



WAGENINGEN UR

For quality of life

# Energiebesparing in bio-glasteelten door intensief schermen en geavanceerd ventileren

Arie de Gelder, Peter van Weel, Elly Nederhoff

Wageningen UR Glastuinbouw



Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit



Rapportnummer: GTB-1011



© 2010 Wageningen, Wageningen UR Glastuinbouw

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

## **Wageningen UR Glastuinbouw Bleiswijk**

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](mailto:glastuinbouw@wur.nl)  
Internet : [www.glastuinbouw.wur.nl](http://www.glastuinbouw.wur.nl)

# Inhoudsopgave

	pagina
Inhoudsopgave	1
Samenvatting	1
1 Inleiding	3
2 Materiaal en methode	4
2.1 Gewas, kas en proefopzet	4
2.2 Luchtvochtigheidsbeheersing	5
2.3 Buitenluchtinblaassysteem	5
2.4 Luchtbewegingssysteem 'Aircobreeze' ('Nivolator')	8
3 Resultaten	9
3.1 Energiegebruik	9
3.2 Luchtverplaatsing (rookproeven)	11
3.3 Effect van regeling op de luchtvochtigheid	12
3.4 Verticale gradiënten	14
3.5 Teeltomstandigheden	16
3.6 Productie	17
4 Conclusies en discussie	18
5 Referenties	20
Bijlage I Kasklimaat (voorbeelden)	21

# Samenvatting

## Probleem

Veel onderzoek aan energiebesparing in de glastuinbouw is gericht op geconditioneerd telen in (semi-) gesloten kassen. Maar deze aanpak is niet haalbaar voor de biologische teelten omdat de investeringskosten hoog zijn en omdat planten in de grond staan en geen ruimte overlaten voor grote luchtslangen. Intensief schermen is ook geen oplossing, omdat een scherm de condensatie blokkeert en daardoor problemen van hoge luchtvochtigheid versterkt.

## Mogelijke oplossing

Een mogelijk antwoord is intensief schermen en daarbij geavanceerd ventileren door middel van voorverwarmde buitenlucht. Tevens moet het stookregime worden aangepast, nl dat geen minimum buistemperatuur wordt ingesteld, maar dat de warmte-input wordt afgestemd op warmtebehoefte en straling. Om dit concept uit te testen is in 2008 een proef uitgevoerd.

## Doel

van de proef was het realiseren van energiezuinige beheersing van temperatuur en luchtvochtigheid in de biologische tomatenteelt, zodanig dat *Botrytis cinerea* minder kans zou krijgen. Dit gebeurde door intensief schermen in combinatie met geavanceerd ventileren en eventueel luchtbewegen. De te bereiken energiebesparing bij toepassing van de nieuwe technologie was van tevoren geschat op 10 %.

## Uitvoering

Tomaten, ras Sunstream, werden geteeld op biologische wijze tussen 19 februari en 11 november 2008 in kasafdeling 5.01 van WUR Glastuinbouw in Bleiswijk. Het dek was van enkel glas; het scherm was LS 10 Ultra; CO<sub>2</sub> was van OCAP, verwarming was buisverwarming. Naast de gewone luchtramen was de kas uitgerust met twee geavanceerd systemen:

1. Buitenluchtinblaassysteem = systeem voor aanzuigen, voorverwarmen en inblazen van buitenlucht
2. Luchtbewegingssysteem, 'Aircobreeze' = 'Nivulator' = ventilator met daarboven een 'diafragma' (lamellenscherm) in het scherm

Het eerste systeem zoog koele droge buitenlucht aan, verwarmde deze tot kasluchttemperatuur en verdeelde het vervolgens in de kas via plastic slangen onder het gewas. Het tweede systeem zoog lucht van boven het scherm en mengde dat met kaslucht.

Energieverbruik voor regeling van temperatuur en luchtvochtigheid (maar geen CO<sub>2</sub>) in periode 3 t/m 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 dmv de geavanceerde systemen) dan kwam de geschatte besparing op jaarbasis uit op 18% t.o.v. KWIN.

Proeven met rook inblazen toonden aan dat er effectieve luchtstromingspatronen zijn, die leiden tot een goede luchtverdeling. Buitenluchtaanzuiging zorgt voor een goede horizontale en verticale verdeling, terwijl de Aircobreeze zorgt voor een goede verticale luchtstroom. Het diafragma kan gebruikt worden om de hoeveelheid lucht te reguleren die door de Aircobreeze van boven het scherm wordt aangezogen.

Testen werden uitgevoerd om te zien of regeling van luchtvochtigheid met het buitenluchtinblaassysteem voldoende effect had. In 3 achtereenvolgende periodes van ca 9 dagen werd de luchtvochtigheid geregeld op een van de volgende manieren: (1) niet geregeld, (2) geregeld op 85% RV, en (3) geregeld op 85% RV tot 3:00 uur. De tests bewezen dat inblazen van droge opgewarmde buitenlucht onder een gesloten energiescherm potentieel een goed instrument is om luchtvochtigheid in de kas te reguleren.

Verticale gradiënten in temperatuur en luchtvochtigheid waren afwezig wanneer 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 het verschil in lucht-vochtigheid tussen onder en boven het scherm. Dit is verklaarbaar omdat buitenluchtaanzuiging actief de waterdamp door het scherm heen naar boven duwt, waar de waterdamp condenseert tegen het glas.

Teeltomstandigheden zijn gemonitord, en bleken normaal tot gunstig te zijn. De productie is bepaald in twee waarnemingsvelden. Er werden slechts kleine verschillen gevonden in productiesnelheid, gemiddeld vruchtgewicht, wat erop duidt dat het klimaat goed homogeen was. Een aantal cases is uitgewerkt om te demonstreren hoe de regeling het kasklimaat beïnvloedde (zie de bijlage). Het buitenluchtinblaassysteem 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).

Vervolgonderzoek zal worden uitgevoerd in 2009 met een aantal technische aanpassingen. Het scherm wordt een sterk isolerend dubbel scherm zonder diafragma. De twee systemen zullen worden gecombineerd: de Aircobreeze krijgt een luchtinlaat die door het dek gaat, zodat buitenlucht wordt aangezogen. De aangezogen en voorverwarmde buitenlucht wordt dan direct onder de ventilator uitgeblazen. Ook komt er een regenleiding op de grond te liggen, zodat de vochtregeling getest kan worden bij nog hogere de vochttoevoer.

# 1 Inleiding

## Energiebesparing in biologische teelten

Het energiegebruik in de biologische teelten is hoger dan in de gangbare teelten. Dit komt deels doordat energiebesparing de maatregelen minder ver doorgevoerd zijn, maar ook doordat de verdamping vanuit de bodem de luchtvochtigheid extra verhoogt. Dit vereist extra stoken en ventileren. Hoge luchtvochtigheid versterkt de kans op ziektes, en daarbij komt dat de biologische teelten minder gebruik kunnen maken van bestrijdingsmiddelen. Daarom is een goede luchtvochtigheidsregeling een belangrijke voorwaarde voor een geslaagde biologische teelt.

Veel onderzoek aan energiebesparing in de glastuinbouw is gericht op geconditioneerd telen in (semi-)gesloten kassen. Deze aanpak is echter niet haalbaar in de biologische teelten omdat de investeringskosten hoog zijn en ook omdat planten in de grond staan en geen ruimte overlaten voor grote luchtslangen.

## Schermen

Veel energie kan bespaard worden door gebruik van een scherm of beter nog, een dubbel scherm. Echter, intensief schermen blokkeert de condensatie van vocht tegen het koude kasdek, en versterkt de problemen van hoge luchtvochtigheid. Het gebruik van vochtkieren in het scherm verbetert weliswaar de vochttafvoer maar veroorzaakt ook warmteverlies. Dientengevolge moet de buistemperatuur verhoogd worden. Vaak wordt gewerkt met minimum buistemperatuur om vochtproblemen te voorkomen. Vocht kieren en minimum buis werken averechts voor energiebesparing. Daarom is de praktijk op zoek naar een methode om het energieverbruik te verminderen met behulp van intensief schermen en minder stoken, terwijl toch vochtproblemen worden voorkomen.

## Schermen en vochtregelen

Een mogelijk antwoord hierop is intensief schermen en daarbij geavanceerd ventileren, waarbij de lucht wordt gedroogd met voorverwarmde buitenlucht. Tevens moet het stookregime worden aangepast, nl dat geen minimum buistemperatuur wordt ingesteld, maar dat de warmte-input wordt afgestemd op het lichtniveau ('met de zon meestoken'). In de nacht wordt geteeld bij een lagere temperatuur en met lage warmte-input dankzij geavanceerde beheersing van de luchtvochtigheid. Eventueel kunnen ook ventilators erbij ingezet worden om de luchtbeweging onder het gesloten scherm te verbeteren.

## Onderzoekproject

Om dit concept uit te testen is een proef opgezet bij WUR Glastuinbouw in Bleiswijk, onder de titel 'Energiebesparing in de bio-glasteelten door maximale isolatie en geavanceerde ventilatie'. Hiertoe is kas 5.01 in Bleiswijk voorzien van een innovatief ventilatiesysteem, en werd het stookstrategie afgestemd op gewasbehoefte en lichtniveau. Van 19 februari tot 11 november 2008 werden tomaten op biologische wijze geteeld, waarbij het kasklimaat, energiegebruik en productie werden waargenomen.

Dit project draagt bij aan kennis over intensief schermen, energiezuinig stoken en geavanceerd ventileren in de biologische groenteteelt. Onderdelen van deze kennis zullen wellicht ook zinvol blijken voor de gangbare teelten.

## Doelstelling

Doel is het realiseren van energiezuinige beheersing van temperatuur en luchtvochtigheid in de biologische tomatenteelt, zodanig dat *Botrytis cinerea* minder kans krijgt. Dit gebeurt door intensief schermen in combinatie met geavanceerd ventileren door middel van inblazen van droge buitenlucht die tot kasluchttemperatuur wordt opgewarmd. De energiebesparing moet verkregen worden door zoveel mogelijk te schermen, zo min mogelijk minimumbuis te gebruiken, en kieren in het scherm of minimumraam stand te beperken. De te bereiken energiebesparing bij toepassing van de nieuwe technologie was van tevoren geschat op 10%.

## 2 Materiaal en methode

### 2.1 Gewas, kas en proefopzet

#### Gewas

Plantdatum:	19 februari 2008
Cultivar:	Sunstream geënt op Maxifort
Teeltsysteem:	Planten staan in de grond met een druppelsysteem voor de watergift Extra watergift met broeskop onderdoor om grond vochtig te houden
Plantdichtheid:	3 pl/m <sup>2</sup>
Einddatum:	20 oktober werd de proef gestopt, maar de laatste oogst was 11 november

#### Kasinrichting

Kas:	afdeling 5.01 van WUR-glastuinbouw in Bleiswijk
Kasoppervlak:	144 m <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup> )
CO <sub>2</sub> :	van OCAP, doseercapaciteit 180 kg/ha/uur; streefwaarde 1000 ppm.
Schermb:	LS 10 Ultra, 's nacht gesloten bij buitentemperatuur 7°C of lager. Schermb werd gebruikt tot 28 mei en weer vanaf 19 september

#### Seizoenen

Twee installaties voor luchtvochtigheidsbeheersing werden geïnstalleerd ('Buitenluchtinblaas' en 'Aircobreeze', zie onder). Deze waren later voltooid dan gepland. Eind maart werkten ze pas naar behoren, toen de koudste periode al voorbij was. Besloten werd om ook in mei het energiescherm nog te gebruiken in koude nachten (afwijkend van de praktijk). De energiezuinige strategie werd toen vooral in het najaar getest.

In maart/april is eerst gekeken hoe effectief de twee systemen zijn voor luchtvochtigheidsregeling. Dit is gedaan door in de nachtelijke uren het scherm meer te sluiten dan normaal en dan op een bepaald moment de systemen 'aan' of 'uit' te zetten. Bij de overgang is goed te zien hoe de klimaatcondities in de kas veranderen, en dus wat het effect is van de regeling.

#### Metingen

De volgende metingen zijn uitgevoerd:

- Kasklimaatmetingen via de standaard meetbox voor kasklimaatregeling;
- Standaard buitenklimaat metingen;
- Extra meetboxen voor meting van temperatuur en luchtvochtigheid op 3 plaatsen:  
onder in gewas; boven gewas; boven scherm;
- Planttemperatuur;
- Dataregistratie via Letsgrow;
- Productie;
- Gewasontwikkeling: wekelijks werd in 2 meetvelden gemeten: stengeldikte; bloei; zetting;
- Luchtverplaatsing door middel van rookproeven.

## Rookproeven

Om de luchtverplaatsing in de kas zichtbaar te maken zijn proeven met rook uitgevoerd op 23 mei 2008 's morgens. Rook uit een rookgenerator werd in de luchtkanalen ingebracht, en met een digitale camera werd de luchtbewegingen vastgelegd. Het ging om de werking van de buitenluchtaanzuiging en van de Nivolator met het diafragma.

## 2.2 Luchtvochtigheidsbeheersing

In de nacht werd een scherm gesloten wanneer de buitentemperatuur lager werd dan een ingestelde waarde (bv 7 of 10 °C). Wanneer de RV boven 85% kwam, werd de luchtvochtigheids-beheersing geactiveerd. Hiervoor waren twee systemen geïnstalleerd:

1. Buitenluchtinblaassysteem = systeem voor aanzuigen, voorverwarmen en inblazen van buitenlucht
2. 'Aircobreeze' = 'Nivolator' = ventilator met daarboven een 'diafragma' (lamellenscherm) in het scherm

Bij wijze van proef werden enkel dagen in het najaar beide systemen gecombineerd. Zie gedetailleerde beschrijving van beide systemen in de volgende paragrafen.

## 2.3 Buitenluchtinblaassysteem

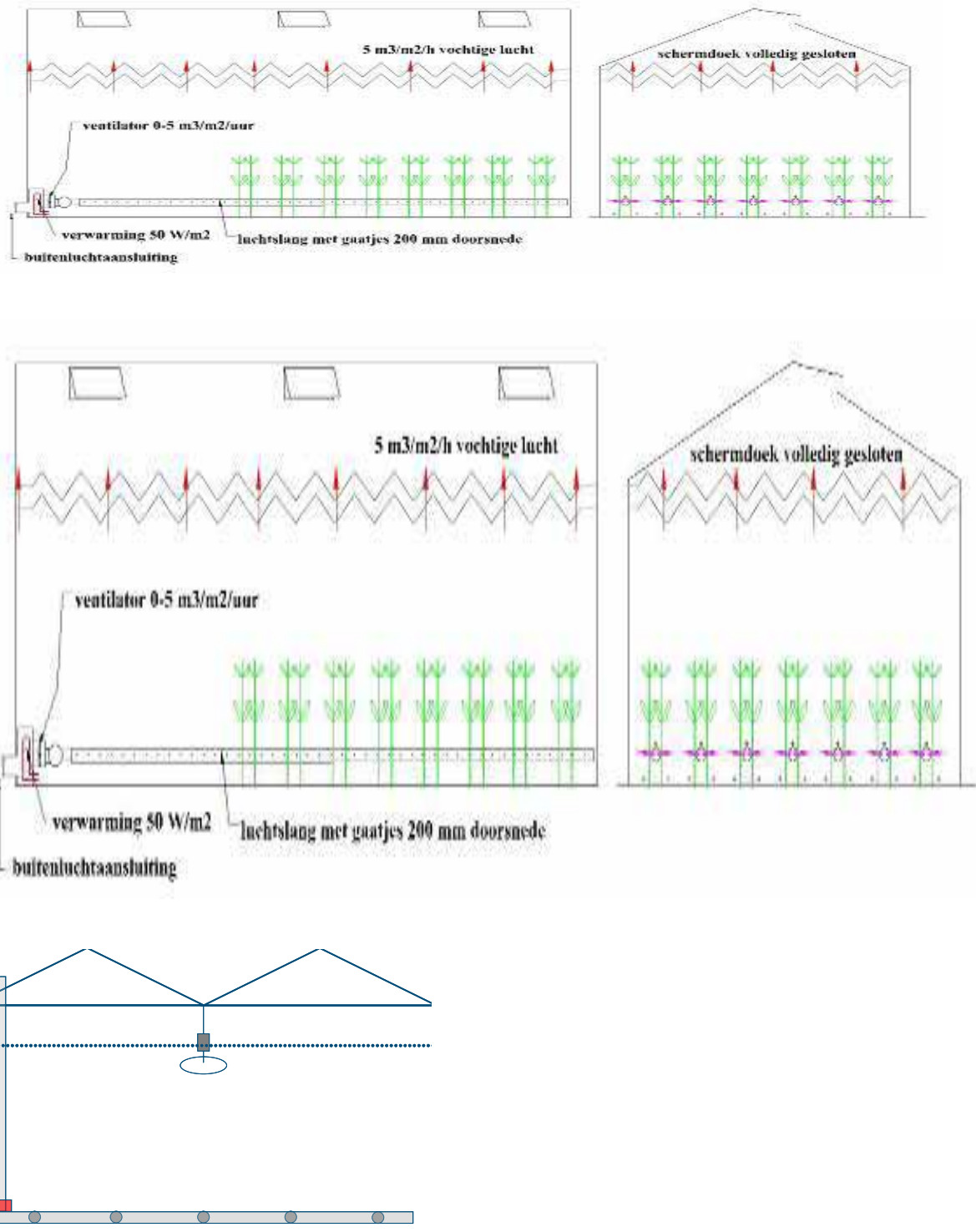
Dit systeem (zie Figuur 1) is gebaseerd op aanzuiging en voorverwarmen van buitenlucht. Zolang de buitentemperatuur onder de kastemperatuur ligt (zoals meestal het geval is), is de absolute luchtvochtigheid buiten lager dan binnen. De (drogere) buitenlucht wordt aangezogen via een pijp (Foto 1). Onderaan de pijp wordt deze luchtstroom voorverwarmd met behulp van een warmtewisselaar ( $50 \text{ W/m}^2$ ), en vervolgens verspreid onder het gewas in de kas via geperforeerde plastic slangen (200 mm doorsnee). De buitenlucht wordt ingeblazen met een lage snelheid ( $5 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{uur}$ ). Dit komt ongeveer overeen met verversing van het hele kasluchtvolume circa één keer per uur. Bij een temperatuur verschil tussen kas en buiten van  $20^\circ\text{C}$  kost dat  $0.0036 \text{ m}^3$  aardgas per  $\text{m}^2$  per uur. Voorverwarming van de buitenluchtstroom functioneert als secundaire laagwaardige verwarming.

Lucht inblazen creëert een lichte overdruk in de kas, die via natuurlijke kieren nivelleert. De vochtige kaslucht trekt door het poreuze schermdoek naar boven, waar het vocht tegen het kasdek condenseert en via condensgoten wordt afgevoerd. Het scherm en ook de luchtramen kunnen volledig gesloten blijven. De ventilator van dit systeem houdt een lucht-beweging in stand van  $5 \text{ cm/s}$ . Dit is 'traag, maar gestaag'.

Dit alles moet resulteren in gunstige (lagere) luchtvochtigheid, en lager energieverbruik doordat het scherm langer dicht kan blijven. De verwachte voordelen zijn:

- efficiënt energiegebruik, want 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.





Figuur 1. Buitenuchtaansluitingssysteem met ventilator, verwarming en verdeelsysteem.

Boven: zij- en vooraanzicht van de kas met dit ventilatiesysteem.

Midden: zijaanzicht uitvergroet.

Onder: bij de proefkas wordt lucht aangezogen door het kasdek, in plaats van door de gevel.



Foto 1. Buitenluchtinblaassysteem

Linksboven: buis voor buitenluchtaanzuiging.

Rechtsboven: aansluiting op een warmtewisselaar die de buitenlucht voorverwarmt.

Linksonder: warmtewisselaar.

Rechtsonder: buis met verdeelslangen om de voorverwarmde buitenlucht in de kas te verspreiden.

## 2.4 Luchtbewegingssysteem 'Aircobreeze' ('Nivolator')

In dezelfde afdeling (kas 5.01) is ook een ventilator met regelbaar toerental geïnstalleerd. Deze werd eerst Nivolator genoemd, omdat die is geleverd door de firma Nivola. Later heeft Hoogendoorn een dergelijk systeem onder de naam Aircobreeze op de markt gebracht. Dit systeem is gebaseerd op dezelfde ventilator en gecombineerd met regelsoftware. In dit rapport wordt Aircobreeze gebruikt, omdat de term Nivolator in onbruik is geraakt. Overigens is het Aircobreeze systeem niet heel veel gebruikt, en meestal in combinatie met het luchtinblaassysteem.

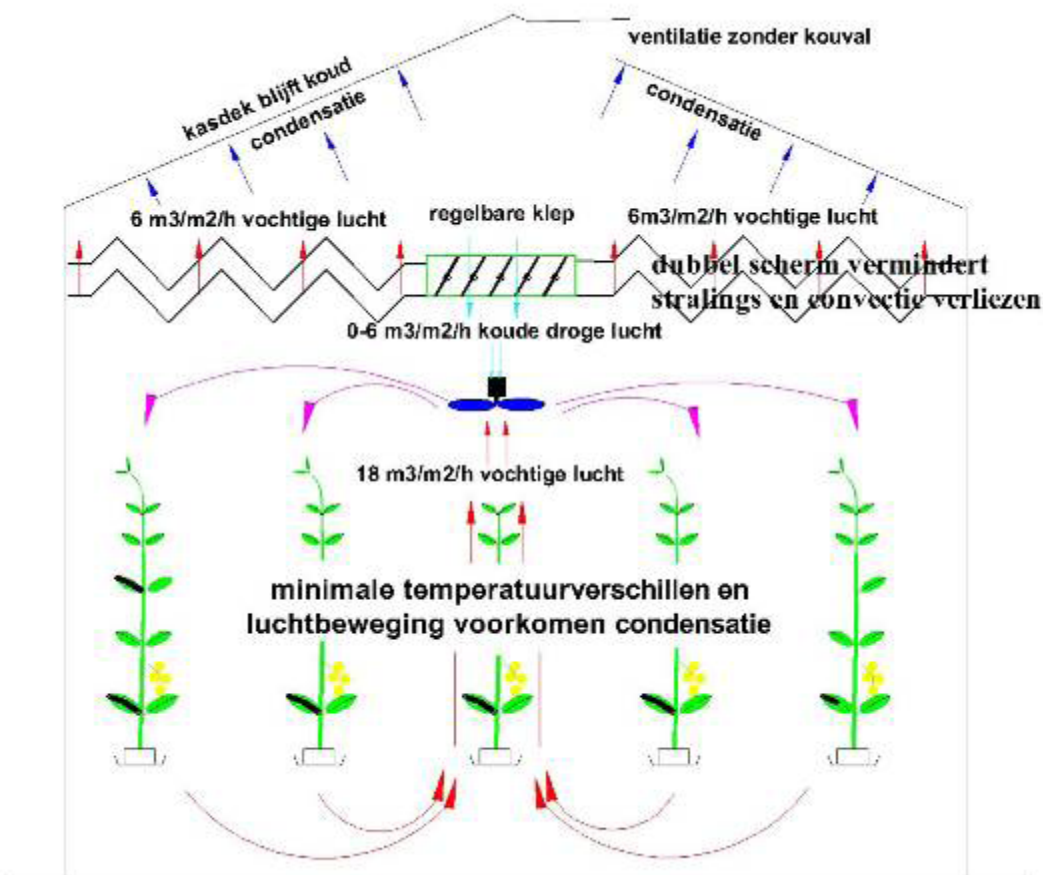
De Aircobreeze moet lucht aanzuigen van boven het energiescherm. Daartoe is boven de ventilator een vierkante opening in het energiescherm gesneden, en zijn bovenop de ventilator lamellen aangebracht waarmee de lucht-aanzuiging kan worden geregeld. In testen is bepaald welke instellingen van toerental en lamellenstand de beste resultaten gaven. Het aangezogen volume werd via het scherm weer afgevoerd. De temperatuur boven het doek bleef zo laag mogelijk, zodat maximaal gebruik werd gemaakt van de condensatiecapaciteit van het kasdek.

De Aircobreeze zorgt voor een egale verticale luchtbeweging van 5 cm/sec. Dit vermindert verticale temperatuurverschillen, waardoor de kans op condensatie in het gewas afneemt, ook bij hogere RV. Lucht van boven het scherm is kouder dan de kaslucht en bevat daardoor meestal minder vocht (zelfs als de RV boven het scherm heel hoog is). Door deze lucht via een klep onder het scherm te zuigen en te mengen met de warme vochtige kaslucht (verhouding van 20% - 80%) ontstaat er een drogend effect zonder kouval of tocht. De luchtaanzuiging bleek sterk te worden beïnvloed door de stand van de luchtramen boven het scherm.



Foto 2. Aircobreeze met daarboven het diafragma: regelbare lamellen die passen op een gat in het schermdoek. Ventilatorsnelheid en diafragmastand regelen de hoeveelheid lucht die wordt aangezogen van boven het scherm. (a) close-up en (b) plaatsing in de kas.





Figuur 2. Luchtbewegingssysteem 'Aircobreeze' = 'Nivulator'. Koele (droge) lucht van boven het scherm wordt gemengd met vochtige warme kaslucht, en onder in het gewas gebracht zodat kouval wordt voorkomen.

## 3 Resultaten

### 3.1 Energiegebruik

In de proef is het energiegebruik vastgesteld voor de periodes 3 tot 10. Zie vergelijkend overzicht in Tabel 1. Warmte en elektra zijn uitgedrukt in  $\text{m}^3$  aardgas equivalenten per  $\text{m}^2$  kasoppervlak per jaar. Voor de warmtevraag in de rest van het jaar (buiten periode 3-10) en voor elektriciteitsgebruik voor het hele jaar zijn schattingen toegevoegd. Het energieverbruik in deze proef wordt vergeleken met dat volgens KWIN (Vermeulen, 2008) en met een standaard teelt tomaten op substraat in een vergelijkbare afdeling in Bleiswijk in dezelfde periode. Gebruik van aardgas voor  $\text{CO}_2$  opwekking is in alle gevallen buiten beschouwing gelaten.

Uit de metingen blijkt dat het totale gasverbruik in de proefkas over periode 3 tot en met 10 ongeveer 24% lager lag dan het gasverbruik volgens KWIN, en ca 37% lager dan dat van de referentiekas.

In tabel 1 wordt vervolgens bij het gemeten gasverbruik opgeteld de geschatte hoeveelheid gas die volgens KWIN gebruikt zou worden in de resterende periode van het jaar. Dit is  $21,7 \text{ m}^3/\text{m}^2$ , wat het totaal brengt op  $31,3 \text{ m}^3/\text{m}^2$ . In vergelijking met gasverbruik volgens KWIN blijkt het aldus berekende gasverbruik in de proef op jaarbasis 9% lager te zijn. Indien aardgas en elektra worden bekeken blijkt de proef 7% lager uit te komen dan KWIN.

Echter, in Tabel 1 is aangenomen dat het gasverbruik in de resterende periodes gelijk is aan dat in een standaard kas. In werkelijkheid zal dit systeem energie besparen in de winter door betere klimaatregeling en door gebruik van LS 10 Ultra energiescherm.

Op basis van ander energieonderzoek schatten we dat het energieverbruik in deze kas in de overige periodes niet 21,7 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> zou zijn geweest, maar bv 18 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. Dan zou het totaal verbruik uitkomen op 28,1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. Dit is 18% besparing ten opzichte van KWIN.

De energiebesparing werd bereikt dankzij een aantal factoren;

- het scherm kan 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 luchtvochtigheids systeem, dus door het opwarmen van relatief droge lucht.

Tabel 1. Gasgebruik voor verwarming in de proef over de periodes 3 tot en met 10 absoluut en relatief ten opzichte van KWIN en referentiekas (kas 8.07), alles exclusief gasverbruik voor CO<sub>2</sub>. Tevens (onderaan) schattingen voor gasverbruik voor verwarming in overige periodes en schatting van elektriciteitsverbruik in geheel jaar.

periode	gas-verbruik voor warmte (uit buistemp) (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	gas-verbruik voor warmte voor buiten-aanzuiging (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	totaal gas verbruik in deze proef (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	gas-verbruik voor warmte vlg KWIN (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	gas-verbruik in referentiekas (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	Relatief tov KWIN (%)	Relatief tov referentiekas (%)
<b>3</b>	4.12		4.12	4.40	4.30	94%	96%
<b>4</b>	2.50	0.14	2.64	3.20	3.20	83%	83%
<b>5</b>	0.83	0.03	0.86	1.40	1.30	61%	66%
<b>6</b>	0.13	0.10	0.23	0.40	0.30	58%	77%
<b>7</b>	0.08	0.10	0.18	0.30	0.30	60%	60%
<b>8</b>	0.08	0.13	0.21	0.30	1.50	70%	14%
<b>9</b>	0.15	0.14	0.29	0.80	1.90	36%	15%
<b>10</b>	0.94	0.10	1.04	1.80	2.40	58%	43%
<b>3-10</b>	8.83	0.74	9.57	12.60	15.20	<b>76%</b>	<b>63%</b>
<b>gas voor overige periodes (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>)</b>			21.7 *	21.7			
<b>totaal gasverbruik (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/jaar)</b>			31.3 *	34.3		<b>91% *</b>	
<b>elektra (kWh/m<sup>2</sup>/jaar)</b>			2.0				
<b>elektra (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/jaar ae**)</b>			0.57				
<b>totaal energie incl elektra (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/jaar ae**)</b>			31.8 *	34.3		<b>93% *</b>	

\* geen rekening gehouden met energiebesparing van dit systeem in de winterperiode (zie tekst)

\*\* ae = aardgas equivalent

## 3.2 Luchtverplaatsing (rookproeven)

### Inleiding

Om de luchtverdeling in de kas te visualiseren zijn proeven met rook uitgevoerd op 23 mei 2008 's morgens. Een rookgenerator produceerde rook en een digitale camera legde de luchtbewegingen vast. Het ging om de werking van de buitenluchtaanzuiging en de Aircobreeze met het lamellen scherm. Er zijn drie situaties bekeken.

### Situatie I

Bovenscherf is dicht, buitenluchtaanzuiging is aan, Aircobreeze is uit en lamellenscherm is dicht. In de buis van de buitenluchtaanzuiging werd rook gebracht. Te zien is dat de rook door de verdeelslangen naar voren komt. Al direct aan het begin van de slangen treedt er rook naar buiten. Na ongeveer 30 seconden is de rook aan het einde van de slangen. De rook gaat goed omhoog en vult de hele kas. Het hele proces duurt ongeveer 2 minuten. De verdeling is goed. Dit experiment is aan het eind van de morgen herhaald, en gaf toen hetzelfde beeld.

### Situatie II

Bovenscherf is dicht, buitenluchtaanzuiging is uit, Aircobreeze is uit en lamellen scherm is dicht. De rook is boven het scherm geblazen en bleef daar. Wel was te zien dat de rook zodra er een kiertje was naar beneden kwam. Vervolgens is de Aircobreeze aangezet. Dit had geen zichtbaar effect op de geringe hoeveelheid rook.

### Situatie III

Bovenscherf is dicht, buitenluchtaanzuiging is uit, Aircobreeze is aan en lamellen scherm is open. De rook is boven het scherm geblazen. Na verloop van tijd is te zien dat de rook van boven het scherm naar beneden wordt getrokken en door de Aircobreeze wordt verdeeld.

### Luchtbeweging

Gelijktijdig met de rookproeven is een beperkte meting van de luchtsnelheid gedaan. Met buitenluchtaanzuiging aan was de luchtbeweging rond de 10 cm/s. Wanneer de Aircobreeze aanstond bewogen de koppen van sommige planten ten gevolge van luchtbeweging bovenin het gewas. Dit wordt geweten aan het niet goed staan van de schoepen van de Aircobreeze. De werking van de Aircobreeze en zijn effect op de luchtverdeling is onderwerp van een apart project.

### Conclusies

Uit de rookproeven werd de conclusie getrokken dat er effectieve luchtstromingspatronen zijn, die leiden tot een goede luchtverdeling. Buitenluchtaanzuiging zorgt voor een goede horizontale en verticale verdeling, terwijl de Aircobreeze zorgt voor een goede verticale luchtstroom. Het lamellen scherm kan gebruikt worden om de hoeveelheid lucht te reguleren die door de Aircobreeze van boven het scherm wordt aangezogen.

### 3.3 Effect van regeling op de luchtvochtigheid

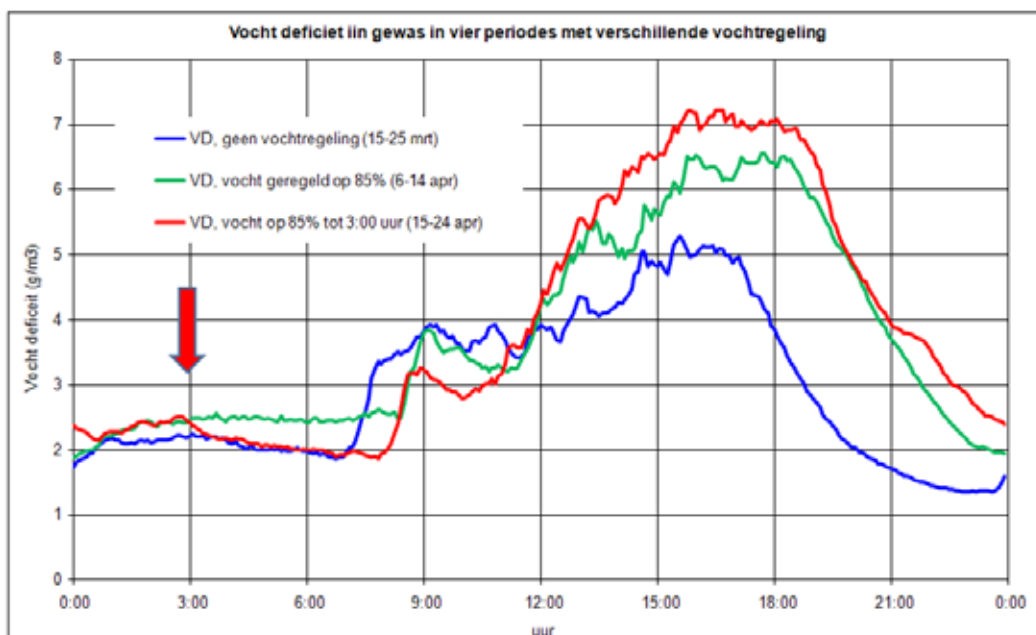
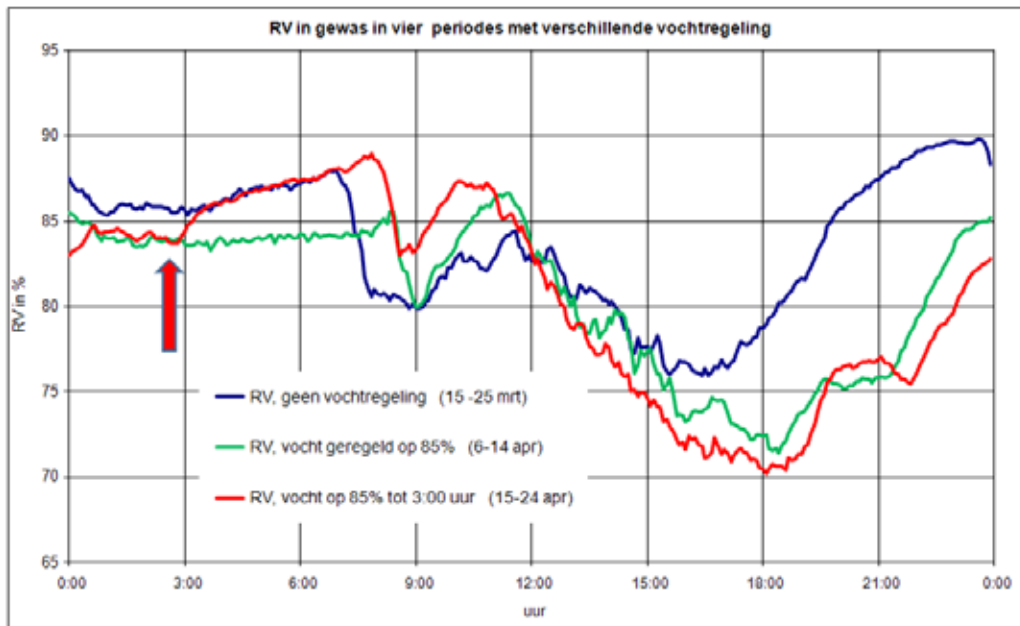
In maart/april werden testen uitgevoerd om te zien of ventileren met buitenluchtaanzuiging voldoende effect had op de luchtvochtigheid. Bij wijze van test werd de vochtregeling gevarieerd in 3 achtereenvolgende perioden van 8 – 10 dagen, als volgt (de kleuren verwijzen naar de lijnen in Figuren 3a en b):

- In de periode 15 - 25 maart 2008 (blauwe lijn) was er geen regeling van de luchtvochtigheid. De luchtvochtigheid onder het gesloten doek liep in de avond op te bijna 90%. Daarna daalde het tot ca 87% als gevolg van de afvoer van vocht tegen het koude kasdek.
- In de periode 6 -14 april (groene lijn) werd, wanneer de luchtvochtigheid boven de 85% steeg, buitenlucht aangezogen en tot de gewenste kasttemperatuur verwarmd. De luchtvochtigheid in de nacht bleef dan gehandhaafd op een niveau vlak onder de 85%.
- In de periode 15 - 24 april (rode lijn) werd de regeling van de luchtvochtigheid gestopt om 3 uur 's nachts.

Figuren 3a en b geven de cyclische gemiddelden van de waarnemingen in die 3 perioden. De aandacht ligt op de nachtelijke uren, omdat de omstandigheden dan stabiel zijn, zonder verstoringen door straling, verdamping, enz.

- Het feit dat de 3 lijnen duidelijk verschillen toont aan dat de methode van vochtregelen duidelijk invloed heeft op de luchtvochtigheid.
- Niet regelen (blauwe lijn) van de luchtvochtigheid gaf de hoogste luchtvochtigheid, in de middag, avond en nacht, maar niet 's morgens vroeg.
- Regelen op 85% met buitenluchtaanzuiging (groene lijn) resulteerde in luchtvochtigheid van goed onder 85% RV (behalve tweede helft van de morgen).
- Regelen op 85% tot 3:00 (rode lijn) maakte dat de lijn onder 85 % bleef tot 3:00 uur, en daarna steeg tot ongeveer het niveau van de ongeregelde situatie (gele lijn).

De resultaten in Figuur 3 laten zien dat inblazen van droge opgewarmde buitenlucht onder een gesloten scherm potentieel een goed instrument is om de luchtvochtigheid in de kas te reguleren. De hoeveelheid in geblazen lucht in dit experiment is ca 5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/uur (ventilatievoud 1).



Figuur 3. Luchtvochtigheid over het etmaal bij 3 verschillende manieren van luchtvochtigheidsregeling. Iedere lijn is een cyclisch gemiddelde van metingen over 8 – 10 dagen.  
 (a) Relatieve luchtvochtigheid (%), en (b) Vocht deficiet (g/m<sup>3</sup>).

In Bijlage I zijn een zestal cases uitgewerkt die demonstreren wat de effecten waren van de luchtvochtigheidsregeling op het kasklimaat.



## 3.4 Verticale gradiënten

Temperatuur en luchtvochtigheid werden gemeten met 4 meetboxen. Drie waren boven elkaar geplaatst: één boven het energiescherm, één eronder en één tussen het gewas. De standaard meetbox voor de regeling hing op enige afstand van de andere meetboxen. De hoogte was onder de top van het gewas.

We kijken hier alleen naar metingen in de nacht, omdat de luchtvochtigheid dan weinig verstoort wordt door straling en verdamping. Er worden verschillende situaties onderscheiden, te weten scherm dicht of open, en buitenluchtaanzuiging aan of uit (dus 4 combinaties).

Figuur 4 laat de temperatuur, RV en absolute luchtvochtigheid zien in deze vier situaties. Relevant is de verticale gradiënt, maw de verschillen op diverse hoogtes binnen de kas. Het is niet relevant om absolute niveaus te vergelijken tussen situaties. Aan de meting van de gewone meetbox is te zien dat zelfs de kasluchttemperatuur verschilde tussen de situaties, doordat de data verzameld zijn in een reeks van nachten.

### Effect van scherm

Met scherm open waren er geen verticale klimaatgradiënten. In alle situaties (dwz met buitenlucht- aanzuiging aan of uit) waren de temperatuur, RV en absolute luchtvochtigheid vrijwel gelijk bij de 3 meetboxen die boven elkaar hingen. Alleen de standaard meetbox meette een hogere absolute luchtvochtigheid dan de overige 3 sensoren. Dit laatste is een kwestie van ruimtelijke variatie, en dat laten we buiten beschouwing.

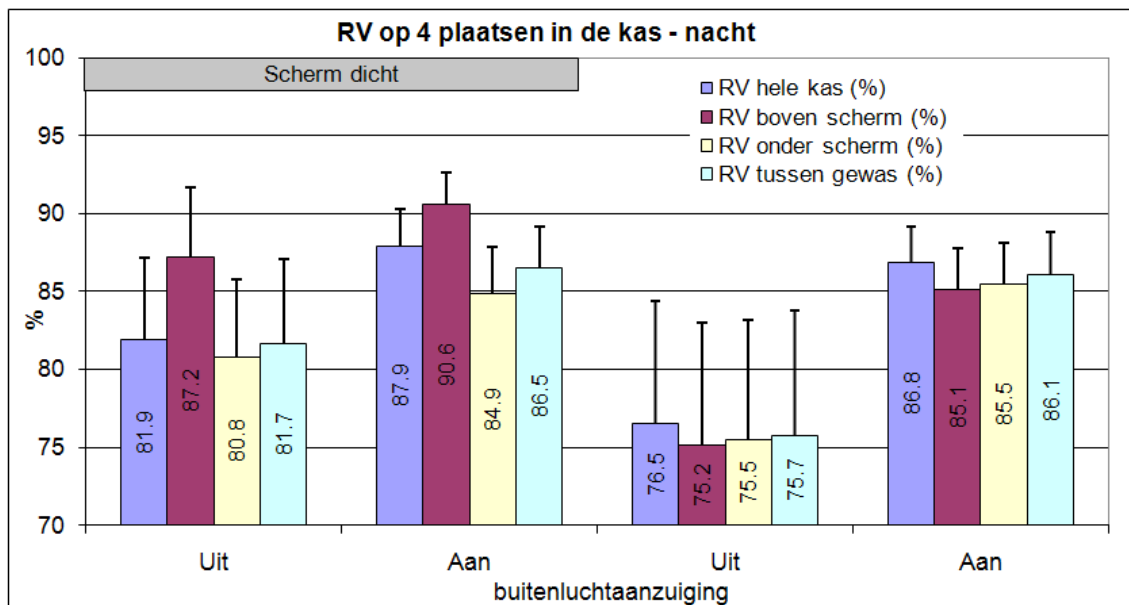
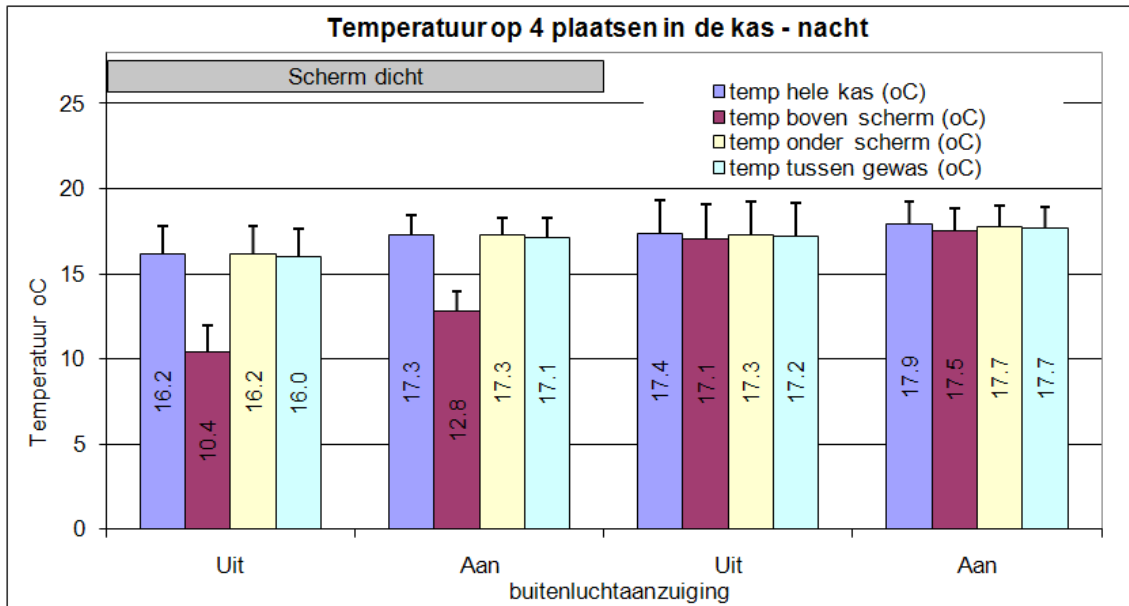
Bij gesloten scherm was er wel een verticale gradiënt, dat wil zeggen een verschil in klimaat tussen onder en boven het scherm. In beide gevallen (met buitenluchtaanzuiging aan of uit) was de temperatuur duidelijk veel lager en de RV significant hoger boven het scherm dan eronder. Ook de absolute luchtvochtigheid was lager boven het scherm dan onder het scherm. Dit is verklaarbaar omdat boven het scherm een onverwarmd 'compartiment' is ontstaan, en omdat koude lucht weinig waterdamp kan bevatten. Overtollige waterdamp condenseert tegen het glas als dat kouder is dan het dauwpunt.

### Effect van buitenluchtaanzuiging

Buitenluchtaanzuiging werd geregeld op 85 % RV. Per definitie zal daarom de RV lager zijn dan 85% in alle gevallen waar buitenluchtaanzuiging uit was, en zal RV ca 85% of hoger zijn met buitenluchtaanzuiging aan. Bij vergelijking van 'aan' en 'uit' gaat het om vergelijken van de verticale gradiënten binnen de kas, en niet om niveauverschillen tussen 'aan' en 'uit'.

Met scherm open waren er geen gradiënten (zie boven), zodat in deze gevallen niets te zeggen is over een effect van buitenluchtaanzuiging op de gradiënt.

Met scherm gesloten waren er wel verticale gradiënten. De vraag is of, met scherm dicht, de buitenluchtaanzuiging een effect heeft op de grootte van de gradiënt. Als de buitenluchtaanzuiging uit was, was de RV bij de meetbox 81,9% en boven het scherm 87,2%, een verschil van ca 5,3 %-punten. Daarentegen met buitenluchtaanzuiging aan, was de RV bij de meetbox 87,9% en boven het scherm 90,6%, een verschil van minder dan 3 %-punt. Ook in absolute luchtvochtigheid bleek deze trend aanwezig (niet getoond). Dit duidt erop dat buitenluchtaanzuiging het verschil in luchtvochtigheid tussen onder en boven het scherm verkleint. Dit is verklaarbaar omdat buitenluchtaanzuiging actief de waterdamp door het scherm heen naar boven duwt, waar het condenseert tegen het glas. Dit is de hele bedoeling van buitenluchtaanzuiging.

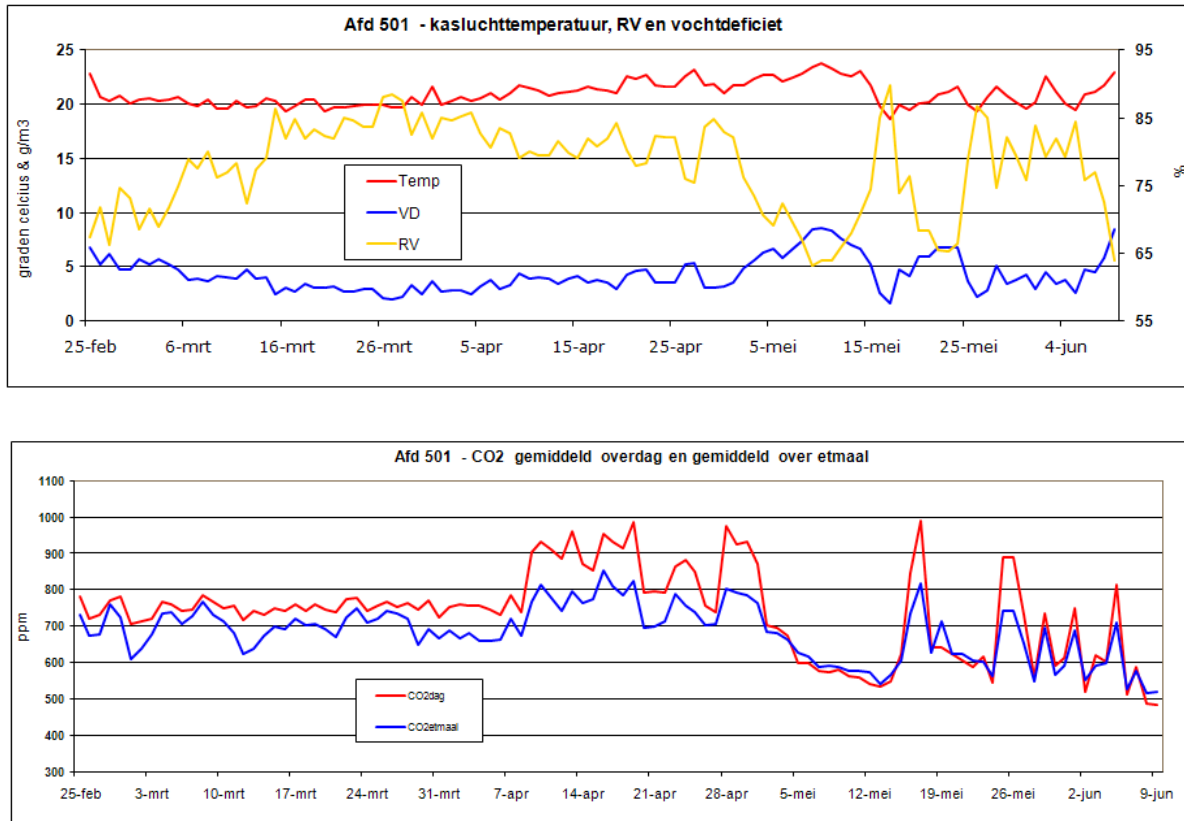


Figuur 4. (a) temperatuur, (b) relatieve luchtvochtigheid op 4 hoogtes in de kas in 4 situaties: scherm open of dicht, en buitenaanzuiging aan of uit.

### 3.5 Teeltomstandigheden

In Bijlage I zijn een zestal cases uitgewerkt die demonstreren hoe de luchtvochtigheid geregeld werd.

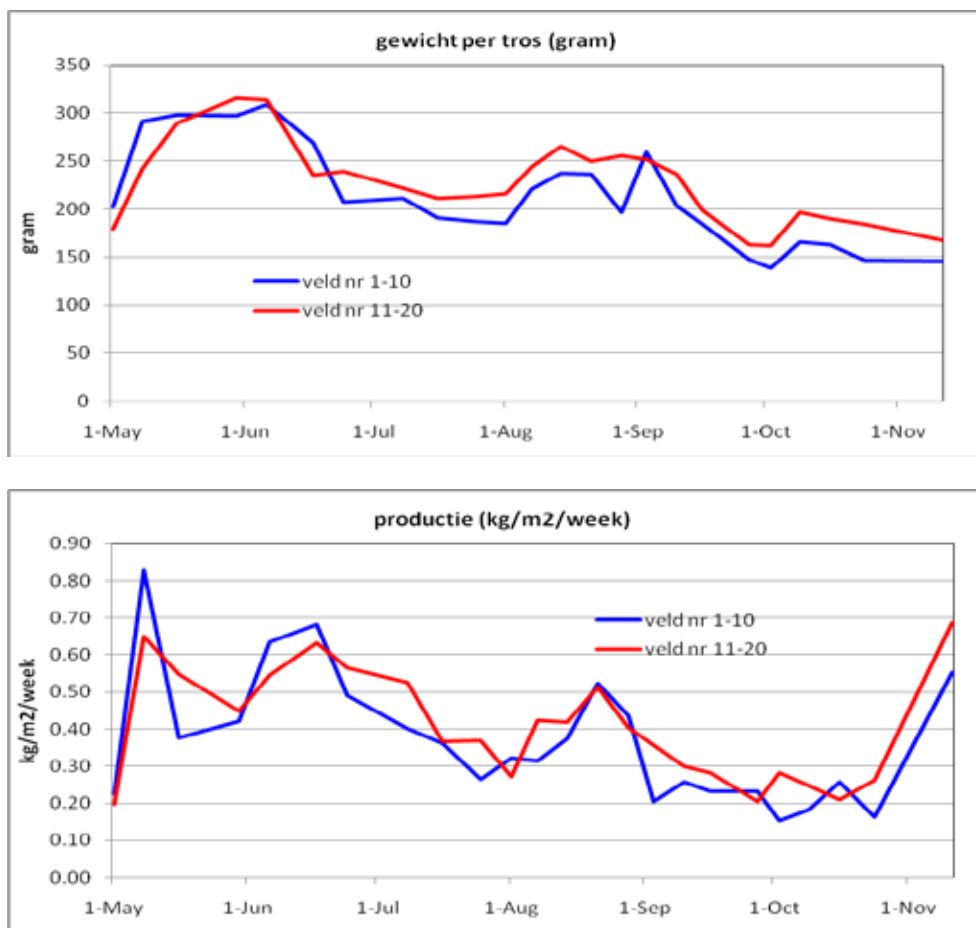
Hieronder volgen grafieken die de teeltcondities laten zien over langere tijd.



Figuur 6. Teeltomstandigheden vanaf 25 februari tot 10 juni, als 24-uur gemiddelden (behalve CO<sub>2</sub>-dag, die alleen voor de lichtperiode is). (a) Kasluchttemperatuur, RV en vochtdeficiet; (b) CO<sub>2</sub> concentratie gedurende de dag en over het etmaal

Figuur 6 toont aan dat de teeltomstandigheden in kas 5.01 normaal tot gunstig waren. De 24-uur temperatuur lag tussen ca 19 en 23,5°C. RV tussen het gewas lag veelal 80 a 85%, met uitschieters naar beneden in februari en mei, en naar boven in maart en mei. De CO<sub>2</sub> concentratie overdag lag behoorlijk hoog: tussen 700 en 800 ppm van februari tot april, en tussen 800 en 1000 ppm in april. In mei varieerde de CO<sub>2</sub> concentratie aanzienlijk, maar was altijd boven 500 ppm.

### 3.6 Productie



Figuur 7. (a) Gemiddeld trossgewicht en (b) productiesnelheid tussen 1 mei en 11 november.

Tabel 2. Productie van 1 mei t/m 11 november. 'Goed' = vruchten die niet gescheurd of groen zijn.

	# tros/m <sup>2</sup>	# vrucht/ tros	trossgewicht (g)	productie (kg/m <sup>2</sup> )	Goed (%)
Veld nr 1-10	41,5	13,8	214	8,9	68
Veld nr 11-20	43,0	14,2	226	9,7	68
Totaal	42,3	14,0	220	9,3	68

Productie en gewasontwikkeling zijn gemonitord. Er waren verschillen tussen veldnummers 1-10 en veldnummers 11-20, zowel in aantal trossen, aantal vruchten per tros, gemiddeld trossgewicht, en productie. Over het algemeen echter was de productie goed en gelijkmatig, en in overeenstemming met vergelijkbare kassen. Dit toont aan dat er goed geteeld kan worden onder deze klimaatregeling.

## Gewasgezondheid

In deze proef is speciaal aandacht besteed aan het vóórkomen van Botrytis, maar dit is totaal niet opgetreden. De ziektedruk in het algemeen lag op een zeer laag niveau gedurende de hele teelt. De verklaring zit in afwezigheid van condensatie op de plant. De droge luchtstroom functioneert als secundaire laagwaardige warmtebron. De redelijk constante luchtstroom verkleint verticale temperatuurverschillen en dus de kans op condensatie. Wonden als gevolg van gewaswerkzaamheden helen sneller, wat de kans op ziekten verder verkleint. Voor insectenbestrijding hoefden geen bijzondere maatregelen te worden genomen, mede dankzij het insectengaas in de luchtramen.

Ook de laatste vruchten werden geoogst zonder extra gewasbescherming maatregelen of problemen met vochtbeheersing. Doordat de stand van het gewas bijzonder goed was, konden in het najaar optimaal de effecten van een energiezuinige stookstrategie worden gevolgd.

# 4 Conclusies en discussie

## Conclusies

Aanzuigen en voorverwarmen van buitenlucht bleek een effectieve methode te zijn om het kasklimaat onder een dicht scherm te beheersen. Door aanzuigen van buitenlucht ontstaat een lichte overdruk in de kas, die via natuurlijke kieren wordt afgevoerd. De vochtige kaslucht trekt door het poreuze doek naar boven, waar het tegen het dek condenseert en via condensgoten afvloeit. Dit verlaagt de relatieve luchtvochtigheid. Luchtbeweging door middel van de Aircobreeze vermindert verticale temperatuurverschillen. Dit alles verlaagt het risico op ziektes, en maakt het daardoor mogelijk om lang en intensief te schermen en dus energie te besparen.

## Enkele feiten en bevindingen:

- Gasverbruik was verminderd met 9% op jaarbasis ten opzichte van KWIN (2008), en met 7% als ook elektra erin werd betrokken. De energiebesparing zou veel hoger zijn als een realistischere aanname was gekozen voor energieverbruik in de periodes buiten de proefduur (de winter), en van de energiebesparing in die periode. Het geschatte verschil komt dan op 18% komen ten opzichte van KWIN. Dit wordt verklaard door een aantal factoren:
  - het scherm kan veel langer gesloten blijven dankzij betere luchtvochtigheid regeling;
  - 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 luchtvochtigheid systeem.
- De productie was redelijk en overeenkomstig met vergelijkbare kassen;
- In deze proef was de luchtverversingssnelheid ongeveer één keer per uur ( $5 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{uur}$ );
- Voorverwarmen van de buitenlucht verbruikte maximaal  $50 \text{ W}/\text{m}^2$  aan energie;
- De buisverwarming is in principe alleen ingekomen voor warmtevraag, en niet voor beheersing van de luchtvochtigheid;
- De buitenluchtinblaas kon de RV onder 88% houden. Alleen tijdens warme nachten liep de RV op tot 90%;
- De Aircobreeze met regelbaar diafragma in het scherm kon de RV niet voldoende verlagen;
- De Aircobreeze creëerde een luchtbeweging van  $5 \text{ cm}/\text{s}$ , en hielp daarmee om temperatuursverschillen onder het scherm laag te houden (meestal niet groter waren dan  $0,1^\circ\text{C}$ ).

## Gewasgezondheid

Er is geen Botrytis gesignaleerd, en de ziektedruk in het algemeen lag op een zeer laag niveau gedurende de hele teelt. De verklaring zit in afwezigheid van condensatie op de plant, dankzij de luchtvochtigheidsbeheersing en luchtbeweging. Verticale temperatuurverschillen en condensatie waren minimaal. Bovendien konden wonden als gevolg van gewaswerkzaamheden sneller helen. Dit alles minimaliseerde de infectie.

Insectenbestrijding vereiste geen bijzondere maatregelen, mede dankzij het insectengaas in de luchtramen. Ook op het eind van de teelt waren geen extra gewasbeschermingsmaatregelen nodig en traden geen vochtproblemen op. De stand

van het gewas was bijzonder goed ook in het najaar, zodat de energiezuinige stookstrategie tot op het einde een succes was.

### **Kosten en baten**

Afhankelijk van de omvang zijn de kosten van de totale installatie 3 tot 5 Euro per m<sup>2</sup> per jaar. Deze methode is zuiniger dan gebruik van de minimumbuis. De energiebesparing ten opzichte van de situatie met een enkel scherm en conventionele vochtregeling is in de orde van 40% in de nachtelijke uren, wat neerkomt op ongeveer 20% besparing op jaarbasis.

### **Praktijkproef**

Parallel aan dit onderzoek liep een praktijkproef bij een biologische tomatenteler. Hier werd lucht boven en onder het scherm uitgewisseld door middel van een verticale ventilator die precies onder een kleine schermkier was opgehangen. In dit systeem werd buitenlucht via de luchtramen uitgewisseld. In deze praktijkproef werd veel geschermd: 67% van de donkere periode was één scherm gesloten en 13% van de tijd twee schermen. Er werd geen minimumbuis gebruikt. De conclusie is dat, net als bij het onderzoek in Bleiswijk, de minimumbuis geheel of gedeeltelijk achterwege gelaten kan worden. Een energiebesparing van 10-20% kan bereikt worden door vermindering van de uitstraling, door minimale ventilatie en door lagere buistemperaturen. De besparing kan nog verder oplopen (tot 50%) wanneer een dubbel of beter isolerend scherm zou worden gebruikt.

In de praktijkproef kwam nog wel stengelbotrytis voor. De discussie is of de oplossing moet worden gezocht in (a) meer luchten, (b) door alleen een opening in het schermdoek boven de ventilator waardoor de opwarming boven het doek wordt tegengegaan (zoals de proef in Bleiswijk) of (c) in het aanbrengen van luchtbeweging onderin het gewas om de snijwonden sneller te sluiten.

### **Verdere mogelijkheden**

- Het is mogelijk om de relatieve luchtvochtigheid direct te sturen door nauwkeurig doseren van de buitenluchtinblaas, maar in deze proef is gekozen voor een vaste inblaassnelheid.
- Een vergelijkbaar effect is te realiseren met ventilatoren die via kieren of gaten lucht van boven het scherm aanzuigen (zie praktijkproef).
- Door de verbeterde warmteverdeling is de kans op condensatie onderin het gewas veel minder. Het is denkbaar dat het daardoor mogelijk is een wat hogere relatieve luchtvochtigheid te accepteren.

### **Vervolg onderzoek**

In 2009 wordt weer een soortgelijke proef uitgevoerd in het kader van het Energie Programma, maar met aanpassingen. Er zal worden geteeld onder een volledig gesloten dubbel scherm. Er komt een regenleiding op de grond te liggen, zodat de vochtregeling getest kan worden bij nog hogere de vochttoevoer. De twee systemen zullen worden gecombineerd: de Aircobreeze krijgt een luchtinlaatpijp die door het dak gaat, zodat direct buitenlucht kan worden aangezogen. Via een klep wordt de hoeveelheid aan te zuigen lucht geregeld. De aangezogen en voorverwarmde buitenlucht wordt dan direct onder de ventilator uitgeblazen. Het voordeel hiervan is dat alleen een luchtslang onder de ventilator nodig is in plaats van luchtslangen in de gehele kas. Dit gecombineerde systeem bespaart tijd en arbeid tijdens de teeltwisseling en vermindert problemen met beschadigde slangen. Daarnaast 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 wil.

## 5 Referenties

Campen J, Kempkes F, 2008.

Praktijkproef mechanische vochtafvoer. Rapport 212. WUR-glastuinbouw.

Gelder A de, 2008.

Presentatie 'Gecontroleerd ventileren voor biologische telers'. Op 15 oktober voor biologische telers op bezoek bij Wageningen UR.

Gelder A de, 2008.

Presentatie 'Energie besparing door teelt en klimaat'. Op themadag Energie voor biologische telers, 30 oktober 2008, bij Wageningen UR.

Heuvelink E, 1996.

Tomato growth and yield: quantitative analysis and synthesis. PhD thesis, Wageningen Universiteit.

Staalduinen J van, 2008:

Van Weel: 'Werken met minimumbuis de gebruikelijke, maar foute weg'. Met relatief droge, voor verwarmde buiten lucht de RV in de kas verlagen. Onder glas 5(6/7): 30-31.

Vermeulen P, 2008.

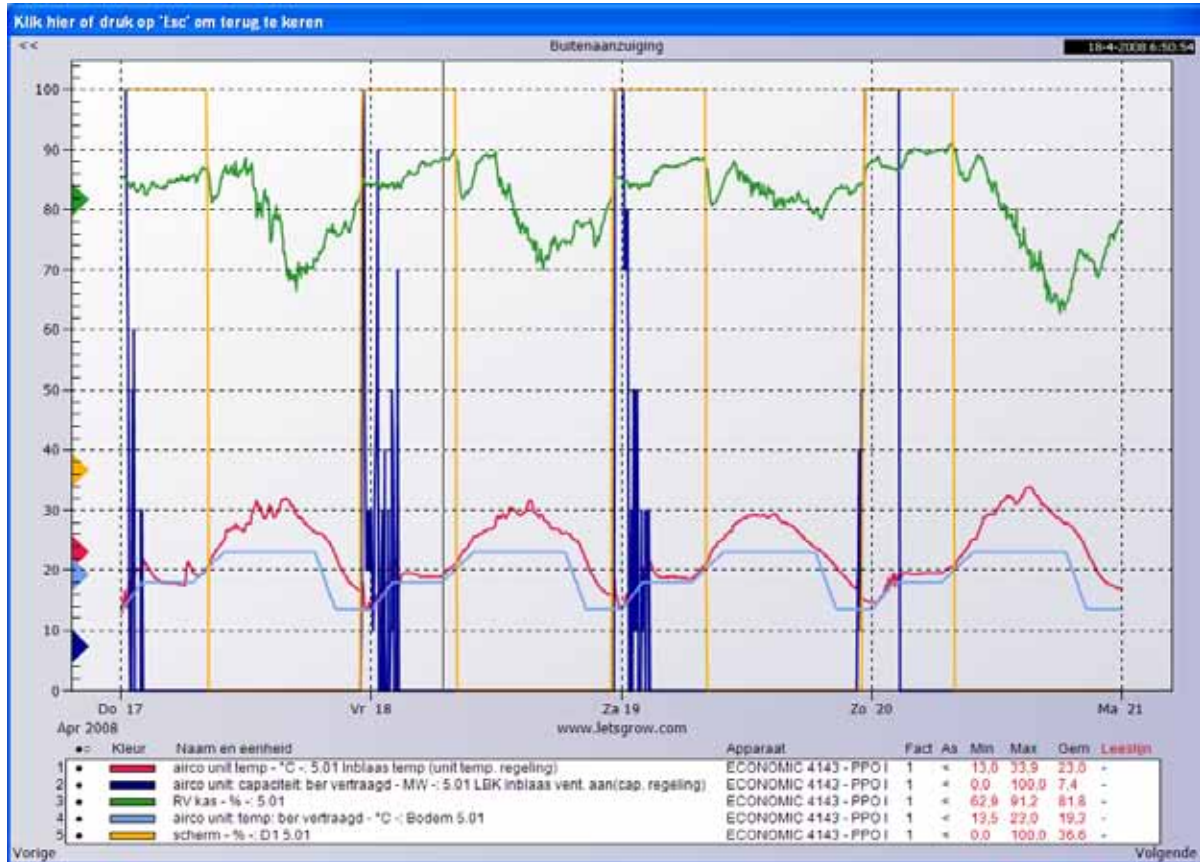
Kwantitatieve Informatie voor de Glastuinbouw. Editie 2008. WUR-glastuinbouw.

Weel P van, & Gelder A de, 2008:

Presentatie van het onderzoek naar intensieve scherming, geforceerde ventilatie en luchtbeweging in tomaat. Op 16 juli 2008 aan het bedrijfsnetwerk Bioglasgroenten.

# Bijlage I Kasklimaat (voorbeelden)

## Voorbeeld 1

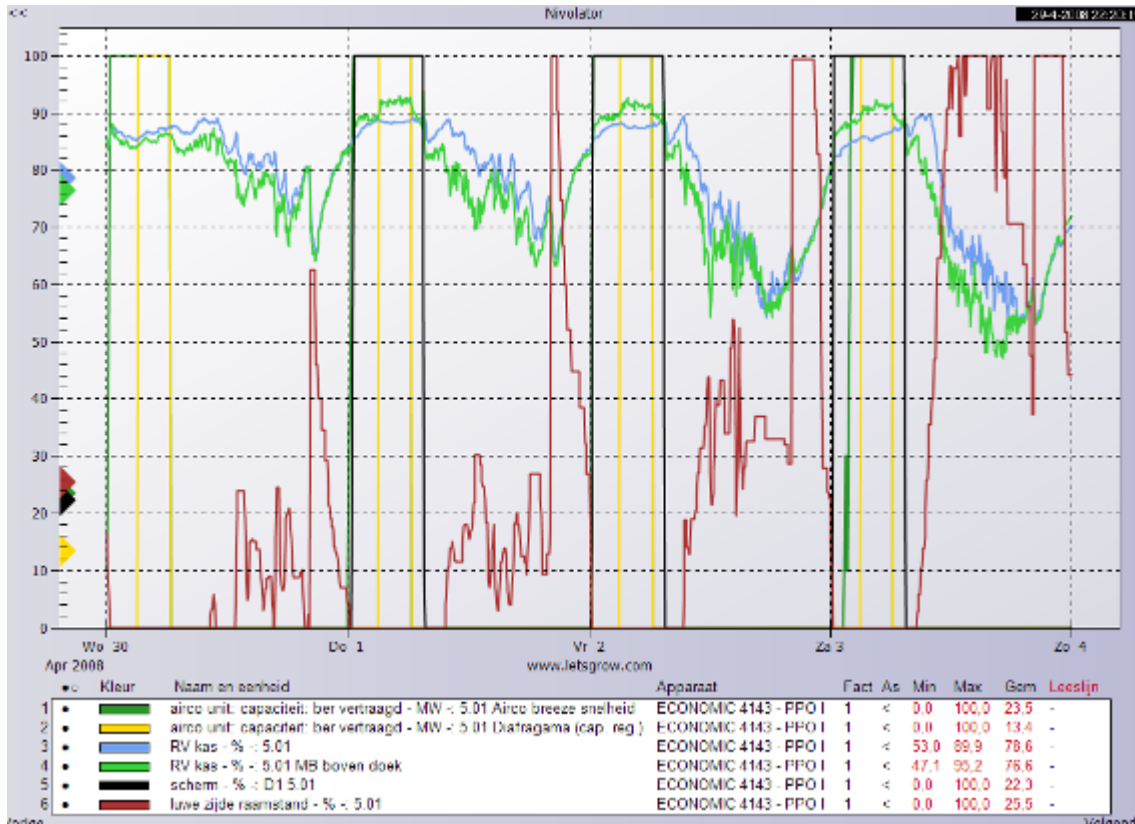


Figuur I-1. Effect van de luchtinblaas op de RV in de kas (17 – 21 april)

In vier achtereenvolgende nachten werd verschillend gebruik gemaakt van de luchtinblaas. In de tweede en derde nacht werd de luchtinblaas relatief veel geactiveerd. Hierna was de RV ca 85%. In de laatste nacht was de luchtinblaas minder aan, en bleef de RV een paar uur op 90%.



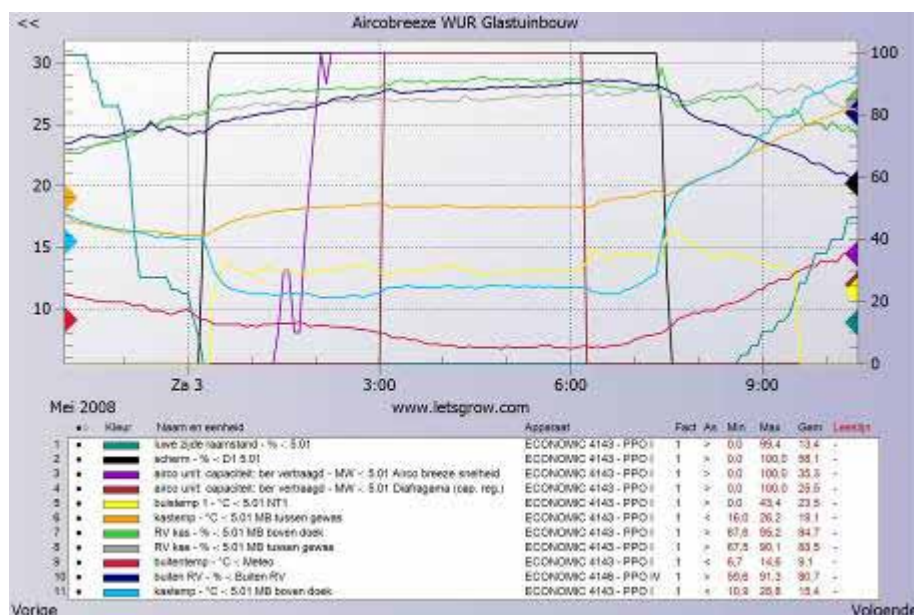
## Voorbeeld 2



Figuur I-2. Effect van de Aircobreeze op de RV, naast scherm en luchtramen (30 april tot 3 mei).

In alle vier de nachten werd de Aircobreeze gebruikt, op 100% Aircobreeze snelheid (donkergroene lijn) en 100% diafragma opening (gele lijn). In drie nachten was het scherm dicht vanaf middernacht (zwarte lijnen). Luchtramen aan de luwe zijden (bruine lijnen) werden geopend vooral in de voornacht en op een zonnig dag (3 april). RV in de kas (lichtblauwe lijn) was in de nacht meestal tussen 85 en 90% en overdag uiteraard lager. RV boven het doek (lichtgroene lijn) was 's nachts tot 95%, en overdag ook uiteraard laag.

### Voorbeeld 3



Figuur I-3. Nacht van 3 mei – effecten van scherm sluiten & openen, en activeren van Aircobreeze

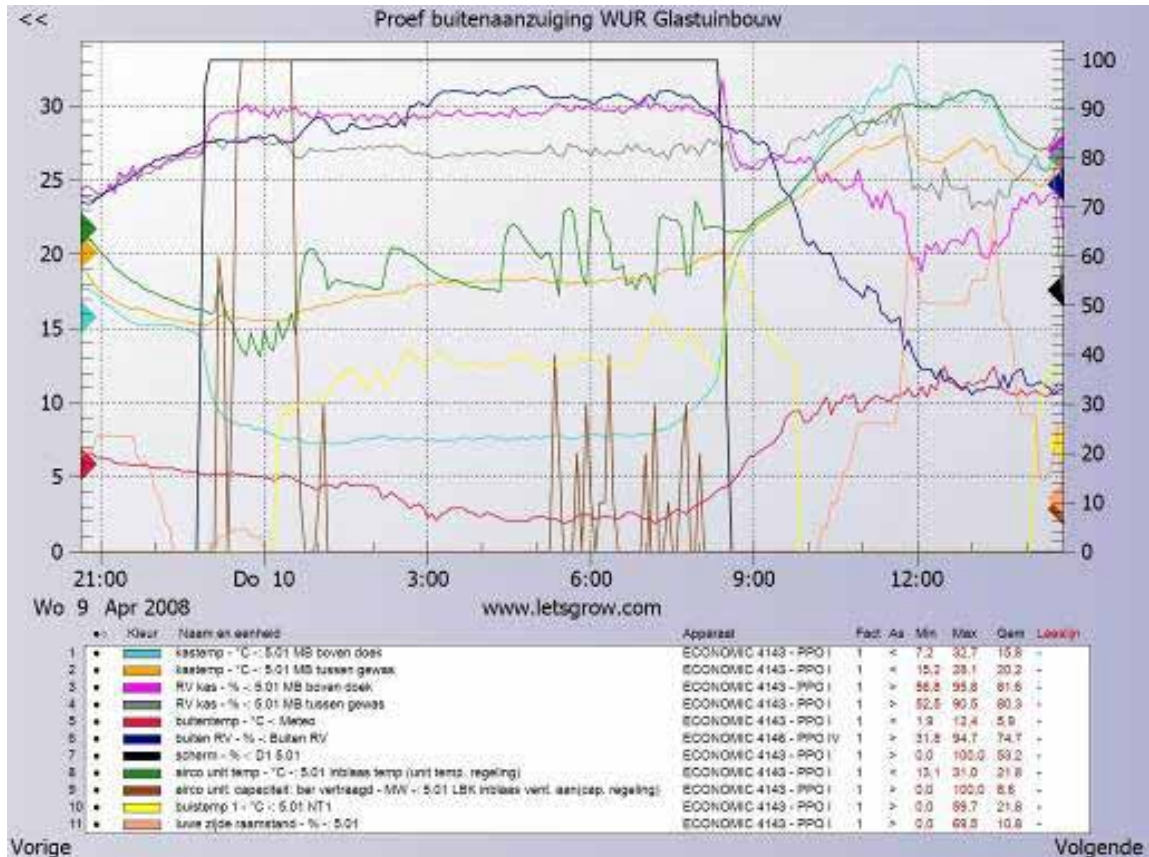
Omstandigheden: buitentemperatuur (rode lijn) is 6-14°C, en buiten RV (donkerblauw) is ca 90%. Ca 23:00 uur gaan de ramen dicht (blauwgroene lijn).

Het scherm (zwarte lijn) gaat dicht na middernacht, en de buizen worden ca 35°C (gele lijn). De temperatuur boven het doek (turquase lijn) daalt sterk en RV boven het doek stijgt (lichtgroene lijn). Als gevolg van schermen en verwarmen stijgt de kasluchttemperatuur tussen gewas (oranje). RV tussen het gewas (grijs) stijgt heel langzaam.

Ca 6:15 uur gaan de verwarmingsbuizen van ca 30 naar 35°C, en de temperatuur stijgt naar de dagtemperatuur. Om 7:30 uur gaat het scherm open. De buistemperatuur gaat even omhoog en voorkomt dat de kaslucht temperatuur inzakt. RV boven doek stijgt even door opstijgende waterdamp vanaf onder. Temperatuur boven het doek stijgt snel, door opstijgende warme kaslucht en door de zon. Kastemperatuur tussen de planten stijgt ook, maar iets minder snel.

De Aircobreeze (paarse lijn = Aircobreezesnelheid, en bruine lijn = Aircobreezediafragma) gaat om ca 1:30 uur aan. De luchtvochtigheid stabiliseert.

## Voorbeeld 4



Figuur I-4. Nacht van 9 april, fris (2-5°C), relatief hoge RV buiten (tot 90%), buitenaanzuiging

Omstandigheden:

22:30: buitentemperatuur daalt tot 5°C → kasluchttemperatuur zakt weg & RV stijgt

Acties en gevolgen:

22:50: scherm sluit (zwarte lijn)

23:00: ventilator start, en de aangezogen buitenlucht wordt voorverwarmd (groene lijn)

kaslucht temperatuur (oranje/geel) stijgt & RV in gewas (donker grijs) stabiliseert

23-24: ramen aan luwe zijde open om vocht af te voeren → RV in gewas blijft op ca 85%

24:05: verwarmingsbuizen gaan naar 30°C

3:00: verwarmingsbuizen naar 40°C → RV in gewas stabiliseert op iets lager niveau

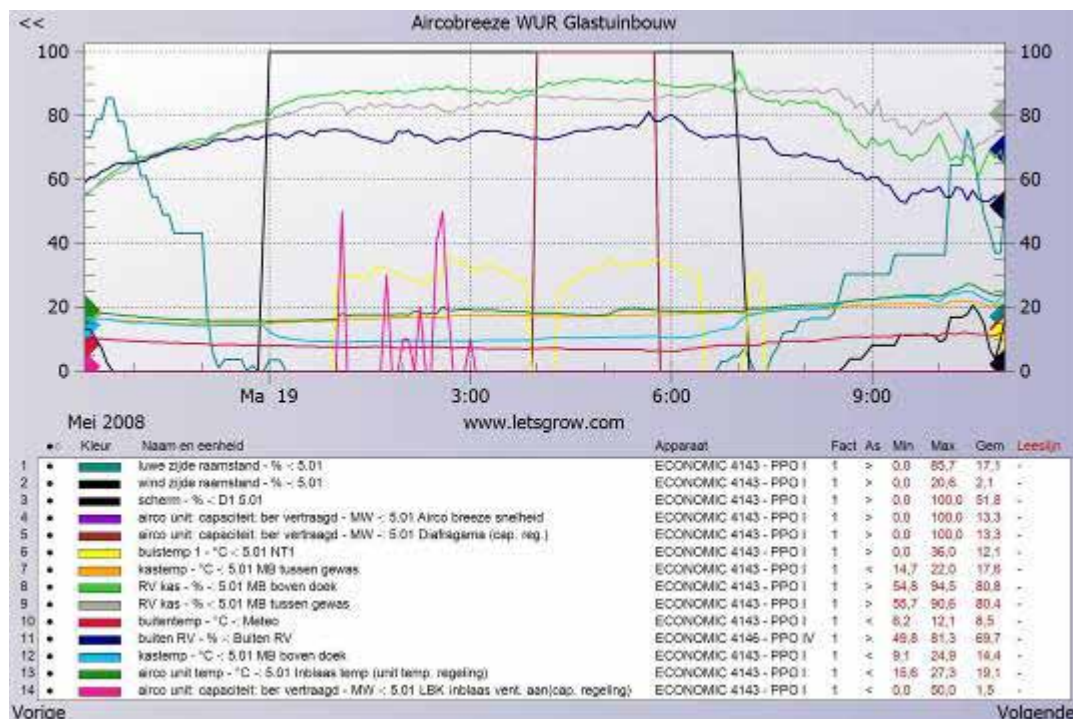
8:45: scherm open → RV boven scherm geeft korte piek

Conclusie:

1:00-8:00: scherm & 40°C buis & ventilator & voorverwarming houden klimaat stabiel:

RV tussen gewas onder 85%, kastemperatuur 17 stijgend naar 20°C, RV boven doek is 90%

## Voorbeeld 5



Figuur I-5. Nacht 19 mei, RV werd geregeld eerst met Buitenluchtinblaas, later met de Aircobreeze

### Omstandigheden

De buitentemperatuur is stabiel (6-8 °C). De RV buiten (donkerblauwe lijn), RV in het gewas (grijs) en RV boven het doek (lichtgroen) lopen op in de voornacht.

### Acties

De luchtramen (blauwgroene) zijn open in de voornacht, maar sluiten ca. 23:00 uur. Het scherm (donkergrijs) is dicht vanaf ca. middernacht tot 7:00 uur. Luchtinblaas (roze lijn) is actief tussen 1:00 uur en 3:00 uur. Aircobreeze (paarse en bruine lijn) is actief tussen 4:00 uur en 6:00 uur. Daarnaast is er een lauwarme buis in de nacht van ca 30°C (gele lijn).

### Gevolgen en nieuwe acties

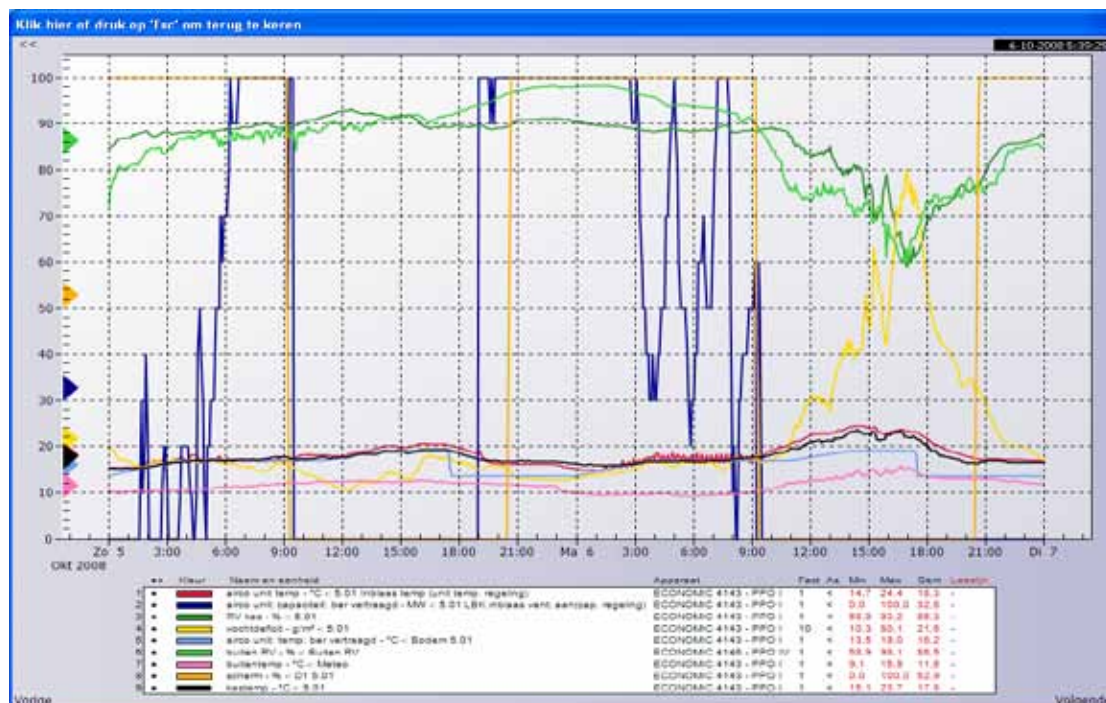
Bij het sluiten van het scherm, daalt de temperatuur boven doek en stijgt de RV boven doek. Ook de RV tussen gewas stijgt. Vervolgens slaat de luchtinblaas aan om ca 1:00 uur, waarop de RV tussen het gewas onmiddellijk daalt. De RV tussen gewas beweegt tegengesteld aan de luchtinblaas. Als de Aircobreeze het overneemt (ca. 4 uur) stijgen de RV tussen gewas en RV boven doek en stabiliseren op een wat hoger niveau. Het verschil tussen RV in het gewas en RV boven het doek blijft gelijk. RV in het gewas is meestal lager dan die boven het doek, behalve rond 4 uur en rond 7 uur, toen de luchtinblaas en de Aircobreeze beide uit waren.

### Conclusie

Deze waarnemingen tonen aan dat de luchtinblaas en Aircobreeze allebei effect hebben op de RV.



## Voorbeeld 6



Figuur I-6. Etmalen van 5 & 6 oktober, effect van buitenluchtinblaas bij hoge RV

### Omstandigheden

De buitentemperatuur (roze lijn) ligt tussen 10°C en later 15°C. In beide nachten is het scherm dicht (oranje lijn) en de luchtinblaas is actief van ca. 21:00 uur tot na 9 uur (blauwe lijn). De inblaastemperatuur varieert mee met de buitentemperatuur, maar blijft daar steeds 5-10 graden boven.

### Acties en gevolgen

De kas werd verwarmd en gedroogd door de luchtinblaas unit. Er werd geregeld met behulp van de inblaastemperatuur (rode lijn) en inblaascapaciteit (donkerblauwe lijn). De kastemperatuur wordt sterk beïnvloed door de inblaastemperatuur, en is 's nachts tussen 15 en 20°C. Op maandag 6 oktober tussen 2:00 uur en 8:00 uur is zichtbaar dat de inblaaslucht opgewarmd wordt (zigzag patroon in rode lijn). Iedere dag om ca 17:00 uur vertoont de temperatuur van de luchtinblaas bij de bodem (lichtblauwe lijn) een sterke daling van ca. 5 graden.

### Conclusie

De RV in de kas (donker groene lijn) volgt grofweg de buiten-RV (lichtgroene lijn), maar wordt verlaagd door de luchtinblaas. In de tweede nacht is RV buiten (lichtgroene lijn) boven 98%, en RV in de kas is dan hoog, zelfs boven 90%.





Ministerie van Landbouw, Natuur en  
Voedselkwaliteit



Projectnummer: 3242047108 | RIVM nummer: GTB-1011

