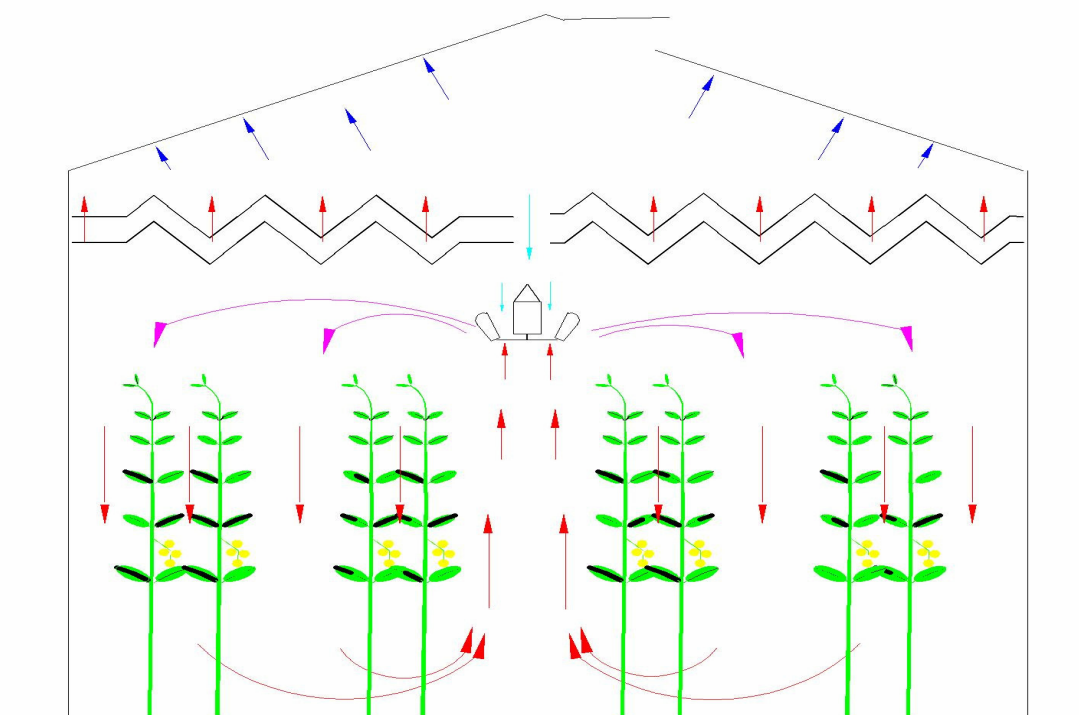


Energiezuinige vochtregeling onder gesloten scherm

Gebruik van Aircobreeze met dubbele schermen

Marcel Raaphorst, Peter van Weel, Barbara Eveleens - Clark & Jan Voogt





Energiezuinige vochtregeling onder gesloten scherm

Gebruik van Aircobreeze met dubbele schermen

Marcel Raaphorst¹, Peter van Weel¹, Barbara Eveleens - Clark¹ & Jan Voogt²

¹ Wageningen UR Glastuinbouw

² Hoogendoorn Growth Management

© 2009 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



**landbouw, natuur en
voedselkwaliteit**

Projectnummer: 3242002600

Projectcode: LNV BO -04-005

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

	pagina	
1	Energiezuinige vochtregeling onder gesloten energiescherm	1
1.1	Inleiding	1
1.2	Doel van het onderzoek	2
1.3	De Aircobreeze	2
1.4	Onderzoek	3
2	Discussie en resultaten schermgebruik, vochtbeheersing en energieverlies	5
2.1	Stralingsverlies	5
2.2	Convectie en condensatie	6
	Condensatie tegen het scherm	7
2.3	Gewasverdamping	7
2.4	Luchtuitwisseling	7
	Schermkieren	9
	Raamkieren	10
	Afstemming raamkieren en schermkieren	11
2.5	Energieverbruik en warmteverlies	11
3	Discussie en resultaten effectiviteit Aircobreeze	15
3.1	Rookproeven	15
3.2	Condensgevaar	16
3.3	Verticale temperatuurverschillen	17
3.4	Ontvochtigen met de Aircobreeze	18
4	Conclusies en aanbevelingen	21
4.1	Conclusies	21
4.2	Aanbevelingen	22
	Overwegingen	22
Bijlage I.	Energiezuinige klimaat regeling met Aircobreeze	10 pp.

1 **Energiezuinige vochtregeling onder gesloten energiescherm**

In de hoofdstukken 1 tot en met 4 staat het verslag van een proef waarin schermregelingen en ontvochtigen met de Aircobreeze op het bedrijf van Ruud van Schie in Ens gerapporteerd wordt.

In de bijlage een beschouwing over deze energiezuinige klimaatregeling met Aircobreeze door Jan Voogt.

1.1 **Inleiding**

In het eerste kwartaal van 2008 is geëxperimenteerd met een methode om door middel van de Aircobreeze in combinatie met een kleine kier in het schermdoek actief vocht af te voeren zonder gebruik van een minimum buis. Doel is om te proberen zo vaak als mogelijk één of twee energieschermen gesloten te houden zonder problemen met condensatie op het gewas. Daarvoor zijn drie zaken van belang:

1. Een goede verticale temperatuurverdeling zodat het gewas nergens onder dauwpunt komt.
2. Een RV die bij de gegeven temperaturen niet tot condens leidt.
3. Voldoende luchtbeweging om ophoping van vocht te voorkomen.

De Aircobreeze is een verticaal werkende ventilator die onder het spant is gemonteerd. Daarmee wordt in een gebied van 200-250 m² een verticale rondgaande luchtbeweging van ongeveer 5 cm/sec in stand gehouden. In een voorgaand project was al aangetoond dat dit bij een gesloten scherm de verticale temperatuurverschillen reduceert tot 0,2°C. In deze periode is gezocht naar de effecten en de juiste regelstrategie om met de Aircobreeze actief lucht uit te wisselen tussen de ruimte onder en boven het schermdoek.



Figuur 1. Aircobreeze onder een kier in het scherm.

Op het bedrijf van Ruud van Schie in Ens is voor de nieuwbouw gekozen voor een combinatie van een dubbel scherm en een Aircobreeze systeem. Door middel van onderzoek moest de vraag worden beantwoord hoe er met deze installatie moet worden omgegaan en in hoeverre dat energiebesparing oplevert. Dankzij financiële steun van het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en van het projectenfonds van de Rabobank kon een project worden uitgevoerd waarin door middel van metingen en begeleiding van de ondernemer aan dat doel kon worden gewerkt. Daarbij is medewerking verleend door de firma Hoogendoorn Growth Management in de vorm van meetapparatuur en aanpassingen aan de klimaatregeling.

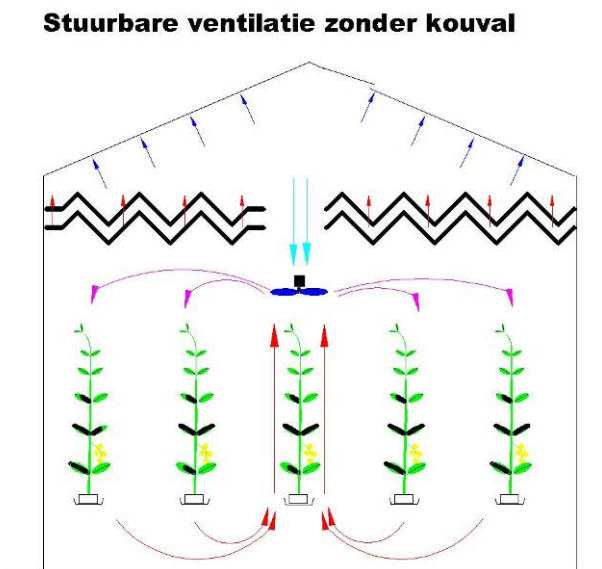
1.2 Doel van het onderzoek

1. Vaststellen welke effecten de combinatie Aircobreeze met een dubbel energiescherm heeft op het klimaat en het energieverbruik bij de teelt van tomaat op het bedrijf van Ruud van Schie in Ens.
2. Nagaan of de Aircobreeze kan zorgen voor een actieve verlaging van de RV in de kas door via een minimale schermkier droge lucht van boven het scherm te mengen met vochtige kaslucht.
3. Theoretische onderbouwing van de meest energiezuinige regeling van de interactie tussen Aircobreeze, kier in het schermdoek en de stand van het luchtraam.
4. Overdracht van de opgedane kennis aan telers en adviseurs.

1.3 De Aircobreeze

Beschrijving werkingsprincipe

De Aircobreeze bestaat uit een motor van 220 Volt en 158 Watt en een toerental van 720 omw/ minuut. Op de verticaal gerichte as is onder de motor een wiel gemonteerd met 9 verticaal staande schoepen. De ventilator wordt onder het spant gehangen en verplaatst ongeveer 6000 m³ lucht per uur. Bij een kashoogte van 5m en een werkingsgebied van 250 m² zal per uur de kasinhoud 5 keer worden rondgepompt. De aanzuiging is zowel recht onder (75%) als recht boven (25%) de ventilator. Als de ventilator precies onder een kleine schermkier hangt zal deze per uur ongeveer 6 m³ droge lucht per m² kas aanzuigen en mengen met de kaslucht. Vervolgens wordt de lucht zijdelings rondom de ventilator uitgeblazen, over het gewas verdeeld, zakt naar beneden en komt onderlangs het gewas weer terug. Er ontstaat dus bij de ventilator een goede menging van warme kaslucht met koudere, maar droge, lucht van boven het scherm. Dit mengsel wordt vervolgens in een parapluvorm met een diameter van ongeveer 18 m door het gewas geblazen.



Figuur 2. Werkingsprincipe ontvochtigen met Aircobreeze.

Omdat er lucht van boven het scherm wordt aangevoerd zal eenzelfde volume vochtige kaslucht door het poreuze schermdoek worden gedrukt. Als de ruimte boven het doek een temperatuur heeft die lager ligt dan het dauwpunt van de kaslucht, zal er condensatie van vocht plaatsvinden op die plek die de lucht als eerste tegenkomt. Is dat het doek dan zal het daarop condenseren en anders op het glas of de constructiedelen van het kasdek. Hoe kouder

deze delen, hoe meer vocht er zal condenseren en zolang dit vocht wordt afgevoerd zal er droging van de kaslucht plaatsvinden en dus verlaging van de relatieve luchtvochtigheid (RV) bij de planten. In combinatie met de continue luchtbeweging in het gewas die de verticale temperatuurverschillen zo klein mogelijk houdt en vocht lokaal zal afvoeren door luchtbeweging, zal een situatie in het gewas ontstaan waarbij er nooit condensatie zal optreden en botrytis door condens dus zal worden voorkomen.

Beoogde effecten

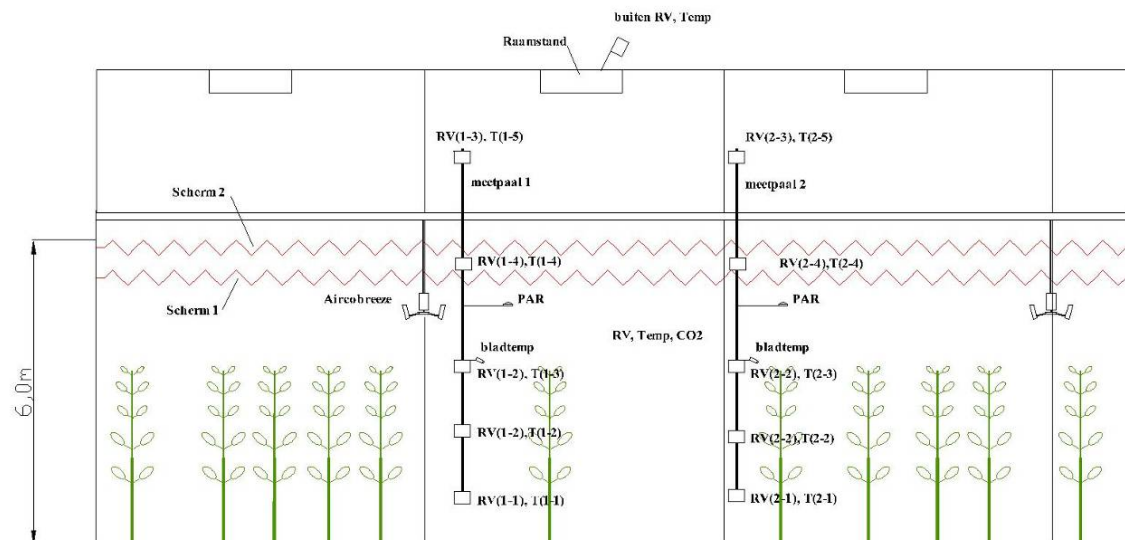
Deze werkwijze levert naar verwachting niet alleen een betere beheersing van de RV op, maar ook een aanzienlijke energiebesparing. Dankzij de betere beheersing van de RV kan gedurende de nacht altijd gebruik worden gemaakt van een volledig gesloten energiescherm, mogelijk zelfs van twee schermen boven elkaar. Dit levert in potentie respectievelijk 40% en 70% minder warmteverlies op ten opzichte van een niet geschermd kas. Op jaarbasis scheelt dat ongeveer 20-35% in het energieverbruik. Bovendien valt te verwachten dat bij een goede vochtbeheersing onder het scherm nog beter isolerende schermen gebruikt kunnen worden. Dankzij de kleinere verticale temperatuurverschillen kan de gebruikelijke methode van minimum buis vervallen. Daarbij werd de verwarming onderin het gewas altijd op een bepaalde minimumtemperatuur gehouden om ter plaatse verdamping te stimuleren. Daardoor ontstond overtemperatuur en moesten de ramen worden geopend om die overtollige warmte en daarmee ook overtollig vocht af te voeren. Het kromme van die werkwijze was dat door de toevoer van extra energie deels de productie van vocht dus gestimuleerd werd. Bovendien kostte deze methode 4-6 m³ gas per m² kas per jaar. De Aircobreeze heeft ook tot effect dat de kas 's morgens veel langer geïsoleerd kan worden. Nu stookt men de verwarming ruim voor zonsopgang flink op om ervoor te zorgen dat het onderste deel van het gewas niet de koudste plek wordt, met grote kans op condens. De zon verwarmt immers primair de bovenkant van het gewas, stimuleert bovendien de verdamping en maakt dat de verticale temperatuurverschillen groot worden. De Aircobreeze voorkomt die verticale verschillen en bovendien zal er dankzij de verbeterde vochtbeheersing een lagere RV heersen waardoor de temperatuur van het dauwpunt ook flink lager komt te liggen. Samen levert dit de mogelijkheid op om de verwarming niet meer van te voren in temperatuur te verhogen en het energiescherm pas te openen wanneer de zon krachtig genoeg is om de kas te verwarmen. Het aantal uren dat het energiescherm gesloten zal zijn neemt daardoor nog eens met 10-20% toe. Al met al is ten opzichte van de situatie met traditionele klimaatregeling en een enkel scherm een energiebesparing te verwachten van ruim 30% bij gebruik van een dubbel scherm en het weglaten van een minimum buis en het opstoken voor het openen van de schermen. Voor de biologische tomatenteelt is een gasverbruik van minder dan 25 m³/m²/jaar dan waarschijnlijk haalbaar.

1.4 Onderzoek

In een kas van 22.000 m² zijn Aircobreeze ventilatoren en twee onafhankelijk bedienbare scherminstallaties voorzien van doek LS10 aangebracht. In die kas zijn gedurende een heel jaar tomaten geteeld in de grond. De watergift vond plaats met een regenleiding, zodat er relatief veel vochtproductie vanuit de bodem is.

Meetapparatuur

In het midden van de kas zijn twee meetpalen aangebracht waarmee continu gegevens zijn verzameld over het klimaat onder en boven het schermdoek (Figuur 3). Meetpaal 1 stond onder een Aircobreeze ventilator, meetpaal 2 tussen twee ventilatoren in.



Figuur 3. Meetinstrumenten in de kas.

De verzamelde klimaatgegevens werden online via een internet applicatie van Letsgrow zichtbaar gemaakt en bewaard. De belangrijkste klimaatmetingen waren: RV en temperatuur zowel onder als boven het doek en buiten, lichtniveau binnen en buiten en de bladtemperatuur. Daarnaast zijn buistemperaturen, doek en raamstanden en het toerental van de ventilatoren bepaald om een indruk te krijgen van het energieverbruik. Er zijn geen metingen verricht aan productie of productkwaliteit.

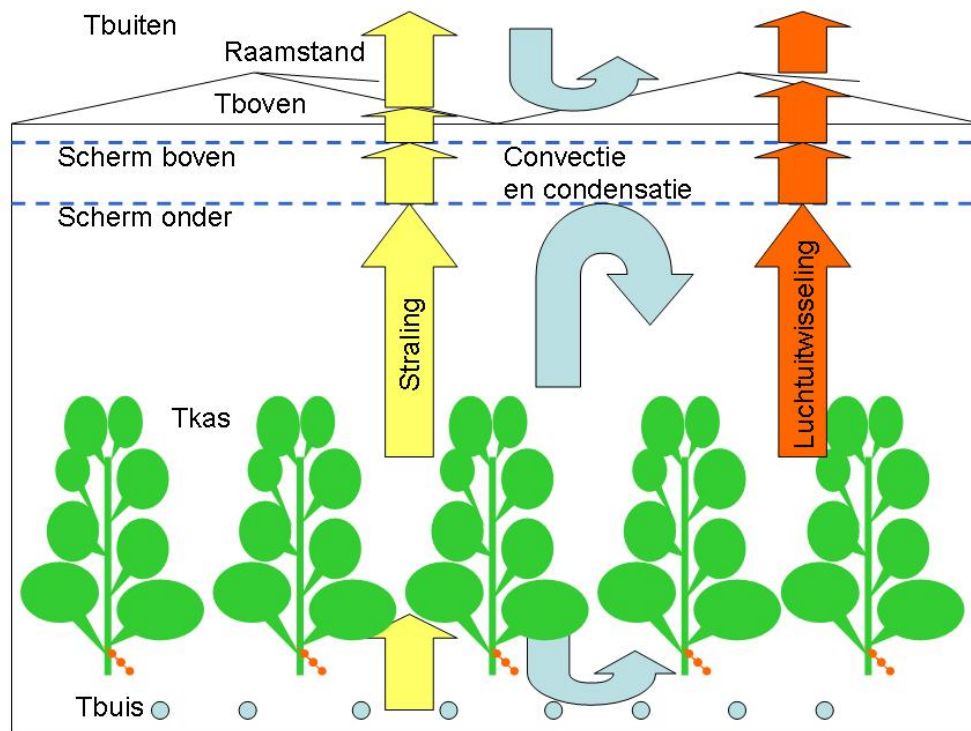
Incidenteel zijn rookproeven uitgevoerd gecombineerd met een meting van luchtsnelheden en temperatuurprofielen in twee paden die representatief waren voor het werkingsgebied van de ventilator.

Speciaal voor deze proef is een simulatiemodel gebouwd waarmee de invloed van schermgebruik, raamgebruik en gekozen RV op het energieverbruik kan worden berekend. Ook is een theoretische beschouwing geschreven over de natuurkundige achtergronden van de rol van luchtbeweging, schermgebruik en luchtraamgebruik. Daarmee had de ondernemer een theoretische onderbouwing waarmee hij in overleg met het projectteam steeds de juiste setpoints kon zoeken. Doordat de resultaten van een bepaalde combinatie van buitenomstandigheden en setpoints direct via internet beschikbaar waren kon actief worden bijgestuurd en wijzigingen in het beleid worden bediscussieerd. De ondernemer heeft daar veelvuldig gebruik van gemaakt.

2 Discussie en resultaten schermgebruik, vochtbeheersing en energieverlies

Energieverlies in een kas kan worden onderscheiden door verschillende energiestromen (Figuur 4):

- Straling.
- Convectorie en condensatie.
- Luchtuitwisseling.



Figuur 4. Energiestromen in de kas.

2.1 Stralingsverlies

Stralingsverlies vanuit een kas wordt bepaald door de temperatuur van de kas ten opzichte van de temperatuur van de omgeving. Zo gaat warmtestraling in bovenstaande tekening van de buizen naar het gewas, van het gewas naar het onderste scherm, van het onderste scherm naar het bovenste scherm, van het bovenste scherm naar het kasdek en van het kasdek naar de hemel. De grootte van de stralingsverliezen worden bepaald door:

- Het temperatuurverschil tussen kas en hemel.
- Het aantal lagen dat warmtestraling tegenhoudt.

De hemeltemperatuur kan op heldere nachten zeer laag zijn, tot wel 20°C onder de buitentemperatuur. Tijdens dergelijke nachten is het van groot belang om zo veel mogelijk lagen aan te brengen tussen het gewas en de hemel, zoals door de schermen zo veel mogelijk te sluiten. Glas en de meeste energieschermen laten vrijwel geen warmtestraling door, maar kunnen wel warmtestraling absorberen en weer verder uitstralen. In een kas zonder

scherm is het stralingsverlies ongeveer $2,7 \text{ W/m}^2$ per graad verschil tussen kasluchttemperatuur en hemeltemperatuur. Door gebruik van 1 scherm daalt dit met $\pm 33\%$ en bij 2 schermen met $\pm 50\%$.

Over het gehele jaar is de hemeltemperatuur in Nederland 's nachts gemiddeld 4°C . Bij een kas zonder scherm met een nachttemperatuur van 16° is het stralingsverlies $(16-4) \cdot 2,7 \cdot 3600 \text{ sec/uur} \cdot 4200 \text{ nachtuur/jaar} = 502 \text{ MJ}$, ofwel 16 m^3 aardgas per m^2 . Als iedere nacht twee schermen zouden worden gebruikt kan dus ongeveer $8 \text{ m}^3/\text{m}^2$ aan energie worden bespaard, alleen al door de beperking van het stralingsverlies. Hier bovenop komt nog de besparing door convectie en condensatie.

2.2 Convectie en condensatie

Met convectie wordt de warmte bedoeld die wordt overgedragen doordat lucht langs de verschillende oppervlakten van objecten in de kas (buizen, gewas, schermdoek, kasdek) stroomt. Convectie wordt versterkt door meer luchtbeweging binnen en buiten de kas. Dit is buiten de kas niet regelbaar. Binnen de kas kan de convectie wel sterk worden verkleind door het sluiten van de schermen omdat dan een laag stilstaande lucht tussen de schermen en het kasdek wordt gecreëerd.

Indien het oppervlak kouder is dan het dauwpunt van de lucht gaat convectie gepaard met condensatie. Door condensatie wordt vocht aan de kaslucht onttrokken. Bij condensatie tegen het kasdek wordt het condensaat afgevoerd en opgevangen via condensgootjes. Condensatie tegen het scherm wordt over het algemeen als hinderlijk ervaren omdat vroeg of laat het condensaat weer op het gewas druppelt. Het is dan ook de kunst om de condensatie tegen het scherm beperkt te houden en zo veel mogelijk vocht af te voeren door condensatie tegen het kasdek en door luchtuitwisseling.

Een teler zal zich als doel stellen om voldoende vocht (latente warmte) af te voeren met zo min mogelijk verlies aan voelbare warmte. De verhouding tussen latente en voelbare warmte wordt verhoogd door de volgende factoren:

- een hoge luchtvochtigheid.
- een koud kasdek.

Het kasdek kan koud worden gehouden door de stralingswarmte vanuit de kas tegen te houden met de schermen. Door voldoende luchtuitwisseling via het schermdoek en schermkieren kan de luchtvochtigheid boven het scherm hoog (tot 100%) worden gehouden. In bijgaande Tabel 1 wordt de condensatie tegen het kasdek weergegeven bij een RV boven het scherm van 95% en bij verschillende temperaturen boven het scherm en kasdektemperaturen. Bij een gewasverdamping van $30 \text{ gram/m}^2\cdot\text{uur}$ (geschatte gemiddelde verdamping in de nacht bij een volgroeid tomatengewas) kunnen vochtproblemen ontstaan als de kasdektemperatuur boven 8°C uitkomt. In die gevallen moet vocht worden afgevoerd via de luchtramen.

Tabel 1. Condensatie tegen het kasdek ($\text{g/m}^2/\text{uur}$) bij 95% RV boven het scherm.

		Temperatuur boven het scherm ($^\circ\text{C}$)					
		8	10	12	14	16	18
Temperatuur kasdek ($^\circ\text{C}$)	0	22	32	43	57	73	91
	2	15	24	35	48	63	80
	4	8	17	27	39	53	70
	6	3	9	18	30	43	59
	8	0	3	10	20	33	48
	10	0	0	3	11	22	36
	12	0	0	0	3	13	25

In Tabel 2 wordt de verhouding weergegeven tussen het verlies aan latente en voelbare warmte bij verschillende temperaturen boven het scherm en bij verschillende kasdektemperaturen en een RV van 95%. Hoe hoger deze verhouding is, hoe efficiënter er vocht wordt afgevoerd. Uit de tabel blijkt dat bij een groot temperatuurverschil tussen kasdek en kaslucht relatief meer vocht wordt gecondenseerd per hoeveelheid voelbare warmte.

Tabel 2. Verhouding verlies aan latente/voelbare warmte (%) door condensatie en convectie bij 95% RV boven het scherm.

		Temperatuur boven het scherm (°C)					
		8	10	12	14	16	18
Temperatuur kasdek (°C)	0	23%	27%	31%	35%	39%	43%
	2	21%	26%	30%	34%	38%	43%
	4	18%	24%	29%	33%	38%	43%
	6	11%	20%	26%	32%	37%	42%
	8		12%	22%	29%	35%	41%
	10			13%	24%	32%	39%
	12				14%	27%	35%

Condensatie tegen het scherm

Een kas met een temperatuur van 16°C en een RV van 85% heeft een dauwpunt van 13,5°C. Bij gesloten schermen en luchtramen komt het onderste scherm pas onder deze temperatuur als de buitentemperatuur lager ligt dan 0°C. Het bovenste scherm voorkomt namelijk dat het onderste scherm door uitstraling ver afkoelt. Als de temperatuur van het onderste scherm onder het dauwpunt komt zal daar enige condensatie plaatsvinden, maar waarschijnlijk onvoldoende om de gewasverdamping te compenseren. Als dan een kier wordt getrokken in het onderste scherm om nog meer vocht af te voeren, zal veel condensatie plaatsvinden tegen het koude bovenste scherm. Om een natte scherm te voorkomen, moet eerst een kier worden getrokken in het bovenste scherm voordat het onderste scherm een schermkier krijgt.

2.3 Gewasverdamping

Hoe lager de gewasverdamping is, hoe minder vocht er hoeft te worden afgevoerd. Gewasverdamping wordt 's nachts gestimuleerd door stralingswarmte van de verwarmingsbuizen en door luchtbeweging in de kas. De luchtbeweging kan ook door buisverwarming plaatsvinden, vooral bij een hoge buistemperatuur, maar wordt ook door Aircobreeze gestimuleerd.

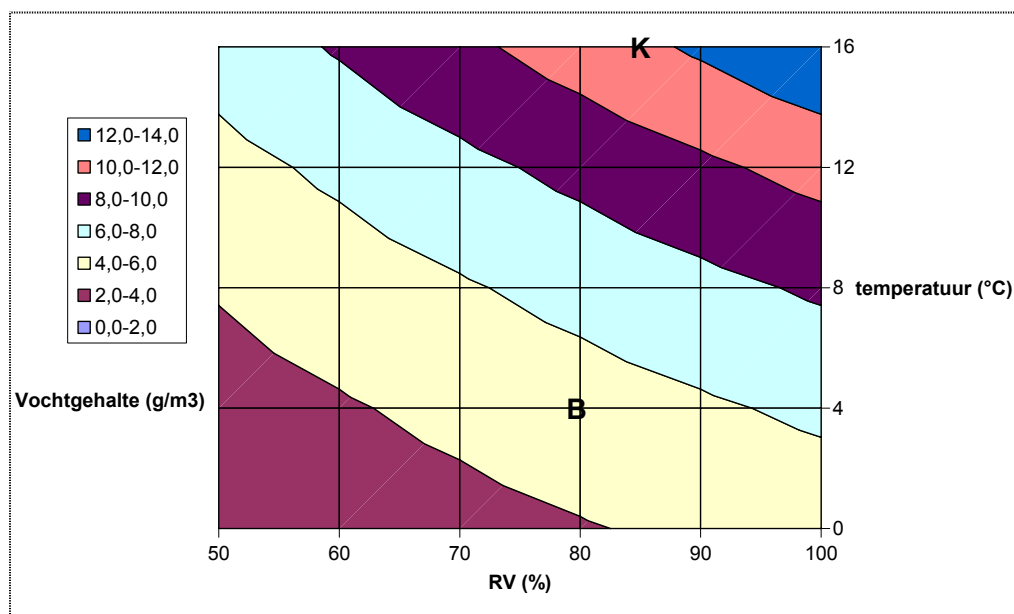
Enige verdamping is echter wel nodig om te voorkomen dat de worteldruk in de plant te ver oploopt en het gewas gaat gutteren of natte snijwonden krijgt.

2.4 Luchtuitwisseling

Met luchtuitwisseling wordt bedoeld dat de warme en vochtige kaslucht via schermkieren (inclusief de schermportiën) en raamopeningen met de buitenlucht wordt uitgewisseld. De luchtuitwisseling is redelijk regelbaar door bijstellingen van de raamstand en de schermkieren. Bij een goede installatie van een Aircobreeze is de luchtuitwisseling door de schermkieren nauwkeuriger te regelen.

Verder hebben de schermen een niet regelbare porositeit. De luchtuitwisseling door deze poriën is ongeveer even groot als folie met een schermkier van 2%. De luchtuitwisseling wordt versterkt door het temperatuurverschil boven en onder het schermdoek.

In 5 is het vochtgehalte van lucht weergegeven als functie van de temperatuur en de luchtvochtigheid. Kaslucht van 16°C en een RV van 85% (K) bevat 11,6 gram vocht per m³. Als de buitenlucht een temperatuur heeft van 4°C en een RV van 80% (B) dan bevat dit 5,1 gram vocht per m³. Om 30 gram/m²/uur af te voeren moet in dit geval dus $30/(11,6-5,1) = 4,6$ m³/uur aan kaslucht worden uitgewisseld met buitenlucht.



Figuur 5. Vochtgehalte als functie van de temperatuur en de relatieve luchtvochtigheid.

In Tabel 3 wordt de verhouding tussen latent en voelbaar warmteverlies weergegeven bij verschillende buitenomstandigheden en een kastemperatuur van 16°C en een RV van 85%. Hieruit blijkt dat deze verhouding het meest gunstig (hoog) is bij een lage buiten-RV en een hoge buitentemperatuur. Ook blijkt dat de verhouding gunstiger is dan bij convectie (zie Tabel 2). Dit laatste laat zien dat het energetisch gunstiger is om met een raamkier en/of een schermkier direct vocht af te voeren dan de condensatie te stimuleren door kaslucht langs een koud kasdek te blazen.

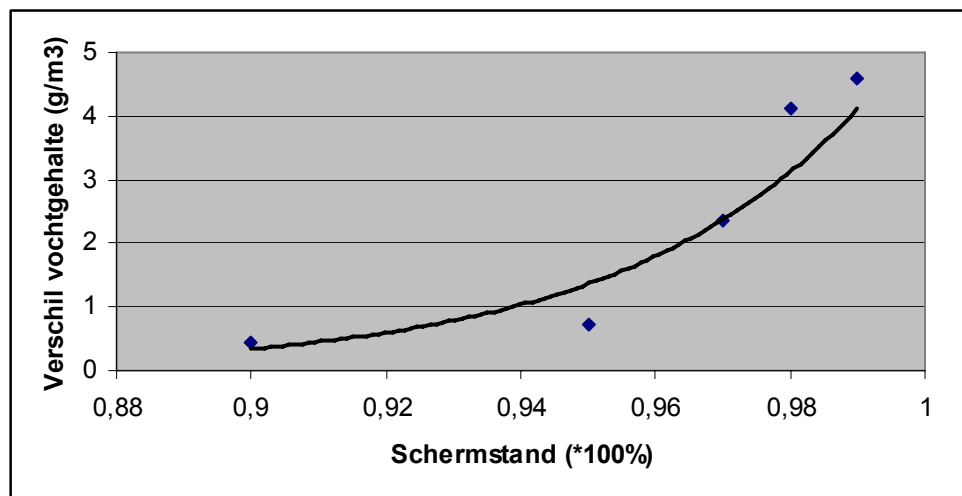
Tabel 3. *Verhouding verlies aan latente/voelbare warmte (%) door luchtuitwisseling bij een kasttemperatuur van 16°C en een kas RV van 85%.*

		Temperatuur buiten (°C)				
		-4	0	4	8	12
RV Buiten (%)	50	99%	116%	142%	188%	316%
	60	95%	110%	131%	167%	262%
	70	91%	104%	120%	147%	209%
	80	88%	97%	110%	126%	155%
	90	84%	91%	99%	105%	101%
	100	80%	85%	88%	84%	47%

De luchtuitwisseling wordt gestimuleerd door het openen van de luchtramen en door het kieren van de schermen. Bij gesloten schermen wordt nauwelijks lucht uitgewisseld en vindt het meeste warmte- en vochttransport plaats door convectie en condensatie.

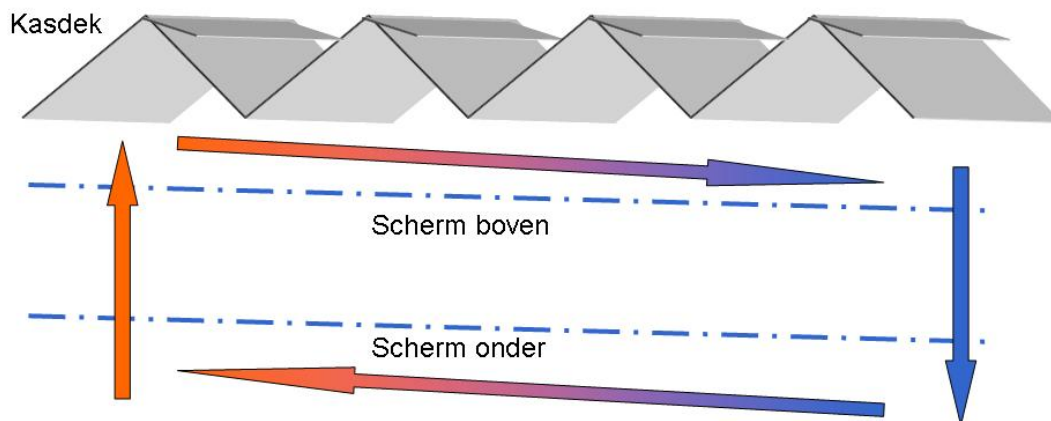
Schermkieren

Volgens de kasklimaatmetingen bij Van Schie creëert een gesloten scherm bijna 6 g/m³ verschil in vochtgehalte boven en onder het scherm. Bij het trekken van een schermkier daalt dit verschil snel (zie Figuur 6).



Figuur 6. *Verskil in vochtgehalte boven en onder het scherm als functie van de schermstand bij Van Schie bij buitentemperaturen tussen 0 en 5°C.*

Bij het gebruik van schermkieren worden in de praktijk veel fouten gemaakt. Bij een kleine schermkier wordt nauwelijks lucht uitgewisseld, maar bij een iets grotere schermkier gaat de koude lucht zakken daar waar het scherm het laagste is (zie Figuur 7). Dit komt vaak voor aan de kopgevel, waar ook het regenwater wordt afgevoerd. Op de hoogste plekken van het scherm (vaak het middenpad) stijgt de opgewarmde kaslucht via de schermkieren naar het scherm. Dit effect wordt ook wel het schoorsteeneffect genoemd.



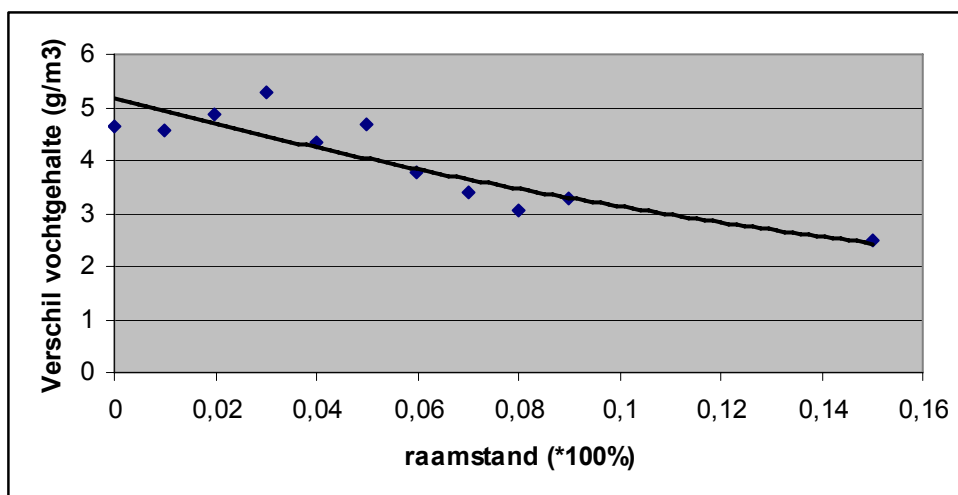
Figuur 7. Schoorsteeneffect en kouval bij schermkieren in een kas op afschot.

Het schoorsteeneffect wordt in de praktijk veelal tegengegaan door ventilatoren. Een nog uit te testen alternatief is het tijdelijk hanteren van een grote schermkier (5-10%) om vocht af te voeren, waarna het scherm weer een tijdje sluit om de luchtstroom van het schoorsteeneffect te blokkeren en de kastemperatuurverschillen weer te laten nivelleren.

Nog efficiënter is het actief en gericht uitwisselen van kaslucht en buitenlucht met behulp van ventilatoren. Dit vergt echter wel een investering, maar het behoeft geen schermkieren en het werkt geen schoorsteeneffect in de hand.

Raamkieren

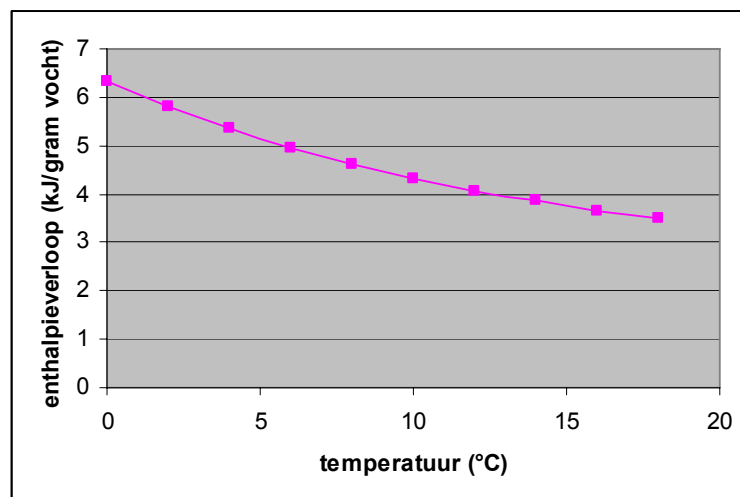
Door raamkieren wordt vochtige kaslucht naar buiten afgevoerd. Hierdoor neemt het verschil tussen het vochtgehalte onder het kasdek en buiten af. Dit wordt weergegeven in Figuur 8. Bij gesloten ramen blijkt het verschil in vochtgehalte ($\pm 5 \text{ g/m}^3$) vrijwel even hoog te zijn als te zien is bij het gesloten scherm (zie Figuur 8). Waarschijnlijk speelt de condensatie tegen het kasdek een belangrijke rol zodat het verschil in vochtgehalte bij gesloten ramen niet verder oploopt.



Figuur 8. Verschil in vochtgehalte van lucht onder het kasdek en buitenlucht als functie van de raamstand bij Van Schie bij buitentemperaturen tussen 0 en 5°C.

Afstemming raamkieren en schermkieren

Idealiter zouden raamkieren en schermkieren zodanig op elkaar zijn afgestemd dat de vochtstroom zo groot mogelijk is bij een zo laag mogelijke energiestroom. Uit Figuur 9 blijkt dat vochtonttrekking het meest efficiënt gebeurt op de plaats waar de temperatuur hoog is, ofwel bij het onderste scherm. Dit pleit ervoor om eerder in het onderste scherm een kier te trekken dan in het bovenste scherm of in de luchtramen.



Figuur 9. Benodigde energie om 1 gram vocht te onttrekken door luchtuitwisseling bij kaslucht van verschillende temperaturen en een RV van 90%.

Als het onderste scherm eerder een kier krijgt dan het bovenste scherm geeft dit echter het nadeel dat vocht via deze kier gaat condenseren tegen het koude bovenste scherm. Omdat condensatie op het scherm (vooral tijdens het openen van het scherm) leidt tot druppels op het gewas wordt daarom geadviseerd om eerst een kier te trekken in het bovenste scherm en dan pas in het onderste scherm. Als beide schermen een kier hebben van 4% (of $\pm 1\%$ bij gebruik van een Aircobreeze onder de kier) en de luchtvochtigheid is nog steeds te hoog dan moet een raamkier worden getrokken.

Bij het actief inblazen van buitenlucht kan het trekken van een schermkier langer worden uitgesteld en moet bij zeer dichte kassen een kleine raamkier worden aangehouden om overdruk in de kas te voorkomen.

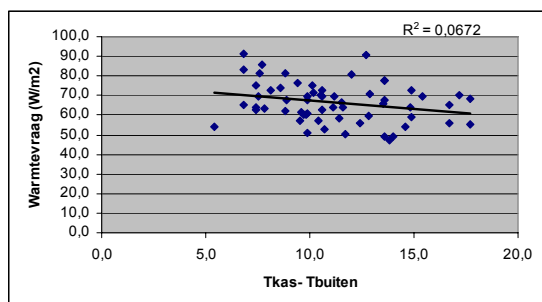
2.5 Energieverbruik en warmteverlies

Aan de hand van metingen van de buistemperatuur en de kastemperatuur is voor twee maanden (februari en maart 2008) berekend hoe hoog het energieverbruik per uur is geweest. In Figuren 10 en 11 van Tabel 4 is de gemiddelde warmtevraag van iedere nacht uitgezet tegen het temperatuurverschil tussen binnen en buiten respectievelijk tegen het schermgebruik¹. Hieruit lijkt het alsof de warmtevraag nauwelijks afhankelijk is van het temperatuurverschil noch van het schermgebruik. Dit kan worden verklaard door het intensieve schermgebruik bij lage buitentemperaturen (zie Figuur 12).

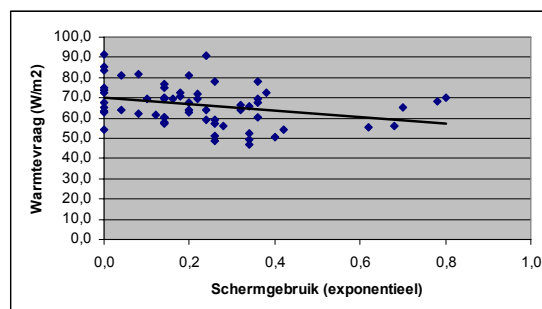
¹ In de grafieken is het schermgebruik met een exponentiële functie $0.6 \cdot (e^{20 \cdot \text{kier1}} + e^{20 \cdot \text{kier2}})$ uitgezet op de X-as. Deze exponentiële functie geeft een beter gemiddelde van verschillende schermkierstanden dan een lineaire functie, omdat een kleine schermkier gedurende de hele nacht minder isoleert dan een korte periode met een volledig geopend scherm.

Het schermgebruik verlaagt het verschil tussen de buitentemperatuur en de temperatuur onder het scherm tot 70% (Figuur 13). Dit is gerealiseerd op momenten dat beide schermen vrijwel gesloten waren (23 maart 2008 met 1% schermkier) en ook de luchtramen gesloten waren. Je kunt voor die momenten dan ook spreken van 70% energiebesparing op de voelbare warmtevraag dankzij de schermen. Opvallend is dat bij slechts 1 gesloten scherm de besparing op voelbare warmte varieerde van 30 tot 70% (zie Figuur 14). In de figuur staan 0,5, 0,4 en 0,33 op de X-as voor een schermkier van respectievelijk 1, 2 en 3%. De variatie in de temperatuurverschillen boven en onder het scherm kunnen niet altijd worden verklaard. Mogelijk speelt hierin de uitstraling naar de hemel een belangrijke rol. Aangezien de hemeltemperatuur niet is gemeten, is dit niet meer nagegaan.

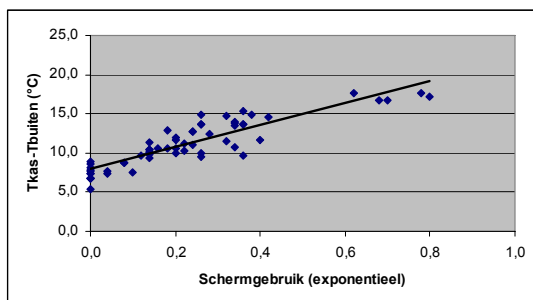
Tabel 4. Grafieken van nachtgemiddelden in februari en maart bij Van Schie.



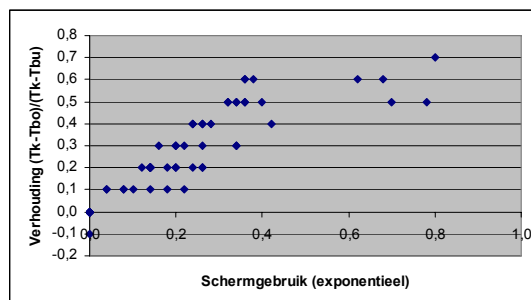
Figuur 10. Warmtevraag uitgezet tegen het verschil tussen de kastemperatuur en de buitentemperatuur.



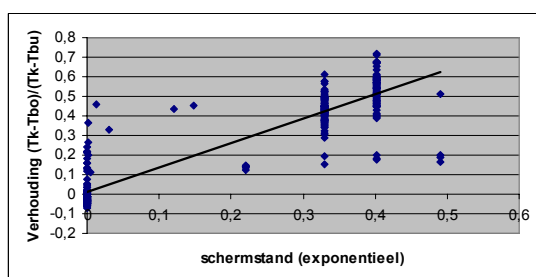
Figuur 11. Warmtevraag ten opzichte van het schermgebruik.



Figuur 12. Schermgebruik ten opzichte van het temperatuurverschil binnen en buiten de kas.



Figuur 13. Verhouding tussen het temperatuurverschil onder en boven het scherm ten opzichte van het verschil onder het scherm en buiten de kas.



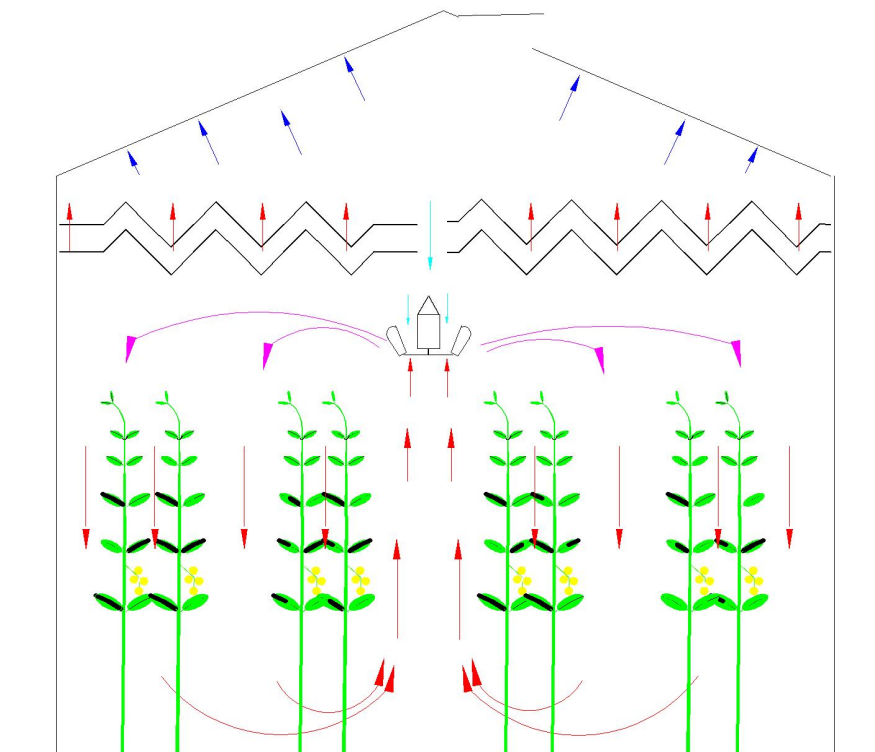
Figuur 14. Verhouding tussen het temperatuurverschil onder en boven het scherm ten opzichte van het verschil onder het scherm en buiten de kas als alleen het onderste scherm wordt gebruikt (uurgemiddelden).

De warmtevraag in de nacht ligt bij Van Schie gemiddeld op 65 Watt/m² (zie Figuren 10 en 11). Als ervan wordt uitgegaan dat 's nachts gemiddeld 30 gram/m².uur aan gewasverdamping plaatsvindt dan betekent dat $(30 \cdot 2,4) / 3,6 = 20$ Watt/m² aan latente warmtevraag. In hoeverre de verdamping (latente warmtevraag) is gedaald door het schermen, is niet bepaald. Wel mag worden aangenomen dat bij een lagere buistemperatuur veel minder verdamping plaatsvindt en dat de totale energiebesparing door de beide schermen niet veel van de 70% zal afwijken.

3 Discussie en resultaten effectiviteit Aircobreeze

3.1 Rookproeven

De rookproeven bevestigden het beeld dat de Aircobreeze ventilatoren een parapluvormig stromingsprofiel veroorzaken met een werkende breedte van ongeveer 15m. Doordat de stromingen van twee naast elkaar hangende ventilatoren elkaar raken en mengen vindt ook een kleine horizontale menging plaats. Ook bij geopend schermdoek blijft het stromingsbeeld redelijk intact. Alleen als de ramen opengaan vindt er zoveel verstoring plaats dat de ventilatoren geen effect meer hebben en dus uit kunnen. De lucht stroomt met hele lage snelheden van ongeveer 5 cm/sec langs het hele gewas. Alleen recht onder de ventilator is er een grotere snelheid van 20 cm/sec. daarmee zag het stromingsprofiel er uit zoals in de volgende Figuur 15.

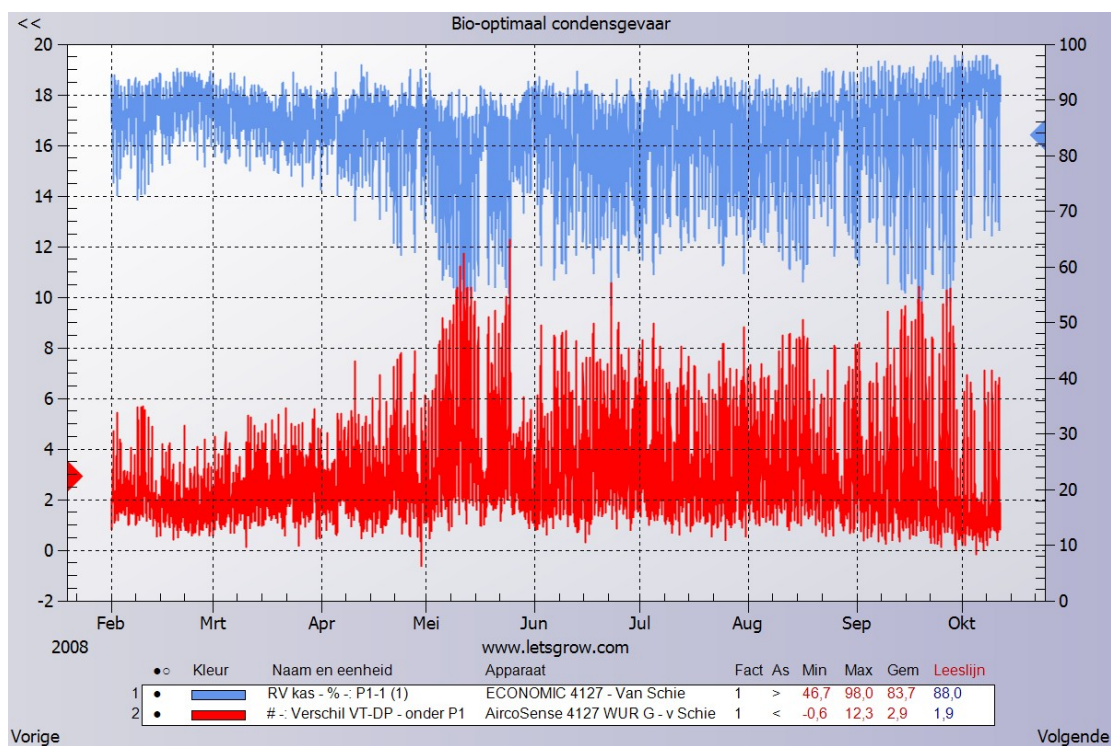


Figuur15. Stromingsprofiel Aircobreeze bij tomaat in de grond.

Door rook boven het scherm te blazen en een schermkier van 3 cm te trekken kon worden nagegaan of de Aircobreeze voldoende lucht van boven aan kon zuigen. Zowel bij geopende als gesloten ramen was er boven de ventilator over een lengte van de kier van ongeveer 1 meter een neerwaartse luchtstroom. De rest van de kier liet weliswaar lucht naar boven ontsnappen maar doordat de Aircobreeze de lucht zijwaarts weggooit was dat niet de enige plek waar rook door het doek naar boven ging.

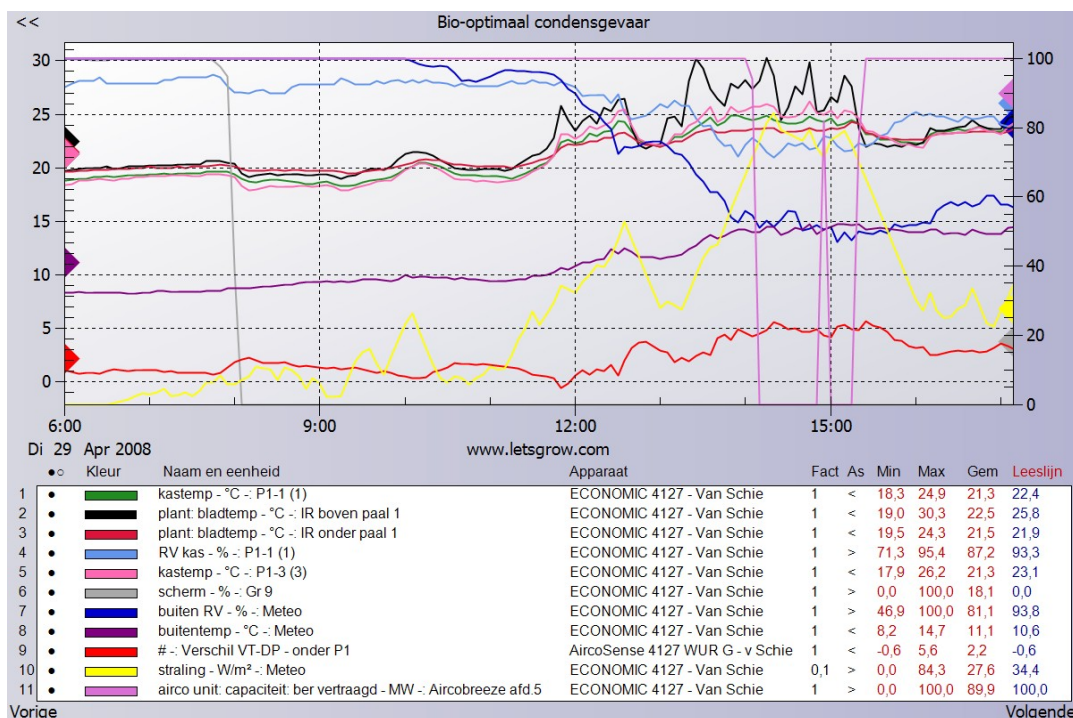
3.2 Condensgevaar

Een belangrijk doel van de Aircobreeze is het voorkomen van condens op het blad. Uit de metingen (Figuur 16) is gebleken dat er slechts 4 momenten in de tijd waren dat de RV en temperatuur tussen het gewas zodanig waren dat condensatie verwacht mocht worden.



Figuur 16. Verloop van de RV tussen het gewas en het verschil in graden tussen de kasttemperatuur en het dauwpunt gedurende de gehele teelt.

De meest kritische daarvan was eind april. Een nadere analyse daarvan levert op dat het hier een ook bij andere tuinders veel voorkomend probleem is. Tijdens het opkomen van de zon blijft de gewastemperatuur even achter en slaat het gewas nat.



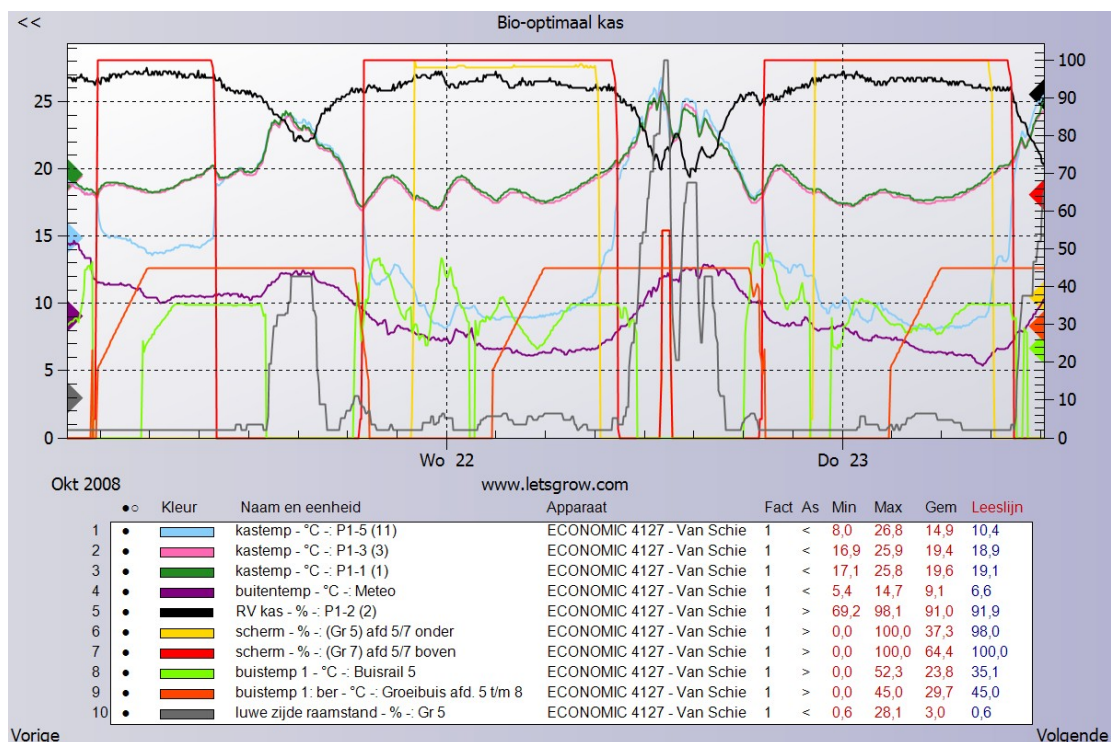
Figuur17. Detail overschrijding dauwpunt onderin gewas. Kastemp P1-1 is onderin, kastemp P1-3 is bovenin het gewas. Airco unit capaciteit: Aircobreeze 0= uit, 100= aan.

In de Figuur 17 is te zien dat het op dat moment buiten relatief koud is en er een extreem hoge RV heerst. Vanaf 11.00 uur neemt de instraling sterk toe. Vanaf dat moment loopt de temperatuur bovenin de kas sneller op dan onderin. Omdat de kas RV dan ook nog hoog is wordt onderin het gewas heel kort de dauwpunt temperatuur (rode lijn) overschreden. De Aircobreeze stond in deze situatie bij en heeft waarschijnlijk de tijdsduur van overschrijding bekort.

3.3 Verticale temperatuurverschillen

De verticale verschillen in luchttemperatuur zijn bij gesloten schermen vrijwel altijd klein geweest. In Figuur 18 zijn die verschillen dan ook klein. De meting P1-1 is onderin het gewas, de meting P1-3 bovenin. Het maakt ook niet veel uit of er 1 of 2 schermen gesloten zijn.

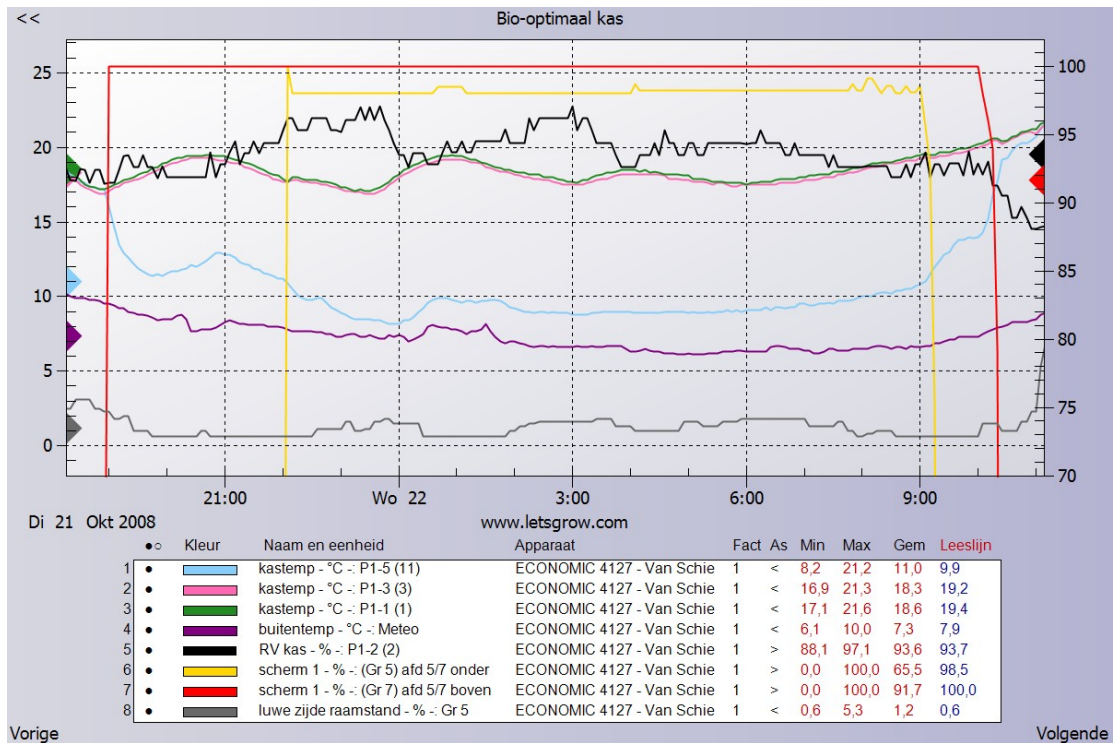
Aan het verloop van de temperatuur boven het scherm (P1-5) ten opzichte van de buitentemperatuur kan de energiebesparing worden ingeschat. Hoe dichter deze twee temperaturen bij een bepaalde raamopening bij elkaar liggen, hoe groter de besparing zal zijn. Gelijktijdig is het zo dat hoe lager de temperatuur van het kasdek zal zijn, hoe meer kans er is op vochttafvoer door condensatie tegen het kasdek. Op de eerste nacht wordt er met één scherm gewerkt met een gemiddelde raamopening van 0,6%. Als op de tweede nacht het tweede scherm 90% wordt dichtgetrokken neemt de temperatuur boven het scherm verder af. Deels komt dat door een iets grotere raamopening van 2%. Maar tijdens de derde nacht als beide schermen volledig gesloten zijn en de ramen weer iets minder ver open zijn komt de temperatuur boven het scherm nog dichter bij de buitentemperatuur. In dat geval is het energieverlies door het scherm het laagst terwijl de ontvochtigingscapaciteit door het kasdek maximaal is. De vochtdoorlatendheid van het gebruikte schermmateriaal bepaalt hoeveel vocht er afgevoerd zal worden. In die situatie zou het zinvol zijn om het vocht niet door het doek maar door een opening in het doek te laten afvoeren zodat er altijd voldoende damptransport gegarandeerd kan worden.



Figuur18. Verticaal temperatuurprofiel van een tomatenkas met Aircobreeze in relatie tot het gebruik van 1 of 2 energieschermen en het kierpercentage.

3.4 Ontvochtigen met de Aircobreeze

De kierregeling vormt een groot dilemma bij het ontvochtigen met behulp van de Aircobreeze. Enerzijds willen we geen kier voor maximale energiebesparing als gevolg van het zo min mogelijk lekken van warme kaslucht. Anderzijds willen we juist actief droge lucht van boven het scherm halen door de Aircobreeze. Op dit bedrijf werd geprobeerd om door middel van een zo klein mogelijke schermkier de lekverliezen zo klein mogelijk te maken en door de Aircobreeze lucht van boven het scherm aan te laten zuigen. Uit de rookproeven was al gebleken dat het de Aircobreeze inderdaad lukt om door een kier van 3 cm voldoende lucht aan te zuigen.



Figuur 19. Detail verticaal temperatuurprofiel en RV van een tomatenkas met Aircobreeze in relatie tot het gebruik van 1 of 2 energieschermen en het kierpercentage.

In Figuren 18 en 19 is o.a. de stand van de ramen aan de luwe zijde weergegeven. In de detailgrafiek valt op dat steeds wanneer de ramen dichtgaan de RV in de kas geleidelijk begint te stijgen. Tevens stijgt de temperatuur boven het scherm. Door de ramen open te zetten daalt de RV onder het scherm weer. De stand van de ramen boven het scherm is dus erg belangrijk voor de vochtbeheersing. Voor een optimale isolerende werking van het scherm zouden beide schermen geheel dicht moeten blijven en moet met de ramen de vochtafvoer door het schermdoek heen optimaal gehouden worden. In de tweede nacht (Figuur 18) is duidelijk zichtbaar dat de raamstand invloed heeft op het energieverbruik zolang er een kier in het scherm is getrokken. Openen van de ramen heeft dan een verhoging van de buisrail temperatuur tot gevolg. De derde nacht is het scherm volledig gesloten en wordt het openen van de ramen niet gevolgd door een hogere buistemperatuur. De RV begint echter wel te zakken. Dat komt doordat de warmteverliezen zijn afgenomen, waardoor de dampdruk onder het schermdoek oploopt. Dankzij de lagere kasdektemperatuur, met als gevolg meer condensatie, neemt de dampdruk boven het schermdoek juist af. Door het toegenomen dampdrukverschil wordt er door het doek heen dus meer damp afgevoerd.

4 Conclusies en aanbevelingen

4.1 Conclusies

1. Het energieverbruik 's nachts is vrijwel onafhankelijk geweest van het verschil tussen de kasttemperatuur en de buitentemperatuur (delta T). Dit komt doordat bij lagere buitentemperaturen meer is geschermd. Doordat twee schermen aanwezig zijn wordt het energieverbruik blijkbaar eerder bepaald door de efficiëntie van het vochtafvoer dan door de delta T.
2. Vochtafvoer door condensatie tegen een koud oppervlak geeft meer warmteverlies dan vochtafvoer via luchtuitwisseling in combinatie met een hoge isolatie (= lage uitstraling en convectie). Dit geldt vooral als de kasluchtvochtigheid laag moet worden gehouden (< 90%).
3. Door een of twee gesloten schermen wordt het verschil tussen de temperatuur onder en boven het kasdek verlaagd met $\pm 40\%$ respectievelijk $\pm 70\%$.
4. Door een of twee schermen kan het stralingsverlies met 33% respectievelijk 50% worden verkleind. Het stralingsverlies heeft een belangrijk aandeel in het warmteverlies zonder dat dit gepaard gaat met vochtafvoer.
5. Als de kaslucht een luchtvochtigheid heeft van 85% dan vindt bij twee gesloten schermen nauwelijks condensatie plaats op de schermen. Om te voorkomen dat de luchtvochtigheid verder oploopt moet vocht daarom worden afgevoerd via schermkieren.
6. De Aircobreeze heeft gezorgd voor een egale verticale luchtbeweging van ongeveer 5 cm/sec in het tomatengewas over een diameter van ongeveer 15 m.
7. De 3 cm brede kier in het scherm boven de Aircobreeze maakt het mogelijk om lucht met een lagere vochtinhoud van boven het scherm aan te zuigen en zo de kaslucht actief te ontvochtigen, zonder meetbare kouval of tocht.
8. Dankzij het actief ontvochtigen kon meer worden geschermd en kon de minimum buis regeling worden verlaten.
9. De grootte van de schermkier heeft grote invloed op het energieverlies, vooral bij gebruik van 2 goed isolerende schermen.
10. De raamstand heeft grote invloed op de mate van ontvochtiging omdat voorkomen moet worden dat de temperatuur en daarmee de vochtinhoud van de lucht boven het scherm te hoog oploopt.
11. Zo min mogelijk schermkier en twee gesloten schermen in combinatie met een ruime ventilatieregeling boven de doeken levert de beste vochtbeheersing op tegen de laagste energiekosten bij het gebruik van vochtdoorlatende schermdoek materialen.
12. Bij te weinig luchten condenseert veel vocht in het scherm waardoor bij het opentrekken ervan veel druipt optreedt. Meer luchten heeft dat probleem opgelost.
13. De luchtvochtigheid onder het scherm was relatief hoog (90-95%). Ondanks dat was er weinig botrytisschade in het gewas. Waarschijnlijk als gevolg van een goede egale luchtbeweging waardoor de verticale temperatuurverschillen te klein worden om condensproblemen te krijgen.

14. Wel was er een probleem met het te langzaam opdrogen van snijwonden onderin het gewas. Dat heeft geleid tot teveel botrytis op de wonden. Dit probleem maakt het noodzakelijk om tot aanvullende maatregelen te komen om de RV onderin het gewas lager te krijgen.

4.2 Aanbevelingen

Voor een bedrijf met twee schermen zonder Aircobreeze gelden de volgende aanbevelingen.

Gebruik beide schermen iedere nacht, tenzij de temperatuur in de kas te hoog oploopt.

Indien het vochtgehalte te hoog oploopt dienen de volgende stappen te worden genomen:

1. Trek een kier (max 4%) in het bovenste scherm.
2. Trek een kier (max 4%) in het onderste scherm.
3. Trek een raamkier.
4. Open 's ochtends eerst het bovenste scherm, zodat het onderste scherm eventuele condensdruppels op kan vangen.

Voor een bedrijf met een Aircobreeze kunnen de schermen langer gesloten blijven omdat de vochtafvoer via de schermen door de Aircobreeze wordt gestimuleerd. Bij een hoge luchtvochtigheid moet dan eerst een kleine raamkier worden getrokken om daar de vochtafvoer te stimuleren. Hoe hoger de buitentemperatuur en hoe minder wind, hoe groter deze raamkier moet zijn.

Vervolgens kan een kier (te beginnen bij 1%) worden getrokken in respectievelijk het bovenste scherm en het onderste scherm. Indien het gebruik van schermkieren leidt tot een schoorsteeneffect kan als hulpmiddel worden overwogen om de schermkieren regelmatig enkele minuten te sluiten om de luchtstroom tijdelijk te blokkeren.

5. Breidt het systeem voor de biologische teelt uit met slangen onderin het gewas die buitenlucht bij de stengels brengen die is voorverwarmd tot kastemperatuur. Daarmee wordt relatief droge lucht in beweging gebracht rondom de snijwonden. Als dit systeem aan staat kunnen de kieren in scherm en raam dicht.

Overwegingen

1. Voor het sneller drogen van de snijwonden werken zowel een lagere RV als meer luchtbeweging positief. Overwogen zou moeten worden om onderin het gewas actief drogere buitenlucht tegen de wonden te blazen.
2. De hoogste energiebesparing wordt bereikt met volledig gesloten schermen. Als er actief buitenlucht naar binnen gehaald moet worden om de RV te verlagen, kan het beste een directe aansluiting naar buiten worden gemaakt. Bijvoorbeeld in de vorm van een schoorsteen met regelbare opening boven elke Aircobreeze of via een luchtslangensysteem onderin het gewas met buitenlucht aanzuiging. In het laatste geval zorgt de Aircobreeze aanvullend voor minimale verticale temperatuurverschillen waardoor ook bij een hogere RV toch geen condensatie op blad of vruchten optreedt.
3. De regeling van de raamstand en de kier in het doek gebeurt nu op gevoel van de gebruiker. Het zou beter zijn om daarvoor een regeling op basis van enthalpieverschil binnen-buiten en een indicatief warmteverlies berekening te ontwikkelen.
4. Het aantal draaiuren van de Aircobreeze bepaalt het stroomverbruik. Als de schermen of de ramen open gaan is een zorgvuldige afweging van het gebruik noodzakelijk. In ieder geval zal de Aircobreeze geen meetbare invloed meer hebben op de luchtbeweging in het gewas wanneer door welke oorzaak dan ook een natuurlijke trek van meer dan 5 cm/sec wordt veroorzaakt. Een afschakeling op raamopening is in ieder geval uitvoerbaar. Naar een nauwkeurigere regeling moet nog worden gezocht.
5. De Aircobreeze heeft slechts een kleine invloed op de horizontale temperatuurverschillen in de kas. De combinatie met een horizontaal blazende ventilator boven het gewas is niet effectief gebleken. Deze ventilatoren verstoren de werking van de Aircobreeze, maar brengen bovendien geen goede temperatuurverdeling tot stand omdat de lucht naar één zijde van de kas wordt gedreven. Betere oplossingen zijn een veel

hogere isolatiewaarde van de schermen (ook langs de gevels), geen kieren in de schermen en een betere verwarmingsinstallatie.

6. De kier in het scherm boven de Aircobreeze over de hele lengte van het doek werkt negatief op zowel de energievraag als de mate van ontvochtiging omdat er teveel warme lucht ontsnapt naar boven het doek. Een hulpmiddel waarmee alleen boven de Aircobreeze een tijdelijke opening in het doek gemaakt kan worden zal de prestaties sterk verbeteren.
7. Een extreme energiebesparing wordt haalbaar wanneer het energiescherm geen vocht meer hoeft door te laten, volledig gesloten kan blijven en uit sterk reflecterend materiaal bestaat. Bij gebruik van een dubbelwandig schermmateriaal met luchtspouw is ook de kans op condensatie op of in het scherm verdwenen. Bijkomend voordeel is dan dat de temperatuur boven het scherm zo laag is dat maximaal gebruik kan worden gemaakt van condensatie tegen het kasdek.
8. Het resterende energieverbruik is sterk afhankelijk van de gekozen RV. Informatie over de effecten van luchtbeweging in combinatie met specifieke RV's op wonddroging of het ontstaan van botrytis ontbreekt en kan direct bijdragen aan energiebesparing.

Bijlage I.

Energiezuinige klimaat regeling met Aircobreeze

Door Jan Voogt, Hoogendoorn Growth Management

Doelstellingen energiezuinig microklimaat

De doelstellingen van een optimaal en energiezuinig microklimaat onder een gesloten energiescherm kunnen als volgt worden samengevat:

- de nachtelijke groei- en herstelprocessen van de plant moeten optimaal kunnen functioneren.
- er mogen geen problemen ontstaan als gevolg van temperatuur verschillen en vochtophoping e.d.
- er moet maximaal gebruik worden gemaakt van energieschermen waardoor de resulterende (fossiele) energiebehoefte minimaal is.

Nachtelijke verdamping en gewascondensatie

In de nacht, dat wil zeggen zonder straling van de zon of van andere stralingsbronnen zoals assimilatielampen en verwarmingsbuizen, maar ook zonder uitstraling naar bijvoorbeeld een koud kasdek, zullen verreweg de meeste gewassen een bepaalde minimale verdamping vertonen. Dit komt doordat de plant van nature enigszins vochtig is. Deze nachtverdamping is van meerdere factoren afhankelijk, maar de belangrijkste zijn de RV bij de gegeven temperatuur en de luchtbeweging. Het beste kan de nachtverdamping daarom omschreven worden als het 'natte bol effect'. Een psychrometer waarmee de vochtigheid van de lucht kan worden bepaald werkt met het zelfde principe, doordat de natte bol vanwege de verdamping afkoelt ten opzichte van de droge bol. Door de verdamping koelt ook de plant iets af ten opzichte van de kastemperatuur. Bij volledige verzadiging van de omringende lucht, d.w.z. bij 100% RV kan er niet meer verdampt worden en zal de bladtemperatuur volkomen gelijk zijn aan de luchttemperatuur.

Uiteraard kan hierbij de RV bij de gegeven temperatuur worden omgerekend naar VD (vochtdeficit) of desgewenst zelfs naar VPD –plant (Vapour Pressure Deficit bij planttemperatuur) maar dat verandert niets aan het principe.

De mate van verdamping hangt zoals gezegd ook af van de luchtsnelheid langs de plant. De gewasverdamping zal immers bij stilstaande lucht de grenslaag om de plant verzadigen zodat de RV stijgt en daardoor de verdamping vermindert. Hoe sneller dus de lucht rond de plant wordt ververs, hoe beter de verdamping op gang kan blijven. Tegelijk volgt hieruit dat de luchtsnelheid ook niet te hoog moet zijn, omdat anders de verdamping onnodig wordt opgejaagd.

Door uitstraling naar een koud kasdek kan de planttemperatuur of bij bloemen de knop temperatuur nog iets lager zakken, zelfs zover dat die onder het dauwpunt komt, en er condensatie optreedt.

Het bovenstaande brengt ons op het grote belang van een homogeen microklimaat in de kas met een gelijkmatige en subtiele luchtbeweging rond de plant en met name bij het groeipunt.

Het belang van een homogeen microklimaat

In de nachtsituatie, waarin dus sprake is van hoge RV en heel weinig energietoevoer, ontstaat het gevaar van een plaatselijk sterk ongunstig microklimaat rond bepaalde delen van de plant die gekenmerkt wordt door vochtophoping en gebrek aan luchtbeweging.

Door relatief kleine temperatuur verschillen, al dan niet door uitstraling naar koudere kasdelen, kan op sommige plantendelen condensatie ontstaan. Verse wonden door gewasbehandeling drogen niet op. Ook kan vanwege de stagnerende verdamping door worteldruk een zodanig hoge turgor ontstaan dat plaatselijk guttatie optreedt. Op deze natte plekken kunnen schimmels zich ontwikkelen. Bovendien kan door het stagnerende watertransport ook de aanvoer van mineralen, waaronder Calcium naar bepaalde plantendelen stoppen, met name ook het groeipunt en vruchten in eerste aanleg waardoor o.a. jonge cellen aangelegd worden met zwakke celwanden.

Dit soort problemen uit zich in de praktijk in allerlei verschillende gedaanten, zoals bladpuntjes in Anjers, vochtblaadjes in roos, bladrandjes en neusrot in tomaat en paprika, etc.

Vanuit de oorzaak gezien is de beste remedie om dergelijke problemen te voorkomen; een permanente, subtiele luchtbeweging, waardoor temperatuur verschillen worden vereffend, plaatselijke vochtophoping wordt vermeden, en daardoor alle plantendelen een minimale verdamping kunnen onderhouden voor de aanvoer van noodzakelijke nutriënten. In recent onderzoek is bevestigd dat het optreden van Botrytis bij Gerbera verband houdt met een gebrek aan luchtbeweging, juist ook rond de bloem.

Dit komt overeen met de praktijkervaring van elke tuinder, die een 'dood klimaat' altijd proberen te voorkomen, en in plaats daarvan een 'actief klimaat' willen realiseren.

Het realiseren van een actief microklimaat

Het gangbare instrument om een dood klimaat te voorkomen en een actief klimaat te creëren is de verwarming, en wel door het inzetten van een minimum buistemperatuur. Deze maatregel zorgt ervoor dat de verwarmingsbuis op een hogere temperatuur blijft dan voor de kastemperatuur eigenlijk nodig is. De bedoeling is plaatselijke temperatuur verschillen te vereffenen, luchtbeweging te creëren en een te hoge luchtvochtigheid te bestrijden.

De eerst genoemde doelstellingen worden meestal wel in zekere mate bereikt, voor het verlagen van de luchtvochtigheid werkt de minimum buis echter niet zelden averechts, omdat de buis door warmtestraling naar de planten (vuistregel: ca 50% van de totale warmte afgifte) ook zorgt voor extra verdamping. Deze verdamping is niet nodig voor het genoemde nutriënten transport, en zorgt dus voor onnodige energieverlies.

In de inleiding is al opgemerkt dat het inzetten van horizontale ventilatoren weinig effectief is en nauwelijks bijdraagt aan verbetering van het microklimaat rond de plant.

In het kader van het Aircokas concept is een alternatieve aanpak ontwikkeld met de volgende elementen:

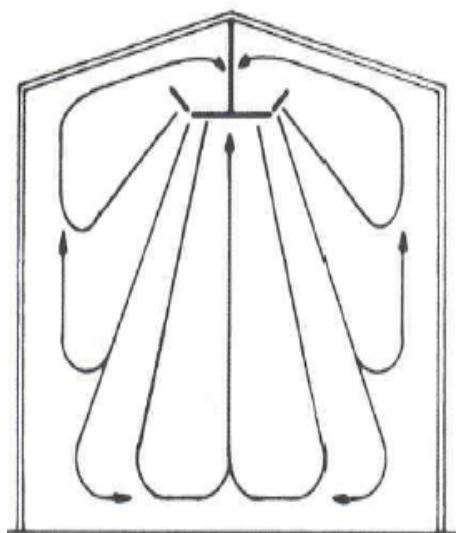
- Actief en homogeen microklimaat met mechanische verticale luchtbeweging door Aircobreeze.
- Gewasverdamping verperken tot wat nodig is voor nutriënten opname en verdeling in de plant door hoge grenswaarde van de RV.
- Geen inzet van minimum buis, stoken uitsluitend voor gewenste kastemperatuur en bij voorkeur met laag temperatuur netten.
- Intensief gebruik van energieschermen om energieverlies te beperken en plaatselijke condensatie als gevolg van uitstraling te voorkomen.
- Energie zuinige vochtafvoer door minimale inzet van vochtkieren.
- Uitgekiende procesregeling op basis van (plant)sensoren, energiebalans van de kas, en gewascondensatiemodel.

De invloed van kunstmatige belichting

Het gevolg van kunstmatige belichting onder een gesloten scherm (hetzij voor energie besparing, danwel voor beperking van de lichtuitstoot) is dat door de toegevoerde stralingsenergie de gewasverdamping zal toenemen.

Ook in deze situatie is een homogeen microklimaat door verticale luchtbeweging van groot belang. Immers juist ook door de warmteafgifte van de lampen dreigt het risico dat lagere gewasdelen kouder blijven met gewascondensatie tot gevolg.

Het mag duidelijk zijn dat de klassieke instrumenten als inzet van minimumbuis en de horizontale ventilatoren hier de zelfde beperkingen en nadelen hebben en dat het toepassen van het Aircokas concept voordelen biedt.



Figuur. De Aircobreeze en zijn verticale stromingspatroon.



Figuur. Boven de Aircobreeze kan een kleine kier in het schermdoek worden getrokken.

Energiezuinige vochtregeling onder gesloten energiescherm

Dit hoofdstuk beschrijft hoe in verschillende situaties het klimaat het beste geregeld kan worden, met de nadruk op de inzet van Aircobreeze.

Dankzij de inzet van Aircobreeze worden de twee gewenste voorwaarden voor een actief microklimaat, namelijk gelijkmatige luchtbeweging en kleinere verticale temperatuurverschillen gerealiseerd onafhankelijk van de buistemperatuur.

Tevens kan er bij een hogere RV geteeld worden zonder gevaar voor gewascondensatie. Dankzij de betere vochtbeheersing onder het scherm kan deze langer gesloten blijven.

Om te komen tot de juiste aanpak voor een energiezuinige regeling wordt nu eerst getracht om inzicht te geven in het fysische proces en de transporten van waterdamp en energie in de kas.

Het fysische proces onder gesloten energiedoek

We gaan uit van de basis situatie dat het energiescherm of verduisteringscherm is gesloten, evenals de luchtramen. De buizen worden geregeld op kastemperatuur, dus zonder minimum begrenzing en zonder vochtinvloeden etc. De assimilatiebelichting is uit. De Aircobreeze installatie draait op minimumstand, dat wil zeggen; voldoende om een constante luchtbeweging over de gehele oppervlakte in stand te houden.

Als de kaslucht onder het gesloten doek met de verwarming op temperatuur gehouden wordt (nodig om de lekverliezen te compenseren en de gewasverdamping op gang te houden) en verder alleen maar wordt 'geroerd' dan zal de RV in theorie uiteindelijk stijgen naar 100%. De gewasverdamping komt dan nagenoeg stil te staan (natte bol effect stagneert) Echter, doordat het doek nooit 'potdicht' is en het kasdek erboven meestal koud(er) is zal er door diffusie en condensatie tegen het kasdek vocht worden afgevoerd. In feite bepalen de eigenschappen van het doek, de buitenomstandigheden zoals de luchttemperatuur, windsnelheid, de bewolkingsgraad en daarmee de kasdektemperatuur, het type gewas (meer of minder verdampend), maar zeker ook de eigenschappen van de grond bij welke waarde van de kas RV er een natuurlijk evenwicht zal ontstaan. Dit kan bijvoorbeeld zijn bij 95%, maar mogelijk ook bij 97% of misschien bij 91% of 85% RV. Dit verschilt per dag en per weerssituatie.

Als het evenwichtspunt bij een zodanig hoge waarde van de RV komt te liggen, dat de gewasverdamping te laag, cq het risico van condensatie te groot wordt, dan moet de vochtafvoer een beetje geholpen worden om het evenwichtspunt omlaag te brengen. Dit zal tegelijk ook weer meer gewasverdamping veroorzaken en dus meer vocht en energieverlies. Dus is het zaak om de grenswaarde voor de RV zo hoog te houden als voor het gewas verantwoord is.

Vochtafvoer door diffusie en stroming

Bij de vochtafvoer spelen twee verschillende processen een rol, namelijk diffusie en stroming. Diffusie veroorzaakt een beweging van waterdamp moleculen in de lucht van plaatsen met een hogere concentratie naar plaatsen met een lagere concentratie. Concentratieverschillen worden hierbij niet uitgedrukt in %RV, maar in absolute vochtigheid bijvoorbeeld in gram/kg lucht, of in gram/m³ lucht.

Dit diffusie proces kan dus plaatsvinden in stilstaande lucht binnen de kas, of boven het scherm, maar ook juist door het energiescherm heen. Als er boven het scherm waterdamp condenseert tegen het kasdek wordt daardoor de waterdampconcentratie verlaagd, en zal er dus een diffusie stroom vanuit de kas door het scherm ontstaan. Hiervoor is nodig dat de kasdek temperatuur beneden het dauwpunt van de kaslucht blijft. Voor de volledigheid: door het glazen kasdek kan geen diffusie van vocht plaatsvinden.

Stroming veroorzaakt verplaatsing van vocht doordat de lucht in zijn geheel van het ene punt naar het andere beweegt, zoals door een vochtkier in het energiescherm en door de opening van een luchtraam.

Onderscheidende verschillen tussen diffusie en stroming:

- diffusie kan plaatsvinden door zeer kleine openingen in het schermdoek of het kasdek, stroming vereist grotere openingen.
- diffusie hoeft niet gepaard te gaan met warmtetransport, bij stroming gaan vochtafvoer en energieverlies hand in hand.
- het effect van diffusie is relatief traag en beperkt, door stroming kunnen grote hoeveelheden vocht snel verplaatst worden.

Warmteverlies door geleiding en stroming

Kijkend naar warmteverlies uit een kas kunnen we eveneens twee processen onderscheiden, namelijk geleiding en stroming.

Geleiding van warmte vindt plaats door een verschil in temperatuur over een scheidingvlak zoals het kasdek of een energiescherm, maar ook de bodem van de kas. Energie beweegt zich van een hogere temperatuur naar een lagere temperatuur en de hoeveelheid hangt af van de geleidingscoëfficiënt van het materiaal, ook wel de K-waarde genoemd, uitgedrukt in $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$. Waarbij de K staat voor het aantal graden Kelvin temperatuur verschil. Eén graad Kelvin komt overeen met een graad Celsius, met dien verstande dat 0 graden Kelvin overeenkomt met $-273.15^\circ\text{Celsius}$. Metaal heeft een hoge K-waarde, en isolatiemateriaal zoals glaswol heeft een lage waarde. Het dek van gemiddelde moderne kas heeft een K-waarde van ca $7 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ en door het sluiten van een energiedoek kan die tot ca de helft worden teruggebracht.

Warmte kan zich echter ook verplaatsen door stroming. Dit gebeurt in het bijzonder als warme kaslucht door een kier in het schermdoek naar boven stijgt, of door het luchtraam naar buiten gaat en hiervoor in de plaats koude lucht weer de kas inkomt.

Net als bij vochttransport kan gezegd worden dat warmteverlies door stroming veel sneller kan gaan dan door geleiding.

Doekeigenschappen

Uit het bovenstaande blijkt dat de meest energiezuinige situatie ontstaat als vocht uit de kas kan worden afgevoerd door diffusie en condensatie, en dat de warmteverliezen bepaald worden door geleiding en niet door stroming van lucht. Hierbij zijn dus de doekeigenschappen in hoge mate bepalend voor de mogelijkheden tot energiebesparing. Het ideale doek heeft een hoge warmte isolatie (lage K-waarde) maar een lage weerstand voor vocht zodat waterdamp gemakkelijk door diffusie kan passeren.

Om die reden worden ook steeds vaker combinaties van meerdere schermen toegepast met verschillende eigenschappen om in verschillende situaties het beste effect te verkrijgen.

Het kasklimaat in balans zonder stroming

Bij gesloten schermdoek en gesloten ramen, dus zonder stroming van lucht is de kas optimaal thermisch geïsoleerd. Dit is als volgt in te zien. Stel dat de kastemperatuur 20 graden is, en de buitentemperatuur is 8 graden en stel dat de K-waarde van het kasdek ongeveer even groot is als die van het gesloten scherm. Dan zal de temperatuur boven het schermdoek ongeveer gelijk worden aan het gemiddelde van beiden, dus ca 14 graden. Dat betekent dat het temperatuur verschil zowel over het kasdek als over het scherm ongeveer de helft van 20-8, dus 6 graden zal zijn. Met andere woorden ook het warmteverlies door geleiding zal halveren ten opzichte van de situatie zonder energiescherm of zonder kasdek.

We veronderstellen hierbij dus dat al het in de kas geproduceerde vocht door diffusie door het energiescherm naar boven trekt, en vervolgens tegen het kasdek condenseert. De hierbij vrijkomende warmte zal zorgen voor een verhoging van de kasdektemperatuur. En dat zal deels zorgen voor extra energieverlies naar buiten door geleiding, en deels voor opwarming van de ruimte boven het doek. Ter wille van de eenvoud wordt dit verwaarloosd, want dan zouden ook andere effecten als uitstraling naar de hemel en extra afkoeling door wind moeten worden meegenomen.

Wat wel in rekening moeten brengen is de warmte die nodig is om de gewasverdamping op gang te houden. En die is niet verwaarloosbaar, zoals ook bij de getallen voorbeelden (zie bijlage) blijkt.

Helaas zal het niet altijd lukken om de kas in balans te houden zonder enige vorm van stroming, met name als het verschil binnen/buiten kleiner wordt bij stijgende buitentemperatuur zal de vochtafvoer door condensatie te weinig zijn en moeten er maatregelen genomen worden. Hieronder wordt toegelicht hoe deze maatregelen op verschillende manieren kunnen worden toegepast.

De kas in balans met aanvullende maatregelen

Als er onvoldoende vochtafvoer is door diffusie en condensatie en dus de kas RV te hoog wordt, moet de afvoer gestimuleerd worden. Dit kan op meerdere manieren die deels in dit document al ter sprake zijn geweest, maar hier nog eens nader worden toegelicht:

1) Het verhogen van de kastemperatuur door het inzetten van een vaste minimum buis, of een minimum buis met vochtverhoging. Het eerst zichtbare effect is dat de RV daalt omdat warme lucht meer vocht kan bevatten. Dit effect is echter van korte duur omdat ook de verdamping extra wordt gestimuleerd en per saldo wordt het probleem dus groter, de vochtinhoud van de kas wordt als het ware opgepompt.

2) Het inzetten van een vochtlier in het doek. Hierdoor komt een luchtstroming op gang tussen de kas en de ruimte boven het doek. Er wordt warme vochtige lucht afgevoerd en koude, droge lucht komt binnen. In de praktijk is dit een uiterst moeilijk te beheersen proces vanwege het zogenaamde 'schoorsteen effect'. Een eerste kleine vochtlier heeft nauwelijks effect op de RV, dus wordt de vochtlier stapsgewijs vergroot. Dan opeens komt de luchtstroming op gang en wel zodanig sterk dat er plaatselijk grote temperatuur verschillen ontstaan, de zogenaamde 'kouval'. De RV daalt sterk en de vochtlier wordt weer verkleind of geheel gesloten. Dit proces herhaalt zich periodiek en de RV en de kastemperatuur krijgen een zaagtandvormig verloop. Door de kouval is er plaatselijk risico voor gewascondensatie met alle gevolgen van dien.

Boven het schermdoek gaat het ook niet goed. Immers als er veel kaslucht naar boven gaat warmt de ruimte boven het scherm op en daarmee ook het kasdek. Hierdoor wordt de condensatie op het kasdek minder en bovendien wordt het warmteverlies door geleiding groter.

Een vuistregel uit de praktijk is dat een vochtlier van 10% ervoor zorgt dat de temperatuur boven het scherm de zelfde waarde krijgt als de kastemperatuur, en dat daarmee de isolerende werking van het energiescherm in feite volledig teniet gedaan wordt.

3) Het inzetten van een raamstand. Omdat maatregelen 1 en 2 uiteindelijk niet helpen blijft als laatste redmiddel nog over om de ramen te openen. Hiermee zal er effectief vocht worden afgevoerd en de RV zal dalen. Dit gaat echter ten koste van energieverlies omdat warme kaslucht vervangen wordt door koude buitenlucht die door de (grote) vochtlier in het scherm direct doordringt in de kas (kouval).

Uit bovenstaande mag blijken dat het nemen van de genoemde maatregelen in deze volgorde en op deze manier in feite een rampzalig scenario vormt. Het microklimaat in de kas is verre van optimaal en het kost veel energie. Desondanks is het de gangbare werkwijze in de praktijk bij gebrek aan beter.

Om het probleem van temperatuur- en RV wisselingen op te lossen wordt in de praktijk niet zelden gewerkt met een vaste (hoge) minimum buis in combinatie met een vaste vochtlier in het doek en een vaste minimum raamstand. Hierbij is dus in feite altijd sprake van luchtstroming met hoge energiekosten tot gevolg.

De kas in balans met beperkte klimaatwisseling

Het kernprobleem van de gangbare praktijk aanpak is dat de aanvullende maatregelen niet goed beheersbaar zijn en leiden tot grote klimaatwisselingen. In een onderzoek van PPO (Houter et al., 2004) naar energiezuinige

vochtbeheersing is gebleken dat deze klimaatwisselingen beperkt kunnen worden door als volgt te werk te gaan als de RV in de kas te hoog wordt:

Stap 1) het inzetten van een vochtafhankelijke vochtkier in het scherm, maar heel voorzichtig en nooit meer dan 4%. Hierdoor worden problemen met kouval enz. grotendeels voorkomen.

Stap 2) het inzetten van een vochtafhankelijke minimum raamstand om vocht naar buiten af te voeren als er kennelijk te weinig condensatie op het kasdek plaatsvindt.

Stap 3) het inzetten van een vochtafhankelijke minimum buis verhoging.

Het bleek dat met deze werkwijze in een tomatenteelt tot 25% gas kan worden bespaard ten opzichte van de gangbare methode zonder nadelige gevolgen voor productie en kwaliteit. De kern van deze verbeterde aanpak zit in twee elementen, namelijk het beperken van de gewasverdamping door niet op voorhand extra te stoken, en het vermijden van klimaatschommelingen waardoor een hogere RV kan worden aangehouden zonder risico op condensatie. In het onderzoek werd hierbij gebruik gemaakt van de zogenaamde RV-vrucht, waarmee rekening wordt gehouden met het n-ijlen van de vruchttemperatuur op de kastemperatuur. Bij een opwarmende kas moet dan alerter worden gereageerd op hoge RV omdat de koudere vrucht als het ware een hogere RV ervaart, bij een afkoelende kas mag de kas RV hoger oplopen omdat de warmere vrucht dan als het ware een lagere RV ervaart.

Ondanks dit positieve resultaat heeft deze methode weinig opgang gevonden in de praktijk. De verklaring is wellicht dat deze methode weliswaar de negatieve effecten van grote klimaatwisselingen tegengaat, maar niet voorziet in een beter microklimaat rond de plant, en dat men daarom toch maar liever de 'verzekeringspremie' betaalt van een hogere gasrekening, dan risico's te nemen.

Door de gunstige eigenschappen van Aircobreeze, die een goed microklimaat garandeert is het echter mogelijk de geschetste aanpak van PPO breed toe te passen en zelfs verder te optimaliseren zoals hieronder wordt beschreven.

De optimale vochtregeling met Aircobreeze

Bekijken we nu de aanpak volgens het Aircokas concept in combinatie met Aircobreeze. Deze aanpak berust op het feit dat de Aircobreeze onder alle omstandigheden zorgt voor gelijkmatige luchtbeweging in de kas onafhankelijk van de buistemperatuur. Verder is de aanpak erop gericht om het trekken van een vochtkier in het scherm zo lang mogelijk uit te stellen, omdat het scherm in principe een betere warmte isolatie heeft dan het kasdek.

Stap 1) Doordat Aircobreeze zorgt voor een homogene temperatuur verdeling in de kas en een actief microklimaat rond de plant is het mogelijk om een hogere RV grenswaarde aan te houden zonder nadelige gevolgen voor productie en kwaliteit, maar ten gunste van de energiebesparing. Het eerder genoemde PPO onderzoek, waar grenswaarden van 91% RV werden aangehouden, ten opzichte van ca 85% in de praktijk, stelt dat een 6% hogere RV een besparing van ca 10 m³ gas/m² op jaarbasis kan opleveren. Dit is dus zeer de moeite waard.

Het gevolg is meerledig positief:

- Door de gelijkmatige luchtbeweging worden temperatuur verschillen vereffend en krijgen alle plantendelen dezelfde temperatuur. Dit voorkomt condensatie en andere vormen van vochtophoping op en rond de plant.
- Er ontstaat een gelijkmatige verdamping en daardoor krijgen alle plantendelen de benodigde nutriënten zoals calcium toegevoerd.
- Door de verdamping echter te beperken tot het noodzakelijke niveau krijgt de plant gelegenheid voldoende turgor op te bouwen zodat essentiële nutriënten ook doordringen tot de niet-verdampende plantendelen.
- De turgor opbouw bevordert bovendien de celstrekking in de vruchten, wat gunstig is voor de productie.
- Door de beperkte verdamping behoeft dus minder vocht afgevoerd te worden.
- Door groter verschil in vochtconcentratie onder/boven het doek zal de afvoer door diffusie beter verlopen.
- Toepassing van schermen met een hogere isolatiewaarde of eventueel een dubbel scherm wordt mogelijk.

Stap 2) Door de Aircobreeze bij stijgende RV boven de grenswaarde naar een hogere stand te schakelen is een zekere mate van regeling mogelijk. Meer luchtbeweging langs het doek zal een verbeterde uitwisseling van vocht door het gesloten doek bewerkstelligen.

De afvoer van vocht is in deze situatie volledig gebaseerd op diffusie door het doek, en door condensatie tegen het kasdek.

Stap 3) Als de RV echter te hoog wordt dient nu eerst de vochtafvoer naar buiten te worden gestimuleerd door de ramen op een kleine kier te houden. Hierdoor daalt de vochtconcentratie boven het schermdoek en dus zal de diffusie nog verder worden gestimuleerd. Weliswaar daalt hierdoor ook de temperatuur boven het schermdoek enigszins, wat het warmteverlies door het schermdoek verhoogt, maar het voordeel is dat het condensatie effect tegen het kasdek daardoor weer toeneemt. Dit betekent dat vaak met een minimale kierstand in de luchtramen de RV in de kas kan worden verlaagd zonder vochtkier in het scherm te trekken. Het klimaat blijft daardoor stabiel en de warmte isolerende eigenschappen van het scherm worden optimaal benut.

Stap 4) Als dit onvoldoende soulaas biedt moet er een kleine vochtkier worden ingezet in het scherm. Dankzij de aanzuigende werking van de Aircobreeze aan de bovenzijde zal reeds bij een zeer kleine kier luchtuitwisseling plaatsvinden. De koude lucht van boven het scherm wordt bovendien vermengd met warme kaslucht en verspreid. Hiermee maakt de Aircobreeze dus een einde aan de problemen van het schoorsteen effect en de kouval en wordt een goed beheersbare vochtregeling mogelijk door de kier in kleine stapjes op te regelen.

Toelichting: stap 3 en 4 zijn dus omgekeerd ten opzichte van de PPO methode en wel om de volgende redenen. Door eerst de vochtkier in het scherm te openen en pas daarna de ramen kan er een situatie ontstaan waarbij vocht ophoopt boven het scherm en het diffusieproces stagneert. Het inzetten en vergroten van de vochtkier bevordert dan slechts het warmteverlies door luchtstroming, maar heeft geen RV daling tot gevolg.

Doordat in de Aircokas methode eerst de vochtafvoer boven het scherm is verzorgd blijft het diffusie proces door het doek steeds actief en kan zolang mogelijk worden geprofiteerd van de warmte isolatie van het energiescherm.

Situatie met belichting aan

In de periode van het jaar dat de assimilatiebelichting wordt ingezet ontstaat een andere situatie. In de meeste gevallen zal bij gesloten doek de energie inbreng van de lampen zodanig hoog zijn dat er niet hoeft te worden bijgestookt. Zonder Aircobreeze moet dat echter vaak wel om te voorkomen dat de verticale temperatuur verschillen te hoog worden. Anders blijft de warmte van de lampen immers bovenin de kas hangen. Hierdoor ontstaat in feite weer de 'minimum buis situatie'.

In de Aircokas aanpak wordt nu echter de Aircobreeze aangezet en in principe op nominaal/maximaal vermogen om de luchtbeweging tot onderin de kas te verzekeren.

Als nu moet worden bijverwarmd, dan is dat alleen omdat de lampen te weinig warmte inbrengen om de kas op temperatuur te houden.

Het is te verwachten dat de gewasverdamping op een hoger niveau zal liggen dan zonder belichting, zelfs als de netto energie inbreng van de lampen minder is dan wat nodig is om de kas op temperatuur te houden. Dit komt doordat de lampen een behoorlijk percentage warmte afgeven in de vorm van directe straling. Ook hier werkt de Aircobreeze echter gunstig. Meestal zal de gewastemperatuur onder de lampen tot boven de kasluchttemperatuur stijgen. Door de extra luchtbeweging kan de plant dan meer warmte afgeven door convection waardoor minder extra verdampt hoeft te worden dan zonder Aircobreeze.

Voor het zelfde evenwicht in de kas zal er echter meer vocht moeten worden afgevoerd. Dat betekent dat de hierboven besproken instrumenten sneller en verder zullen worden ingezet. In principe hoeft dat niet te betekenen dat er andere regelinstellingen nodig zijn.

Regeltechnische aspecten van de Aircokas methode

Lopen we nu de bovenomschreven stappen van de Aircokas methode na vanuit een regeltechnisch oogpunt.

Allereerst iets over de RV regeling. De basis hiervoor is de RV kas, en wel ter hoogte van het gewas. Een verfijning hierop is mogelijk, bijvoorbeeld door zoals in het Wageningen UR Glastuinbouw onderzoek uit te gaan van een RV-vrucht, waarbij rekening gehouden wordt met de na-ijlende temperatuur van grotere vruchten zoals tomaten, komkommers en paprika's om zodoende risico van condensatie te verminderen zonder een onnodig lage RV kas aan te houden. Deze mogelijk is ook in de Hoogendoorn computer geïmplementeerd, namelijk in de vorm van een specifiek gewas condensatiemodel. Voor de eenvoud wordt dit niet verder uitgewerkt en wordt in het onderstaande gesproken over de kas RV.

Stap 1) Inschakelen Aircobreeze

Indien de Aircobreeze niet de hele dag wordt ingezet, dan moet er in elk geval worden ingeschakeld zodra het energiedoek of het verduisterings scherm sluit. De Aircobreeze installatie draait op een minimumstand om voldoende luchtbeweging te creëren zonder onnodig verbruik van elektriciteit. Normaal gesproken is dat 60-80% van de maximale stand afhankelijk van de installatie en de stand van het gewas. Eventueel kan de ventilator stand verhoogd worden op basis van een gemeten verticale temperatuur verschil. De Aircobreeze staat in principe voluit bij inschakelen van belichting om de lampen warmte goed te verdelen.

De ramen zijn gesloten evenals het scherm of eventueel meerdere schermen.

De verwarming wordt geregeld op basis van gewenste kastemperatuur, al dan niet in combinatie met groeilicht. Er is geen minimum buis of verhoging op RV.

Stap 2) Aircobreeze opregelen

Als de RV stijgt tot aan de grenswaarde of daarboven, dan de Aircobreeze opregelen op basis van RV kas.

Stap 3) Inzetten van een raamstand

Dit is dus een andere keuze dan in het PPO model, en behoeft enige toelichting. Als de evenwichtswaarde van de RV toch te hoog blijkt te worden dan kunnen regeltechnisch 2 maatregelen worden overwogen:

3a) Als het buiten niet koud genoeg is, dan is er onvoldoende condensatie tegen het kasdek. Dan moeten de ramen geopende worden om vocht af te voeren.

3b) Echter als de dichtheid van het schermdoek, dus een te lage diffusiesnelheid, de beperkende factor is, dan moet er een vochtlier in het doek getrokken worden. Echter het is ook mogelijk dat de diffusie versneld kan worden door het concentratie verschil te vergroten, dus toch de ramen te openen.

De wetenschappelijke benadering zou zijn om alle van belang zijnde factoren in een rekenmodel op te nemen, en dan mede aan de hand van metingen de optimale keuze te maken. Dit zou echter een behoorlijk complex probleem worden en het is maar de vraag of alle betreffende eigenschappen van schermdoek, kasdek, enz. voldoende nauwkeurig bepaald kunnen worden, en alle metingen betrouwbaar en nauwkeurig genoeg zijn om werkelijk de beste beslissing te nemen op basis van deze berekening.

Daarom kiezen we voor een praktische aanpak, namelijk om altijd te beginnen met het inzetten van een raamstand, maar dan wel op een verstandige manier.

Maatregel 3a kan namelijk in principe worden ingezet op verschil kastemperatuur / buitentemperatuur. Dit was in vroeger tijden al gebruikelijk en gebaseerd op een eenvoudig doch doeltreffend principe. Als er slechts weinig verschil is tussen buitentemperatuur en kastemperatuur is er weinig condensatie en moet het raam open. Tegelijk geeft een klein temperatuur verschil ook weinig energieverlies, dus is er geen risico voor onnodige kosten. De

minimum raamstand vochttraject wordt zodoende ingezet op bijvoorbeeld 5 of 10% en deze wordt verminderd naarmate het buiten kouder wordt t.o.v. de kas. Bijvoorbeeld blijft bij een verschil van 12 of 15 graden het raam gesloten omdat er dan voldoende condensatie is. De minimum raamstand kan eventueel versneld worden verlaagd op basis van windsnelheid en RV in de kas. Immers als de RV in de kas laag genoeg kan volledig van de kasdek isolatie gebruik gemaakt worden.

Stap 4) Inzetten kier

Doordat uitwisseling naar buiten of afvoer door condensatie verzekerd is door maatregel 3a, is een blijvend te hoge RV nu kennelijk het gevolg van te weinig diffusie door het scherm en volgt nu het inzetten van de vochtlier in het doek zelf. Vanwege de Aircobreeze zal dit een zeer kleine vochtlier kunnen zijn (te beginnen met 0,5 – 1,0 %) , waardoor geen onnodige uitwisseling door overregeling optreedt en geen kouval ontstaat.

Stap 5) Regeling op enthalpie verschil binnen/buiten

Dit aspect is eerder nog niet aan de orde geweest en behoeft enige toelichting.

In de voorgaande beschouwingen is steeds het uitgangspunt geweest dat er voldoende 'drijvende kracht' aanwezig is om uiteindelijk de gewenste uitwisseling van binnen naar buiten te realiseren.

Dit hoeft niet altijd zo te zijn.

In de praktijk kan het voorkomen dat de kastemperatuur slechts enkele graden (2 -3) hoger is dan de buitentemperatuur, dat het buiten ook vochtig is (RV 80-100%) en weinig wind. Ondanks een vochtlier en behoorlijke raamstand 'gebeurt er dan gewoon niets' en loopt de RV in de kas op tot hoger dan 95%.

In dit soort situaties is de enige oplossing dus om de kastemperatuur te verhogen zodat de drijvende kracht vergroot wordt. Dit effect wordt in de gangbare aanpak bereikt door de minimumbuis op RV (fors) te verhogen en de kas letterlijk 'droog te stoken'. Het nadeel van de hoge minimumbuis is zoals bekend een extra stimuleren van de gewasverdamping zodat dit een erg inefficiënte maatregel is.

De kunst van de alternatieve aanpak is dus om het vocht af te voeren zonder de gewasverdamping meer dan onvermijdelijk is te verhogen.

Dit kan door de gewenste kastemperatuur te verhogen op basis van verschil enthalpie kas/buiten. We zullen dit niet verder uitwerken maar volstaan met op te merken dat de speciale Aircomatic software in de Hoogendoorn procescomputer beschikt over de benodigde regelingen om dit te realiseren.

Stap 6) Buitenlucht inblazen

Een alternatief voor het vergroten van het enthalpieverschil door 'droogstoken' is het actief uitwisselen van kaslucht en buitenlucht met behulp van een ventilator. De buitenlucht kan aan de gevel of in het bed worden verwarmd tot kasluchttemperatuur. Daardoor stijgt de warmte-inhoud van deze lucht, terwijl gelijktijdig de RV daalt. De drijvende kracht voor de uitwisseling wordt in dit geval geleverd door de ventilator. Een voordeel van deze methode is dat niet meer luchtuitwisseling hoeft plaats te vinden dan strikt noodzakelijk en het absolute vochtgehalte lokaal (ter plaatse van de wonden) kan worden verlaagd en gecombineerd met luchtbeweging.