672$ MJ. De gesloten kas met vruchtgroenten heeft dus ruim twee keer zo veel warmte gebruikt als de open kas met bladgewassen.

3.2 Koudegebruik

Het koudegebruik ligt van week 21 tot 23 in afdeling 2 (paprika) hoger dan bij afdelingen 3 en 4 (tomaat). Het koudegebruik in afdeling 1 (komkommer) ligt lager dan bij de andere afdelingen. Opvallend is dat de relatief koele buitenomstandigheden rond begin mei (week 18-20) en eind juni (week 25-26) zeer herkenbaar zijn door de dalen in de koudevraag.



Figuur 30. Verloop van het koudegebruik in de vier afdelingen in 2010

Het totale koudegebruik in de vier afdelingen van week 18 tot en met week 43 is respectievelijk 725, 1142, 887 en 958 MJ/m². Dit is gemiddeld 928 MJ/m², wat veel lager is dan de 1800 MJ die genoemd zijn voor de gesloten kas van Themato [de Gelder *et al.*, 2007]. Dit komt onder andere doordat bij BiJo veel met de luchtramen is ontvochtigd omdat de LBK's een te groot debiet hebben om energiezuinig te kunnen ontvochtigen. Meer koude zal echter ingezet moeten worden om voldoende warmte te oogsten zodat alle warmtevoorziening van de vier afdelingen en de kas met bladgewassen $((1406+672) \cdot (6,5-1)/6,5=1758 \text{ MJ/m}^2)$, door de warmtepomp kan worden gevoed.

Geschat wordt dat als aan het watervoerende pakket van 30 meter dikte over 10 hectare ieder jaar $(1758-928) \cdot 25000=20750 \text{ GJ}$ wordt onttrokken, dit pakket jaarlijks afkoelt met 1,6°C.

3.3 Inzet van de warmtepompen en bio-olie

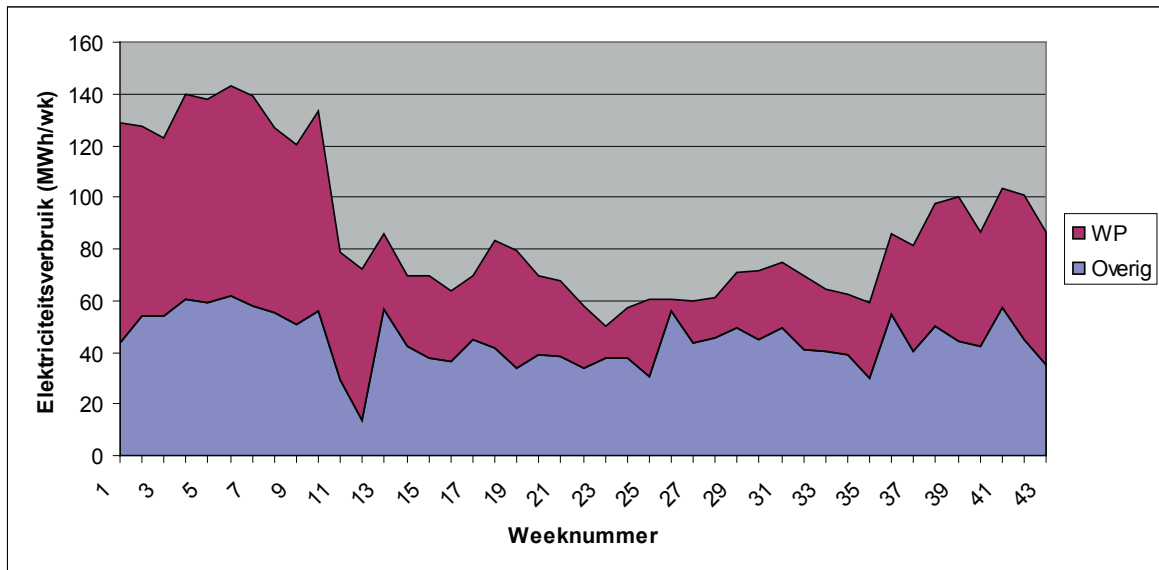
Van week 1 tot en met week 48 hebben de drie warmtepompen gezamenlijk 84 kWh/m² gesloten kas aan elektriciteit verbruikt en 1974 MJ/m² gesloten kas aan warmte geproduceerd. Voor de bio-olie ketel is 105 ton bio-olie ingekocht. Bij een calorische waarde van 42 MJ/kg voor bio-olie geeft dit 176 MJ/m² gesloten kas.

Tabel 4. Inzet van warmtebronnen

	Hoeveelheid	Warmte (MJ/m ² gesloten kas)	Percentage
Warmtepomp	84 kWh/m ²	1974	92%
Bio-olie	105 ton	176	8%
Totale warmteproductie		2150	100%
Totale warmtevraag		2078	97%
Foutmarge/verliezen		72	3%

3.4 Elektriciteitsverbruik

In Figuur 31. is het elektriciteitsverbruik van het hele bedrijf over het jaar 2010 weergegeven. Hierbij is het verbruik van de warmtepomp (WP) afzonderlijk weergegeven. Duidelijk is te zien dat de warmtepomp vooral in de wintermaanden is ingezet. Het overige elektriciteitsverbruik (ventilatoren gesloten kas, ventilatoren in open kas, bronpompen, circulatiepompen, machines, koelcellen etc.) is redelijk gelijkmatig verdeeld over het jaar. Dit verbruik is in de wintermaanden waarschijnlijk iets hoger vanwege het verbruik van de ventilatoren voor de open kas. De ventilatoren in de gesloten kas draaien dan immers op een lagere stand dan als er in de kas moet worden gekoeld (vergelijk Figuur 2. en Figuur 3.). In totaal wordt het jaarverbruik van de warmtepomp geschat op 95 kWh/jaar.m² gesloten kas, terwijl het verbruik van de overige apparaten ongeveer even hoog ligt. Dit geeft aan dat het overige elektriciteitsverbruik hoog is.



Figuur 31. Verloop van het elektriciteitsverbruik van de warmtepomp en de overige apparaten (waaronder bronpompen en ventilatoren) van het hele bedrijf (MWh/wk)

4 De teelt

4.1 Groei en productie

In de gesloten kas worden zowel tomaat, paprika als komkommer geteeld. Het verloop bij deze drie vruchtgewassen in 2009 en 2010 met betrekking tot het gesloten teeltsysteem wordt hieronder beschreven.

Tomaat

In 2009 groeide het gewas (Mecano) in eerste instantie aan de schrale kant. Dit had mede te maken met een hoge temperatuur in combinatie met het nog geen CO₂ kunnen doseren. Hierdoor vroeg het gewas meer assimilaten dan het aanmaakte. In de zomerperiode krulde het aanwezige blad veel meer op, wat een aanwijzing is voor een overschot aan assimilaten. Beide uitersten geven aan dat de assimilatenbalans moeilijk kon worden gehandhaafd. Eind 2009 was het moeilijk om de Botrytis in de hand te houden. Uiteindelijk heeft het gewas een redelijke productie opgeleverd.

In 2010 (Cappricia, 1 op 1 op onderstam Optifort) is meer aandacht gegeven aan de assimilatenbalans en ook het bijhouden van dieven, draaien en laten zakken. In juni is overdag wel af en toe geschermd omdat het plant stressverschijnselen gaf. In een grondteelt kan stress vaker optreden, omdat bij hoge instraling de worteltemperatuur niet zo snel oploopt. Een productie van ongeveer 50 kg/m² wordt gezien als meer dan 10% productieverbetering ten opzichte van een standaard biologische tomatenteelt.

Komkommer

De teelt van komkommer is zeer gevoelig gebleken voor ziekten en plagen. Vooral door valse meeldauw en *Mycosphaerella* zijn meerdere teelten vroegtijdig afgebroken. Beide ziekten hebben te maken met het kasklimaat, maar ook met hygiëne en een gelijkmatige plantbalans. Voor droge lucht in het gewas zouden de luchtslangen tussen het gewas moeten hangen, maar bij komkommer hebben ze vaak boven het gewas gehangen, zodat de luchtvochtigheid onderin vaak hoog is gebleven (zie Figuur 26.). Voor een gelijkmatige plantbalans en meer gewashygiëne is meer arbeidsinzet nodig.

In 2010 is overgegaan op een hogedraad teeltsysteem. Dit geeft meer kwaliteit, maar ook meer arbeid. De bedoeling was om twee keer te planten, maar omdat de tweede planting vroegtijdig uitviel door *Mycosphaerella* is de tweede planting herplant. Ondanks de tegenslagen door ziekten, ligt de productie in 2010 nog op 81 stuks/m² verkocht product. Rekening houdend met de misoogst bij de tweede planting is dit nog een redelijk resultaat.

Paprika

In 2009 is bij paprika halverwege de teelt een grote aanval van luis uitgebroken. Daardoor heeft de productie in de zomerperiode sterk moeten inboeten. Door de inzet van veel biologische bestrijders, in combinatie met een beheerst kasklimaat, is toch nog een redelijke najaarsproductie gerealiseerd.

In 2010 zijn de rassen Chelsea, Ferrari en Scirocco geplant. De planten gaven korte internodiën te zien. Dit duidt op een kleine DIF (klein verschil tussen dag en nachttemperatuur (zie ook Figuur 21. en Figuur 22.)), wat mogelijk is versterkt door de verwarming 's nachts en koeling overdag van bovenaf.

De productie van 20 kg/m² is minder dan wat zou mogen worden verwacht met de gerealiseerde CO₂-concentraties. Daarentegen was de vruchtkwaliteit hoog met weinig neusrot of brandplekken. Meer productie zou kunnen worden behaald met een voller gewas (6,6 ipv 6 stengels per m²), waardoor ook minder hoeft te worden geschermd tegen o.a. vruchtverbranding.

Discussie

Hoewel met meer CO₂ in de kas wel meer productie kan worden gehaald, is deze er niet altijd volledig uitgekomen. Dit heeft voor een groot deel te maken met de gewasverzorging, de gewasgezondheid en de stabiliteit van de plantbalans,

4.2 Gewasgezondheid

Het bedrijf heeft zich als doel gesteld om de druk van ziekten en plagen te verlagen door de luchtramen zo veel mogelijk dicht te houden. Volledige kassluiting is echter niet mogelijk in verband met te hoog oplopende concentraties van ongewenste gassen uit onder andere de bodem. Dit is onder andere merkbaar aan een te hoog oplopende CO₂-concentratie (zie paragraaf 2.3). Bovendien verdient ontvochtiging via de luchtramen vaak om energie technische redenen de voorkeur boven mechanisch ontvochtigen. Door de geopende luchtramen zijn toch ziekten en plagen in de kas gekomen. De belangrijkste hiervan zijn gemeld in Tabel 5. Sommige ziekten en plagen hebben zeer hardnekkig weerstand geboden aan de voor biologische telers beschikbare maatregelen. Andere leken, mede dankzij het geconditioneerde kasklimaat, goed te beheersen met natuurlijke vijanden.

Tabel 5. Ziekten en plagen gevonden in de geconditioneerde kassen

		Tomaat	Komkommer	Paprika
Botrytis (grauwe schimmel)	Botrytis cinerea	x	x	x
valse meeldauw	Pseudoperonospora cubensis		x	
echte meeldauw	Oidium lycopersicum	x		
Mycosphaerella	Didymella bryoniae		x	
kasspint	Tetranychus urticae	x		
luis	diversen		x	x
mineervlieg	Liriomyza spp.	x	x	x
rupsen	diversen	x	x	x
kaswittevlieg	Trialeurodes vaporariorum	x		
brandnetelwants	Liocoris tripustulatus		x	x

4.3 Arbeidsomstandigheden

Het werken in een geconditioneerde kas is in de meeste omstandigheden niet veel anders dan in een standaard kas met geopende luchtramen. De streefwaarden van de kastemperatuur zijn dan ook vrijwel gelijk. Tijdens zeer hoge buitentemperaturen kunnen deze streefwaarden in een geconditioneerde kas echter eerder worden gerealiseerd, wat tot minder extreme arbeidsomstandigheden kan leiden.

De luchtslangen vragen wel extra handelingen en wachttijd omdat zij bij iedere gewashandeling boven het gewas moeten worden gebracht en daarna weer worden teruggebracht. In de hoogste stand hangen de luchtslangen nog steeds op werkhooft voor het zakken en draaien bij tomaat en komkommer en bemoeilijken hiermee enigszins de voortgang van de arbeid. Dit is mede veroorzaakt doordat volgens de bouwvoorschriften niet hoger dan 7 meter mocht worden gebouwd.

5 Economische haalbaarheid

Bij de berekeningen van de economische haalbaarheid van het systeem worden de investeringskosten vergeleken met de besparing op de warmtevraag en de productieverhoging. De bedragen worden telkens teruggerekend naar m² gesloten kas (25000 m²).

Investeringskosten

De bronnen, de warmtepompen, de warmtebuffers, de luchtbehandelingskasten, de luchtslangen en de regeling vergen een hoge investering van bijna 200 €/m². Hiervan kan een groot deel met 40% MEI-subsidie worden ondersteund. Bij een afschrijvingstermijn van 15 jaar en jaarlijks 2% aan onderhoudskosten en gemiddeld 3% aan rente over het geïnvesteerde bedrag betekent de investering een jaarlijkse kostenpost van € 14,- per m².

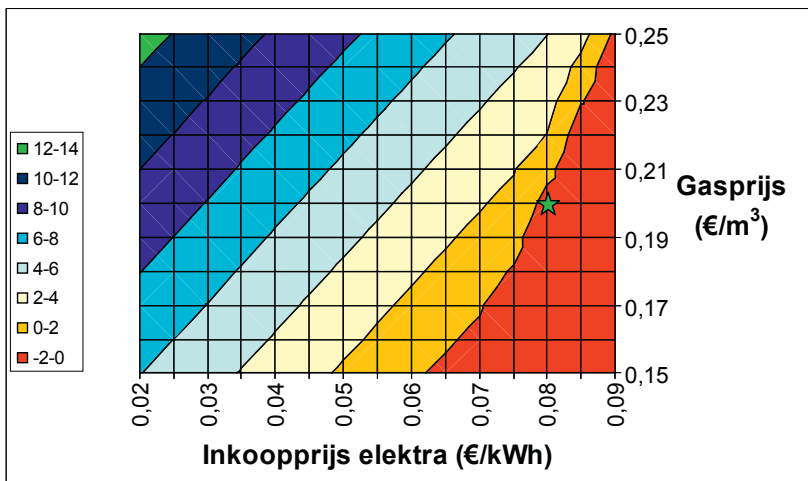
Besparingen energie

Om in te schatten hoeveel de besparingen op het energieverbruik opleveren wordt hier een berekening gemaakt.

BiJo heeft 45 m³/m² aan aardgas equivalenten nodig in de geconditioneerde kas en 8 m³/m² in de open kas. Gezamenlijk is dat een warmtelast van $(45 \cdot 25000 + 8 \cdot 70000) \cdot 0,031 \text{ GJ/m}^3 = 52235 \text{ GJ}$. Als deze warmte zou zijn opgewekt met een aardgasketel dan zou hiervoor 1,69 miljoen m³ aardgas nodig zijn. Als dit met een WKK zou zijn gedaan dan is 3,37 miljoen m³ aardgas nodig en zou 12,2 miljoen kWh elektriciteit kunnen worden geproduceerd.

Bij BiJo is 105 ton bio-olie à 400 € ingezet en 2,4 miljoen kWh elektriciteit (=95 kWh/m² gesloten kas) voor de warmtepomp ingekocht. Daarbovenop komen nog de kosten van CO₂-inkoop (10 kg/m² à 0,08 €/kg =0,80 €/m², en de elektriciteitskosten voor de bronpompen en de ventilatoren (±60 kWh/m², ofwel 4,80 €/m² gesloten kas).

In Figuur 32. is met kleuren aangegeven hoeveel energiekosten per m² bij BiJo worden bespaard met de warmtepomp ten opzichte van het gebruik van de WKK of de ketel. Links bovenaan in het lichtgroene gedeelte, bij een elektriciteitsprijs van 0,02 €/kWh en een gasprijs van 0,25 €/m³ bespaart de warmtepomp jaarlijks bijna 13,- €/m² gesloten kas ten opzichte van een bedrijf dat met een ketel stookt. Bij hogere elektriciteitsprijzen en lagere gasprijzen daalt de besparing. Als de groene elektriciteit wordt ingekocht voor 0,08 €/kWh dan zou bij een gasprijs van 0,20 €/m³ (★) de besparing nog 0 €/m² zijn.



Figuur 32. Besparing op energiekosten (€/m² gesloten kas) ten opzichte van een standaard warmtevoorziening met ketel en WKK bij verschillende prijzen voor elektriciteit en aardgas

Er vanuit gaande dat de verkoopprijs van grijze stroom 0,03 €/kWh lager ligt dan de inkoopprijs van groene stroom, wordt bij nog hogere inkooprijzen de WKK interessanter en wordt de warmte uit de WKK goedkoper dan uit de warmtepomp.

Productieverbetering

Voor een biologische teelt is het moeilijk te schatten hoeveel productieverbetering een aanpassing van het teeltsysteem oplevert. Vele factoren, zoals ziekten en plagen en de bodemgesteldheid verstoren niet alleen de teelt, maar ook de zuiverheid van de productiemeting. Zeker gezien de hoge productie bij de tomatenteelt wordt geschat dat een 10% productieverbetering niet ondenkbeeldig is. Uitgaande van een referentie omzet van ± 50 €/m² betekent 10% productieverbetering 5 €/m² extra omzet. Hier moeten nog wel de extra kosten voor handling en afzet à 1,- €/m² worden afgetrokken. Het economische voordeel van de productieverbetering komt dan neer op 4,- €/m² gesloten kas.

Prijsverhoging

De investeringskosten van 14 €/m² worden slechts gedeeltelijk terugverdiend met besparing op de energiekosten en de productieverbetering. In Tabel 1. worden de investeringskosten vergeleken met de besparingen op het gebied van energie en productie.

Tabel 6. Berekening benodigde resterende kostendekking (€/m².jaar)

	Kosten (€/m ²)
Investeringskosten	14,-
Kostenbesparing energie	0,-
Productieverhoging	-4,-
Benodigde kostendekking	10,-

De resterende kosten moeten worden gedekt door een hogere prijs. Aangezien de producten van BiJo klimaatneutraal zijn, moeten deze ook voor een hogere prijs te verkopen zijn. Deze prijs dient dan $10/(50+4) = 19\%$ hoger te zijn dan niet-klimaatneutrale biologische producten om kostendekkend te zijn.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Discussies

Met koeling kan de gesloten kas vrijwel het hele jaar gesloten blijven. Hiermee is een verhoogde CO₂-concentratie te realiseren en daarmee een hogere productie. Het inblazen van al te koude lucht tegen het warme gewas wordt echter als negatief voor het gewas beschouwd. Hier is echter nog geen duidelijke reden voor gevonden.

Door het grote minimale luchtdebiet dat door de LBK's moet worden geblazen om de lucht gelijkmatig te verdelen, kost het ontvochtigen met de LBK's relatief veel koude en warmte. Hoewel ontvochtigen met LBK's warmte-oogst oplevert, moet het echter zo min mogelijk worden toegepast, hooguit als de buitenlucht warm en vochtig is.

6.2 Conclusies

- Het systeem werkt naar behoren: er kan worden gekoeld en verwarmd en de temperatuurverdeling is voldoende. De kassen worden echter niet continu gesloten gehouden omdat ontvochtigen met buitenlucht voordeliger is en omdat bij een gesloten kas de CO₂-concentratie te hoog wordt door emissies uit de bodem (organische bemesting)
- De op straling gewogen gemiddelde CO₂-concentratie is ongeveer 650 ppm geweest. Dit is 50 ppm meer dan bij een modern (open) tomatenbedrijf. Hoewel met meer CO₂ in de kas wel meer productie kan worden gehaald, is deze er niet altijd volledig uitgekomen. Dit heeft voor een groot deel te maken met de gewasverzorging, de gewasgezondheid en de stabiliteit van de plantbalans.
- Koelen en ontvochtigen onder in het gewas geeft een heel andere verticale verdeling van temperatuur en luchtvochtigheid dan in een standaard kas. Dit vereist oplettendheid bij het instellen van de klimaatcomputer en het plaatsen van de meetboxen.
- Door een kleine raamkier kunnen nog steeds ziekten en plagen naar binnen komen.
- Het hijssysteem van de luchtslangen is lastig bij komkommer (breed en stroef gewas, waarbij vaak in het gewas moet worden gewerkt) maar is goed werkbaar bij tomaat en paprika.
- Warmtegebruik was hoog in het eerste jaar door te veel ontvochtiging. In het tweede jaar blijft het warmteverbruik beperkt en is vergelijkbaar met andere biologische bedrijven.
- Warmte wordt voor 92% opgewekt door drie warmtepompen met een COP tussen 6 en 7 (rendement is dus 600 tot 700%). Ingekochte elektriciteit is groen.
- Bio-olie wordt ingezet tijdens piekvraag naar warmte. Dit is 8% van de totale warmtevraag.
- De benodigde elektriciteit voor ventilatoren en bronpompen is hoger dan verwacht.
- Ondanks hogere productie en efficiënte energievoorziening moet een belangrijk deel van de investeringskosten worden terugverdiend door een hogere prijs voor CO₂-neutrale producten.

6.3 Aanbevelingen

Momenteel is de warmtepomp de verreweg belangrijkste bron van warmte. De warmte van de bio-olieketel is veel duurder en wordt daarom zo min mogelijk aangewend. Bij de huidige bedrijfsvoering wordt echter te weinig warmte geoogst om in de totale warmtevraag te voorzien. Om de warme en koude bronnen op lange termijn in balans te houden worden de volgende maatregelen aanbevolen:

- verlagen van de warmtevraag door 's nachts vaker of intensiever te schermen;
- verhogen van de warmteoogst door vaker te koelen;
- verhogen van de warmteoogst door ook in de kas met bladgewassen te koelen;
- gebruik van aanvullende warmtebronnen.

Door een hogere CO₂-concentratie aan te houden van gemiddeld 650 naar 800 ppm) kan een (3%) hoger fotosyntheseniveau en dus een hogere productie worden gerealiseerd. Dit lijkt rendabel te realiseren door het inkopen van ±50% meer CO₂, maar zou ook kunnen worden gerealiseerd door overdag meer te koelen en de kas vaker gesloten te houden.

Om toch met een groot luchtvolume energiezuinig te ontvochtigen wordt aanbevolen om pulsgewijs te koelen en herverwarmen. Als bijvoorbeeld een kwartier per uur wordt ontvochtigd en vervolgens drie kwartier alleen wordt gecirculeerd zonder koeling of herverwarming wordt dezelfde besparing gerealiseerd als in bijgaand voorbeeld. Ook kan voor een energiezuinige ontvochtiging de een deel van de luchtslangen tijdelijk worden uitgeschakeld. Risico hierbij is, een goede verdeling van de ontvochtiging niet is gegarandeerd.

Overigens is het 's nachts nog voordeliger om met droge buitenlucht te ontvochtigen door bijvoorbeeld een kier in de luchtramen aan te houden. Door mechanisch ontvochtigen kan CO₂-verlies door de ramen worden voorkomen, maar dat heeft 's nachts geen voordeel.

De combinatie van koelen en ventileren kan elkaar versterken, maar ook tegenwerken. Door te koelen kan de absolute luchtvochtigheid en de enthalpie binnen lager worden dan buiten. Als dan ook wordt geventileerd komt warmere vochtiger lucht de kas binnen en moet zodoende harder worden gekoeld. Dit is tussen 16 juni 2009 en 3 augustus 2010 gemonitord, waaruit blijkt dat dit enkele malen 's nachts is voorgekomen (zie Tabel 2.) en vooral gedurende de zomerperiode bij tomaat. Op die momenten is, om de etmaaltemperatuur te drukken, 's nachts gekoeld waarbij de relatieve luchtvochtigheid (RV) door de dalende temperatuur oploopt. De hogere RV stuurt automatisch de luchtramen open, maar bij een hogere absolute luchtvochtigheid buiten komt dan juist meer vocht in de kas, waardoor meer mechanisch moet worden ontvochtigd. Hoewel het hier om kleine hoeveelheden gaat, zijn maatregelen gewenst om deze tegenwerking tussen koeling/ontvochtiging en ventilatie te voorkomen.

Over het algemeen is te zien dat 's nachts meer wordt verwarmd dan overdag. Mogelijkheden om op de warmtevraag te besparen, moeten daarom vooral 's nachts worden gezocht. Bijvoorbeeld door een beter isolerend scherm of door intensiever gebruik van het bestaande scherm.

7 Literatuur

de Gelder, A., Raaphorst, M., de Hoon, M., en Breugem, F. (2007)

Paprikateelt in de gesloten kas : resultaten bij Themato in 2006. PPO;nr. 32415022. Wageningen UR, Glastuinbouw. Naaldwijk.

Nederhoff, E.M. (1994)

Effects of CO₂ concentration on photosynthesis, transpiration and production of greenhouse fruit vegetable crops., Wageningen.

de Visser, P., Gorissen, T., en van der Zwerde, W. (2004)

Gasemissie na toediening van organische meststoffen in de glastuinbouw : risico's op plantschade in gesloten kassen. Plant Research International. Wageningen.

