



Energiezuinig klimaat in bioteelt en gewone teelt – proef 2009

Arie de Gelder, Peter van Weel, Elly Nederhoff



Referaat

De peiler voor energiebesparing is gebruik van sterk isolerende schermen. Het probleem bij schermen is dat er veel minder condensatie van vocht tegen het koude kasdek plaatsvindt, waardoor de luchtvochtigheid zeker te hoog oploopt. De twee gangbare methoden om vocht te beheersen, vochtafvoeren via een vochtkier en gebruik van minimum buis, vergen allebei veel energie. Daarom wordt gezocht naar een andere methode om het vochtprobleem te voorkomen. In deze proef is dat in principe het ventileren met voorverwarmde buitenlucht. Tevens is het stookregime aangepast, namelijk dat geen minimum buistemperatuur wordt ingesteld. Deze proef heeft aangetoond dat een aanzienlijke hoeveelheid energie bespaard kan worden door een dubbel energiescherm te gebruiken, en door aanvullende maatregelen zoals geen minimum buis in te stellen, en scherm pas te openen als de zon meer kracht heeft. Het extra scherm kon langer gesloten blijven dankzij goede luchtvochtigheidsregeling (want verwarmen van droge lucht vergt relatief weinig energie). Verticale gradiënten waren gering, gedeeltelijk dankzij de vrij constante luchtstroom van de Aircobreeze. De lagere productie die werd waargenomen kan deels veroorzaakt zijn door lager CO₂ gehalte en hogere nachttemperatuur.

Abstract

Energy use can be reduced by highly insulating screens. The problem with screens is that less condensation occurs at the cold glass in the greenhouse roof. The two common methods of moisture control, screen gaps and use of minimum pipe temperature, require both a lot of energy. Therefore this research looked for another method to prevent the moisture problem. In this trial is that in principle forced ventilation with preheated air from outside. Also, the heating regime changed, that no minimum pipe temperature is set. This test showed that significant energy savings through a double screen are possible and through additional measures such as no minimum pipe to set and screens only open when the sun has more power. The extra screen can longer remain closed due to good humidity control -for heating dry air requires relatively little energy-. Vertical gradients were low, partly due to the almost constant flow of Aircobreeze. The lower production observed may partly be due to lower CO₂ and higher night temperatures.

© 2011 Wageningen, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO)

Wageningen UR Glastuinbouw

Adres : Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk
: Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk
Tel. : +31 317 48 56 06
Fax : +31 10 522 51 59
E-mail : glastuinbouw@wur.nl
Internet : www.ppo.wur.nl

Inhoudsopgave

1	Inleiding	7
2	Materiaal en methode	9
	2.1 Proefopzet, kas en gewas	9
	2.2 Luchtvochtigheidsbeheersing	11
3	Resultaten - klimaat	13
	3.1 Weersomstandigheden	13
	3.2 Groeiomstandigheden (overdag)	14
	3.3 Temperatuur en vocht 's nachts	15
	3.4 Ventilatie en schermen ('s nachts)	17
	3.5 Energiegebruik	18
	3.6 Voorbeeld	20
4	Productie en gewasgroei	21
	4.1 Snelheid van bloei en zetting	21
	4.2 Productie	22
	4.3 Gewasgroei	23
5	Conclusies	25
Bijlage I	Samenvatting van de proef in 2008	27

Samenvatting

De peiler van energiebesparing is gebruik van sterk isolerende schermen. Het probleem bij schermen is dat er veel minder condensatie van vocht tegen het koude kasdek plaatsvindt, waardoor de luchtvochtigheid zeker te hoog oploopt. De twee gangbare methoden om vocht te beheersen, vochtafvoeren via een vochtkier en gebruik van minimum buis, vergen allebei veel energie. Daarom wordt gezocht naar een andere methode om het vochtprobleem te voorkomen. In deze proef is dat in principe het ventileren met voorverwarmde buitenlucht. Tevens is het stookregime aangepast, namelijk dat geen minimum buistemperatuur wordt ingesteld. De buistemperatuur wordt gestuurd in afhankelijkheid van de temperatuurbehoefte van het gewas, en niet in afhankelijkheid van luchtvochtigheid. Ook wordt de stookstrategie afgestemd op het lichtniveau ('met de zon meestoken'). 's Nacht werd geteeld met geavanceerde beheersing van de luchtvochtigheid, zodat de warmtebehoefte ook in de nacht beperkt was. Deze proef was gericht op beheersing van de luchtvochtigheid in de nacht.

De energiezuinige kas vertoonde de volgende verschillen met de standaard kas. Veel verschillen waren vooral zichtbaar in de tweede helft van de teelt:

- Energieafgifte van de buizen was ca 25% lager
- RV overdag was vaak 2-5%-punten lager
- Nachttemperatuur was systematisch hoger
- Nachtelijke RV was systematisch lager
- Ventilatie in de nacht was hoger (luwe en windkant)
- Het extra isolatiescherm werd nog vaker gesloten dan het standaard energiescherm
- De gemeten CO₂ concentratie overdag was meestal veel lager (tot 120 ppm)
- Bladlengte en kopdikte waren gemiddeld iets hoger
- Bloei, zetting en oogst hadden soms een kleine achterstand (ca 1 tros).
- De productie lag 8-9% lager zowel in kg/m² als in trossen/m²

Deze proef heeft aangetoond dat een aanzienlijke hoeveelheid energie bespaard kan worden door een dubbel energiescherm te gebruiken, en door aanvullende maatregelen zoals geen minimum buis in te stellen, en scherm pas te openen als de zon meer kracht heeft. Het extra scherm kon langer gesloten blijven dankzij goede luchtvochtigheidsregeling (want verwarmen van droge lucht vergt relatief weinig energie). Verticale gradiënten waren gering, gedeeltelijk dankzij de vrij constante luchtstroom van de Aircobreeze. De lagere productie kan deels veroorzaakt zijn door lager CO₂ gehalte en hogere nachttemperatuur.

1 Inleiding

Energiebesparing in biologische teelten

Biologische teelten hebben doorgaans een hoger energie gebruik dan gangbare teelten. Dit komt onder andere doordat biologische teelten in de grond staan, waaruit veel waterdamp vrijkomt. Dit verhoogt de luchtvochtigheid, waardoor extra gestookt en geventileerd moet worden. Hoge luchtvochtigheid versterkt de kans op ziektes, maar in biologische teelten mag minder gebruik gemaakt worden van bestrijdingsmiddelen. Daarom is een goede luchtvochtigheidsregeling een belangrijke voorwaarde voor een geslaagde biologische teelt. Er moet dus meer gestookt en geventileerd worden. Tegelijkertijd wordt er minder zwaar geschermd omdat investeringen in een sterk isolerend scherm vaak te duur zijn voor deze minder intensieve teelten. Ook het geconditioneerde telen in (semi-)gesloten kassen is niet weggelegd voor de biologische teelt; ten eerste vanwege de hoge kosten en bovendien omdat er geen ruimte is voor grote luchtslangen want de planten staan in de grond.

Onderzoek in 2008 en 2009

Dit onderzoek is speciaal gericht op energie besparing in biologische teelt. Het is een vervolg van onderzoek in 2008 onder de titel 'Energiebesparing in bio-glasteelten door intensief schermen en geavanceerd ventileren'. Zie samenvatting in Bijlage I. De eerste proef toonde aan dat het principe van inblazen van, en drogen met, buitenlucht goed werkt. De resultaten hiervan vormen mede de basis voor het onderzoeksproject Het Nieuwe Telen- Energie onder de Knie.

In 2009 zijn technische aanpassingen in de kas aangebracht en worden de fijnere details onderzocht. Beide projecten dragen bij aan kennis over intensief schermen, energiezuinig stoken en geavanceerd ventileren in de biologische groenteteelt, terwijl onderdelen ervan ook zinvol kunnen zijn voor gangbare teelten in substraat. Naast de uitvoering van dit onderzoek is voorzien in begeleiding van experimenten in de praktijk met buitenlucht aanzuiging o.a. in *Matricaria*.

Doelstelling

De doelstelling is het realiseren van energiezuinige beheersing van temperatuur en luchtvochtigheid in de biologische tomatenteelt, zodanig dat *Botrytis cinerea* weinig kans krijgt. Het doel is tevens het testen van twee verschillende vormen van vochtbeheersing onder dubbel hoog-isolerend scherm. De energiebesparing moet worden behaald uit zoveel mogelijk schermen, zo min mogelijk minimumbuis gebruiken, en beperken van gebruik van kieren in het scherm, minimumraamstand en minimumbuis temperatuur. De te bereiken energiebesparing bij toepassing van de nieuwe technologie was van tevoren geschat op 10%.

Aanpak

Een kasafdeling (5.01) is uitgerust met twee systemen om luchtvochtigheid te beheersen. Een systeem is buitenlucht inblazen via slurven onder het gewas en de tweede is inzet van een verticale ventilator die lucht van buiten via een koker in de kas brengt ('Aircobreeze', zie foto in Figuur 3.). Er wordt een analyse gemaakt van het effect van beide systemen. De groei en productie in deze kas wordt vergeleken met die in een referentiekas (5.04) waar onder een normaal energiescherm wordt geteeld.

Schermen en klimaatregeling

De peiler van energiebesparing is gebruik van sterk isolerende schermen. Het probleem bij schermen is dat er veel minder condensatie van vocht tegen het koude kasdek plaatsvindt, zodat de luchtvochtigheid verder oploopt. De twee gangbare methoden om vocht te beheersen (vochtafvoeren via een vochkier en gebruik van minimum buis) vergen allebei veel energie. Daarom wordt gezocht naar een andere methode om het vochtprobleem te voorkomen. In deze proef is dat in principe het ventileren met voorverwarmde buitenlucht (details zie verderop). Omdat er een overdruk is, wordt lucht door het scherm geperst, alwaar het vocht condenseert tegen het kasdek. Daardoor is het niet nodig kieren te trekken of gaten in het scherm aan te brengen. Het scherm (eventueel twee schermen), kan gesloten blijven zo lang de teler dat wil. Tevens wordt het stookregime aangepast, nl dat geen minimum buistemperatuur wordt ingesteld. De buistemperatuur wordt gestuurd in afhankelijkheid van de temperatuurbehoefte van het gewas, en niet in afhankelijkheid van luchtvochtigheid. Ook wordt de stookstrategie afgestemd op het lichtniveau ('met de zon meestoken'). 's Nacht wordt geteeld bij een lagere temperatuur met geavanceerde beheersing van de luchtvochtigheid, zodat de warmtebehoefte ook in de nacht beperkt is. Deze proef was gericht op beheersing van de luchtvochtigheid in de nacht.

Aanpassingen in 2009

De proef in 2008 en in 2009 zijn beide uitgevoerd bij WUR Glastuinbouw in Bleiswijk in kas 5.01, die daartoe speciaal was uitgerust. In 2008 werd de buitenlucht aangevoerd via een buisennet onderin het gewas. De ervaringen en resultaten van 2008 zijn gebruikt om de ventilatie en de regeling te verbeteren voor aanvang van de proef van 2009. De volgende aanpassingen zijn gedaan:

1. De buitenlucht werd via een opening in het kasdek aangezogen door een verticaal werkende ventilator, de Aircobreeze.
2. Bovenop de Aircobreeze, en door het scherm en het kasdek heen, was een schoorsteen aangebracht met afsluitbare klep.
3. Er werd geteeld onder een volledig gesloten dubbel scherm. D.w.z. de diafragma klep door het schermdoek (uit 2008) was vervallen.
4. Met een regenleiding op de grond werd de luchtvochtigheid voor deze proef extra verhoogd.
5. Er werd een directe vergelijking gemaakt met kasafdeling 5.04 met standaard klimaatregeling
6. Luchtvochtigheid werd geregeld op vochtdeficit.

2 Materiaal en methode

2.1 Proefopzet, kas en gewas

Proefopzet

Een kasafdeling met energiezuinige regeling en dubbel scherm (kas 5.01) werd vergeleken met een normaal geregelde kas met enkel scherm (kas 5.04). Afdeling 5.01 ligt aan de zuid/west kant en 5.04 aan zuid/oost kant van het complex. Voor het overige waren deze afdelingen zo veel mogelijk gelijk aan elkaar (ras, plantdatum, setpoints, gewasmanagement). Vergeleken werden: gerealiseerd klimaat, groei, productie en energiegebruik.



Figuur 1. Jonge planten op 12 feb 2009, drie weken na planten. Rechts achterin zit de aanzuigbuis voor buitenlucht met verwarmingsunit.

Kas

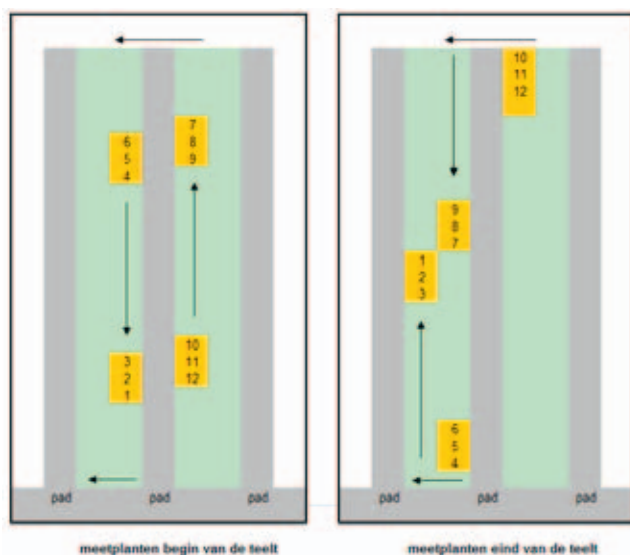
Kas:	WUR-glastuinbouw in Bleiswijk, Afdeling 5.01 (energiezuinig) en Afdeling 5.04 (standaard).
Kasoppervlak:	144 m ² (9.6 x 15 m)
Poothoogte:	5.5 m
Tralieligger:	9.6 m (2 x 4.8 m)
Dek:	enkel glas, met insectengaas in de luchtramen
Verwarming:	standaard buisrail, groeibuis, en voorverwarming van buitenlucht (50 W/m ²)
CO ₂ :	van OCAP, doseercapaciteit 180 kg/ha/uur; streefwaarde 1000 ppm.
Schermb:	Kas 5.01: gealuminiseerd scherm (LS 10 Ultra). Met daaronder een dicht transparant folieschermb. Kas 5.04: LS 10 Ultra. In de winter werd een langs de gevels een rolschermb gebruikt in beide kassen.
Voeding:	Druppelbevloeiing

Gewas

Plantdatum:	21 januari 2009 (week 4)
Cultivar:	Sunstream geënt op Maxifort
Teeltsysteem:	Planten staan in de grond met een druppelsysteem voor de watergift. Er lagen extra regenleidingen op de grond om luchtvochtigheid te kunnen verhogen.
Plantdichtheid:	3 pl/m ²
Eerste oogst:	24 april (eind week 17)
Einddatum:	laatste oogst 25 november (week 48)

Metingen

- De volgende metingen zijn uitgevoerd:
- Standaard buitenklimaat metingen
- Kasklimaatmetingen via de standaard meetbox voor kasklimaatregeling
- Voor meting van temperatuur en luchtvochtigheid werd in kas 5.01 gebruik gemaakt van 3 extra meetboxen op 3 hoogtes: onder gewas, boven gewas, en boven scherm
- Planttemperatuur
- Dataregistratie verliep via Letsgrow
- Productie
- Wekelijks werd in 2 meetvelden de gewasontwikkeling gemeten: stengeldikte, bloei, zetting. De meetvelden waren goed verdeeld in de kasruimte.



Figuur 2.: Locatie van de meetplanten in kas 5.01 en 5.04. De groene velden zijn 'carroussels', waar de planten steeds doorschuiven. De gele velden zijn groepen van 3 meetplanten, die eveneens doorschuiven.

2.2 Luchtvochtigheidsbeheersing

In 2009 werd in kas 5.01 de luchtvochtigheid deels geregeld m.b.v. een ventilator met regelbaar toerental van leverancier Nivola. In dit rapport wordt hiervoor de naam 'Aircobreeze' gebruikt (Eigenlijk is Aircobreeze de naam van een systeem van Hoogendoorn bestaande uit deze ventilator gecombineerd met regelsoftware). In januari 2009 werd boven deze 'Aircobreeze' een luchtaanvoerkanal aangebracht door het dek en door het scherm heen. In het kanaal zat een afsluitklep, die werd gesloten wanneer de Aircobreeze niet gebruikt werd. In maart 2009 werd duidelijk dat de Aircobreeze zelf niet genoeg lucht kon aanzuigen (netto circa 100 m³/uur), doordat de weerstand van het aanzuigkanaal groter was dan de aanzuigkracht van de Nivolator. Daarom werd een hulpventilator aangebracht met een capaciteit van 955 m³/uur. Deze ventilator stuwde buitenlucht door de aanvoerpijp naar de Aircobreeze.

De aangezogen lucht werd niet voorverwarmd en werd direct onder de ventilator uitgeblazen. Het voordeel hiervan is geen luchtslang nodig is. Dit systeem bespaart tijd en arbeid tijdens de teeltwisseling en vermindert problemen met beschadigde slangen.

De installatie werd geregeld op een ingestelde luchtvochtigheid (85%) gemeten onder het gewas. Bij een te klein enthalpieverschil tussen binnen- en buitenlucht werd de installatie uitgeschakeld.

De gedachte was dat koude (en dus droge) lucht van buiten werd gemengd met vochtige warme kaslucht, en vervolgens tussen het gewas gebracht. Op deze manier zou koude kunnen worden voorkomen. De luchtaanzuiging zou een lichte overdruk geven. Hierdoor zou de (vochtige) kaslucht door het poreuze schermdoek naar boven worden gedreven, waar het vocht tegen het kasdek zou condenseren en via condensgoten worden afgevoerd. Doordat het scherm en ook de luchtramen gesloten zouden blijven, kon de temperatuur boven het doek zo laag mogelijk blijven, zodat maximaal gebruik werd gemaakt van de condensatiecapaciteit van het kasdek.

Een ander effect was dat de Aircobreeze een egale verticale luchtbeweging veroorzaakte. De (drogere) buitenlucht werd aangezogen via een pijp, en ingeblazen met een lage snelheid (5 m³/(m².uur)). Dit komt ongeveer overeen met ventilatievoud 1 keer per uur, ofwel één keer per uur verversing van het hele kasluchtvolume. De theoretische luchtbewegingssnelheid (berekend uit de snelheid van lucht inblazen) was 0,14 cm/s. Dit is 'traag, maar gestaag'. Door de luchtbeweging verminderen de verticale temperatuurverschillen, waardoor de kans op condensatie in het gewas verder afneemt.

Samengevat zou dit systeem moeten resulteren in een lager energieverbruik, want:

- er werd een tweede sterk isolerend scherm gebruikt
- het scherm kon langer gesloten blijven dankzij betere luchtvochtigheidsregeling
- verwarmen van droge lucht vergt relatief weinig energie
- geringe verticale temperatuurverschillen vanwege vrij constante luchtstroom
- minimale kans op condensatie onderin het gewas
- snelle heling van wonden na bladsnijden, waardoor de kans op ziekten afneemt.
- kouval werd vermeden door het scherm pas te openen als de zon al kracht had

Opwarmen van de kaslucht na kouval gebeurt primair door het luchtvochtigheidssysteem, dus door het opwarmen van relatief droge lucht.



Figuur 3. Links :Overzicht van de kas, met in het midden de Aircobreeze met luchtaanvoer (2009). Rechts achterin de kas zit nog een buitenluchtinblaassysteem dat alleen in 2008 werd gebruikt. Rechts: Close-up van het Aircobreeze systeem: onderin is de ventilator zichtbaar en daarboven het luchtaanvoerkanaal door het kasdek, wat in 2009 is toegevoegd.

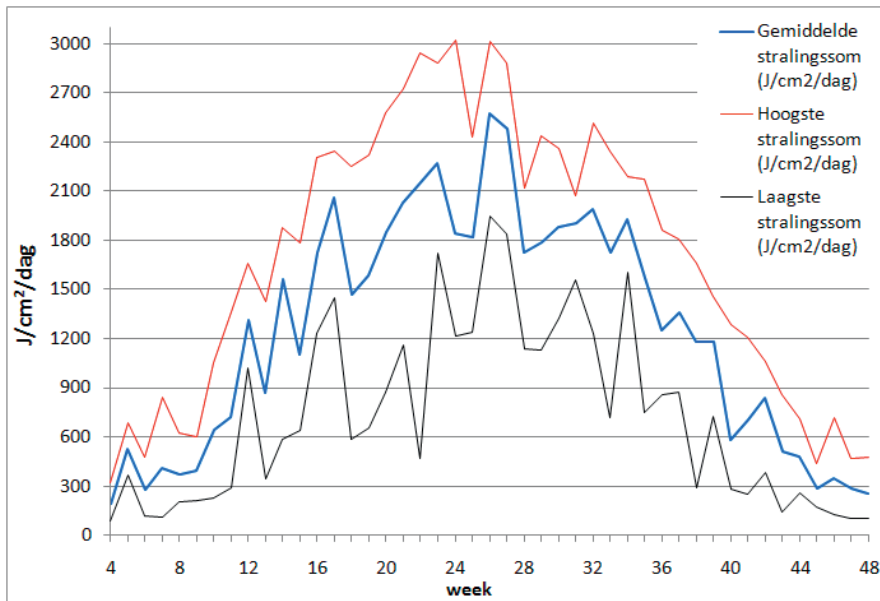
Tabel 1. Details van luchtaanvoerkanaal boven de Aircobreeze

lengte	0.3	M
breedte	0.1	M
oppervlak	0.03	m ²
snelheid	6	m/s
luchtinbreng	0.18	m ³ /s
duur	3600	s/uur
hoeveelheid	648	m ³ /uur
=kasoppervlak	144	m ²
Luchtbeweging	4.5	m ³ /(m ² .uur)

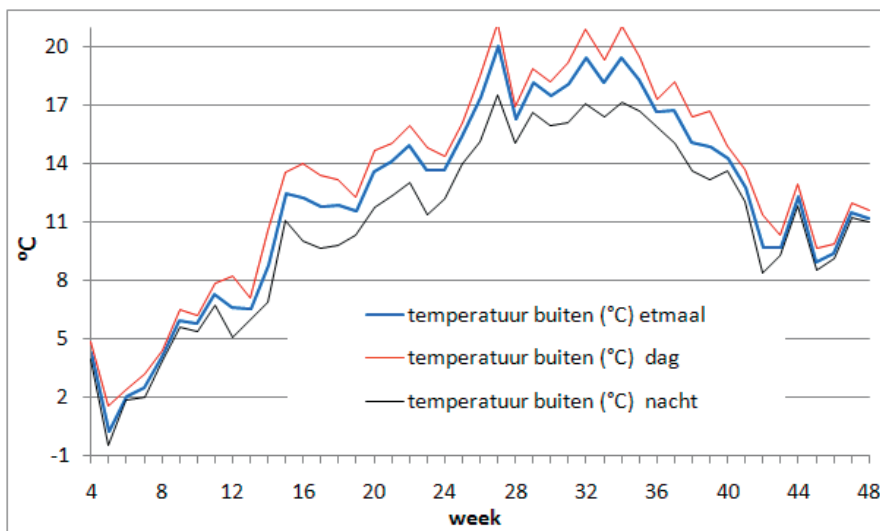
3 Resultaten - klimaat

3.1 Weersomstandigheden

Ter informatie volgt hier een grafisch overzicht van de weersomstandigheden (straling en buitentemperatuur) tijdens de proef.

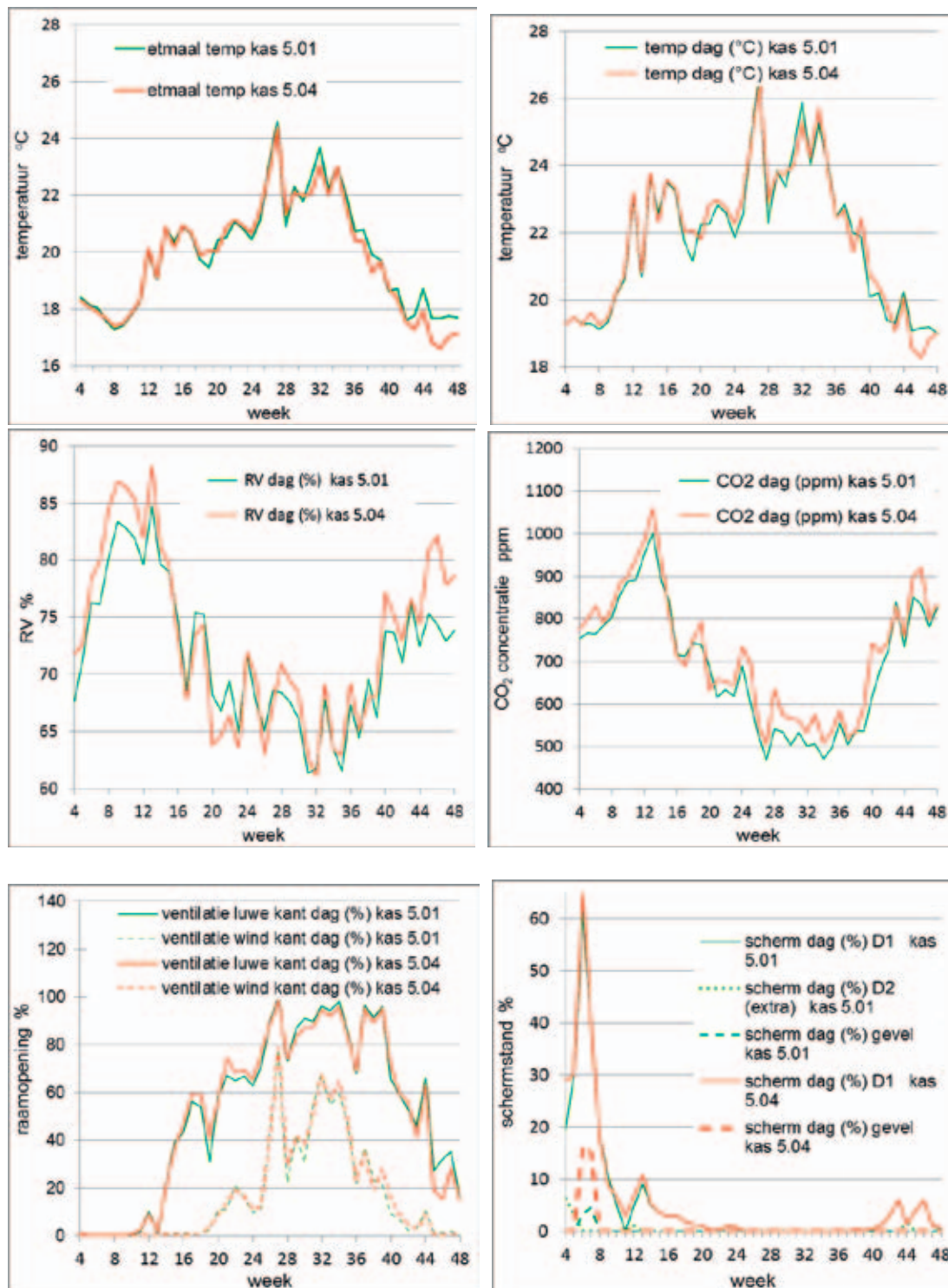


Figuur 4. Dagsom van globale straling buiten gemeten ($J/(cm^2 \cdot dag)$) als weekgemiddelde en hoogste en laagste waarde in een week uitgezet tegen weeknummer in 2009.



Figuur 5. Temperatuur buiten; weekgemiddelden van dagtemperatuur, nachttemperatuur en etmaaltemperatuur uitgezet tegen weeknummer in 2009.

3.2 Groeiomstandigheden (overdag)



Figuur 6. Groeiomstandigheden in kas 5.01 (energiezuinig) en 5.04 (standaard) weegemiddelden uitgezet tegen weeknummer in 2009. (a) etmaal temperatuur; (b) dagtemperatuur; (c) relatieve luchtvochtigheid overdag (%); (d) CO₂ concentratie overdag (ppm); (e) raamopening overdag (%); (f) schermstand overdag (%).

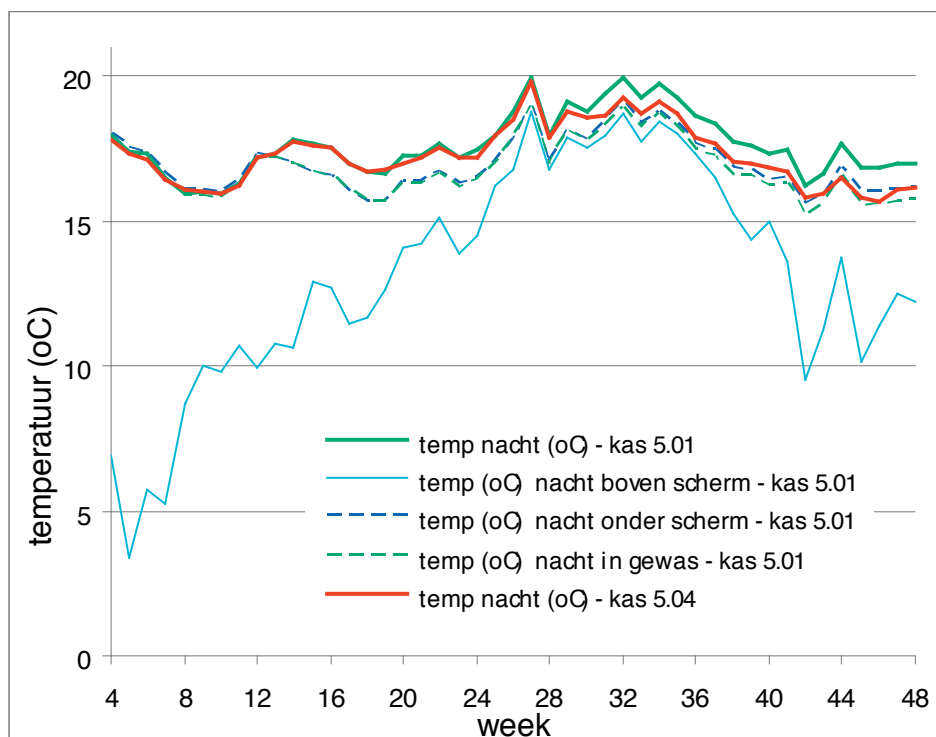
Figuur 6. geeft de groeiomstandigheden weer voor overdag. Alleen de eerste grafiek (Figuur 6.a) geldt voor het etmaal i.p.v. de dag. De gemiddelde etmaaltemperatuur en dagtemperatuur waren vrijwel gelijk in de twee afdelingen, evenals de gemiddelde raamopening en schermstanden.

De RV overdag was vaak lager in de energiezuinige afdeling (behalve omstreeks week 20 en week 37). Het verschil was 2-3 %-punten, en in het late najaar zelfs 5 %-punten. Opgemerkt kan worden dat in het begin van de proef de Aircobreeze niet genoeg lucht kon aanzuigen. Pas in maart is een extra ventilator in de schacht geplaatst, waardoor het volume ingeblazen buitenlucht toenam. De resultaten tot circa week 11 zijn daarom niet van belang.

De gemeten CO₂ concentratie overdag was meestal lager in de energiezuinige kas (5.01) dan in de standaard kas (5.04). Het verschil was vaak tientallen ppm, en was vooral groot in week 28 (ca 90 ppm) en week 40 (ca 120 ppm). Alleen in week 15-16, 20 en 42-43 had kas 5.01 een gelijk of hoger CO₂ niveau.

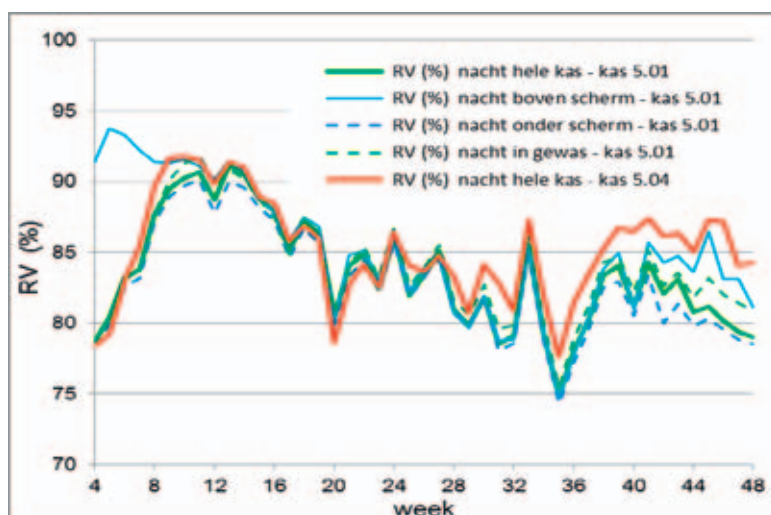
De geregistreerde CO₂ dosering ('actuation') was precies gelijk voor beide afdelingen. De raamopening was nauwelijks verschillend tussen de twee afdelingen, en was in week 28 en week 40 zelfs precies gelijk (zie Figuur 6.e). Ter verklaring voor het verschil in CO₂ concentratie moet worden gedacht aan verschillende doseersnelheden in de twee kasafdelingen. De doseercapaciteit werd geregeld met een naaldventiel, en misschien waren dit ongelijk afgeregeld. De systematische lagere CO₂ concentratie kan de verklaring zijn voor de lagere productie in kas 5.01 (zie hoofdstuk 4).

3.3 Temperatuur en vocht 's nachts



Figuur 7. Kasluchttemperatuur in de nacht (weekgemiddelden) in kas 5.01 (energiezuinig) op verschillende hoogtes in de kas, en in kas 5.04 (standaard) op standaard hoogte, uitgezet tegen weeknummer in 2009.

De temperatuur in kas 5.01 en 5.04 was gelijk in de eerste helft van de teelt, maar was systematisch hoger in de energiezuinige kas (5.01) dan in de standaardkas (5.04) gedurende de tweede helft van de teelt. Het verschil varieerde van 0.2 tot 1 °C. De RV in de nacht was bijna altijd lager in de energiezuinige kas (5.01) dan in de standaardkas (5.04), met uitzondering van week 4-5, 20-23 en 27. Het verschil was vooral groot in het najaar, met soms meer dan 5% lagere RV in kas 5.01.



Figuur 8. Relatieve luchtvochtigheid in de nacht (weekgemiddelden) in kas 5.01 (energiezuinig) op verschillende hoogtes in de kas, en in kas 5.04 (standaard) op standaard hoogte, uitgezet tegen weeknummer in 2009.

De RV zoals gegeven in Figuur 8. is een gemiddelde over de nacht periode. De momentane waarden zijn wel hoger geweest. Dat de RV lager is in de energiezuinige afdeling heeft ook te maken met het verschil in temperatuur in de nacht, die in die afdeling iets hoger is.

Zoals eerder opgemerkt kon de Aircobreeze in het begin van de proef niet genoeg lucht aanzuigen. Pas in maart is een extra hulpventilator bijgeplaatst. De resultaten tot circa week 11 zijn daarom niet van belang.

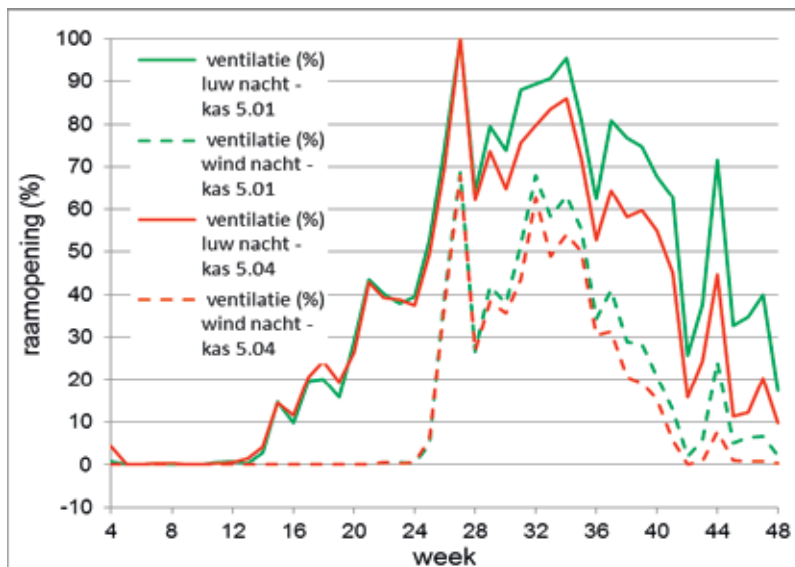
De temperatuur in de nacht op verschillende hoogtes in kas 5.01 vertoonden geen grote verschillen onder het scherm. Wel was het boven het scherm altijd kouder dan op onder het scherm op de verschillende hoogtes, zelfs in de zomerperiode. In de winter was het verschil meer dan 13 °C (van gemiddelde temperaturen in week 5). Onder het scherm en in het gewas was het vaak iets koeler dan op de standaard meetplaats.

De RV gemeten op verschillende hoogtes in kas 5.01 was in de zomer vrijwel overal gelijk, maar in het najaar nam de gradiënt toe. Onder het scherm was de gradiënt gering. Boven het scherm was de RV vaak ca 2-5 %-punten hoger dan onder het scherm. In de zomer overdag was het scherm open (zie Figuur 8.).

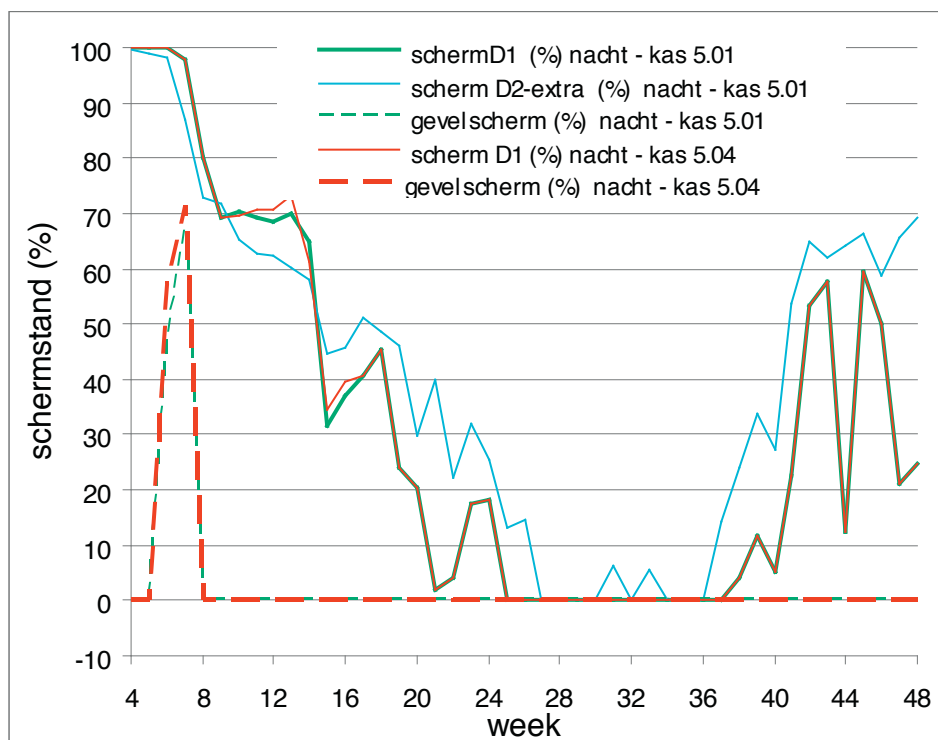
De geringe verticale temperatuurverschillen waren mede te danken aan de vrij constante luchtstroom van de Aircobreeze.

Samengevat was de energiezuinige kas in de nacht in de tweede helft van de teelt systematisch warmer en droger dan de standaard kas. Nu moet gekeken hoe het energieverbruik was in de twee afdelingen, en tevens moet bekeken worden het energiescherm en de Aircobreeze gebruikt zijn in de relevante periodes.

3.4 Ventilatie en schermen ('s nachts)



Figuur 9. Raamopeningen aan luwe en windzijde 's nacht (weekgemiddelden) in kas 5.01 (energiezuinig) en 5.04 (standaard kas), uitgezet tegen weeknummer in 2009.



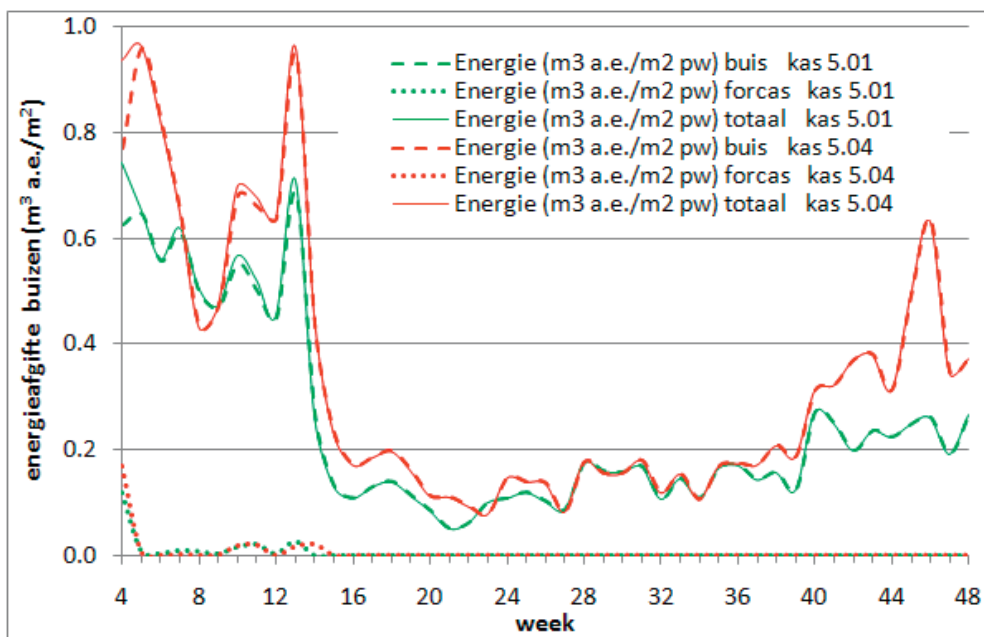
Figuur 10. Schermstanden 's nacht (weekgemiddelden) in kas 5.01 (energiezuinig) en 5.04 (standaard kas), uitgezet tegen weeknummer in 2009.

Figuur 9. laat zien dat in de tweede helft van het jaar duidelijk meer geventileerd werd in de nacht in de energiezuinige kas (5.01) dan in de standaard kas (5.04), zowel aan de luwe als de windkant. Vooral na week 44 werd het verschil relatief heel groot. De reden voor dit verschil is de hogere temperatuur die in 5.01 bleef gehandhaafd. Dit kan door verschillende oorzaken: de zon komt aan het eind van de dag meer in deze afdeling, de temperatuur van de naast gelegen compartimenten is hoger.

Figuur 10. toont dat het normale scherm (D1, type LS 10 Ultra) in beide kasafdelingen op exact dezelfde wijze werd gebruikt. Het grote verschil was dat in de energiezuinige kas (5.01) het extra isolatiescherm (D2) werd gebruikt. Scherm D2 werd vrijwel evenveel of meer gesloten als het standaard scherm (D1). D2 was bedoeld om grote energiebesparing te geven, en was niet aanwezig in kas 5.04. De gevelschermen werden exact gelijk ingesteld in beide afdelingen, en werden alleen gebruikt tussen week 4 en 8.

3.5 Energiegebruik

Het energiegebruik is berekend uit de geregistreerde temperaturen van de buisrail en de forcas pijp. De berekening is gebaseerd op buistemperatuur t.o.v. luchttemperatuur, buisdiameter (51 mm voor de buisrail en 35 mm voor de forcas), aantal pijpen per kap (12 pijpen per 9.6 m voor elk van beide systemen) en een emissie coëfficiënt (0.90). De energieafgifte van de verwarmingsbuizen is berekend voor alle 5-minuut intervallen waarin de buistemperatuur hoger was dan de luchttemperatuur, en is daarna gesommeerd.



Figuur 11. Energieafgifte van de verwarmingsbuizen (weekgemiddelden) uitgedrukt in m³ aardgas equivalenten (a.e.) per m² per week in kas 5.01 (energiezuinig) en 5.04 (standaard), uitgezet tegen weeknummer in 2009.

Over de hele periode gezien (week 4-48) was de totale energieafgifte van de buisrail plus de forcas buizen ca 25% lager in kas 5.01 (energiezuinig) dan in kas 5.04 (standaard). (de percentages zijn ten opzichte van de waarden in kas 5.04). De doorgetrokken lijnen geven de totale energieafgifte van de buisrail plus de forcas buis. De forcas pijp is alleen gebruikt tot week 14, en vrijwel steeds voor slechts een paar uur per etmaal. Daarom vallen de lijnen voor buisrail en voor totaal bijna samen. We kijken verder naar de totaallijnen.

Tabel 2. geeft de energiedata per jaargetijde. De energieafgifte is over het hele jaar aanzienlijk lager in kas 5.01 (energiezuinig) dan in kas 5.04 (standaard). Alleen in de zomer (week 22-24 en 27-36) was de energieafgifte vrijwel gelijk in de twee afdelingen, doordat energiebesparende maatregelen dan geen rol spelen. Het procentuele verschil was het grootste in het najaar (week 40-48) namelijk 39%. In die periode is de buiswarmte in de standaard afdeling vooral ingezet om vocht af te voeren door het instellen van een minimumbuis op basis van de vochtigheid van de kaslucht. De ontvochtiging door geforceerde ventilatie heeft in die periode de inzet van de buizen duidelijk verlaagd.

De zomerperiode is als een lange periode van 18 weken genomen (week 21-39). Het procentuele verschil is in deze periode het laagste, namelijk 12%.

In absolute hoeveelheden was het energieverbruik het hoogste in de acht weken in de winter (week 4-12).

De berekende totale hoeveelheid energie die is afgegeven voor de buizen ligt erg laag voor beide kasafdelingen (Tabel 2.). De standaard kas (5.04) komt uit op 15.07 m³ aardgas equivalent (a.e.) per m² over de hele teelt, en de energiezuinige kas op 11.35 m³ a.e./m². Dit lage absolute niveau van energie- gebruik is vooral veroorzaakt door geveleffecten, die in deze kleine kassen een belangrijke rol spelen. Deze kleine kasafdelingen zijn omringd door andere kassen en door een verwarmde corridor. De absolute gasverbruikcijfers mogen niet worden doorgetrokken naar de praktijk, maar de relatieve verschillen tussen de twee afdelingen zijn wel relevant.

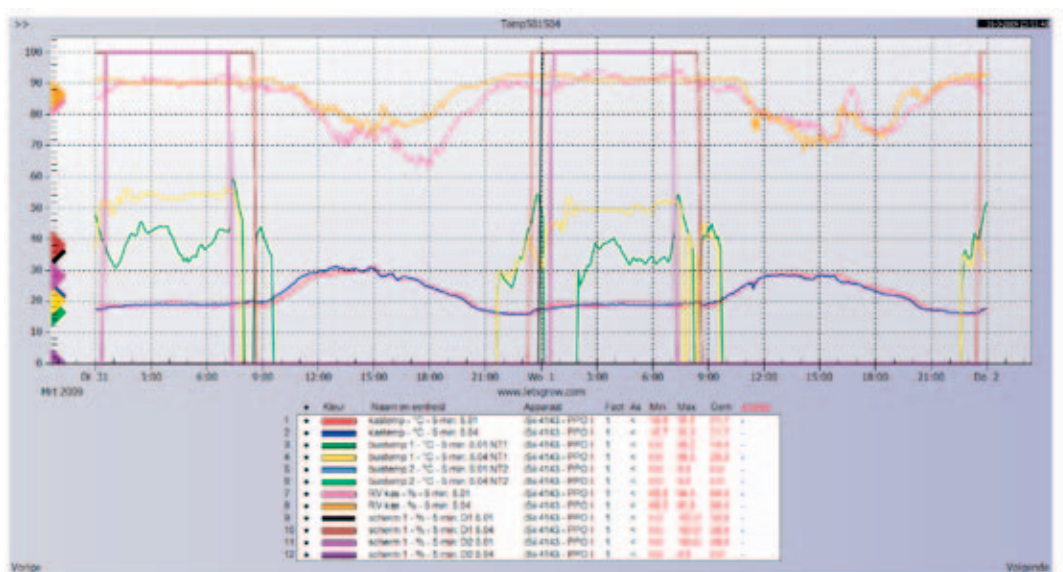
Tabel 2.: Energieafgifte van de warmtepijpen uitgedrukt in m³ aardgas equivalenten (a.e.) per m² over vier deelperioden en over de hele teelt in kas 5.01 (energiezuinig) en 5.04 (standaard). Het verschil is berekend als % van energieafgifte in kas 5.04.

Periode (weeknr)		buisrail	forcas	buisrail + forcas
Winter (4-12)	kas 5.01	4.92	0.19	5.11
Winter (4-12)	kas 5.04	6.09	0.21	6.30
Winter (4-12)	verschil (%)	19.2	10.7	18.9
Voorjaar (13-20)	kas 5.01	1.66	0.03	1.69
Voorjaar (13-20)	kas 5.04	2.44	0.04	2.48
Voorjaar (13-20)	verschil (%)	32.0	28.2	31.9
Zomer (21-39)	kas 5.01	2.41	0.00	2.41
Zomer (21-39)	kas 5.04	2.75	0.00	2.75
Zomer (21-39)	verschil (%)	12.2	0.0	12.2
Najaar (40-48)	kas 5.01	2.15	0.00	2.15
Najaar (40-48)	kas 5.04	3.55	0.00	3.55
Najaar (40-48)	verschil (%)	39.4	0.0	39.4
Hele teelt (4-48)	kas 5.01	11.14	0.22	11.36
Hele teelt (4-48)	kas 5.04	14.82	0.25	15.07
Hele teelt (4-48)	verschil (%)	24.9	13.3	24.7

De energiebesparing werd bereikt dankzij een aantal factoren:

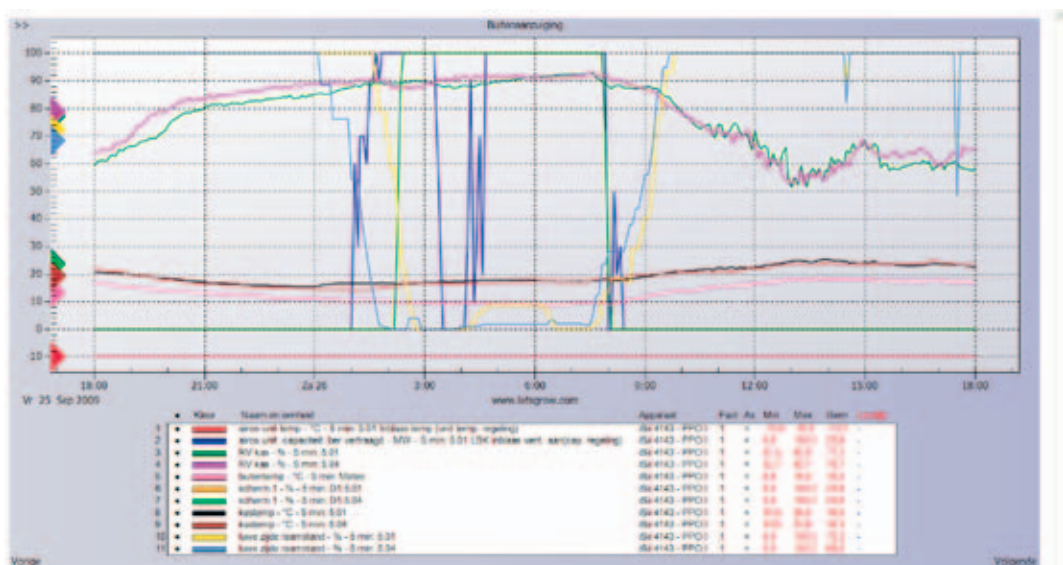
- het scherm kon veel langer gesloten blijven dankzij betere luchtvochtigheidsregeling
- verwarmen van droge lucht van buiten vergt relatief weinig energie
- kouval werd vermeden door het scherm pas te openen als de zon al kracht had
- opwarmen van de kaslucht na kouval gebeurt primair door het luchtvochtigheidssysteem, dus door het opwarmen van relatief droge lucht.

3.6 Voorbeeld



Figuur 12. Vergelijking van omstandigheden in kas 5.01 (energiezuinig) en 5.4 (standaard) in de periode 1 en 2.

Figuur 12. laat zien dat de buistemperatuur eind maart lager was in kas 5.01 dan in 5.04. De buis in kas 5.01 was zelfs even totaal weggezak. Lagere buistemperatuur betekent een lager energieverbruik, zoals berekend in paragraaf 3.5. De energiebesparing werd bereikt dankzij gebruik van een dubbel scherm, wat ca 20% energie kan besparen ten opzichte van een enkel scherm. Ondanks het lagere energiegebruik waren de klimaatomstandigheden gunstiger in de energiezuinige kas: de RV was duidelijk lager in 5.01 dan in 5.04 (lage RV is gewenst) terwijl de temperatuur precies gelijk was in beide kasafdelingen.

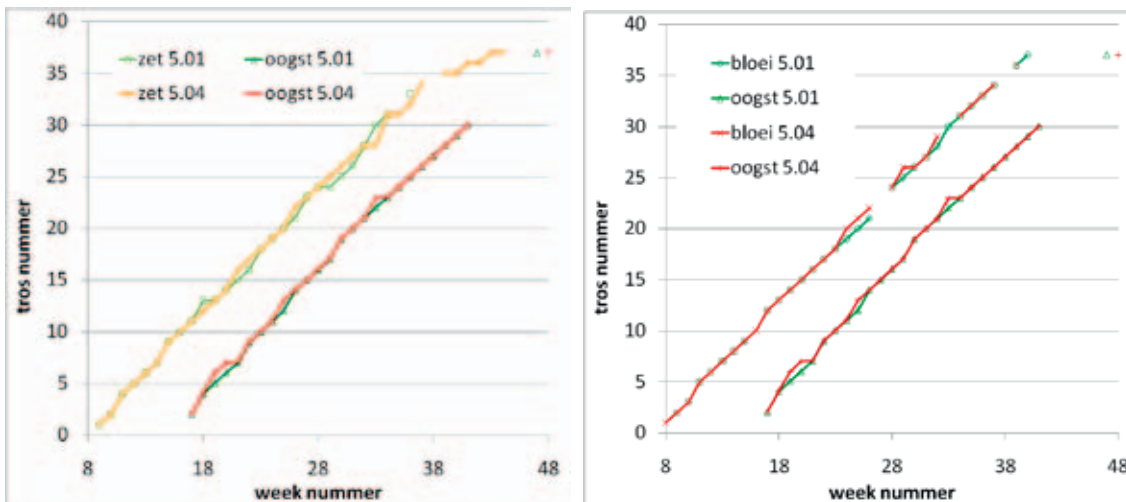


Figuur 13. Voorbeeld van klimaat realisatie op 25/26 september.

In Figuur 13. is dat de luchting in de energiezuinige afdeling 's avonds langer open blijft en ook in de nacht hoger is. De ontvochtiging draagt bij aan het beheersen van het vocht. De stijging van de kastemperatuur na middernacht in afdeling 5.01 kan alleen verklaard worden uit de sluiting van de luchtramen in combinatie met de temperatuur in afdelingen die aan deze afdeling grenzen. Deze temperaturen waren voor 5.01 hoger (28, 28 en 28 °C) dan voor afdeling 5.04 (17, 23 en 28 °C).

4 Productie en gewasgroei

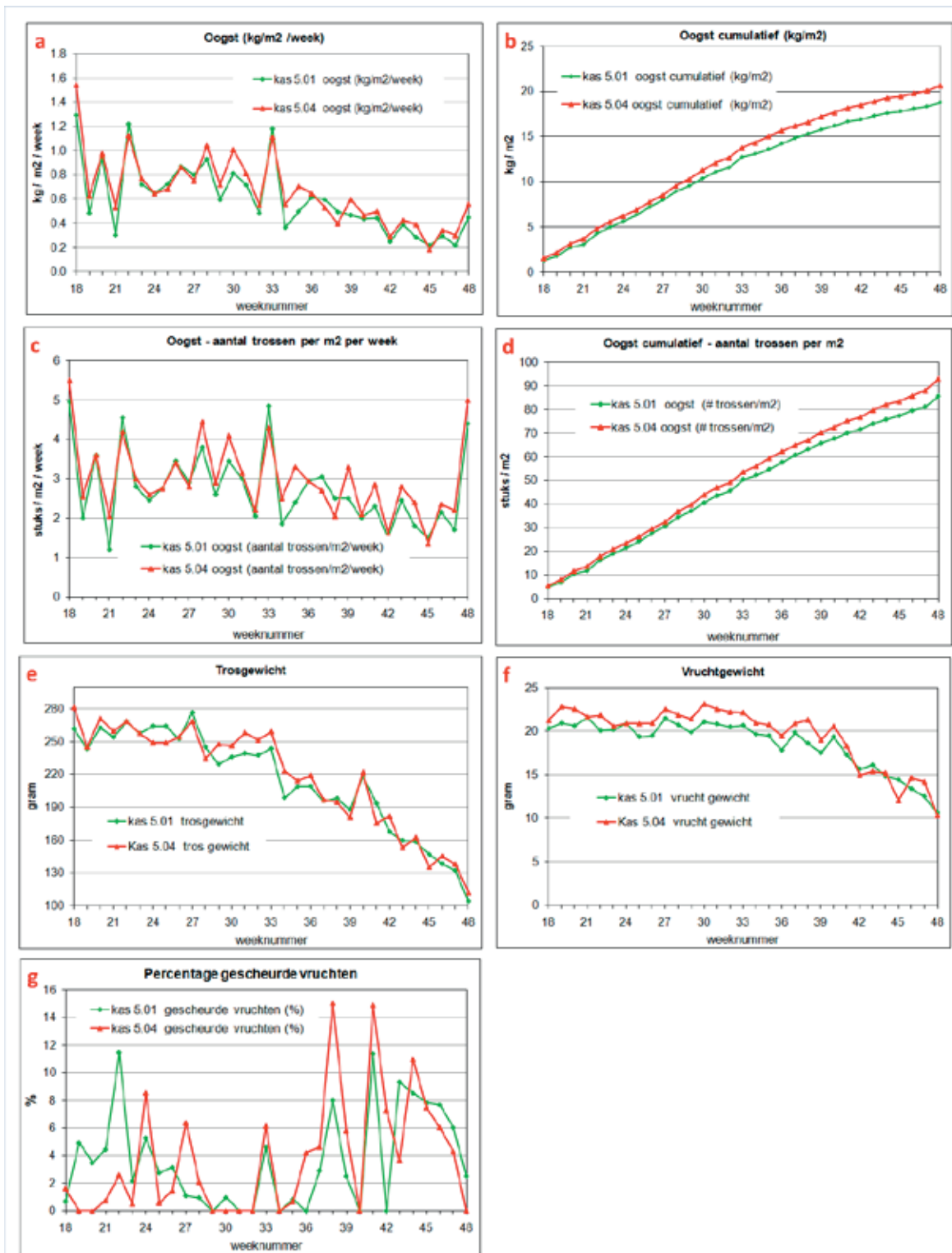
4.1 Snelheid van bloei en zetting



Figuur 14. (a) Snelheid van bloei en oogst en (b) snelheid van zetting en oogst. Het nummer van de hoogste bloeiende, gezette en geoogste vrucht (nummer van tros en positie aan de tros) zijn uitgezet tegen weeknummer, in kas 5.01 (energiezuinig) en kas 5.04 (standaard).

Het nummer van bloeiende, gezette en geoogste tros en bloem zijn geregistreerd, en zijn samengevat in Figuur 14. Hieruit blijkt dat kas 5.01 (energiezuinige kas) af en toe een kleine achterstand had in tijdstip van bloei en zetting, en later drie keer een kleine achterstand in oogst. De achterstand was nooit groter dan ca 1 tros (gemiddeld) en over het totaal genomen was het verschil minimaal.

4.2 Productie



Figuur 15. Productie in kas 5.01 (energiezuinig) en kas 5.04 (standaard).

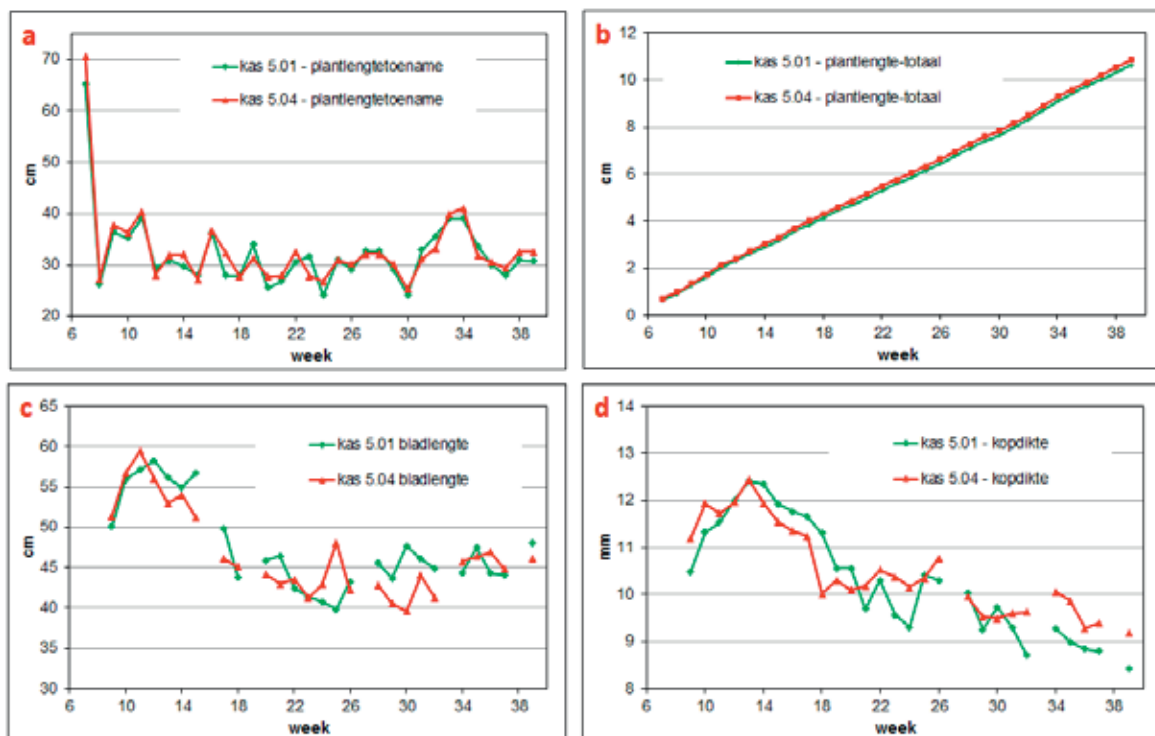
(a) kg/m² per week; (b) cumulatief kg/m²; (c) aantal trossen per m²;
 (d) cumulatief aantal trossen per m²; (e) gemiddeld tros gewicht in gram; (f) gemiddeld vruchtgewicht in gram;
 (g) percentage gescheurde vruchten in %.

De meeste data zijn bepaald in de carrousel; alleen die in (f) en (g) komen van de meetplanten.

Uit Figuur 15. en Tabel 3. blijkt dat kas 5.01 (energiezuinig) ca 9% minder kg per m² en 8% minder trossen per m² heeft geproduceerd dan kas 5.04 (standaard). Het tros- en vruchtgewicht waren ook iets lager in 5.01 dan in 5.04. Het aantal vruchten per tros verschilde weinig (- 0,6%). Gemiddeld was het aantal gescheurde vruchten slechts weinig verschillend (3,6 en 3,1%). Het lagere vruchtgewicht en trossgewicht in kas 5.01 moet wellicht worden toegeschreven aan het systematisch lagere CO₂ gehalte in die kas (zie paragraaf 3.2). Het verschil in aantal trossen is niet goed te verklaren..

Tabel 3.: Productie in kas 5.01 en 5.04 over de hele periode (week 17 - 48). Vruchtgewicht en trossgewicht zijn bepaald zowel aan de hele carrousel als aan de meetplanten (en berekend).

	Kas 5.01	Kas 5.04	Vershil %	Bepaald aan carrousel of meetplanten of berekend
oogst cumulatief (kg/m ²)	18,8	20,7	-9,1	carrousel
# trossen cumulatief (stuks/m ²)	85,5	93,0	-8,1	carrousel
# vruchten per tros	11,9	11,8	0,6	meetplanten
vrucht gewicht (1) (gram)	18,6	19,6	-5,2	meetplanten
vrucht gewicht (2, berekend) (gram)	18,0	18,4	-2,1	carrousel & meetplanten [tros gewicht / # vr per tros]
gescheurde vruchten (%)	3,6	3,1	14,5	meetplanten
tros gewicht (1) (gram)	220	231	-4,7	meetplanten (2x) [# vr per tros * vrucht gewicht]
tros gewicht (2) (gram)	214	218	-1,5	carrousel
tros gewicht (3, berekend) (gram)	213	217	-1,6	carrousel & meetplanten [# vr per tros * ber vr gewicht]
totaal # vruchten	1014	1097	-7,5	carrousel & meetplanten [#tr * #vr/tr]
totaal # vruchten min gescheurde	978	1063	-8,0	carrousel & meetplanten



Figuur 16. Plantwaarnemingen in kas 501 (energiezuinig) en kas 5.04 (standaard).

(a) Toename in plantlengte in cm per week; (b) plantlengte-totaal (in meter) is gesommeerde plantlengte gedeeld door honderd; (c) gemeten bladlengte (cm); (d) kopdikte (in mm).

Wat betreft gewasgroei waren er nauwelijks verschillen tussen kas 5.01 (energiezuinig) en kas 5.04 (standaard). Plantlengtegroei per week was gemiddeld aardig gelijk, terwijl wekelijkse bladlengte en kopdikte gemiddeld iets hoger waren in 5.01 dan in 5.04 (zie Figuur 16.). Maar de verschillen fluctueerden en waren betrekkelijk gering. Grotere bladlengte en kopdikte duiden op een iets vegetatiever gewas, wat overeenkomt met de iets lagere productie, zoals gevonden in kas 5.01.

5 Conclusies

In de energiezuinige kas (5.01) en de standaard kas (5.04) waren de gemiddelde etmaaltemperatuur, dagtemperatuur, raamopening en schermstanden vrijwel gelijk.

De volgende verschillen werden gevonden in de energiezuinige kas (5.01) ten opzichte van de standaard kas (5.04):

- De RV overdag was vaak 2-5 %-punten lager
- De gemeten CO₂ concentratie overdag was meestal veel lager (tot 120 ppm)
- In de tweede helft van de teelt was de nachttemperatuur systematisch hoger (0.2 tot 1 °C) en RV lager (5%-punten)
- In tweede helft van teelt werd veel meer geventileerd in de nacht, zowel aan de luwe als de windkant.
- Er was een extra energiescherm dat nog meer werd gesloten dan het standaard scherm.
- De energieafgifte van de buizen was in het najaar 39% lager en over het hele jaar 25% lager.
- Kleine achterstand in bloei, zetting en oogst (ca 1 tros).
- De productie was ca 9% lager in kg/m² en 8% lager in trossen/m². Het tros- en vruchtgewicht waren ook iets lager. Wellicht werd het productieverschil deels veroorzaakt door het lagere CO₂ gehalte en hogere nachttemperatuur.
- Bladlengte en kopdikte waren gemiddeld iets hoger. Dit duidt op een iets vegetatiever gewas, wat overeenkomt met de iets lagere productie.

Uit deze proef blijkt dat energie bespaard kan worden door een tweede sterk isolerend scherm te gebruiken, en door aanvullende maatregelen te nemen zoals geen minimum buis in te stellen, en het scherm pas te openen als de zon meer kracht heeft. Het extra scherm kon langer gesloten blijven dankzij goede luchtvochtigheidsregeling (want verwarmen van droge lucht vergt relatief weinig energie). Verticale gradiënten waren gering, gedeeltelijk dankzij de vrij constante luchtstroom van de Aircobreeze. Het energieverbruik in absolute zin was erg laag (11.3 en 15 m³ a.e./m²) wat vooral is toe te schrijven aan relatief grote geveleffecten van deze kascompartimenten. De lagere productie werd wellicht deels veroorzaakt door het lagere CO₂ gehalte en hogere nachttemperatuur.

Bijlage I Samenvatting van de proef in 2008

Bij de proef in 2008 waren veel zaken hetzelfde als in de huidige proef van 2009: doelstelling, kas (afdeling 5.01), kasuitrusting en gewas (ras Sunstream). Verschillen waren dat er een enkel scherm lag (LS 10 Ultra) i.p.v. een dubbel scherm, en dat in 2008 de Aircobreeze lucht aan zoog van boven het scherm via een regelbaar 'diafragma' (lamellenscherm), terwijl in 2009 de Aircobreeze buitenlucht aanzooog. De vorige proef werd uitgevoerd tussen 19 februari en 11 november 2008.

Energieverbruik voor regeling van temperatuur en luchtvochtigheid (maar geen CO₂) in periode 3 tot en met 10 was ca 25% minder dan volgens KWIN (Vermeulen, 2008). Indien rekening werd gehouden met elektra en met een hoeveelheid energie voor de rest van het jaar, en ook met energiebesparing in de rest van het jaar, dan kwam de geschatte besparing op jaarbasis uit op 18% t.o.v. KWIN.

Proeven met rook inblazen toonden aan dat de luchtstromingspatronen en luchtverdeling goed waren. Buitenluchtaanzuiging zorgde voor een goede horizontale en verticale verdeling, terwijl de Aircobreeze een goede verticale luchtbeweging gaf. Het diafragma kan de hoeveelheid lucht reguleren die door de Aircobreeze van boven het scherm wordt aangezogen. Testen met drie achtereenvolgende periodes van verschillende luchtvochtigheidsregeling wezen uit dat inblazen van droge opgewarmde buitenlucht onder een gesloten energiescherm potentieel een goed instrument is om luchtvochtigheid in de kas te reguleren.

Klimaatgradiënten waren afwezig als het scherm open was. Bij gesloten scherm waren er wel verticale gradiënten, d.w.z. de temperatuur en absolute luchtvochtigheid waren lager, terwijl de RV significant hoger was boven het scherm dan eronder. Buitenluchtaanzuiging verkleinde deze verschillen, door actief de waterdamp door het scherm heen naar boven te duwen en te laten condenseren.

Een aantal cases is uitgewerkt om te demonstreren hoe de regeling het kasklimaat beïnvloedde. Het buitenluchtinblaas-systeem bleek in staat om de RV meestal onder 85% te houden, behalve tijdens enkele warme nachten, toen de RV opliep tot 90%. De Aircobreeze met regelbaar diafragma in het scherm kon de RV niet voldoende verlagen, maar hielp wel om temperatuurverschillen onder het scherm laag te houden (meestal niet groter waren dan 0,1 °C).

Teeltomstandigheden bleken normaal tot gunstig te zijn. De productie bepaald in twee waarnemingsvelden waren slechts weinig verschillend, wat erop duidt dat het klimaat goed homogeen was.

Aanbevelingen voor vervolgonderzoek zijn in de proef van 2009 gerealiseerd.

