



Verticaal temperatuurprofiel roos

Energie besparen en lichtuitstoot verminderen bij de teelt van rozen

P.A. van Weel

Rapport GTB-1445

Referaat

Het verticale temperatuurprofiel krijgt bij rozen extra aandacht omdat door het gebruik van belichting zonder aanvullende maatregelen de temperatuur bovenin het gewas hoger wordt dan onderin. Dat is de reden dat er vaak tot in de zomer een buis van 40-50 °C onder het gewas wordt aangehouden. Daarnaast blijken er grote horizontale temperatuurverschillen in de kas te ontstaan als gevolg van luchtstromen. De ervaring leert dat het gebruik van schermen dit soort problemen vergroten. Dat maakt lichtafscherming niet populair, terwijl er juist strengere eisen komen op dit gebied. Uit dit onderzoek bleek dat het juist de kieren in het scherm zijn die deze problemen veroorzaken. Het volledig sluiten van een scherm in combinatie met verticale luchtbeweging door een ventilator verkleint zowel de verticale als de horizontale temperatuurverschillen. Om bij een dicht scherm toch voldoende warmte en vocht af te voeren blijkt de plaatsing van een ventilator in het scherm die koude en droge lucht van boven het scherm aanvoert goed te voldoen. Omdat de verticaal werkende ventilator lampwarmte omlaag stuwt kan de buis onder het gewas een lagere temperatuur krijgen waardoor niet alleen energie wordt bespaard, maar ook 30% minder warmte hoeft te worden afgevoerd door de ventilator in het scherm.

Abstract

The vertical temperature profile in a rose flower production operation is a problem when artificial light is used. Without additional measures the lamps increase the temperature in the upper layer of the canopy. That is why usually a heating pipe temperature between 40-50 °C under the canopy is maintained, even in summer. Also, horizontal temperature differences are caused by internal air circulation that have a relation with the vertical temperature differences. That circulation is the result of warm air rising and cold air dropping through pores or small openings in a screen. An increase in light intensity or in the size of a greenhouse compartment will make the temperature differences bigger. The best solution to these problems is to keep an airtight screen fully closed, mix the air in the greenhouse vertically with a fan and to introduce cold and dry air from above the screen with a second fan. The vertical fan will push the heat produced by the lamps down. This solution reduces vertical and horizontal temperature differences and makes it possible to lower the pipe temperature. The result is an effective reduction of light emission without negative climate effects and a 30% reduction of heat to be ventilated.

Rapportgegevens

Rapport GTB-1445

Projectnummer: 3742148312

DOI nummer: 10.18174/418333

Disclaimer

© 2017 Wageningen Plant Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk, Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk, T 0317 48 56 06, F 010 522 51 93, E glastuinbouw@wur.nl, www.wur.nl/plant-research. Wageningen Plant Research.

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

Adresgegevens

Wageningen University & Research, BU Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk

Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk

T +31 (0)317 48 56 06

F +31 (0)10 522 51 93

Inhoud

1	Inleiding	5
1.1	Achtergrond en probleemstelling	5
1.2	Doelstellingen	5
1.3	Onderzoeksvraag	6
2	Aanpak van het onderzoek	7
3	Resultaten van de metingen	11
3.1	Marjoland	11
3.1.1	Standaard situatie	11
3.1.1.1	Metingen	11
3.1.1.2	Rookproef	12
3.1.2	Proef VFloFan	13
3.1.2.1	Rookproef	13
3.1.2.2	Metingen	14
3.1.3	Proef VentilationJet	15
3.2	Van den Berg Roses	18
3.2.1	Proef Verti-Fan	18
3.2.1.1	Luchtsnelheids metingen Verti-Fan	18
3.2.1.2	Temperatuur metingen	18
3.2.1.3	Rookproeven	21
3.2.2	Prototype Airmix	28
3.2.3	Proef Airmix	30
3.2.3.1	Periode 28-31 januari	32
3.2.3.2	Periode 6-8 februari	33
3.2.3.3	Detail 6 februari	36
4	Conclusies en aanbevelingen	39
4.1	Conclusies	39
4.2	Aanbevelingen	39

1 Inleiding

1.1 Achtergrond en probleemstelling

Lampen of de zon brengen bij roos een groot deel van het jaar meer dan voldoende energie de kas binnen om de kas op temperatuur te houden. Maar door een probleem met de verticale verdeling van de warmte lukt het niet om het bladpakket op de juiste temperatuur te houden zonder extra buiswarmte. Omdat lampwarmte en buiswarmte samen vervolgens tot een te hoge ruimtetemperatuur op knophoogte leiden, moet er een kier in het scherm getrokken worden. Die zijn op hun beurt weer verantwoordelijk voor vervelende horizontale luchtstromen die grote temperatuurverschillen binnen het bladpakket veroorzaken die zorgen voor grote kwaliteitsproblemen en verlies aan productie. Verticale koude luchtstromen veroorzaken dus uiteindelijk horizontale luchtstromingen in de kas. Alleen is onvoldoende bekend hoe dat werkt omdat koude plekken zich meestal door de kas heen bewegen. Oplossingen om ze te verhelpen zoals extra verwarming of nokschotten helpen vaak niet. Het probleem van de horizontale luchtstromen kan mogelijk worden opgelost door het scherm volledig gesloten te houden en een zo goed mogelijk isolerend schermdoek te nemen. Koude luchtstromen boven het scherm en door het scherm heen hebben dan minder invloed. Een bijkomend voordeel is dat dan ook voldaan zal worden aan de regels ter voorkoming van lichtuitstoot. Maar uit rookproeven is gebleken dat dan stilstaande luchtlagen ontstaan, waardoor de vochtafvoer in het gewas in gevaar komt. Die stilstand ontstaat wanneer het zo warm wordt in de kas dat de buisverwarming uit moet. In die toestand gaat de lampwarmte zich verzamelen onder het scherm en gaat zich niet meer mengen met de koudere luchtlaag onderin het gewas. Bovendien beweegt de lucht tussen het gewas niet meer omdat daar geen energietoevoer meer plaats vindt. De gedachte bestaat nu dat dit probleem kan worden opgelost door middel van verticale luchtbeweging. Daarmee wordt niet alleen de lampwarmte meer het bladpakket in geduwd, maar zal ook de temperatuur van de knoppen dalen. Deze worden door straling opgewarmd en koelen minder goed af dan het bladpakket omdat ze nauwelijks verdampen. Door extra luchtbeweging koelen de knoppen af tot luchttemperatuur. Ondanks de potentiële voordelen van het volledig sluiten van het scherm in combinatie met luchtbeweging met ventilatoren is er toch een groot tegenargument. Door het sluiten van het scherm zal de temperatuur te veel oplopen, waardoor er te veel ogen uitlopen en de bloemknoppen te klein worden. Het oplopen van de kastemperatuur kan deels worden opgevangen door het verminderen van de buiswarmte. Aanvullend kan mogelijk nog koude lucht van boven het scherm naar beneden worden toegelaten om tot een nog lagere gewastemperatuur te komen. Deze lucht is immers relatief koud omdat het scherm volledig gesloten is. Daarbij is het wel van groot belang dat deze koude lucht zo goed en zo snel mogelijk gemengd wordt met warme kaslucht voordat deze bij het gewas komt. Het vermijden van schermkieren in combinatie met een verminderde inzet van buiswarmte zal wel leiden tot een lagere verdamping omdat er netto minder energie de kas in wordt gebracht. Bovendien wordt er minder vocht door het scherm afgevoerd omdat kieren ontbreken. Telers zijn bang dat dit leidt tot kwaliteitsverlies. Daarom zal aanvullende ontvochtiging nodig zijn. De buitenlucht die wordt toegevoerd om te koelen is droger dan de kaslucht en zal dus ook ingezet kunnen worden om te ontvochtigen. Alleen kunnen koeling en ontvochtiging dan niet apart bestuurd worden.

1.2 Doelstellingen

Het verminderen van de inzet van minimumbuis bij roos en toch een uniforme verticale temperatuurverdeling te bereiken.

Technische doelstellingen

Het zo klein mogelijk maken van verschillen in temperatuur binnen het gewas.

Lichtuitstoot binnen de wettelijke eisen houden.

Beheersing van temperatuur en RV binnen het gewas tot binnen de rozenteelt normale niveaus. Daartoe mag wel het middel van temperatuurintegratie worden ingezet.

Energiedoelstellingen

Het weglaten van een permanente minimumbuis levert ongeveer 20% besparing aan warmte input. Door de lagere Sparksread van de laatste tijd overwegen ondernemers minder inzet van WK en dat wordt hiermee mogelijk. Omdat lagere buistemperaturen nodig zijn kan een extra trap op de rookgaskoeler op de WK beter worden geplaatst die tot 9% besparing leidt.

Nevendoelstellingen

Verbetering van kwaliteit en productie doordat het klimaat binnen de kas veel egaler wordt en daarmee beter stuurbaar. Horizontale temperatuurverschillen leiden tot meeldauw en verlaagde productie, verticale temperatuurverschillen tot te kleine bloemknoppen.

1.3 Onderzoeksvraag

De vraag is welke gevolgen de combinatie van het volledig gesloten houden van het scherm, verlagen van de buistemperatuur, verticaal kaslucht circuleren en het gedoseerd toelaten van lucht van boven het scherm hebben op het klimaat in de kas. Daarbij is het ook van belang erachter te komen wat de horizontale temperatuurverschillen in de kas veroorzaakt. Als er een relatie bestaat met verticale temperatuurverschillen of verticale luchtstromen door schermkieren moeten deze worden vermeden en onderzocht of de verschillen dan kleiner worden.

2 Aanpak van het onderzoek



Figuur 1 Luchtslurven onder het gewas.

Op het belichtende (SON-T 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$) bedrijf van Marjoland in Zevenhuizen is een ontvochtigingssysteem aanwezig in de vorm van onder de goten hangende slurven die zijn aangesloten op een luchtbehandelingskast in de gevel. Daarmee kan $6 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{uur}$ buitenlucht naar binnen worden geblazen.

Uit een rookproef bleek dat deze lucht onderin het gewas blijft stromen. Als aanvulling daarop is een proef gedaan met een onder het verduisteringsdoek opgehangen verticaal blazende ventilator van het type VFloFan van Vostermans Ventilation waarmee meer verticale menging mogelijk was.



Figuur 2 VFloFan.

Later is deze ventilator aangevuld met een ventilator die koude droge lucht van boven het scherm kon aanvoeren. Deze combinatie van ventilatoren heeft de naam "VentilationJet" en is geleverd door de firma Hinova.



Figuur 3 VentilationJet: combinatie van VFloFan en doekventilator.

Door deze VentilationJet kon $3500 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{uur}$ droge koude lucht door het scherm worden aangevoerd en gemengd met de kaslucht. Het slurfsysteem draaide daarbij ook. Vervolgens is gedurende twee uur het lichtuitstoot doek volledig gesloten. In alle situaties is een rookproef gedaan en zijn temperaturen en RV gemeten op twee hoogten in het gewas en op drie posities in het pad tussen de bedden.



Figuur 4 Plattegrond proefafdelingen.

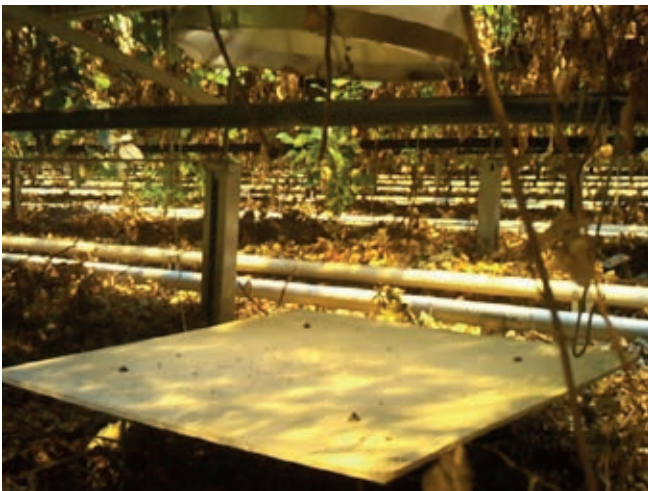
De firma Van der Ende Pompen heeft op het bedrijf van Van den Berg Roses in Delfgauw afdeling 11 (1 ha) uitgerust met verticaal blazende kasventilatoren die lucht vlak onder het scherm wegzogen en via een verticale plastic slurf onder de teeltgoten bliezen. Er wordt belicht met SON-T $190 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$.



Figuur 5 Verti-Fan slurf.

Dit systeem met de naam "Verti-Fan" stond alleen aan wanneer het scherm 100% gesloten was. Per 300 m² wordt dan 3500 m³/uur gecirculeerd. Daarbij moet wel worden opgemerkt dat er in elk vak een 20cm brede luchtdoorlatende strook in het doek genaaid is, dus feitelijk is er ook in gesloten toestand een kier aanwezig. Om lichtuitstoot te voorkomen zit boven deze luchtdoorlatende strook een lichtdichte strook doek op 10 cm afstand. Ook in deze situatie zijn rookproeven uitgevoerd en zijn metingen verricht aan temperatuur en RV. Daarbij is een vergelijking gemaakt met afdeling 12.

Op basis van de opgedane ervaringen heeft de firma Van der Ende Pompen een prototype gemaakt van de "Airmix". Dat is een combinatie van een kasventilator en een luchtklep waarmee een instelbare hoeveelheid kaslucht door het scherm gehaald kan worden en gemengd met de kaslucht.



Figuur 6 Verdeelplaat Verti-Fan.



Figuur 7 Prototype Airmix.

Een prototype van dit systeem is getest in een lege kas van 144 m² bij Wageningen UR in Bleiswijk. Deze test was bedoeld om de temperatuurverdeling onder het scherm te meten bij verschillende standen van de klep waarmee de hoeveelheid buitenlucht toevoer kan worden geregeld.

Op basis van die resultaten is het prototype aangepast en is op het bedrijf van Van den Berg Roses in Delfgauw een proefvak van 3780 m² voorzien van 15 Airmix ventilatoren. Hier wordt belicht met SON-T 220 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$.

Ook hier zijn temperatuur en RV-metingen verricht en een rookproef uitgevoerd.



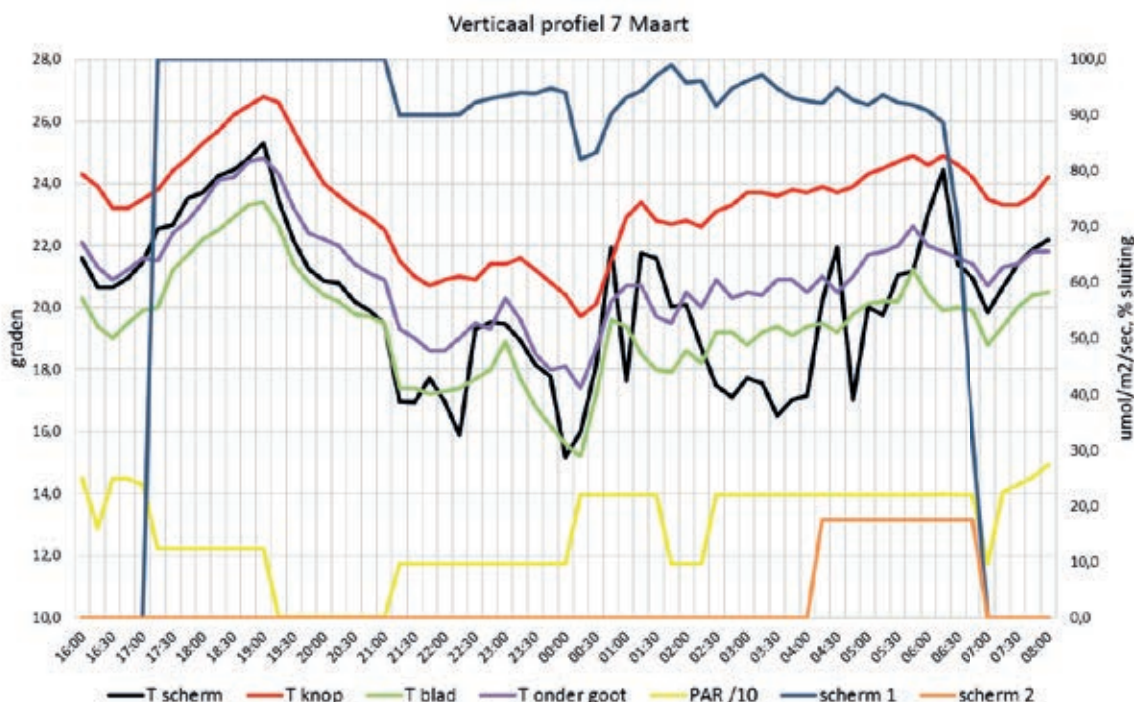
Figuur 8 Eindversie Airmix.

3 Resultaten van de metingen

3.1 Marjoland

3.1.1 Standaard situatie

3.1.1.1 Metingen

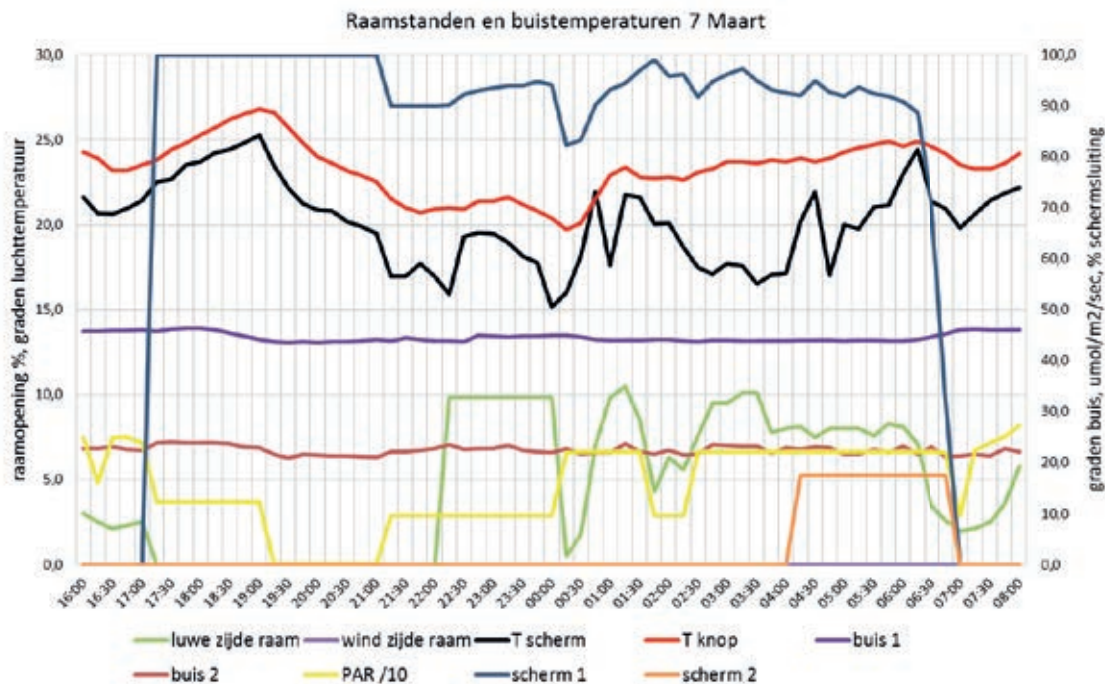


Figuur 9 Verticaal temperatuurprofiel in de nacht bij verschillende standen van de schermen en de belichting.

In de volgende grafiek zijn de temperaturen op 4 hoogten weergegeven die gemeten zijn gedurende de avond en nacht van 7 Maart bij verschillende standen van de schermdoeken en hoeveelheden kunstlicht. Scherm 1 is het verduisteringsdoek, scherm 2 een schaduw scherm dat zodanig is gemonteerd dat het de lichtuitstoot bij een kier in scherm 1 afdekt. Het PAR-lichtniveau is door 10 gedeeld om de grafiek makkelijker leesbaar te maken. Dus er zijn deze nacht 3 lichtniveaus: 0, 100 en 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$.

De temperatuur op knophoogte is steeds het hoogste, ook als er tussen 19.00 en 21.00 uur niet belicht wordt. Als het verduisteringsscherm (scherm 1) volledig gesloten is loopt deze temperatuur ongewenst hoog op. De temperatuur vlak onder het scherm ligt steeds lager dan deze temperatuur, zelfs als scherm 1 volledig gesloten is. Globaal kan worden gesteld dat de temperatuur onder het doek afhankelijk is van de schermkier. Hoe groter de kier, hoe lager de temperatuur. Opvallend is dat tussen 2.00 en 4.00 uur de temperatuur onder het scherm zelfs de laagste is in de kas, terwijl het belichtingsniveau dan op zijn hoogst is. Het aanzetten van meer lampen leidt blijkbaar niet tot meer warmteopbouw. Later is gebleken dat dit wordt veroorzaakt door een combinatie van verticale en horizontale luchtstromen in de kas die sterker worden naarmate er meer lampen aan staan. De temperatuur stijgt wel wanneer de kier in scherm 1 vanaf 4.30 uur wordt afgesloten met scherm 2.

Verder valt op dat binnen het bladpakket vaak de laagste temperatuur heerst in de kas, lager dan de temperatuur onder de teeltgoot of bij de knop. De temperatuur onder de teeltgoot wordt verhoogd door de buisverwarming. De luchtslurven blazen op kastemperatuur uit en leveren dus geen extra warmte. De raamstanden en de buistemperaturen zagen er deze nacht als volgt uit:



Figuur 10 Raamstanden, buistemperaturen en verticaal temperatuurprofiel bij verschillende standen van de schermen en de belichting.

De ramen zijn tot 22.00 uur volledig gesloten gebleven. Opvallend is dat het openen van de ramen om 22.00 uur leidt tot stijging van de temperaturen onder het scherm en bij de knop. En dat, terwijl het licht al vanaf 21.00 uur brandde. Maar ondanks dat zowel de raamstand als de buistemperaturen niet veranderen zakken even later die temperaturen toch weer. Dit duidt op het op gang komen van een rondgaande luchtstroom vanaf 22.30 uur. Als het lichtniveau naar maximaal gaat om 0.15 uur stijgen de temperaturen in de kas weer. Bij dat lichtniveau reageert de temperatuur blijft de temperatuur bij de knop relatief stabiel, maar wel te hoog. De temperatuur onder het scherm vertoont in die periode een heel onregelmatig verloop. Het samenspel tussen schermkier en raamopening leidt tot deze onvoorspelbare temperatuur, want de buistemperatuur is stabiel.

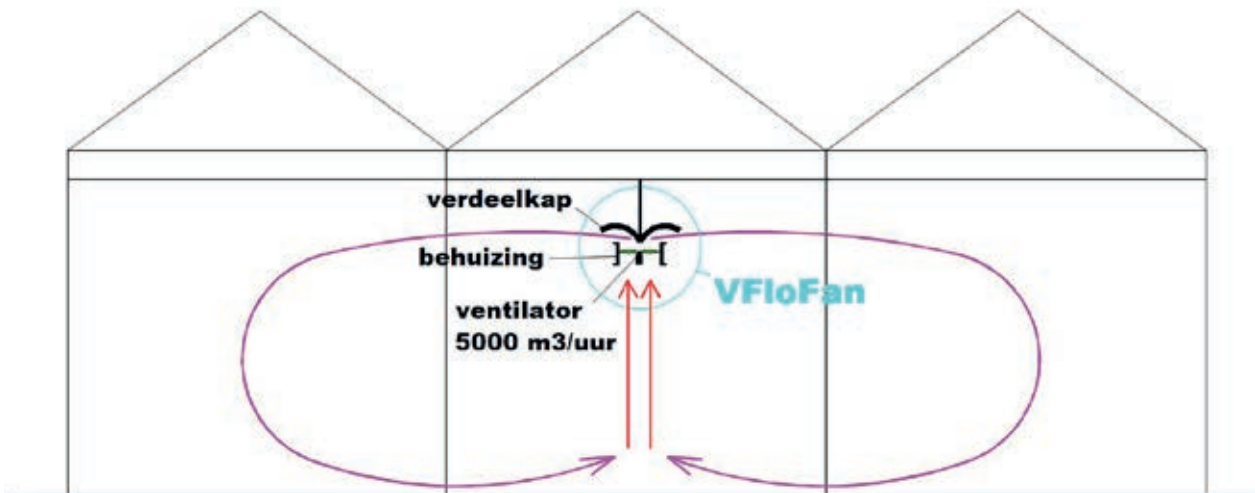
3.1.1.2 Rookproef

Op dezelfde avond van 7 Maart is om 18.45 uur een rookproef uitgevoerd, dus toen het verduisteringsdoek volledig gesloten was. De slurven onder de teeltgoten bliezen $4 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{uur}$ uit. Daaruit bleek dat de lucht verticaal nauwelijks stroomde. In het bladpakket was ook horizontaal nauwelijks luchtbeweging. Alleen rondom de lampen en over de bodem was luchtbeweging waarneembaar. Dat betekent dat er sprake was van een "dood" klimaat binnen het bladpakket en rondom de bloemknoppen waardoor vochttafvoer belemmerd wordt. Dat dode klimaat, gecombineerd met de sterk oplopende kastemperaturen noodzaakte om een kier te trekken in het scherm. Video: <https://www.youtube.com/watch?v=o4BtWPKgJJI&list=PLTpcgwL1UZSuR3SDvgclFfcengZy5h820&index=7>.

3.1.2 Proef VFloFan

Het dichthouden van het verduisteringsscherm zonder aanvullende maatregelen zorgt voor een te hoog oplopende kasttemperatuur en veroorzaakt stilstaande lucht. Daardoor bestaat gevaar op vochtophoping en stagnerende verdamping waardoor de bladtemperatuur nog verder op zal lopen. Luchtbeweging kan naar verwachting dit laatste probleem verhelpen, dus is er een proef gedaan met een ventilator die in verticale richting een rondgaande luchtstroom veroorzaakt. Als ventilator is gekozen voor een VFloFan van de firma Vostermans.

Deze levert een luchtstroom met het volgende beeld:



Figuur 11 Principeschema luchtstromen van een VFloFan.

Vervolgens is de proef uit 3.1 herhaald.

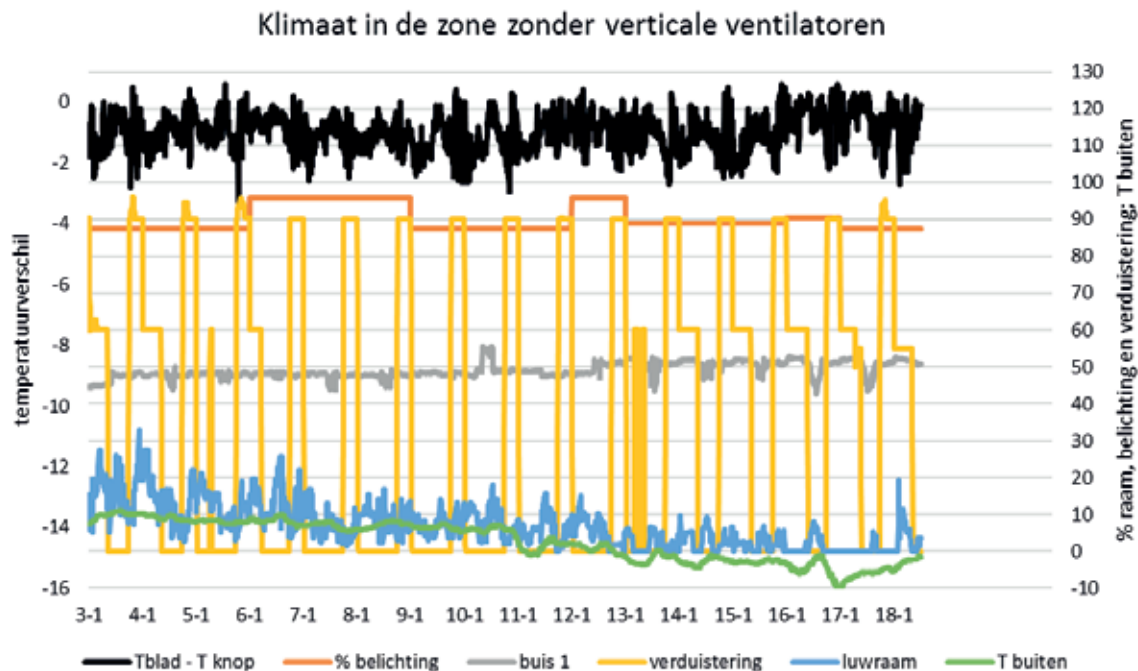
3.1.2.1 Rookproef

Om te controleren of de verticale luchtstroom in de kas ook daadwerkelijk tot stand was gebracht is vooraf een rookproef uitgevoerd. Daaruit bleek dat de rook nauwelijks omlaag kwam. De oorzaak was het feit dat de lampen die direct naast de ventilator hangen de uitstromende lucht opwarmen. Warme lucht wil opstijgen, dus ging deze langs het doek stromen. Dat kan worden opgelost door de uitblaasopening van de ventilator onder de lampen te brengen. Daardoor zou de ventilator in een lage kas te laag kunnen hangen om op gewashoogte een voldoende ruime werkcirkel te krijgen. Bij de VFloFan bestaat ook de mogelijkheid om de uitstroomhoek te veranderen door de ruimte tussen de verdeelkap voor de lucht en de schoepen van de ventilator te vergroten. In dit geval is gekozen om deze afstand van 5 cm naar 10 cm te vergroten met een positief effect:

<https://www.youtube.com/watch?v=MbJyiDPrtE0&index=5&list=PLTpcgwL1UZSuR3SDvgclFfcengZy5h820>

Vervolgens is met deze configuratie getest.

3.1.2.2 Metingen

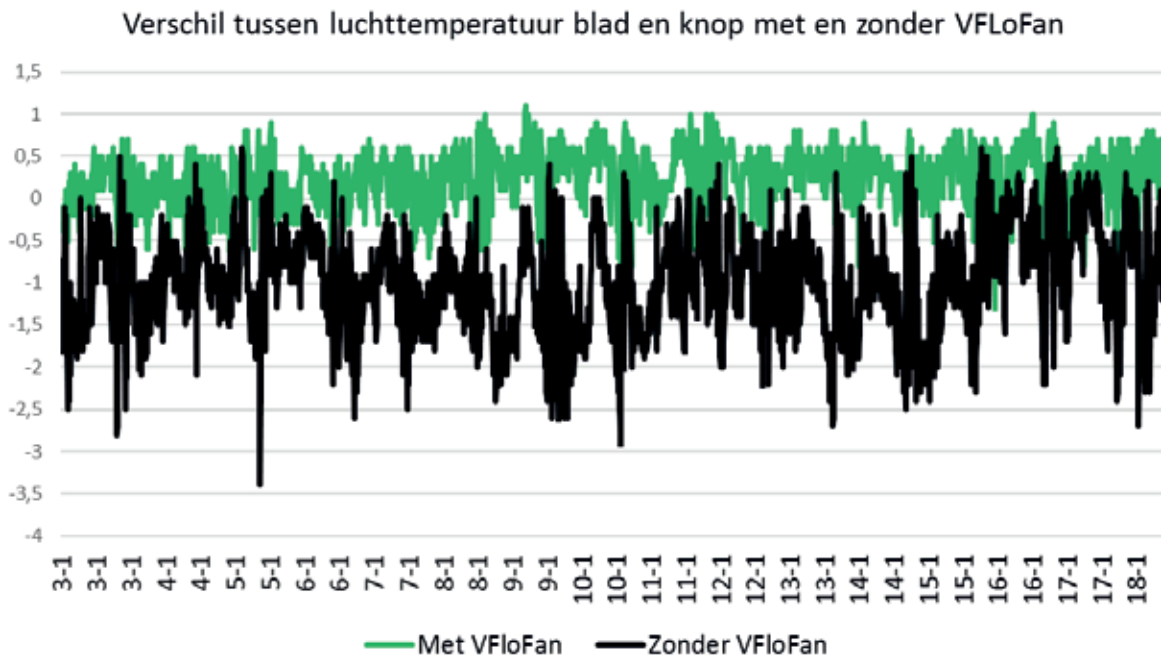


Figuur 12 Verticaal temperatuurprofiel bij verschillende standen van de verduistering en de ramen aan de luwe zijde zonder ventilator.

In de periode tussen 3-18 januari is gemeten hoe de temperaturen tussen het bladpakket en op knophoogte verliepen op een plek zonder verticale ventilator en een plek met een VFloFan. In deze periode werd er volop belicht en geschermd. Uitgezet tegen het verschil in temperatuur bij de knop en tussen het bladpakket op een plek waar geen verticale ventilators draaiden zagen de teeltomstandigheden er als volgt uit:

Vrijwel continu is het tussen het bladpakket kouder dan bij de knoppen. Zodra het scherm sluit neemt het verschil nog verder toe tot ongeveer 2 °C. Het buisrailnet onder het gewas heeft een vrij constante temperatuur van 45 °C. Alleen als de buitentemperatuur daalt neemt deze buistemperatuur toe naar 52 °C. De raamopening aan luwe zijde lijkt weinig invloed te hebben op het verschil tussen blad en knop temperatuur. Zonder verticale ventilator is het tussen het bladpakket dus bij een gesloten doek duidelijk kouder dan op knophoogte. Een verklaring daarvoor is dat de straling van de lampen weliswaar energie overdraagt aan het bladpakket, maar die energie wordt grotendeels omgezet in verdamping. Overdag geldt dat ook, maar dan zorgt luchtbeweging ervoor dat het bladpakket weer opwarmt en de knoppen die nauwelijks verdampen juist afkoelen. Als het scherm sluit neemt die verticale luchtbeweging af. Warme lucht stijgt dan op en blijft onder het scherm hangen, terwijl onderin juist een laag koude lucht ontstaat. Dat haalt de drijvende kracht voor verticale beweging weg.

In deze periode heeft ook de VFloFan continu gedraaid. Dat leverde het volgende resultaat op voor het verschil in temperatuur tussen bladpakket en knop in vergelijking met de rest van de kas waar geen ventilatoren draaiden. Voor de VFloFan werd gemeten op 5m afstand van de ventilator.



Figuur 13 Temperatuurverschil tussen de lucht bij het blad en bij de knop bij wel of niet gebruik van de VFloFan.

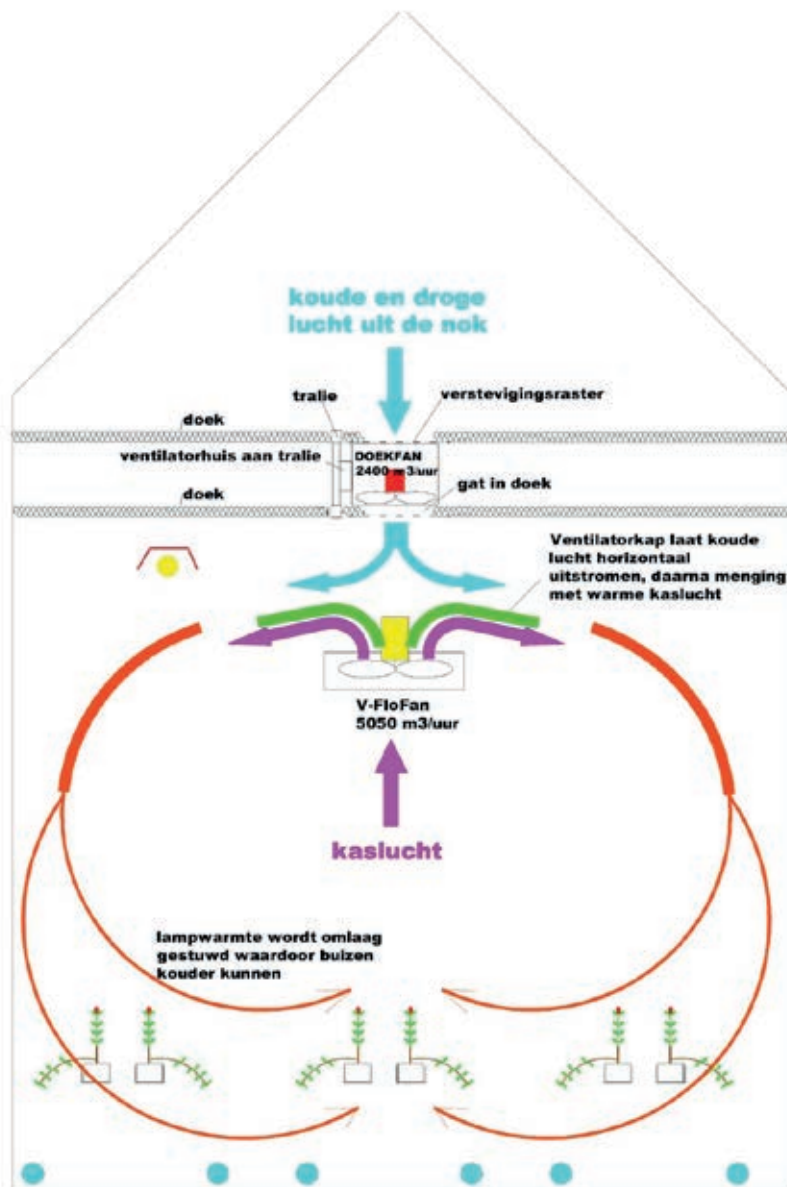
De VFloFan heeft tot resultaat dat het verschil in temperatuur tussen blad en knop vrijwel verdwijnt. De warmte van de lampen wordt dus dieper het gewas in gestuwd. Omdat het hier maar een enkele ventilator betrof kon het effect op de buistemperatuur niet worden bestudeerd.

3.1.3 Proef VentilationJet



Figuur 14 Ventilator tussen de doeken met slurf van zwart doek.

In het najaar is gewerkt aan de ontwikkeling van een ventilator die tussen de twee schermen geplaatst kon worden om koude droge lucht door het gesloten scherm te kunnen aanvoeren. Gekozen is voor een oplossing waarbij een ventilator in een kokervormige behuizing tussen de twee schermen is geplaatst, opgehangen aan de tralie. Om de lucht door de schermen te krijgen is een rond gat aangebracht dat aan de randen is versterkt met band. In de gaten zelf is gaas aangebracht om uitscheuren van de rand te voorkomen. Het bovenste doek rustte op de bovenkant van de ventilatorbehuizing. Voor een luchtdichte aansluiting op het onderste doek is een slurf van zwart doek onderaan de behuizing bevestigd.

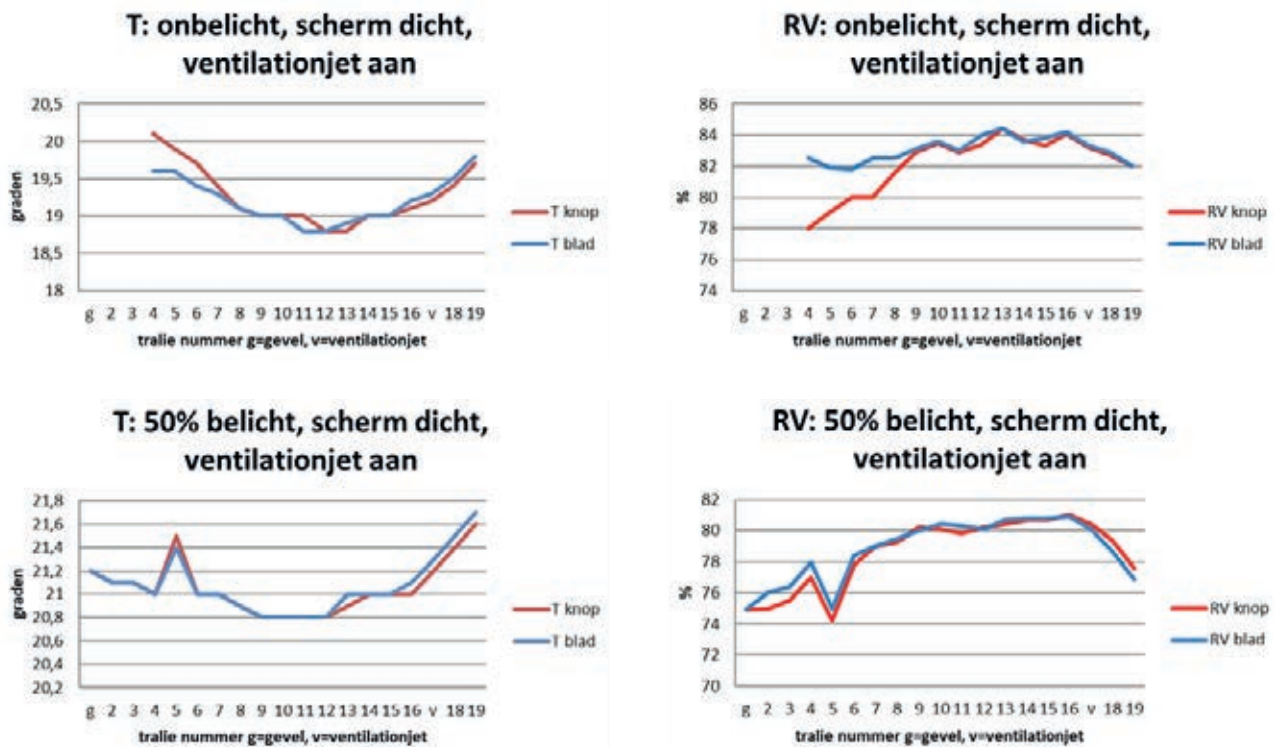


Combi V-FloFan en Doekfan bij roos

Figuur 15 Werkingsprincipe VentilationJet.

Op 3-12-2013 is tussen 20.00-21.45 uur het verduisteringsscherm volledig gesloten. Tussen 20.00-21.00 uur brandde het licht niet. Tussen 21.00-21.45 uur was 50% van de belichting aan ($100 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$, $50 \text{ W}/\text{m}^2$). Gedurende de hele periode heeft de VentilationJet bij tralie 17 aan gestaan. Gemeten is de temperatuur en RV op twee hoogten in het gewas over de lengte van een pad om de invloed van de VentilationJet op gewashoogte te beoordelen. Buitentemperatuur was 5 graden, RV 86%. De windsnelheid was 0-1 m/sec, dus erg laag.

Daaruit kwamen de volgende meetresultaten:



Figuur 16 Temperatuur en RV bij elke tralie van gevel (g) tot middenpad (19) zonder en met belichting.

Wat opvalt:

De temperatuur en de RV is over de hele lengte van het pad egaal. Ook de verticale verschillen zijn minimaal. Wel loopt de kastemperatuur wat hoger op bij belichting. De VentilationJet heeft daar lokaal geen invloed op gehad. Waarom de verschillen zowel horizontaal als verticaal zo klein waren is onduidelijk, maar vermoedelijk te wijten aan de lage buitentemperatuur, gebrek aan wind en het lage lichtniveau.

3.2 Van den Berg Roses

3.2.1 Proef Verti-Fan

3.2.1.1 Luchtsnelheids metingen Verti-Fan

Er zijn twee typen Verti-Fan ventilatoren toegepast. Daarvan is het luchtdebiet bepaald door meting van de luchtsnelheid in de plastic slurf aan de rand en in het midden en deze waarden te vermenigvuldigen met het betrokken slurfoppervlak en te middelen:

Tabel 1

Luchtsnelheden op verschillende plekken en debieten in de slurf onder 2 typen Verti-Fan.

Verti-Fan type I	Midden slurf	2,50 m/sec
	Rand slurf	9,00 m/sec
	Gemiddeld	7,38 m/sec
	Debiet	3011 m ³ /uur
Verti-Fan type II	Midden slurf	2,50 m/sec
	Rand slurf	7,00 m/sec
	Gemiddeld	5,88 m/sec
	Debiet	2399 m ³ /uur

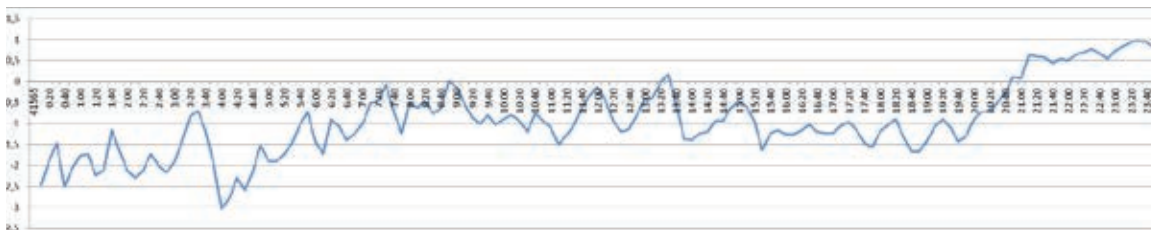
Het valt niet mee om op deze wijze het debiet exact te meten omdat sprake is van een turbulente stroming. Maar globaal is het debiet $3011/280 = 10,7 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{uur}$ voor de ene ventilator en $8,6 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{uur}$ voor de andere.

3.2.1.2 Temperatuur metingen

Horizontale temperatuurverschillen tussen afdeling 11 en 12

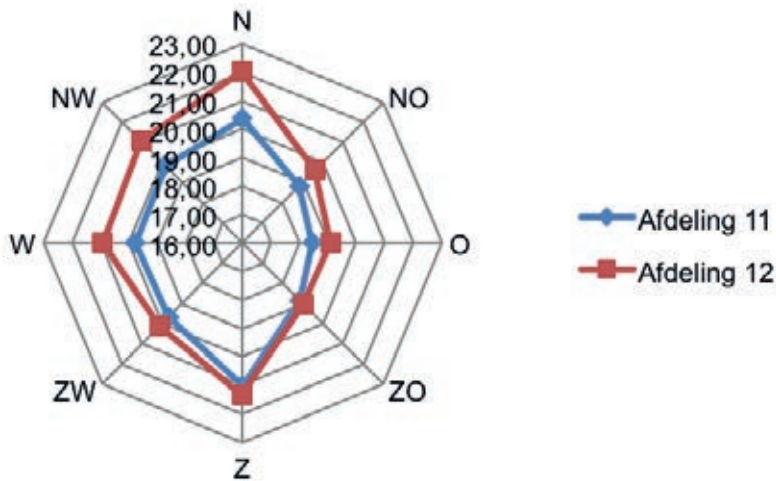
In de volgende Figuur is het temperatuurverschil tussen afdeling 11 en 12 weergegeven op vrijdag 18 oktober.

In afdeling 11 zijn de Verti-Fans geïnstalleerd, in afdeling 12 niet. Hieruit blijkt dat de temperatuur in afdeling 12 meestal hoger is dan in afdeling 11, maar dat dit niet altijd het geval is.



Figuur 17 Temperatuurverschil tussen afdeling 11 en 12 op vrijdag 18 oktober.

In de volgende Figuur is de gemiddelde temperatuur van alle sensoren in afdeling 11 en 12 weergegeven als functie van de windrichting. Hieruit blijkt dat afdeling 12 vooral bij noordoost tot westenwind tot 1,5°C warmer is dan afdeling 11. Bij zuidoostenwind tot zuidwestenwind was dit verschil veel kleiner. Dit komt overeen met de algemene ervaring dat de (warme) luchtstroming in de kas tegen de windrichting in gaat.



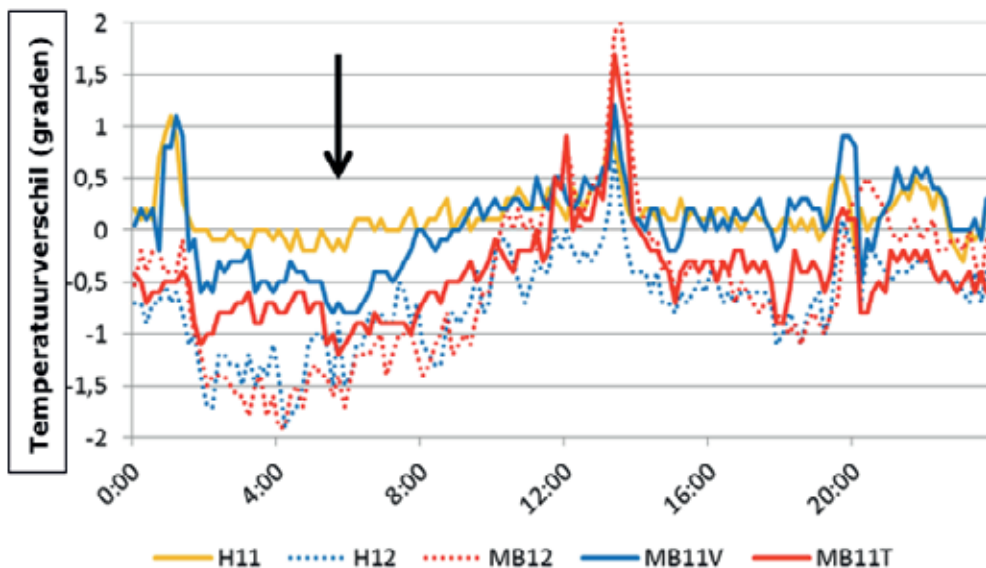
Figuur 18 Temperatuur in afdelingen 11 en 12 afhankelijk van de windrichting.

Verticale temperatuurverdeling

In de volgende 2 Figuren is voor 19 en 21 oktober het temperatuurverschil aangegeven tussen de plaatsen onder het doek en onder de goot. Hierbij is op vijf locaties gemeten:

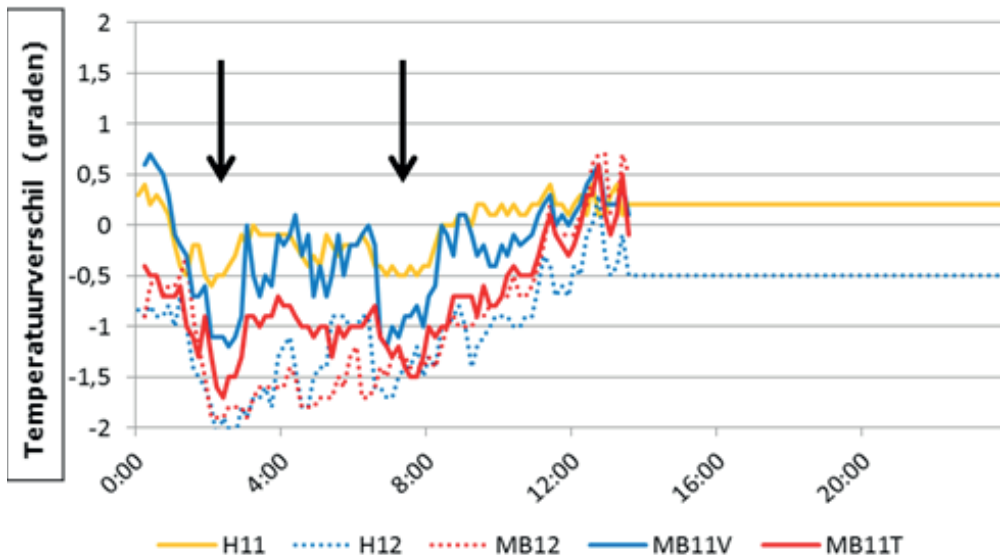
- Meetbox onder doek afdeling 11 (H11) dicht bij de Verti-Fan.
- Meetbox onder doek afdeling 12 (H12).
- Meetbox onder goot afdeling 11 bij Verti-Fan (MB11V).
- Meetbox onder goot afdeling 11 tussen Verti-Fans (MB11T).
- Meetbox onder goot afdeling 12 (MB12).

In de Figuur van 19 oktober is te zien dat in afdeling 12 de temperatuur onder het doek (blauwe stippellijn) meestal lager ligt dan onder de goot (rode stippellijn). In afdeling 11 is dat in de nacht precies andersom. De Verti-Fans hebben alleen in de nacht aan gestaan. Opvallend is dat de temperatuur onder het doek (gele lijn) juist hoger is dan de temperatuur onder de goot (blauwe lijn).



Figuur 19 Temperatuurverschil op zaterdag 19 oktober tussen de meetbox onder het doek en onder de goot op 5 punten.

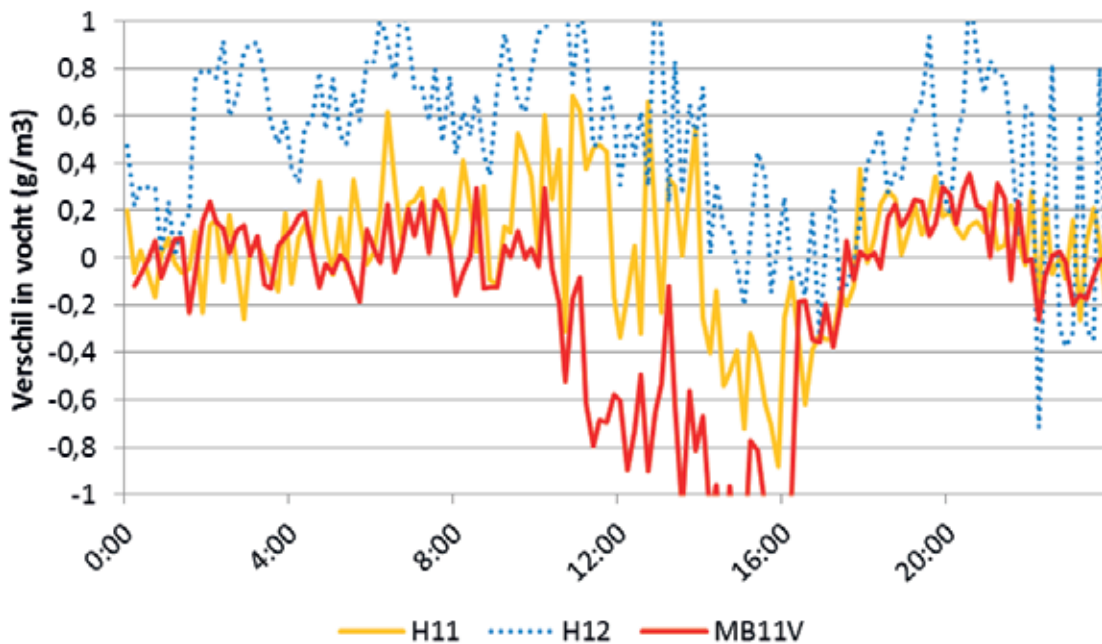
Op 21 oktober is te zien dat vooral in afdeling 12 de temperatuur onder de goot vrijwel altijd, maar vooral 's nachts hoger is dan onder het doek. De theorie dat warme lucht van onder het scherm naar onder de goot zou worden geblazen gaat dus niet op, want de ingeblazen lucht zal kouder zijn dan de lucht die onder de goot aanwezig is.



Figuur 20 Temperatuurverschil op 21 oktober tot 13:00 uur tussen de meetbox onder het doek en onder de goot op 5 punten.

Verticale vochtverdeling

In de volgende Figuur is het vochtverschil tussen onder en boven te zien op donderdag 17 oktober. Duidelijk is te zien dat onder de goot van afdeling 12 relatief meer vocht zit dan in afdeling 11. De meetbox bij de Verti-Fan geeft dat overdag nog extra duidelijk aan.



Figuur 21 Verschil in absoluut vochtgehalte tussen onder de goot en onder het scherm bij drie meetpunten.

3.2.1.3 Rookproeven

De horizontale temperatuurverschillen tussen afdeling 11 en 12 zijn niet constant en worden ook niet verholpen door de Verti-Fans. Op dit bedrijf zijn ook andere maatregelen genomen om de verschillen weg te werken zoals het aanbrengen van verticale schotten boven de schermen en het lokaal isoleren van de verwarmingsleidingen. Omdat dit niet heeft geleid tot eenduidige resultaten wordt vermoed dat horizontale luchtstromen met een wisselende richting verantwoordelijk zijn voor de verschillen. Om daar achter te komen zijn een aantal rookproeven uitgevoerd waarmee die luchtstromen zichtbaar gemaakt kunnen worden. Bij elke proef werd een specifieke hypothese getoetst.

3.2.1.3.1 Rookproef 1

De hypothese was hier dat de horizontale luchtverplaatsing over de kasbodem aan de onderzijde van de Verti-Fan werd belemmerd door de grote hoeveelheid dood blad op de grond.

Daarom is in een gebied rondom een Verti-Fan al het blad op de grond verwijderd. Daarna is rook ingeblazen aan de bovenzijde van de Verti-Fan.

Buitenomstandigheden:

- Buitentemperatuur 14°C.
- Windsnelheid 4 m/s.
- Windrichting: OZO.

Vervolgens zijn deze metingen verricht:

1. Rookproef tijdens schermkier
2. Rookproef tijdens gesloten scherm
3. Rookproef bij schoongeveegde vloer
4. Temperatuurmetingen gewas

Rookproeven

Uit de rookproeven is gebleken dat de Verti-Fans voldoende reikwijdte hebben om de rook ook naar midden tussen de Verti-Fans te krijgen. **Het is dus niet nodig om de bodem vrij te maken van gewasafval.**

Wel was er een luchtstroming aanwezig, van afdeling 9 naar 11, ook toen het scherm in de afdeling met Verti-Fans gesloten was. Het scherm in het tegenoverliggende afdeling 12 had toen wel een kier.

Temperatuurmetingen gewas

De gewastemperatuur in de afdeling met Verti-Fans is met een thermocamera gemeten bij de Verti-Fans en tussen de Verti-Fans. Ook is in de tegenover liggende afdeling 12 het gewas gemeten, 2 vakmaten van het middenpad vandaan. Opvallend was dat het tegenoverliggende vak zonder Verti-Fans ongeveer 1°C warmer was dan het vak met Verti-Fans. Mogelijk blazen de Verti-Fans meer koude lucht van boven het scherm naar beneden in het gewas. Het temperatuurverschil bij de Verti-Fans en tussen de Verti-Fans was gering.

Gezien de lage buistemperatuur (30 °C) was de meeste warmte afkomstig van de lampen.

3.2.1.3.2 Rookproef 2

Op het moment van deze serie rookproeven (16 januari 19.00-21.00 uur) waren er temperatuurverschillen aanwezig in de kas. Het onderste scherm was geheel gesloten (maar wel per vak voorzien van een open gaasstrook van 20 cm breed) en het bovenste scherm met een kier van 30cm. Alle lampen brandden. De metingen in afdeling 11 waren als volgt:

Tabel 2

Temperatuur, RV en AV op verschillende posities in een pad in de afdeling aan de windzijde.

	T (°C)	RV (%)	AV (g/m ³)
Middenpad	19.6	72.8	12.3
Bij Verti-Fan 1	20	76	13.2
Tussen Verti-Fans 1&2	20.1	77.2	13.5
Bij Verti-Fan 2	20.5	78	13.9
Tussen Verti-Fans 2&3	21.1	80	14.8
Bij Verti-Fan 3	22.1	80.4	15.7
Bij gevel	22.4	80.3	16.0

In afdeling 12 heerste het volgende beeld:

Tabel 3

Temperatuur, RV en AV op verschillende posities in een pad in de afdeling aan de luwe zijde.

	T (°C)
Bij middenpad	19.2
Poot 2	19
Poot 4	19.4
Poot 6 Meetbox BR	20
Poot 8	19.9
Poot 10	19.7
Poot 12	19.5
Gevel	18.7

Er bestaan dus zeker in afdeling 11 grote temperatuurverschillen van 3 graden op het moment van de rookproef. Ook neemt de vochtinhoud van de lucht richting gevel toe. De vraag is hoe die veroorzaakt worden. Daarvoor is een tweetal hypothesen gemaakt en getoetst met behulp van de rookproeven.

Hypothese 1: lucht stroomt boven het schermdoek als gevolg van windinvloeden en/of afschot en komt lokaal als koude lucht omlaag.

Om dit te toetsen is in afdeling 11 rook boven het middenpad boven de schermen geblazen richting verticaal schot boven de schermen, dus in de richting van de zuidgevel.

Resultaat: er kwam vooral veel rook omlaag op het punt waar de rook werd ingeblazen, verderop kwam er enige rook uit de kieren, maar steeds minder naarmate verder verwijderd van het inblaaspunt.

Het lijkt erop dat er een stroming is van schot naar middenpad. Om dit verder te toetsen is ook bij het schot bij de 4^e tralie rook boven de schermen geblazen.

Resultaat: er kwam weer vooral rook omlaag door de kier boven het middenpad.

Beide waarnemingen wijzen erop dat in afdeling 11 boven het gesloten scherm de lucht in de richting van het middenpad stroomt en bij het schot door de schermkier omlaag de kas in komt.

Dat blijkt verder uit de volgende temperatuurmetingen. Daarbij is de temperatuur gemeten van de lucht die uit de schermkier omlaag kwam.

Tabel 4

Temperaturen van de lucht bij schermkieren en op knophoogte bij verschillende tralies dichtbij het middenpad in afdeling 11.

	Middenpad	Tralie 1	Tralie 2	Tralie 3	Tralie 4 (schot)
Kier	16,9				21,9
Knophoogte	19,6				20,0

Aan de andere kant van het middenpad (afdeling 12) is deze proef ook gedaan. Er is rook geblazen boven het scherm bij de vierde tralie, waar ook een tussenschot aanwezig is. Ook hier kwam de rook voornamelijk ter plaatse uit de schermkier weer naar beneden. Wat erop wijst dat de stromingsrichting van de lucht boven het scherm eveneens in noordelijke richting was. Typisch was dat de instromende lucht daalde tot op het gewas, maar vervolgens door een trage stroming in de richting van het middenpad werd opgenomen waardoor de rook in een laag van ca 2 meter dik onder het scherm door de kas werd verplaatst.

Tevens zijn temperatuurmetingen gedaan.

Volgens de temperatuurmeting kwam er koude lucht omlaag in de omgeving van het middenpad, maar had dit geen zichtbaar effect op gewashoogte.

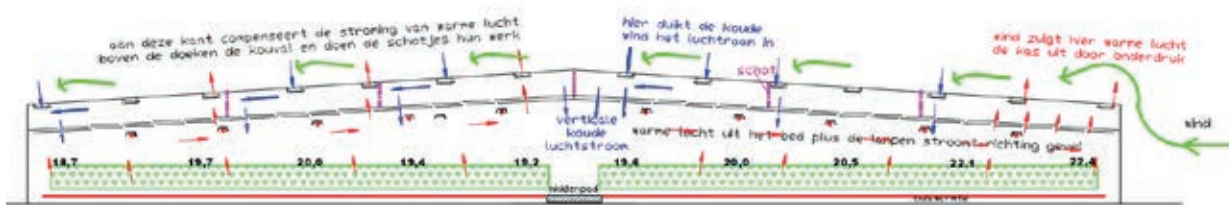
Tabel 5

Temperaturen van de lucht bij de schermkieren en op knophoogte bij verschillende tralies dichtbij het middenpad in afdeling 12.

	Middenpad	Tralie 1	Tralie 2	Tralie 3	Tralie 4 (schot)
Onder schermkier	17,3	18,6	17,5	19,5	19,0
Knophoogte	19,2		19,0		19,4

Ook over de hele lengte van het bed gezien waren de verschillen op gewashoogte veel minder groot dan in afdeling 11.

Waarschijnlijk komt dat doordat hier de warmte meer door de kieren van het scherm omhoog gaat en daarmee de koude wind compenseert. De reden daarvoor is waarschijnlijk dat het afschot van de kas hier tegenovergesteld ligt aan Afdeling 11 ten opzichte van de heersende windrichting. In deze afdeling stroomde daarnaast de warme lucht veel minder over het gewas richting middenpad. Dankzij de schotjes krijg je niet het effect dat de warme lucht boven het scherm helemaal naar de kopgevel kan stromen en daar veel kouder omlaag komt. Het complete stromingsbeeld is weergegeven in de volgende tekening:

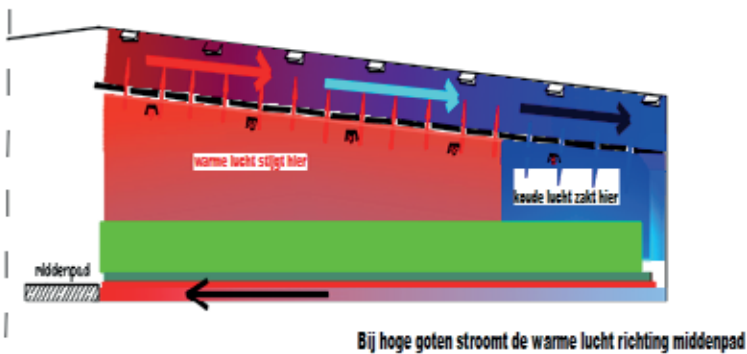


Figuur 22 Overzicht temperatuurmetingen afdelingen 11 (rechts) en 12 (links).

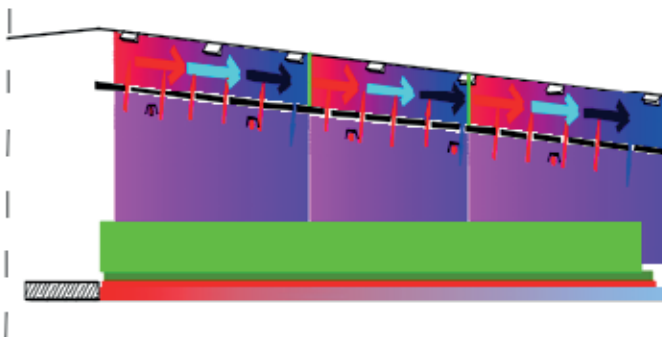
Conclusie hypothese 1: de hypothese dat er boven het scherm sprake is van een behoorlijke luchtstroming, en dat hierdoor koude lucht door de schermkier naar beneden komt is dus juist.

Behalve de wind hebben ook horizontale luchtstromen boven en onder het scherm die een gevolg zijn van het afschot van het kasdek en het scherm invloed op horizontale en verticale temperatuurverschillen in de kas. Onder het scherm is de stroming in de richting van het middenpad omdat de warmte van lampen en verwarming de lucht lichter maakt en naar het hoogste punt in de kas laat stromen. Als er kieren in het scherm zijn of het scherm luchtdoorlatend is komt deze warme lucht boven het scherm. Daar koelt deze lucht sterk af en daardoor neemt het gewicht van ie lucht weer toe. Als gevolg daarvan stroomt deze lucht naar het laagste punt van het kasdek, dus richting gevel. Daar komt deze koude lucht door de schermkieren of het poreuze scherm omlaag. (Figuur 23.1).

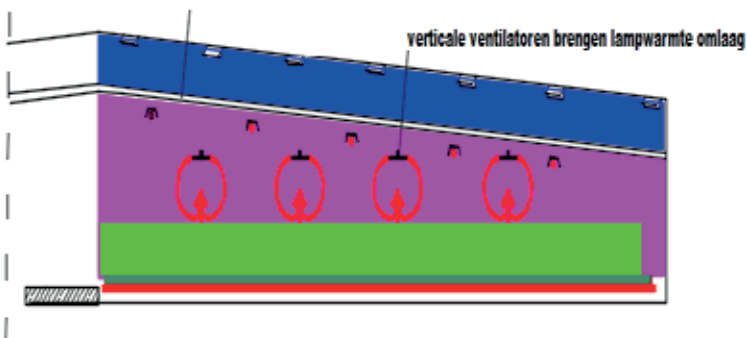
1 Lucht stroomt naar laagste punt, koelt af en zakt door kieren



2 Door schotten wordt de luchtstroom in 3 korte trajecten verdeeld en worden de temperatuurverschillen verkleind



3 Schermen volledig sluiten lost horizontaal temp probleem op



Figuur 23 Effecten van schermkieren op de temperatuurverdeling in de kas (rood= warm, blauw = koud).
1 = standaard situatie, 2 = na aanbrengen verticale schotten, 3 = bij volledig gesloten doek.

Dit beeld is onder andere bij Marjoland duidelijk waargenomen bij windstil weer, waardoor horizontaal temperatuurverschillen tot 6 °C ontstaan. Door het aanbrengen van schotten boven het scherm kan de grootte van het temperatuurverschil worden beperkt omdat de weg die de warme lucht boven het scherm aflegt in drie trajecten wordt gedeeld (Figuur 23.2). Daarmee worden de horizontale temperatuurverschillen beperkt tot in dit geval drie keer 2 °C. Nog beter is het om de schermen volledig te sluiten en met verticale ventilatoren de lucht goed te mengen. De temperaturen boven en onder het scherm worden dan het meest uniform (Figuur 23.3).

De hierboven beschreven complexe interactie tussen het afschot effect en het windeffect, die elkaar soms versterken, maar soms ook juist compenseren lijkt een aannemelijke verklaring voor het feit dat koude en warme plekken schijnbaar willekeurig door de kas "wandelen".

Hypothese 2: dwars op de bedden is er een autonome luchtstroom die veroorzaakt wordt door lokale afkoeling van een gevel waar de wind op staat.

Om dit te toetsen is rook geblazen boven en onder een bed in afdeling 9 en in afdeling 11 (Verti-Fans aan).

Resultaat: de rook bleef in afdeling 9 hangen, werd omhooggestuwd en bij sommige kieren in het scherm weer omlaag gestuwd. Van een dwarse beweging was weinig te zien, zowel onder als boven het bed.

In afdeling 11 stroomde de rook ook vooral omhoog, maar werd deze daarna vrij snel door de ruimte verplaatst door de Verti-Fans. In tegenstelling tot afdeling 9 stroomde er hier wel (langzaam) lucht boven de bedden richting zijgevel, dus waren het vooral de Verti-Fans aan de Oostzijde van het rookspoor die de lucht verdeelden.

Conclusie hypothese 2: op het moment van de rookproeven was van een horizontale verplaatsing zowel onder als boven de goten nauwelijks sprake en vrijwel zeker geen reden voor de temperatuurverschillen.

Algemene conclusies/aanbevelingen

Duidelijk is vastgesteld dat er in afdeling 11 veel kou omlaag komt door de kieren in het scherm in een zone naast het middenpad. Dat wordt veroorzaakt door de ramen en de zuidenwind. Vlak boven het gewas is een horizontale luchtstroom vastgesteld, van middenpad richting gevel. Deze luchtstroom wordt veroorzaakt door het vacuüm dat de zuidenwind op de ramen langs de zuidgevel uitoefent. Beide zaken samen leidden tot grote temperatuurverschillen van middenpad naar gevel. Deze verschillen zullen groter zijn naarmate het buiten kouder is en er meer belichting is geïnstalleerd. De Verti-Fans lossen dit probleem niet op omdat de hoeveelheden lucht die door de kieren omlaag komen en die van middenpad naar gevel stromen, veel groter zijn dan het debiet van de ventilatoren.

De oplossing ligt in een betere verdeling van de koude lucht. Omdat er een afhankelijkheid is van zowel de wind als het afschot van het kasdek en de buitentemperatuur, is een eenvoudige oplossing niet voorhanden. Globaal bestaan er nu 4 opties:

1. Scherm volledig dicht en alle overtollige warmte en vocht afvoeren met een systeem waarbij koude buitenlucht zo goed mogelijk wordt gemengd met kaslucht. Bijvoorbeeld met een VentilationJet (ventilator die lucht door het scherm aanvoert en daaronder mengt met kaslucht).
2. Meer schotten boven de tralies plaatsen om de weg die de koude lucht af kan leggen te verkorten. Daarmee wordt zowel de invloed van de wind als van het afschot van de kas verminderd. Nadeel van deze optie is meer lichtverlies. Bij wijze van proef zouden we in afdeling 11 in één kap 3 extra schotten kunnen aanbrengen waardoor theoretisch de temperatuurverschillen gehalveerd zouden worden.
3. Een sterke horizontale luchtstroom onder het scherm aanbrengen om de naar beneden vallende koude lucht bovenin de kas te mengen met kaslucht. Voordat aan deze optie wordt begonnen is het zaak om eerst eens de luchtsnelheden en het debiet van de omlaag vallende lucht te bepalen. Alleen dan kan bepaald worden hoe groot het debiet van een horizontaal blazende ventilator moet zijn om de omlaag vallende lucht opzij te duwen. Dat kan weleens tegenvallen. Maar er bestaan ventilatoren met een laag stroomverbruik en een debiet van 20.000 of meer m³/uur. Een voorbeeld is de plafondventilator met wieken van 5m of de stalventilator met wieken van 1,6.
4. Omdat de motor van de luchtbeweging bestaat uit de zuigende kracht van de wind op de zuidgevel valt te overwegen om de ramen in die omgeving meer of zelfs geheel te sluiten. Daarmee wordt de zuigende kracht verdeeld over en groter oppervlak ramen.

In afdeling 12 waren de temperatuurverschillen veel kleiner en kwam de koude lucht beter verdeeld over alle kieren omlaag. Er was maar weinig stroming boven het gewas van gevel naar middenpad. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat de warme lucht hier dankzij het tegenovergesteld liggende afschot van de kas wel door de kieren omhoog stroomde, daar de koude lucht voorverwarmde en door de schotjes geen lange weg af kon leggen voordat deze weer als (te) koude lucht omlaag kon komen.

Wat betreft de Verti-Fans kan worden opgemerkt dat er in de huidige situatie weinig effect kan worden verwacht. De luchtstromen die uit de schermkieren komen zijn veel sterker dan wat de Verti-Fans kunnen compenseren. De invloed van de Verti-Fans op het klimaat onder de bedden is verder afhankelijk van wat er vlak onder het scherm aan de hand is, en dat kan nogal wisselen. De ene keer zal koude lucht onder de bedden worden geblazen, en een andere keer juist weer warmere lucht.

De relatieve bijdrage van de Verti-Fans, ook aan de luchtbeweging als geheel, zal uiteraard toenemen als de luchtstromen uit de schermkieren kan worden teruggedrongen.

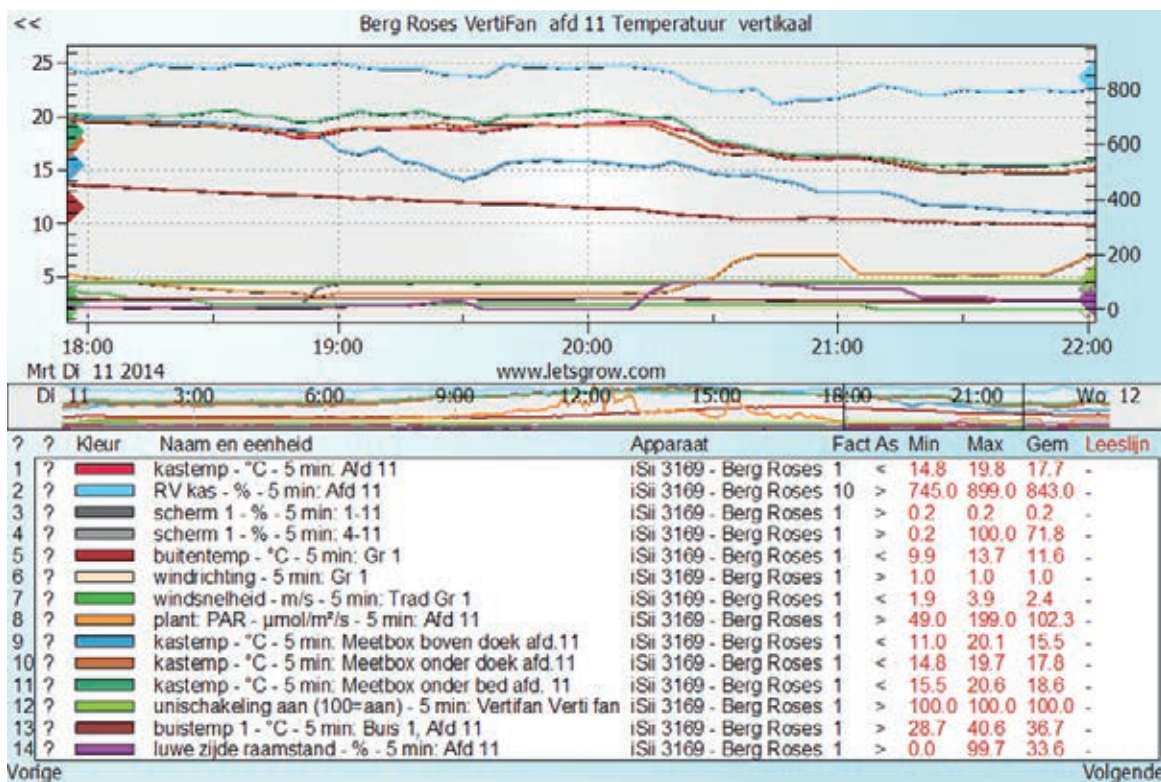
3.2.1.3.3 Rookproef 3

Maatregelen

Er zijn extra kopschotten aangebracht om te proberen horizontale stroming van koude lucht naar het middenpad te voorkomen (optie 2 na rookproef 2).

Daarnaast zijn horizontaal blazende ventilatoren aangebracht die de koude lucht die door de kieren in de schermen omlaag komt zo snel mogelijk moeten verdelen door de kasruimte (optie 3 na rookproef 2).

Meetomstandigheden tussen 19.00 en 21.00 uur:



Figuur 24 Klimaatoverzicht 11 maart: 18-22 uur.

De wind kwam vanuit het noordoosten. Precies tegenovergesteld aan de richting van de vorige meting in rookproef 2.

Er was 1 scherm gesloten, aan de luwe zijde stonden de ramen op een kier, buiten was het tussen de 12 en 10 graden. De luchttemperatuur boven het scherm was 15 graden, in de kas 19 graden, onder de teeltgoten 20 graden. De Verti-Fans stonden aan.

Resultaten rookproef

Nokschotten

Er was nu geen sterke stroming boven de schermen. Wel stroomde de lucht boven de schermen nu precies de andere kant op als de vorige keer, nu in de richting van de gevel. De koude lucht kwam uit alle kieren in dezelfde mate omlaag en de temperatuur van die uitstromende lucht was ongeveer 17 graden, dus niet erg veel kouder dan de kaslucht.

Horizontale ventilatoren

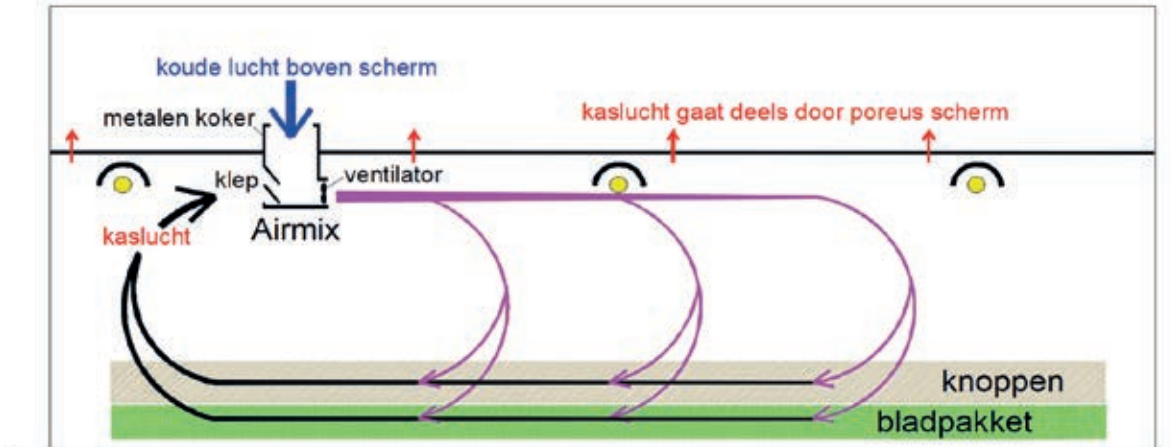
Hiermee werd de lucht boven de planten duidelijk richting gevel gestuwd. De verwachting dat in een volgende tralie de lucht dan door ventilatoren die in tegenovergestelde richting bliezen terug zou komen naar het middenpad kwam niet uit. De lucht stroomde bij de gevel zowel naar links als naar rechts en zowel naar boven als onder het bed. Wel was duidelijk dat er inderdaad meerdere van deze kleine ventilatoren achter elkaar gehangen moeten worden omdat anders een deel van de lucht al voor de volgende ventilator omlaagduikt. Uit rookproeven op andere bedrijven is al gebleken dat de ventilatoren meestal op een te laag toerental worden gezet omdat ze anders te veel geluid produceren. Daar bereikte de uitgeblazen lucht vrijwel nooit de volgende ventilator, tenzij ervan nature al een luchtstroom bestaat in de dezelfde richting als de blaasrichting. Maar dan is versterking van die luchtstroom juist ongewenst. Bij een rookproef met een zwaarder type bleek dat deze wel in staat was om de hele lengte van de kap te overwinnen. Daarvan zijn er dus minder nodig.

Conclusie

De windrichting, de hoge buitentemperatuur en de lage windsnelheid maken het eigenlijk onmogelijk om een goede vergelijking te maken met de vorige rookproef. Bij deze relatief kalme omstandigheden werkten de gekozen oplossingen goed, maar onzeker is of dit voor andere windomstandigheden en op andere bedrijven ook geldig is. In die zin is het nodig om gedurende een maand dit soort systemen te laten draaien en temperatuurmetingen te laten uitwijzen wat het effect is van deze maatregelen. Toch valt het nut van dit soort ventilatoren en extra schotten te betwijfelen omdat het volledig sluiten van 1 of liever nog 2 schermen de ongewenste natuurlijke luchtstromen voorkomt bij allerlei omstandigheden. Horizontaal blazende ventilatoren kunnen bestaande ongewenste luchtstromen juist versterken of kracht te kort komen om natuurlijke bewegingen tegen te houden. Eigenlijk moeten die dus geregeld worden op effect en moet de stromingsrichting gewisseld kunnen worden.

3.2.2 Prototype Airmix

Gebaseerd op de ervaringen met de Verti-Fan heeft de firma Van der Ende Pompen besloten om een alternatief te zoeken voor belichtende bedrijven die licht willen afschermen en energie besparen. De "Airmix" bestaat uit een metalen behuizing die door het doek steekt. Aan het deel dat onder het doek uitsteekt bevinden zich een standaard horizontaal blazende kasventilator met een vast toerental en een klep waarmee een instelbare hoeveelheid kaslucht bijgemengd kan worden in de luchtstroom van boven het scherm. Als er alleen buitenlucht wordt aangezogen levert de ventilator een debiet van 5200 m³/uur. Wordt er alleen kaslucht gecirculeerd, dan levert de ventilator 5800 m³/uur. Omdat de kas 144 m² groot was komt dit neer op: 36-40 m³/m²/uur. Het principe van de luchtstromen ziet er als volgt uit:

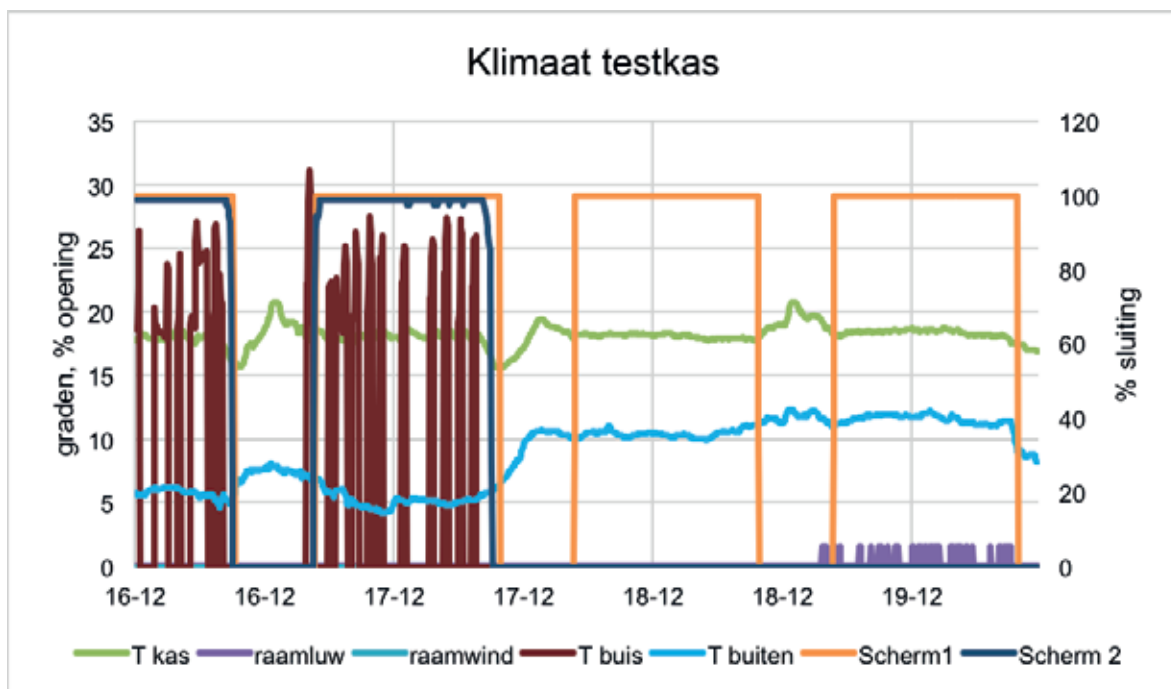


Figuur 25 Principe luchtstromen Airmix.

Zodra er buitenlucht wordt toegevoerd zal een deel van de kaslucht door het scherm omhoog worden gedreven en daarmee zowel warmte als vocht afvoeren. De ventilator zorgt voor menging van koude en warme lucht boven het gewas, stuwt lampwarmte omlaag en duwt droge warme lucht door het bladpakket.

Omdat het onzeker was hoe goed de menging van de koude en warme luchtstromen zou verlopen is een test uitgevoerd in een lege kasafdeling van 144 m² bij Wageningen University & Research, BU Glastuinbouw. De gemiddelde waarden van temperatuur en RV bij de verschillende openingen van de Airmix zijn gemeten tussen 0.00 en 7.00 uur gedurende een aantal nachten waarin met 1 of 2 schermen dicht is gewerkt en bij verschillende standen van klep en ventilator. Een klepstand van 0,25 betekent dat er 25% lucht van boven het scherm is toegevoerd en 75% kaslucht.

Het klimaat was in deze kas als volgt:



Figuur 26 Klimaat testkas Airmix.

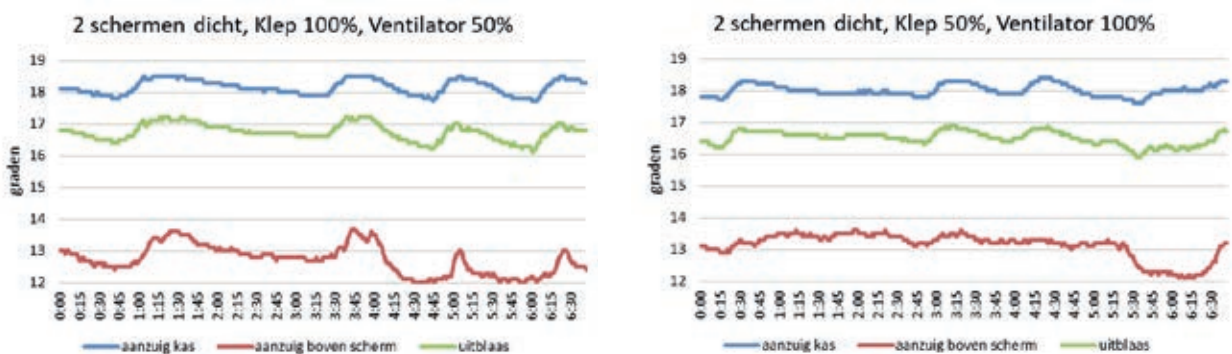
De gemiddelde waarden van de metingen voor de nachtperiode tussen 0.00 en 7.00 uur zagen er als volgt uit:

Tabel 6

Gemiddelde meetwaarden van 4 nachten in de testkas met een Airmix.

schermen	klepstand	ventilatorstand	aanzuig kas		aanzuig boven scherm		uitblaas		T verandering t.o.v.	
			T	RV	T	RV	T	RV	kaslucht	boven doek
2 dicht	0,5	1	18,0	56	13,1	74	16,5	61	-1,5	3,4
2 dicht	1	0,5	18,2	55	12,7	74	16,7	59	-1,4	4,0
1 dicht	0,5	1	18,4	70	16,2	79	17,2	74	-1,2	1,0
1 dicht	0,25	1	18,7	68	16,4	78	17,5	73	-1,2	1,2

De resultaten van de twee nachten met 2 gesloten schermen en een buitentemperatuur van 5-6 °C zagen er als volgt uit:

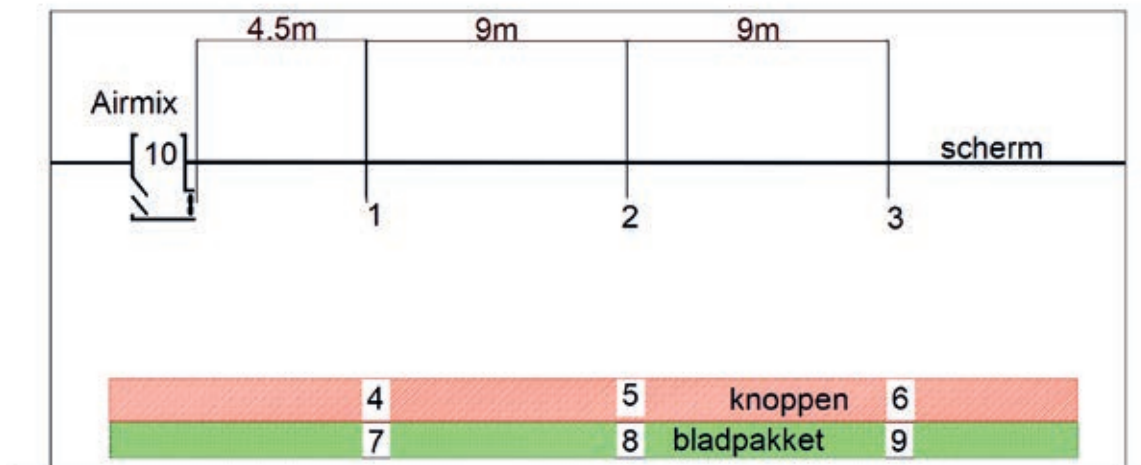


Figuur 27 Temperatuurverloop gedurende 2 nachten met 2 gesloten schermen bij verschillende standen van klep en ventilator.

De uitblaastemperaturen vlak achter de Airmix lagen dicht bij de kastemperatuur. En op een afstand van 1,5 m vanaf de uitblaasopening was deze temperatuur gelijk aan de kastemperatuur. Op basis daarvan was de verwachting dat zolang de Airmix ventilatoren hoog genoeg boven het gewas hangen de temperatuur op gewasniveau niet te laag zou worden. Maar omdat in dit kleine kasje van 12*12 m veel luchturbulentie optreedt door de nabijgelegen gevels kon nog niet met zekerheid worden gesteld dat dit in een grote kas ook het geval zou zijn. In een belichte kas daarentegen wordt de koude luchtstroom langs de lampen geblazen en mogelijk daardoor juist wat meer opwarmen dan in deze onbelichte proefkas. Daarom is besloten om de proef te herhalen in een praktijkkas met belichte rozen.

3.2.3 Proef Airmix

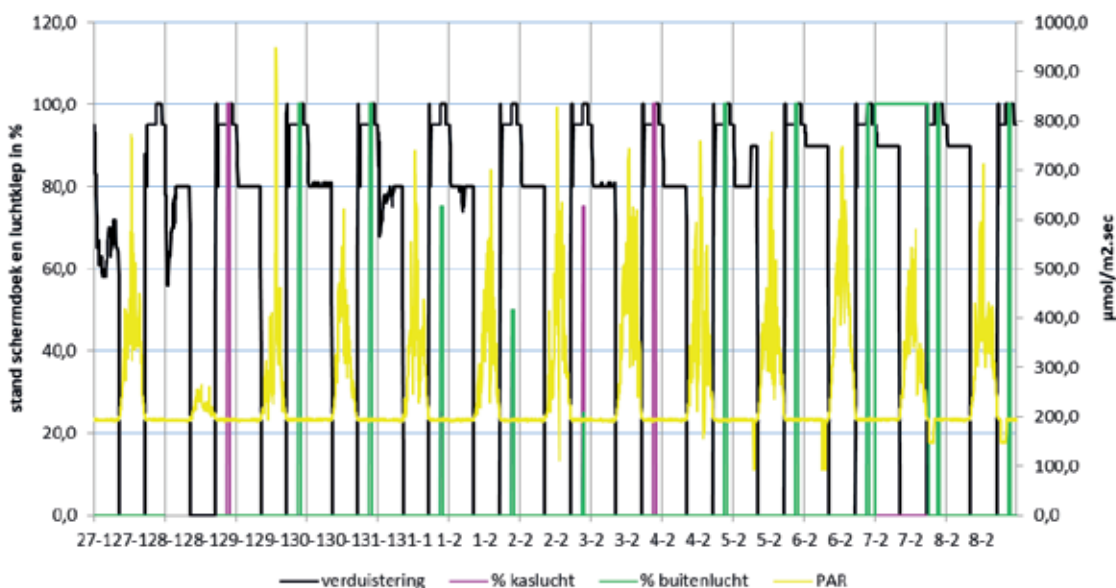
Van 27-1 tot 8-2 is een Airmix unit van Van der Ende Pompen getest bij Van den Berg Roses. Gedurende die periode is met een set draadloze sensoren zowel de temperatuur als de RV gemeten volgens de volgende opzet waarin de sensoren 1 t/m 10 zijn ingetekend:



Figuur 28 Overzicht sensoren in de praktijkproef.

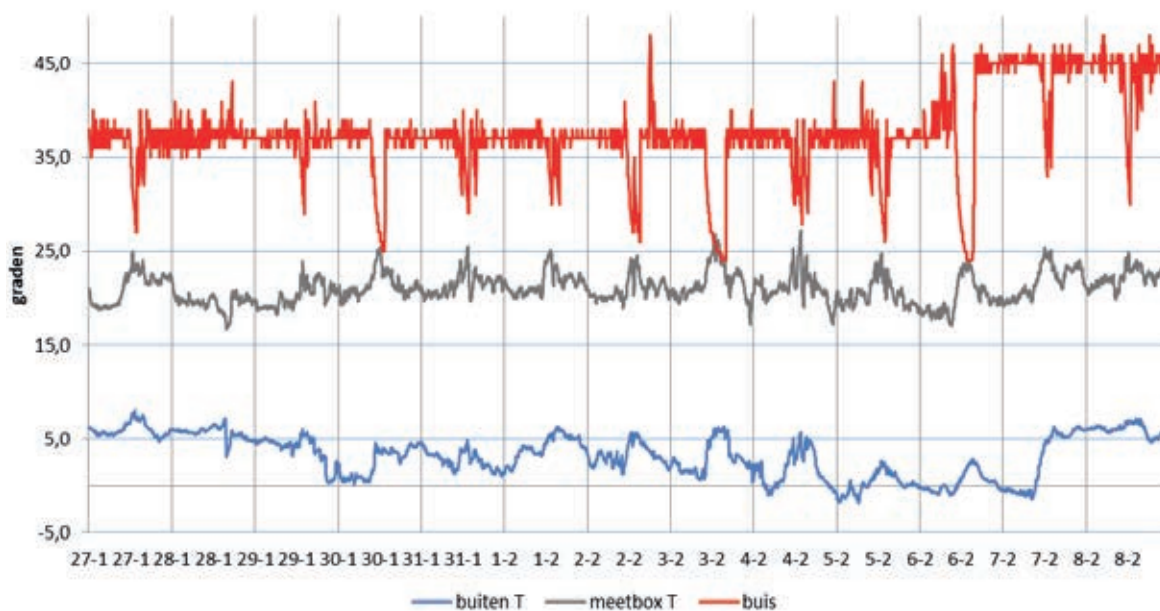
Sensoren 1,2 en 3 hingen in de worp van de ventilator, 4, 5 en 6 op bloemhoogte en 7, 8 en 9 tussen het bladpakket. Sensor 10 hing in de aanzuigopening van de Airmix. Er zijn in de uren tussen 20 en 22 uur, terwijl het licht brandde, een aantal verschillende standen van de klep, de ventilator en de verduistering uitgetoet. Dat schema zag er in grafiekvorm als volgt uit:

Er is in de nacht continu belicht.



Figuur 29 Overzicht klimaat meetperiode praktijkproef Airmix.

Vanaf 27-1 is het verduisteringsdoek een aantal uren 100% gesloten geweest en is er soms met 100% buitenlucht geblazen, soms met 100% kaslucht (circulatie). Op 31-1 met 25% kaslucht en 75% buitenlucht. Gedurende de test heeft de ventilator tussen 20-23 uur op volle toeren gedraaid en tussen 18-20 uur stil gestaan. Het energiedoek was de gehele meetperiode 100% open. De buisrail buizen zijn vrijwel continu 38 graden geweest en dus niet terug geregeld tijdens de periode dat het verduisteringsdoek 100% dicht was:



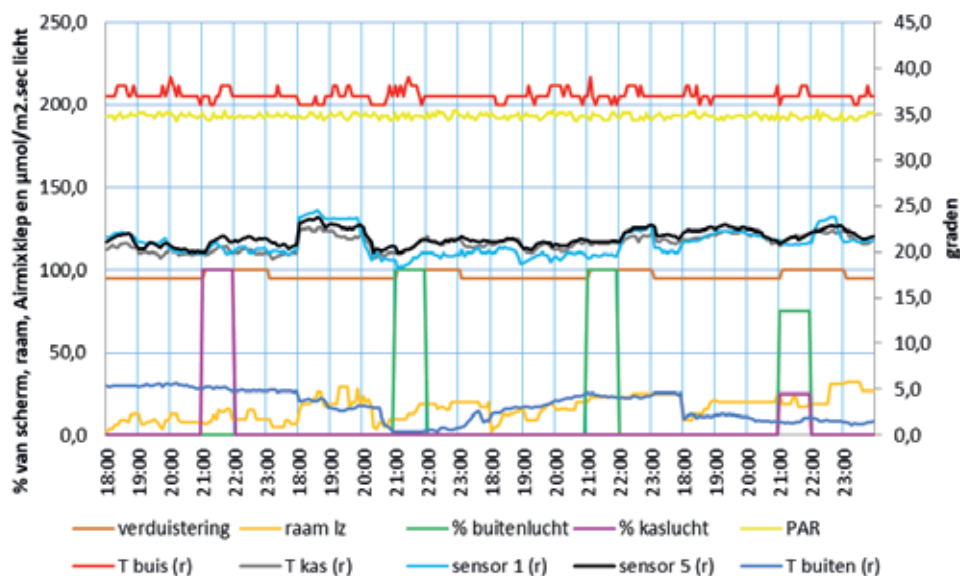
Figuur 30 Overzicht temperaturen meetperiode praktijkproef Airmix.

Van een aantal karakteristieke perioden zijn in dit verslag de metingen weergegeven tussen 18-23 uur zodat ook de periode voor en na sluiting van het scherm zichtbaar is.

3.2.3.1 Periode 28-31 januari

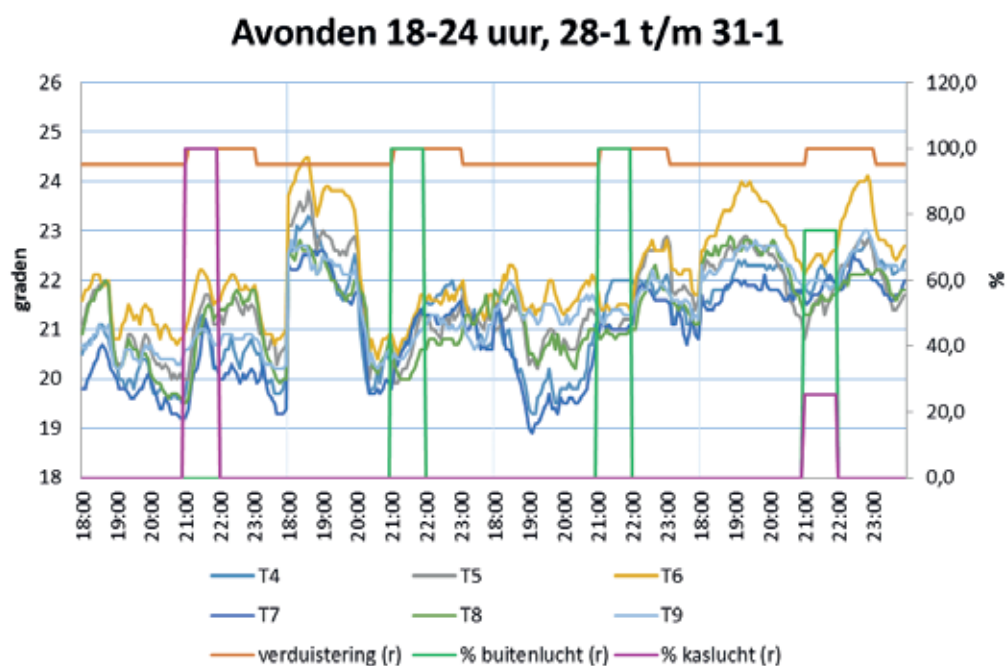
Deze periode is de eerste dag 100% kaslucht geblazen, de volgende dagen 100% buitenlucht of een mengsel. De buitentemperatuur was tussen 0-5 graden. De metingen zijn weergegeven voor de periode tussen 18-24 uur. De ventilator heeft in deze periode continu gedraaid.

Avonden 18-24 uur, 28-1 t/m 31-1



Figuur 31 Resultaat metingen proef met Airmix op 4 avonden bij verschillende standen van de luchtklep tijdens 100% sluiting verduistering.

Als de buitenlucht klep 100% open gaat daalt de temperatuur van sensor 1, maar die daling valt op zich mee.



Figuur 32 Gerealiseerd temperatuurprofiel op knophoogte (T4, T5 en T6) en in het bladpakket (T7, T8 en T9) tijdens proef met Airmix op 4 avonden.

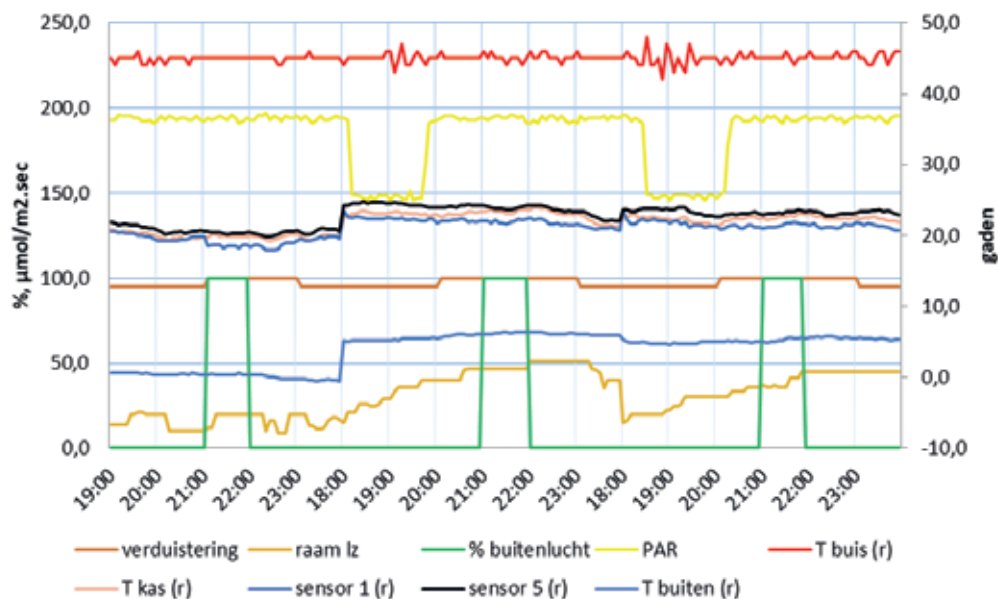
Het temperatuurprofiel tussen het gewas zag er als volgt uit:

Wat opvalt is dat de temperatuurverschillen klein zijn en dat er geen koude plek achter de Airmix te vinden is. De temperatuurverschillen zijn kleiner als het doek 100% gesloten is. Met koude lucht blazen heeft een licht koelend effect, vergeleken met de eerste dag toen er alleen kaslucht circulatie was.

3.2.3.2 Periode 6-8 februari

Ook nu is de verduistering 100% gesloten geweest en stond de Airmix op 100% buitenlucht. Het doek is de laatste 2 dagen een uur eerder gesloten om het oplopen van de kastemperatuur te zien voordat buitenlucht werd toegevoerd.

Avonden 18-24 uur, 6-2 t/m 8-2

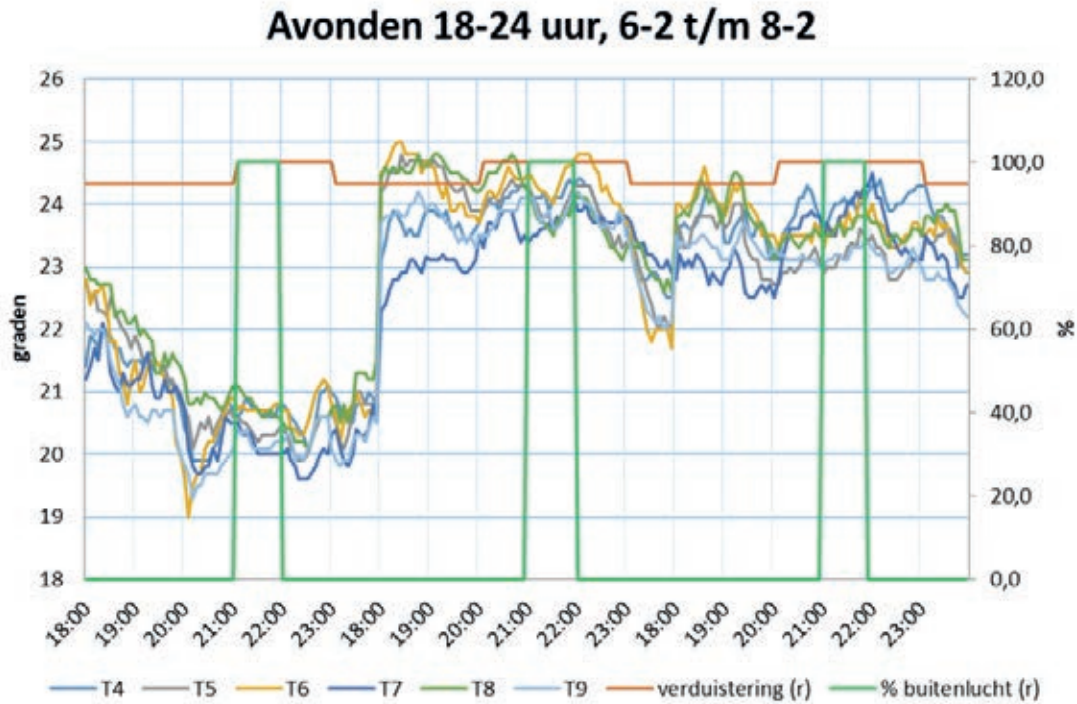


Figuur 33 Resultaten proef met Airmix bij 3 avonden met 100% buitenlucht stand van de luchtklep tijdens 100% sluiting verduistering.

Het klimaat zag er als volgt uit:

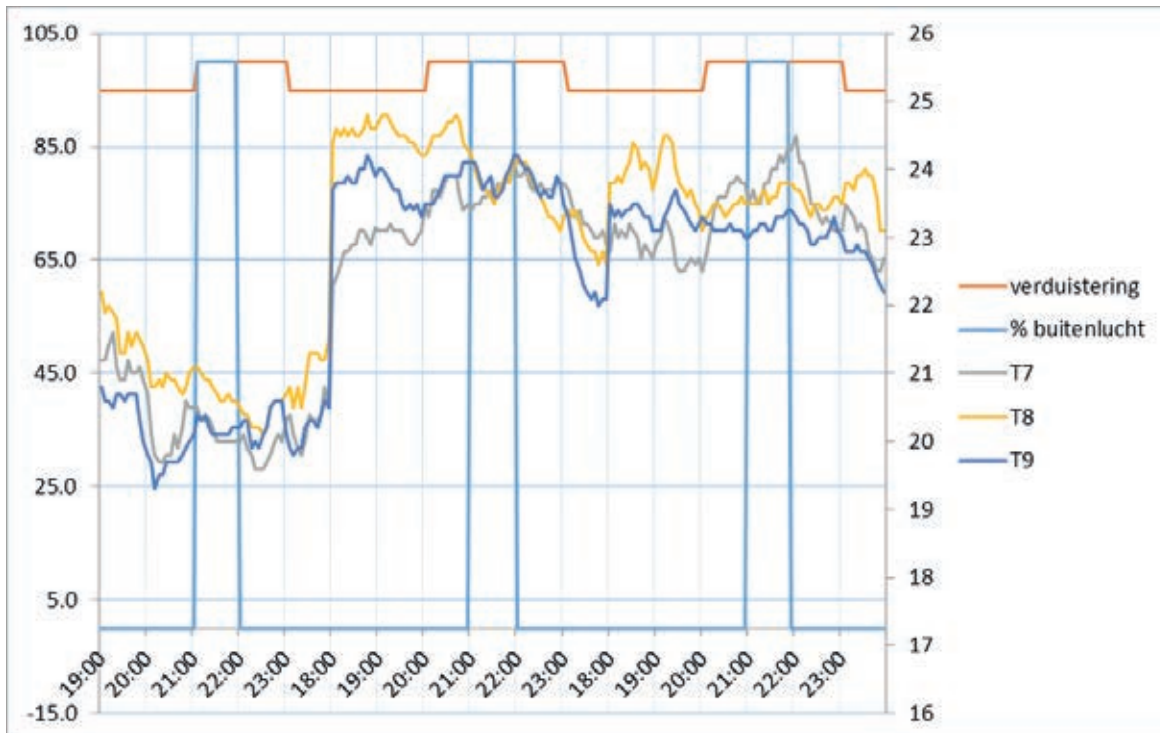
Ook nu zijn de verschillen in temperatuur klein, net als de RV-verschillen per gewaslaag. Opvallend is wel dat de waarden anders zijn dan de meetbox van Van den Berg Roses aangeeft, maar die hangt op een andere plek in de kas. Verder valt op dat de eerste periode als het doek sluit de temperatuur snel oploopt en de ventilator daarna de temperatuur weer omlaag brengt. Als de bus niet aan was geweest, was de temperatuur uiteraard minder opgelopen. Ook moet bedacht worden dat het proefvak met Airmix ventilatoren maar 3780 m² groot was in een verder zonder zijwanden uitgeruste afdeling van 1.5 ha. Dat heeft een minimaal koeffect op de rest van de kas en daardoor zal warme lucht in de richting van het proefvak stromen.

De temperatuur tussen het bladpakket is egaal zoals blijkt uit de volgende grafiek.



Figuur 34 Gerealiseerd temperatuurprofiel op knophoogte (T4, T5, T6) en tussen het bladpakket (T7, T8 en T9) tijdens proef met Airmix op 3 avonden.

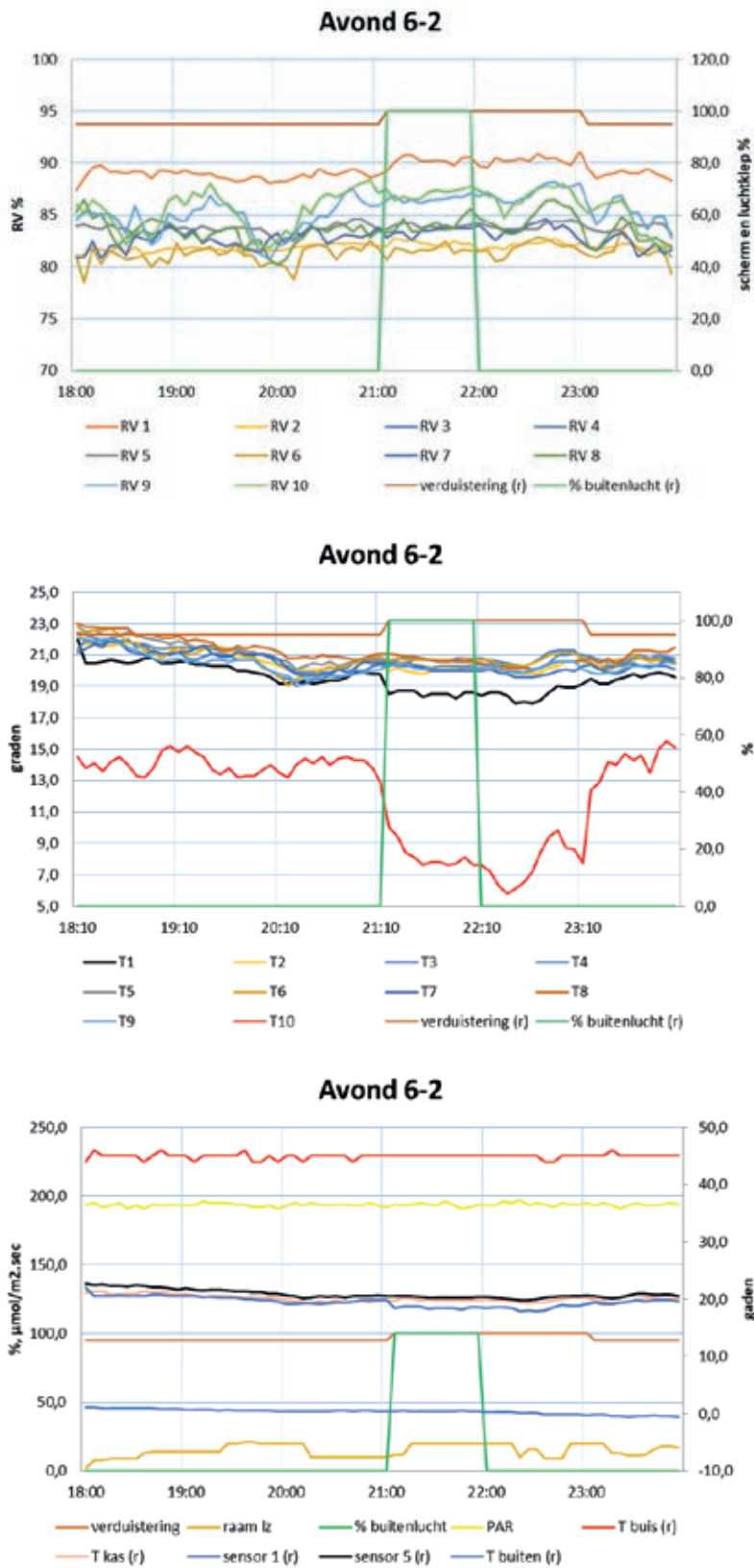
Er is dus in het gewas geen koudeput achter de ventilator. Het opentrekken van het scherm heeft op dat punt een groter effect!



Figuur 35 Effecten van opentrekken verduistering en het open zetten van de buitenluchtklep van de Airmix op de temperaturen op knophoogte.

3.2.3.3 Detail 6 februari

Meer in detail ziet de periode van het draaien van de Airmix op de avond van 6 februari er als volgt uit:



Figuur 36 Klimaat, temperatuurprofiel en RV-profiel op avond 6 februari.

Opgemerkt moet worden dat sensor 10 tijdens deze meting boven het doek was opgehangen. De temperatuur achter de Airmix is lager dan de rest en dat zorgt lokaal ook voor een hogere RV 1. Maar in het gewas is daar niets van terug te vinden. Het mengen van de koude lucht gaat zelfs bij 100% buitenlucht toevoer dus prima. De uitblaas van de ventilator is met geleide plaatjes zodanig gemaakt dat deze zo vlak mogelijk uitstroomt om bovenin de kas goed te mengen. Dat principe werkt dus goed. Dat roept de vraag op of de mengklep wel een functie heeft. Als het bij deze buitentemperaturen al zo goed mengt kan het hooguit noodzakelijk zijn om het toerental van de ventilator te gaan variëren. Daarin schuilt dan wel het gevaar dat de goede menging dan weer teniet wordt gedaan door de kleinere straalstroom.

Daarnaast kan uit de hoge temperatuur boven het doek (sensor 10) worden opgemaakt dat één doek sluiten nog steeds een hoge temperatuur boven het doek oplevert, namelijk 7 graden bij een buitentemperatuur van 0 graden of zelfs 14 °C als er een kleine kier wordt getrokken in het scherm. Dat komt ook omdat er relatief weinig gelucht werd boven het doek. Anders gezegd, als er twee schermen gesloten waren geweest was de temperatuur boven het scherm dichterbij de buitentemperatuur gekomen. De capaciteit van de Airmix voor zowel ontvochtigen als koelen was dan fors groter geweest. Alleen kun je dan wel de vraag stellen of je dan nog steeds zonder mengklep kunt omdat de inblaastemperatuur dan ook fors lager wordt. Alleen een proef in een hele afdeling met dubbel schermdoek waarin de buisverwarming ook wordt getemperd zal de vraag kunnen beantwoorden of dit een zinvolle manier van werken is.

Uit de gemiddelde temperaturen tijdens het 100% sluiten van het doek blijkt dat het verticale temperatuurprofiel binnen het gewas erg egaal is, zowel dichtbij als verder weg van de Airmix.

De temperaturen liggen ook niet hoger dan in de periode dat de Airmix niet werkt en er een kier in het scherm wordt getrokken.

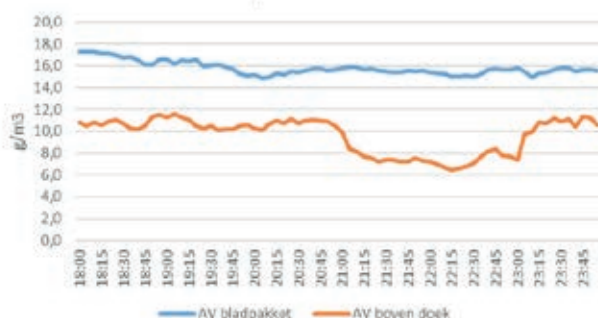
Tabel 6

Gemiddelde temperaturen op 3 hoogten in 2 perioden.

	6 febr. gemiddelde 21-22 uur			6 febr. gemiddelde 18-24 uur		
	Scherm dicht, 100% buitenlucht			rij 1	rij 2	rij 3
	rij 1	rij 2	rij 3	rij 1	rij 2	rij 3
Onder scherm	18,6	20,2	20,6	19,5	20,6	20,6
Knophoogte	20,7	20,4	20,7	20,9	20,9	20,9
Bladpakket	20,2	20,8	20,2	20,5	21,2	20,4

Is er voldoende vocht afgevoerd?

De gerealiseerde RV's tussen het gewas bedragen tijdens de belichte periode met afscherming 82-87%. Vanwege de houdbaarheid is een langdurig te hoge RV in het bladpakket ongewenst. De Airmix kan in theorie een instelbare hoeveelheid vocht afvoeren zolang de buitencondities dat toelaten. Om daar een beeld van te krijgen moet gekeken worden naar het Absoluut Vocht van de kaslucht tussen het bladpakket (sensor 8) in verhouding tot die van de lucht boven het scherm (sensor 10). De volgende grafiek geeft het verloop daarvan weer tussen 18-24 uur:



Figuur 36 Verloop AV avond 6-2

Duidelijk waarneembaar is dat na het volledig sluiten van het scherm de vochtinhoud van de lucht boven het scherm sterk afneemt. En minstens zo belangrijk: het AV tussen het bladpakket stijgt ondanks het sluiten van het scherm niet. Tussen 21-22 uur stond de buitenluchtklep volledig open. Bij een luchtdebiet van 20 m³/m²/uur wordt dan ongeveer aan vocht afgevoerd:

$$[\text{luchtdebiet} * (AV_{\text{bladpakket}} - AV_{\text{boven scherm}})] = 20 * (15-7) = 160 \text{ gram/m}^2/\text{uur}$$

Wat wel opvalt is dat tussen 22-23 uur het AV zowel onder als boven het doek weinig verandert ondanks het feit dat de klep van de Airmix dan geen lucht van boven het schermdoek aanzuigt. Dat wijst erop dat de vochtuitwisseling via het zeer poreuze schermdoek ook goed verloopt. Dat is vooral te danken aan het feit dat de luchtramen 20% open stonden bij een buitentemperatuur van 0 °C, waardoor er buiten erg droge lucht was met een AV van ongeveer 4 gram/m³.

Conclusies

De Airmix heeft in deze proef op gewashoogte een egale verdeling van zowel temperatuur als RV opgeleverd. Er zijn geen koudeputten ontstaan. Het koelend effect was er zeker, maar is nog niet goed uit de verf gekomen omdat er maar 3870 m² in een afdeling van 1.5 ha was uitgerust met Airmix ventilatoren, er slechts één scherm gesloten was waardoor het boven het scherm erg warm bleef, er relatief weinig gelucht werd boven het scherm en omdat de buisrail permanent op 38 graden bleef.

De vochtafvoer was bij volledig gesloten scherm zowel met als zonder gesloten luchtklep van de Airmix geen probleem, maar dat was waarschijnlijk vooral te danken aan de lage buitentemperatuur in combinatie met 20% raamopening.

Een uitgebreide proef in een hele afdeling moet aantonen:

1. Of het koelend effect toeneemt wanneer er twee doeken gesloten worden, er meer gelucht wordt boven het scherm en de buistemperaturen omlaag gebracht worden.
2. Wat de noodzaak is van de regelklep
3. Of de ventilator toerengeregeld moet worden als de klep vervalft.
4. Wat het temperatuur profiel wordt als de lucht boven het scherm verder in temperatuur daalt.
5. Hoe groot de vochtafvoer zal zijn bij uiteenlopende buitencondities en de gekozen instellingen van verwarming, Airmix klep en de raamstanden.

4 Conclusies en aanbevelingen

4.1 Conclusies

1. De temperatuurverdeling in een belichte rozenkas hangt in grote mate af van natuurlijke luchtstromen die als kenmerk hebben dat ze sterk wisselen en daarmee voor telers onvoorspelbaar lijken en moeilijk te sturen. Toch zijn er goede verklaringen voor de oorzaken van die stromingen en zijn deze te verminderen door het volledig sluiten van een luchtdicht scherm of door twee schermen.
2. Luchtstromingen leiden tot ongewenst lage temperaturen in het bladpakket wanneer er niet continu een warme buis onder het gewas wordt aangehouden. Maar die buis leidt wel tot extra en onnodig warmteverbruik.
3. Dezelfde stromingen leiden ook tot extreme horizontale temperatuurverschillen die eveneens leiden tot onnodig extra warmteverbruik omdat op de koudste plek anders te veel meeldauw en te slechte bloemkwaliteit ontstaat.
4. Horizontale en verticale stromingen staan met elkaar in verband en moeten dus integraal worden aangepakt om kleinere temperatuurverschillen in een kas te bereiken.
5. Die luchtstromen kunnen het beste worden beheerst door 1 of liever nog 2 schermen volledig te sluiten.
6. Omdat dan wel het probleem ontstaat dat bij gebruik van belichting stilstaande luchtlagen ontstaan, is de inzet van ventilatoren en geforceerde ventilatie noodzakelijk omdat anders de vochtafvoer rondom het gewas stagneert en de temperatuur onder het scherm te hoog oploopt voor een goede productie en bloemkwaliteit.
7. De Verti-Fan en de VFloFan die alleen verticale luchtcirculatie veroorzaken verbeteren het verticale temperatuurprofiel omdat ze in staat zijn om lampwarmte omlaag te sturen. Specifiek voor de Verti-Fan geldt wel dat als het onder het schermdoek te koud is omdat dit veel koude lucht doorlaat als gevolg van een schermkier of te veel porositeit deze ventilatoren te koude lucht onderin het gewas sturen.
8. Horizontaal blazende ventilatoren die er op gericht zijn om van middenpad naar gevel een luchtstroom tot stand te brengen hebben geen eenduidig effect. Als de ventilatoren te langzaam draaien leveren ze te weinig stuwdruk om de volgende ventilator te bereiken. Dan veroorzaken ze wel een verticale luchtstroom met een effect vergelijkbaar met Verti-Fan of VFloFan. Draaien ze wel hard genoeg, dan stroomt de lucht weliswaar wel naar de gevel, maar dat zal niet altijd een kleiner horizontaal temperatuurverschil opleveren. De ventilatoren kunnen de natuurlijke luchtstromen niet voldoende onderdrukken of de natuurlijke stromen in dezelfde stromingsrichting als de ventilator en vergoten dus de ongewenste temperatuurverschillen.
9. De VentilationJet en de Airmix zijn beide in staat om koude lucht van boven het scherm aan te voeren en daarmee zowel een teveel aan vocht als aan warmte af te voeren. Ook transporteren ze beiden bij een volledig gesloten doek lampwarmte het gewas in. Beide systemen hebben geen directe invloed op de horizontale temperatuurverschillen, maar indirect wel omdat ze het volledig sluiten van schermen mogelijk maken. Verticaal nemen de verschillen ook af omdat er sprake is van een verticale luchtbeweging.
10. Bij belichte teelten kan het lichtafschermingsdoek volledig gesloten worden bij gebruik van een Airmix. De benodigde (grote) ventilatie capaciteit is in deze proef bepaald door de benodigde warmteafvoer bij een gesloten scherm. Voor belichte roos met een belichtingscapaciteit van $220 \mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{sec}$ is een luchtdebiet nodig van ongeveer $20 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{uur}$ om de gemiddelde etmaaltemperatuur niet te laten stijgen tot een buitentemperatuur van $15 \text{ }^\circ\text{C}$. Bij dat hoge debiet en bij het gebruik van dit zeer poreuze lichtafschermingsdoek was de ontvochtiging automatisch voldoende hoog.

4.2 Aanbevelingen

1. Het toepassen van meerdere luchtdichte schermen in combinatie met verticale luchtbeweging en beter gestuurde ventilatie verbetert zowel het verticale als het horizontale temperatuurprofiel sterk en verlaagt het warmteverbruik. Daarom is dat een richting die verder ontwikkeld moet worden. Te denken valt aan luchtdichte schermmaterialen (mogelijk folies), apart gestuurde raamzone's om lokale windzuiging te vermijden en de vraag wat de beste plek is om keerschotten te plaatsen in (te) grote complexen.

2. Volledig sluiten van een schermdoek bij gebruik van belichting is weliswaar mogelijk bij gebruik van een enkel poreus lichtafschermingsdoek, maar er hebben nog geen proeven plaatsgevonden met minder poreuze of meerdere schermdoeken. Die hebben wel de voorkeur omdat wind dan minder invloed zal hebben op de temperatuurverdeling onder het scherm. Die temperatuurverdeling wordt bij een poreus doek zelfs slechter als het geïnstalleerde lampvermogen verder toeneemt. Bij meer luchtdichte schermen zal het ventilatiedebiet verder moeten worden opgevoerd om warmte-ophoping te voorkomen, tenzij het gewas dat toelaat. Ook moet worden nagedacht over de beste plek om de vochtige en warme lucht af te voeren, zodat deze lucht niet boven het scherm terecht komt en de ventilatoren zo koud mogelijke en voldoende droge lucht blijven aanzuigen. Een gevolg is dat met deze grotere luchtstroom ook veel extra vocht wordt afgevoerd waardoor extra energie wordt afgevoerd in de vorm van latente warmte. De vraag is wat dit betekent voor het benodigde luchtdebiet. Nu lijkt de houdbaarheid van de roos negatief beïnvloed te worden door een langdurig hoge RV. Dat lijkt haaks te staan op de wens om meer te schermen en zuinig te ventileren. Maar het lijkt heel aannemelijk dat niet een hoge RV maar een gebrek aan verdamping de werkelijke oorzaak is van de slechte houdbaarheid. De verdamping kan in HNT nu juist gestuurd worden en daardoor is het aan te raden om onderzoek te gaan verrichten naar de relatie tussen verdamping en houdbaarheid, uiteraard bij zowel hoge als lage RV's. De uitkomst zou kunnen zijn dat een iets hogere nachttemperatuur helemaal geen probleem hoeft te zijn zolang de etmaal temperatuursom laag genoeg gehouden kan worden. Ook de invloed van de donkerperiode moet daarin worden meegenomen. Aan de ene kant is bekend dat bij een te lage temperatuur in de donkerperiode de verdamping kan dalen naar nul zodat de aanvoer van calcium naar de cellen stagneert. Aan de andere kant is de theorie dat de slechte houdbaarheid juist veroorzaakt wordt door gebrek aan "training" van het sluiten van huidmondjes.
3. Uit eerder onderzoek is gebleken dat rozenknoppen warmer worden dan de kaslucht door instraling. Lamplicht heeft dat effect ook. Daarnaast blijkt dat te warme knoppen zo snel afrijpen dat ze klein blijven. Dat is nadelig voor de concurrentie op bloemkwaliteit. Extra luchtbeweging langs de knoppen kan er voor zorgen dat de knop afkoelt naar de temperatuur van de kaslucht. Dat effect verdient nader onderzoek, ook voor de situatie overdag omdat veel telers licht wegschermen om die opwarming van de knoppen te voorkomen. Overigens heeft schermen niet dat gewenste effect omdat de afkoeling van de knop naar de hemel ook wordt gehinderd.

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



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

Glastuinbouw Rapport GTB-1445

Wageningen University & Research, BU Glastuinbouw initieert en stimuleert de ontwikkeling van innovaties gericht op een duurzame glastuinbouw en de kwaliteit van leven. Dat doen wij door toepassingsgericht onderzoek, samen met partners uit de glastuinbouw, toeleverende industrie, veredeling, wetenschap en de overheid.

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen WUR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en WUR hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort WUR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.