



Monitoring Energiebesparing en Teeltvervingen bij Energie-innovaties

F. de Zwart, M. Raaphorst, P. van Weel, B. Speetjens, H. Janssen en W. Verkerke

Rapport GTB-1357

Referaat

Luchtcirculatiesystemen die een gecontroleerde uitwisseling met buitenlucht mogelijk maken zijn een belangrijk onderdeel van Het Nieuwe Telen. Controle over de hoeveelheid ontvochtiging en de verdeling in het gewas bieden tuinders de zekerheid die nodig is om energiebesparing te kunnen realiseren middels het intensiveren van het schermgebruik, het afbouwen van minimum buis gebruik en het toelaten van een hogere luchtvochtigheid in de kas. In dit project zijn een 10-tal tuinbouwbedrijven die in zulke installaties hebben geïnvesteerd gevolgd en is hun energieverbruik vergeleken met dat van een zorgvuldig gekozen referentie.

De installaties blijken een besparingspotentie van 10 tot 20% op de stookenergie op te geven. Deze potentie wordt echter lang niet altijd (direct) gerealiseerd. Op sommige bedrijven is duidelijk een leertraject te zien. Daar moet eerst het vertrouwen in het systeem groeien voordat de feitelijke bron van de energiebesparing, meer schermen en vochtiger telen, ten volle wordt benut.

Er zijn ook bedrijven die gelijktijdig met de aanschaf van de nieuwe installaties hun teelt zijn gaan intensiveren. Op deze bedrijven leidt het luchtcirculatie- en ontvochtigingssysteem niet tot energiebesparing.

Door de diversiteit van bedrijven die in dit project aanwezig was is er een goed beeld ontstaan van de potenties van verschillende luchtcirculatie- en ontvochtigingssystemen, maar ook van de ontwikkelingen die het energieverbruik van tuinbouwbedrijven juist doet verhogen.

Abstract

Air circulation systems that allow controlled exchange with outside air are an important part of The New Cultivation growing (Het Nieuwe Telen in Dutch). Control over the amount of dehumidification and the air distribution in the crop provides growers the confidence needed to realize energy savings through intensifying screen use, reduced minimum pipe temperatures acceptance of a higher humidity in the greenhouse.

In this project 10 horticultural companies that have invested in such installations were monitored and their energy consumption was compared to that of a carefully chosen reference.

The air circulation systems are found to provide a 10 to 20% potential of saving on heating energy. This potential, however, is not always (immediately) realized. Some companies show a clear learning curve. First, confidence in the system has to be gained before the actual source of the energy savings, which is the increased application of screens and more humid growing conditions, can be fully exploited.

There are also companies that intensified their production system together with the purchase of the new air circulation systems. The Intensification in these cases meant an increased application of artificial illumination and/or a lower humidity. At these companies, the air circulation and dehumidification system will not lead to energy savings.

The diversity of companies that were present in this project provides a good picture of the potential of various air circulation and dehumidification systems, as well as the developments that tend to increase the energy consumption of horticulture.

Rapportgegevens

Rapport GTB-1357

Projectnummer: 3742157313

Disclaimer

© 2015 Wageningen UR Glastuinbouw (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek), 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.wageningenUR.nl/glastuinbouw. Wageningen UR Glastuinbouw.

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 UR 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

	Voorwoord	5
	Samenvatting	7
	Summary	9
1	Inleiding	11
2	Komkommerbedrijf (VA)	13
	2.1 Inleiding	13
	2.2 Bedrijfssituering	13
	2.3 Resultaten	14
	2.4 Horizontale temperatuurverdeling	18
	2.5 Conclusies	20
3	Komkommerbedrijf (AA)	21
	3.1 Inleiding	21
	3.2 Resultaten	21
	3.3 Horizontale temperatuurverdeling	25
	3.4 Conclusies	25
4	Komkommerbedrijf (CL)	27
	4.1 Inleiding	27
	4.2 Resultaten	27
	4.3 Horizontale temperatuurverdeling	30
	4.4 Conclusies	30
5	Komkommerbedrijf (MA)	31
	5.1 Inleiding	31
	5.2 Resultaten	31
	5.3 Horizontale temperatuurverdeling	34
	5.4 Conclusies	37
6	Tomatenbedrijf (AR)	39
	6.1 Inleiding	39
	6.2 Berekend en gemeten energieverbruik in AR en S1	39
	6.3 Conclusie	40
7	Tomatenbedrijf (VB)	41
	7.1 Inleiding	41
	7.2 Bedrijfssituering	41
	7.3 Homogeniteit van het kasklimaat, dec – feb 2014	43
	7.4 Lichtmetingen	46
	7.5 Vergelijking met referentie	47
	7.6 Conclusies	48

8	Tomatenbedrijf (RS)	49
	8.1 Inleiding	49
	8.2 Bedrijfssituering	49
	8.3 Resultaten energiegebruik	51
	8.4 Conclusies	55
9	Rozenbedrijf (BR)	57
	9.1 Inleiding	57
	9.2 Bedrijfssituering	57
	9.3 Installatie en meetapparatuur	57
	9.4 Resultaten energiegebruik	60
	9.5 Invloed van vertifan op het kasklimaat	61
	9.6 Analyse van de benodigde luchtuitwisseling	62
	9.7 Conclusies	62
10	Alstroemeriabedrijf (VD)	63
	10.1 Inleiding	63
	10.2 Metingen en resultaten	64
	10.2.1 Schermgebruik	64
	10.2.2 Belichting	64
	10.2.3 Verwarming	64
	10.2.4 Gewaskwaliteit	65
	10.2.5 Bladdikte	66
	10.2.6 Meetresultaten met de thermocamera	66
11	Phalaenopsisbedrijf (TL)	69
	11.1 Inleiding	69
	11.2 Bedrijfssituering	69
	11.3 Resultaten energiegebruik	70
	11.4 Conclusies	72
12	Conclusies	73
13	Literatuur	75
	Bijlage 1 Analyse windrichting en temperatuurverdeling bij het bedrijf BR	77
	Bijlage 2 Onderzoek met bladdiktemeters	79

Voorwoord

Sinds de uitrol van het onderzoeksprogramma Kas Als Energiebron hebben een groot aantal energie-innovaties het licht gezien. De meeste innovaties hebben betrekking tot systemen die op een of andere manier gebruik maken van vochtbeheersing middels gecontroleerde luchtbeweging. Daarnaast is er een voorzichtige toename in de toepassing van isolatieglas.

De snelle verdere uitrol van deze technieken ondervindt echter vertraging doordat veel ondernemers huiverig zijn voor tegenvallende prestaties of onverwachte negatieve bijwerkingen op de teelt.

Het is daarom van groot belang dat de resultaten van innovatoren die wel met de nieuwe systemen aan de slag zijn gegaan via een monitoringsproject goed over het voetlicht te brengen. Door de intensieve aandacht middels het monitoringsprogramma neemt de slagingskans van energie-innovaties op deze bedrijven duidelijk toe.

Monitoring objectiveert, verheldert en verdiept het inzicht van de ondernemer in de mogelijkheden die een innovatie voor zijn bedrijf kan hebben. Monitoring laat ook zien hoe de nieuwe systemen zo goed mogelijk kunnen worden benut. Door monitoring wordt het mogelijk dat bestaande kennis kan landen, dat ervaringen van betrokkenen uit eerdere energiebesparingsprojecten kunnen worden gedeeld en dat nieuwe ideeën, nog voor ze worden toegepast, op waarde kunnen worden geschat. Hierdoor neemt de kennis over praktisch toepasbaarheid van innovaties toe.

Uiteindelijk levert de publicatie van de bevindingen van de monitoring een grote bijdrage aan de verspreiding van de best passende technieken voor verschillende teelten.

Samenvatting

De monitoring van het kasklimaat en het energieverbruik bij 10 tuinbouwbedrijven die onlangs hebben geïnvesteerd in nieuwe technologieën voor energiebesparing en energiezuinige ontvochtiging geeft een goed overzicht van de mogelijkheden die deze technieken bieden. Vooral komkommer en tomatenbedrijven zijn in de monitoring ruim bedeed. Dit maakt dat er voor die gewassen een goed beeld is ontstaan van systemen die goed uitpakken en systemen die weliswaar een groeizaam kasklimaat leveren, maar geen besparing op energie. Alle systemen die in dit project zijn gevolgd hebben overigens wel de potentie om energie te besparen, maar soms kiest de tuinder ervoor om vooral intensiever te gaan telen. Intensiever telen betekent meestal droger telen en/of de inzet van meer belichting. Ook zijn er in de monitoring voorbeelden van bedrijven die geregeld warmte over hebben of over heel goedkope warmte beschikken (diepe uitkoeling van geothermische warmte). In die gevallen is er geen dringende reden om de warmtevraag van de kas te verlagen.

Alle toegepaste technieken zijn gericht op een doelbewuste luchtcirculatie ten behoeve van de homogenisering van de kaslucht in het horizontale en verticale vlak. In enkele gevallen worden ook ventilatoren ingezet om warmte van de belichting die zich onder het schermdoek ophoopt naar de onderste lagen van het gewas te blazen. Deze veronderstelde mogelijkheid kon echter bij geen van de hier gevolgde bedrijven worden aangetoond.

In alle situaties waar het gebruik van Het Nieuwe Telen een energiebesparing opleverde kon dit vooral worden toegeschreven aan de hogere isolatiegraad van de kas. Dit kan worden bereikt door het gebruik van dubbele schermen, een vergroting van het aantal schermuren en een vermindering van het gebruik van schermkieren en minimumbuis.

Voor alle betrokken tuinders geldt dat zij vertrouwen in een goede vochtvoervermogelijkheid en in een homogene horizontale- en verticale temperatuurverdeling willen hebben alvorens isolatie verhogende maatregelen worden doorgevoerd. Luchtcirculatiesystemen en installaties waarmee buitenlucht goed verdeeld kan worden ingebracht dragen sterk bij aan dat vertrouwen. Dit blijkt uit de meetresultaten waaruit is af te lezen dat tuinders die met het nieuwe telen aan de slag gaan meer gaan schermen, minder schermkieren gaan gebruiken en hogere luchtvochtigheden gaan aanhouden.

Dit gebeurt bij de meeste bedrijven met kleine stapjes. Bij een aantal tuinders, bij AA en TL bijvoorbeeld, is te zien dat deze bedrijven in het begin van de monitoringperiode terughoudend waren, maar gaandeweg meer met hun installaties gingen doen en daardoor minder stookenergie zijn gaan gebruiken. Er zijn ook tuinders, VA bijvoorbeeld, die direct met hun nieuwe systeem heel energiezuinig zijn gaan telen, maar daar later weer een beetje van terugkomen.

Luchtverdeelssystemen vergroten het vertrouwen van tuinders in een goede temperatuurverdeling, maar metingen aan die verdeling laten geen duidelijke effecten zien. In situaties waarbij deze bij uitgeschakelde systemen goed was, blijft die met het inschakelen van de luchtcirculatie ook goed. Daar waar de temperatuurverdeling niet homogeen was blijft die ook bij inschakeling van ventilatoren inhomogeen. Structurele oorzaken van een slechte temperatuurverdeling, zoals niet goed sluitende schermdoeken of koude hoeken in de kas, kunnen niet met de beperkte capaciteit die luchtcirculatiesystemen opleveren worden weggewerkt.

De algemene conclusie die uit de monitoring getrokken kan worden is dat de luchtcirculatiesystemen die met het nieuwe telen zijn ontwikkeld 10 tot 20% besparing op de verwarming kunnen opleveren, maar dat het een proces van gewenning en leren gebruiken is om deze potentie tot z'n recht te kunnen laten komen.

Summary

The monitoring of the greenhouse climate and energy consumption at 10 greenhouse sites that have recently invested in new technologies for energy saving and energy efficient dehumidification provides a good overview of the potentials of these technologies. Especially cucumber and tomato companies are well represented in this project. This means that for these crops a fair idea can be presented about how these systems can realize the energy savings expected.

All systems analysed in this project do have this potential, but sometimes growers choose to use the installations to intensify the cultivation. Intensive cultivation usually means growing at lower humidities and/or the increased application of artificial illumination.

There are also examples of companies within this monitoring project that have access to very cheap heat (reject heat from CHP or the last degrees of cooling geothermal heat). In those cases, there is not such a need to reduce the heat consumption of the greenhouse.

All techniques used are based on air circulation for homogenization of the greenhouse air in the horizontal and vertical plane. In some cases fans are also expected to bring the superfluous heat from the illumination just below the screen down to the lower regions of the greenhouse. This mechanism, however, did not follow from the measured data.

In all situations where the new systems lead to energy savings this could be attributed to the higher degree of insulation of the greenhouse. This can be achieved by the use of double screens, an increase in the number of screen hours combined with a reduction in the use of slits in the screens gaps and a reduction in the application of a minimum pipe temperature.

For all the growers, feeling confident about sufficient moisture removal from the greenhouse and in a uniform horizontal and vertical temperature distribution are a prerequisite for the application of an increased insulation. Air circulation systems and controlled inlet of outside air strongly contribute to that confidence. Among the group of growers monitored it can be seen that they certainly has gained this confidence. They were clearly using more screens, less screen slits and a higher humidity.

However, this confidence grows in small steps. Some companies, AA and TL for example, show that the growers were first reluctant, but gradually demonstrated a more energy conserving way of growing. Others, VA for instance, started a bit too enthusiastic, realizing very high savings in the beginning, followed by a consolidation at a somewhat higher energy consumption level.

From the experiences in this project it follows that air distribution systems increase the confidence of growers in a good temperature distribution, which allows for a the changes in greenhouse climate control that lead to energy saving. However, actual improvement of homogeneity could hardly be found. In situations where this was good when air circulation systems were switched-off the distribution remains good with a system switched on. In cases with a poor homogeneity, the problems remain when using the fans. Structural causes of poor temperature distribution, like poorly closing screens or cold spots in the greenhouse, cannot be solved with the limited capacity provided by air circulation systems.

The general conclusion from this monitoring is that the potentials of the current techniques for well controlled air circulation and dehumidification have an energy saving potential of 10 to 20%. However, it needs experience and accommodation to the resulting greenhouse climate to achieve this potential.

1 Inleiding

Om stijgende energieprijzen in de toekomst het hoofd te kunnen bieden en om te beantwoorden aan de maatschappelijke vraag naar duurzamer productiesystemen moeten tuinders initiatieven nemen voor de aanpassing van de energiesystemen in hun kas. Dit kunnen ingrijpende aanpassingen zijn, zoals de toepassing van warmte en koudeopslag die in veel phalaenopsisbedrijven is toegepast, maar ook eenvoudige systemen, zoals de toepassing van zorgvuldig regelende ontvochtigingssystemen.

De vernieuwingen die in de afgelopen jaren zijn ontwikkeld zijn resultaten van het onderzoeksprogramma Kas Als Energiebron, waarin middels intensieve samenwerking van onderzoek, toeleveranciers, voorlichting en tuinders de contouren zichtbaar zijn geworden van wat genoemd wordt Het Nieuwe Telen.

In Het Nieuwe Telen staat de plant centraal en wordt de kasklimaatregeling zodanig ingezet dat de plant evenwichtig kan groeien, terwijl het energieverbruik voor de teelt tot een minimum beperkt wordt.

Sleutelfactoren hierbij zijn het telen bij een hogere luchtvochtigheid en het verhogen van de isolatiegraad van de kas, bijvoorbeeld door een intensiever gebruik van energieschermen. Telen bij een hogere luchtvochtigheid beperkt de verdamping van het gewas en verkleint de ventilatiebehoefte. Het intensiever gebruik van energieschermen betreft zowel de vergroting van het aantal uren, de beperking van schermkieren en de toepassing van extra schermen.

Om op deze energiezuinige wijze te kunnen telen is een homogeen kasklimaat een voorwaarde. Zekerheid over een goede temperatuurverdeling maakt dat ook bij hoge luchtvochtigheden de kans op natslag in kasgedeelten met een ondergemiddelde temperatuur klein genoeg is om met vertrouwen zo'n energiezuinig klimaat te kunnen hanteren. Het gebruik van luchtdistributiesystemen wordt gezien als belangrijke techniek om deze homogeniteit te realiseren en daarom is in de sector 'Het Nieuwe Telen' bijna synoniem geworden aan 'het gebruik van luchtdistributiesystemen'.

Er bestaat ook de verwachting dat ventilatoren warme lucht die zich bij gebruik van assimilatiebelichting onder tegen het scherm ophoopt naar beneden geblazen kan worden. Hierdoor zou er onderin de kas een droogcapaciteit ontstaan, waardoor de inzet van buisverwarming kan worden beperkt, ook weer zonder nadelige effecten in een toenemende ziektedruk.

In het monitoringsproject dat in 2013 en 2014 is uitgevoerd zijn een 7-tal tuinbouwbedrijven gevolgd die allemaal op een of andere manier aan de slag zijn gegaan met nieuwe technieken voor een betere klimaatbeheersing in de kas. Het gaat om de volgende bedrijven:

- Een komkommerbedrijf met een standaard buitenlucht inblaassysteem (VA).
- Twee komkommerbedrijven met een balansventilatiesysteem waar tijdens de ontvochtiging zowel buitenlucht ingeblazen wordt als kaslucht afgezogen (AA en CL).
- Een komkommerbedrijf zonder buitenlucht inblaassysteem, maar met grote luchtcirculatieventilatoren voor een homogener kasklimaat. (MA).
- Een tomatenbedrijf met buitenluchtaanzuiging, voorzien van standaard buitenlucht aanzuiging (AR).
- Een tomatenbedrijf met buitenluchtaanzuiging zonder voorverwarming (VB).
- Een tomatenbedrijf zonder natuurlijke ventilatie, waarbij alle luchtuitwisseling plaatsvindt via ventilatoren (RS).
- Een rozenbedrijf waar verticaal uitblazende ventilatoren warmte van onder het scherm naar beneden blazen (BR).
- Een alstroemeria-bedrijf waar verticaal blazende ventilatoren de onderste gewaslagen droger moeten houden (VD).
- Een phalaenopsisbedrijf met een standaard buitenlucht inblaas systeem onder een isolerend kasdek (TL).

Voor al deze bedrijven wordt een beschrijving gegeven van het toegepaste systeem en wordt de gerealiseerde energiebesparing bepaald. Kwantificering van de gerealiseerde besparing is niet altijd eenvoudig omdat de toe te passen referentie vaak niet eenduidig vastligt. Daarom wordt er steeds veel aandacht aan die referentie besteedt.

In de bepaling van het energieverbruik van de nieuwe situatie gaat het steeds om een afname van de warmtevraag, maar vaak ook om een toename van het elektriciteitsverbruik. Aangezien het overgrote deel van de elektriciteit op dit moment en in de komende jaren in Nederland op basis van fossiele brandstoffen wordt geproduceerd, betekent een toename van het verbruik van elektriciteit ook een toename van het verbruik van fossiele brandstof. In de omrekeningsfactor voor stroom naar fossiele energie speelt het gehanteerde gemiddelde centrale rendement een belangrijke rol. In dit rapport wordt daarvoor 45% gerekend. Met deze factor komt 1 kWh elektriciteit overeen met 0.25 m³ aardgas equivalenten aan fossiele energie. In de beoordeling van de energiebesparing wordt de fossiele energie-component ten gevolge van het extra elektriciteitsverbruik van de bepaalde besparing op verwarming afgetrokken om tot een netto energiebesparingsgetal te komen.

2 Komkommerbedrijf (VA)

2.1 Inleiding

Het komkommerbedrijf VA heeft in het nieuwste deel van het bedrijf geïnvesteerd in een buitenlucht aanzuig systeem om daarmee de horizontale temperatuur- en vochtverdeling goed houden bij intensief gebruik van een dubbele scherminstallatie. De verwachting van de betreffende tuinder is dat door dit intensievere schermen een besparing op de warmtevraag van tenminste $5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ jaar})$ verwacht.

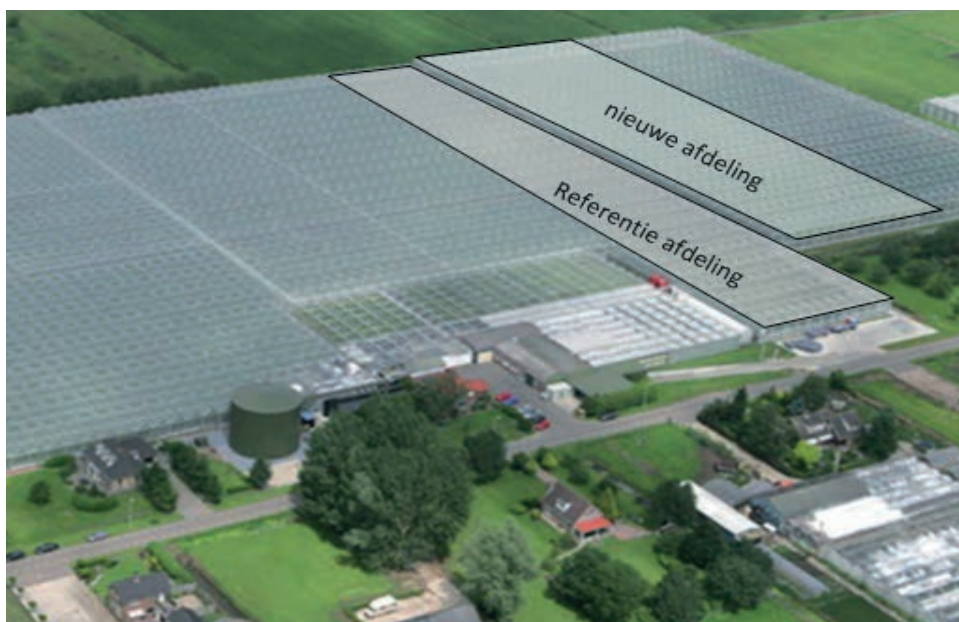
Daarnaast wordt het lucht-inblaassysteem gebruikt bij de verwarming van de kas. In de luchtcirculatiemodus geeft de warmtewisselaar die in de luchtbehandelingskast is opgenomen een additioneel verwarmend oppervlak (additioneel ten opzichte van de buisrail-verwarming). Hierdoor kan de uitkoeling van het verwarmingswater worden vergroot wat voor het betreffende bedrijf zeer gunstig is aangezien het gebruik maakt van geothermie voor de verwarming.

Het energieverbruik van het bedrijf is voor het jaar 2013 en een gedeelte van 2014 bepaald. De beoordeling van de energieprestaties kan voor dit bedrijf dan ook goed worden uitgevoerd door het klimaat en het schermgebruik in één van de nieuw geëquipeerde afdelingen te vergelijken met dat van één van de oude afdelingen.

De zorg om een homogene horizontale temperatuurverdeling is het grootste in de wintermaanden. Daarom heeft de monitoring van de horizontale temperatuurverdeling plaatsgevonden in maart en april 2014. Deze metingen zijn uitgevoerd met een set van 20 draadloze temperatuur/vocht sensoren.

2.2 Bedrijfssituering

Figuur 2.1 toont het bedrijf en de nieuw (2010) gebouwde afdeling met hierin het luchtbehandelingssysteem (Priva Climate Optimizer) dat wordt getest. Als referentie wordt de naastgelegen afdeling gebruikt, waar nog op de 'oude' wijze geteeld wordt.



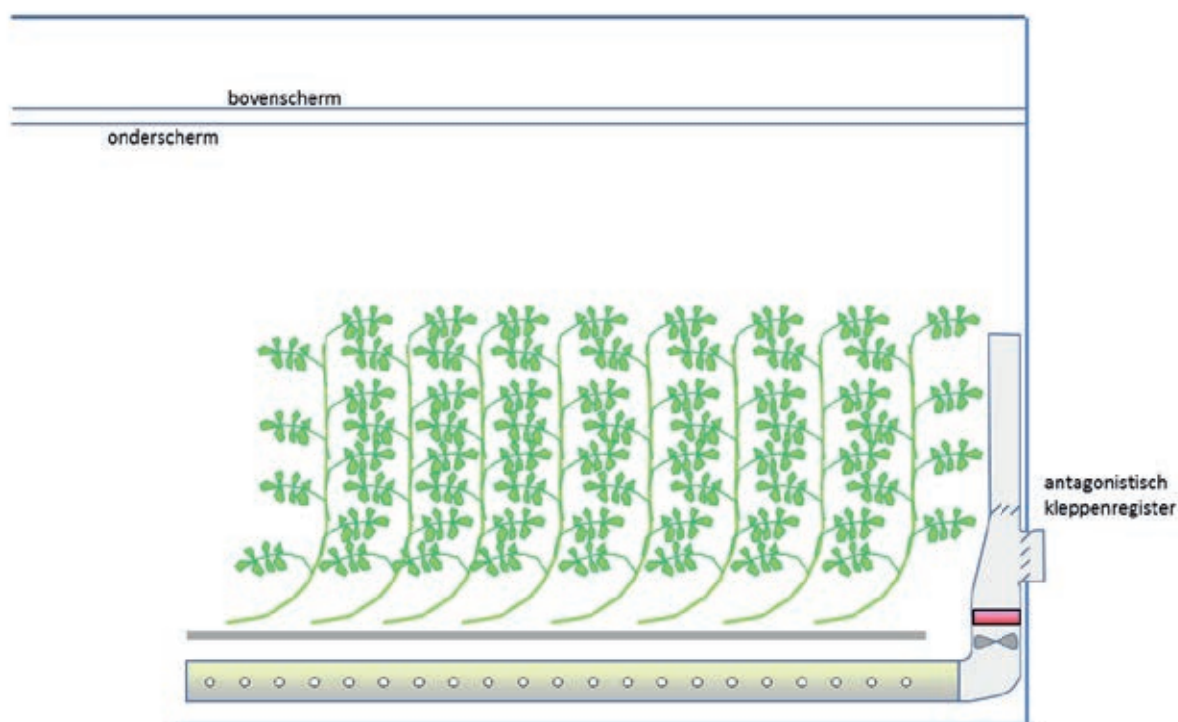
Figuur 2.1 Plattegrond van het bedrijf VA met daarin de nieuwe en referentie afdelingen.

Tabel 1

Enkele kenmerken van komkommerbedrijf VA.

Oppervlakte	7 ha
Bouwjaar	variërend, nieuwste uitbreiding in 2010
Kas	Venlokas, 7m hoog in nieuwste stuk
Scherm 1&2 (nieuwe afdeling)	xls10
Scherm 1 (2013 ref. afd.)	xls10
Scherm 1&2(2014 ref. afd.)	xls10
LBU	5-10 m ³ /m ² uur
Belichting	Nee

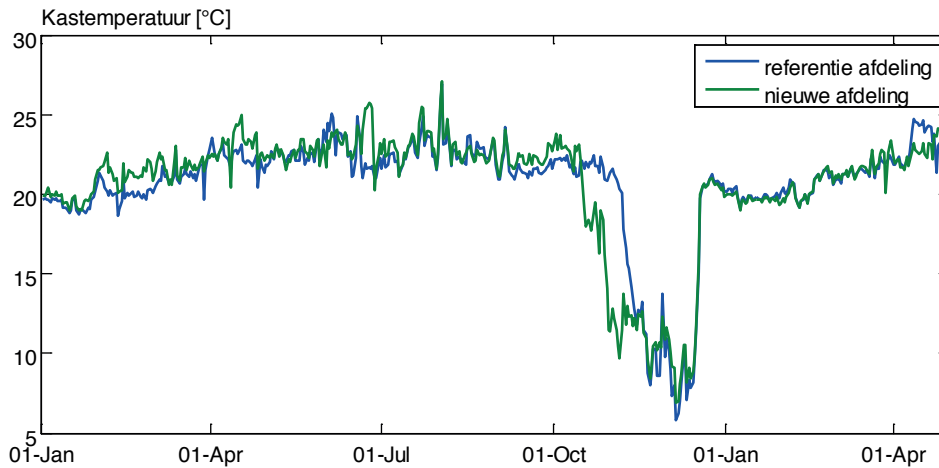
Het luchtbehandelingssysteem bestaat uit een ventilator, gekoppeld aan slurven om de lucht in de kas te verdelen (Figuur 2.2). Door aanzuigopeningen (boven) in de kas en buiten, kan precies de hoeveelheid buitenlucht gekozen worden die nodig is voor het drogen van de kaslucht. De luchtbehandelingskast is voorzien van warmtewisselaar, waardoor de lucht naar kasluchttemperatuur kan worden opgewarmd.



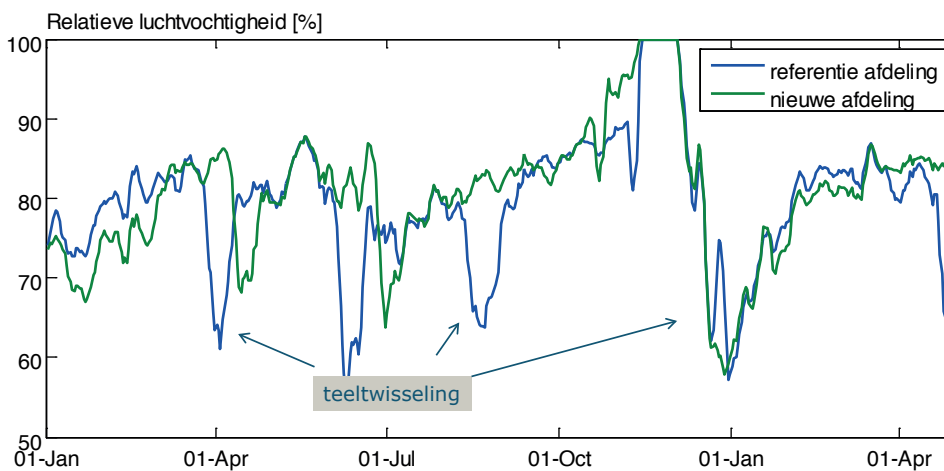
Figuur 2.2 Schets van het toegepaste systeem voor buitenluchtaanzuiging. Met een antagonistisch kleppenregister wordt bedoeld dat het ene register dichtloopt als het andere openloopt en dat de som van beide klepstanden steeds 100% is.

2.3 Resultaten

De daggemiddelde temperatuur in de referentie afdeling is door de bank genomen vergelijkbaar met de nieuwe afdeling. Ook de relatieve luchtvochtigheid (RV) is vergelijkbaar, behalve in de winter/voorjaar van 2013. In die periode was de RV in de nieuwe afdeling hoger, wat kan leiden tot een energiebesparing doordat minder (koude) buitenlucht hoeft worden toegelaten in de kas.

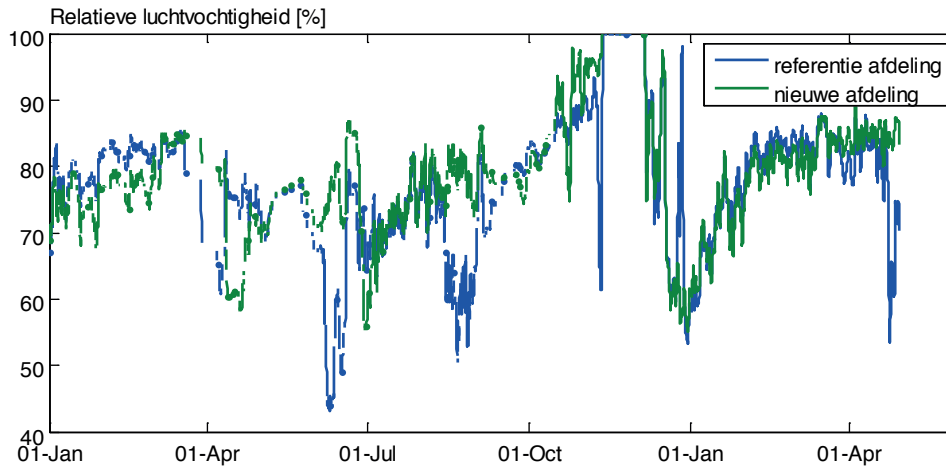


Figuur 2.3 Daggemiddelde kasluchttemperatuur in de kasafdeling met buitenlucht aanzuiging (groen) en in de referentieafdeling van januari 2013 tot april 2014.



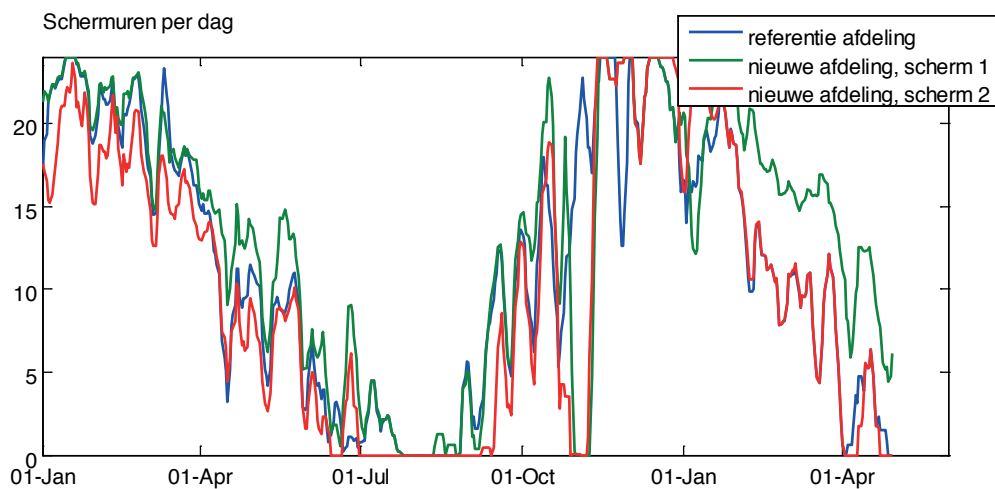
Figuur 2.4 Daggemiddelde luchtvochtigheid in de kasafdeling met buitenlucht aanzuiging (groen) en in de referentieafdeling (De data gefilterd met een 24-uurs voortschrijdend-gemiddelde filter)

In Het Nieuwe Telen willen we tijdens stookmomenten de RV zo min mogelijk omlaag brengen door ventileren met buitenlucht. Immers, bij ventilatie verlaat niet allen het vocht de kas, maar ook voelbare energie. Het beeld dat we zien tijdens de stookperiodes (Figuur 2.5) wijkt niet af van Figuur 2.4; in de eerste winter is de RV in de nieuwe afdeling iets lager dan die van de referentie, maar de rest van de tijd is de RV vergelijkbaar.

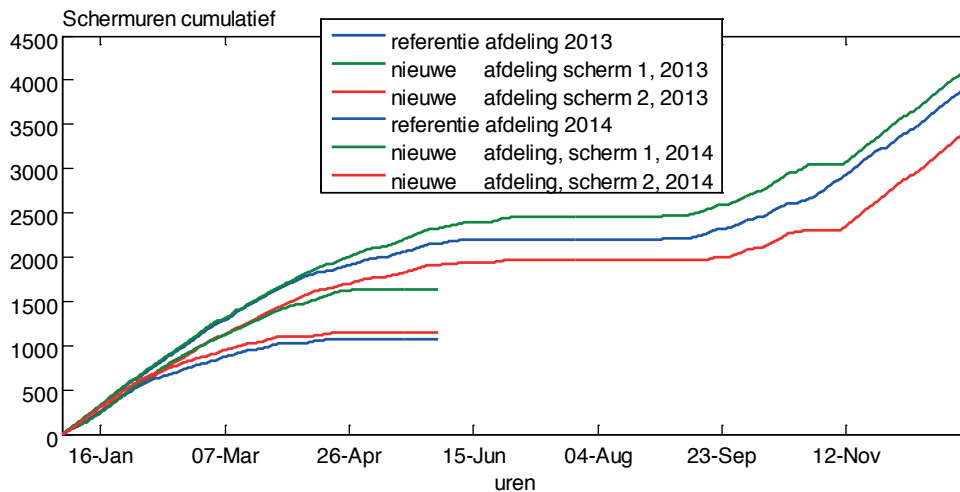


Figuur 2.5 Luchtvochtigheid tijdens stookperiode in de kasafdeling met buitenlucht aanzuiging en in de referentieafdeling. Alleen tijdvakken waarin in beide afdelingen werd gestookt ($>5 \text{ W/m}^2$ verwarming) zijn in de beoordeling meegenomen. (De data zijn gefilterd met een 24-uurs voortschrijdend-gemiddelde filter).

Het aantal schermuren in de nieuwe kas is in 2013 ongeveer gelijk aan de referentie, maar in de nieuwe kas wordt er bijna altijd met twee schermen tegelijk geschermd. Daarom is de nieuwe afdeling veel energiezuiniger.



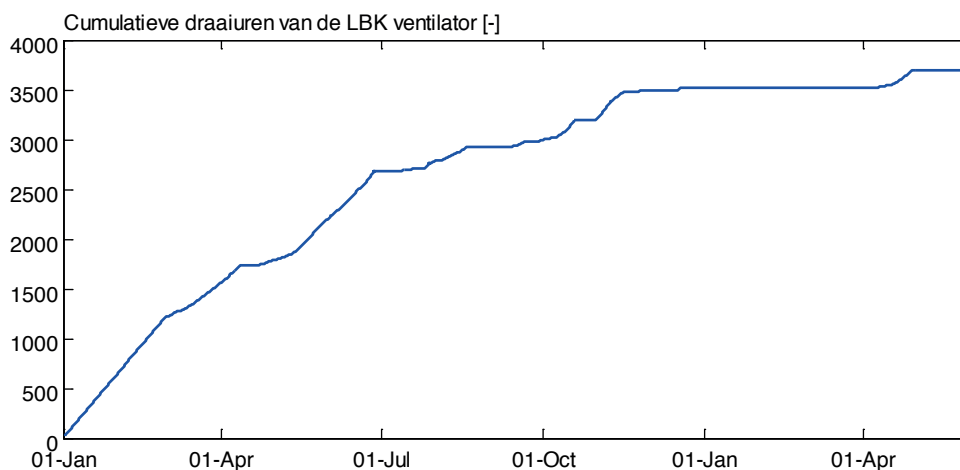
Figuur 2.6 Aantal schermuren per dag in de kasafdeling met buitenlucht aanzuiging en in de referentieafdeling.



Figuur 2.7 Cumulatieve schermuren de referentie (blauw) en nieuwe afdeling in 2013 en eerste deel 2014.

Het luchtinblaassysteem is in de winter/voorjaar 2013 veel gebruikt. Opvallend is dat het systeem in de winter van 2014 niet heeft gedraaid. De redenen hiervoor was teeltechnisch; er is gestart met kleinere planten waardoor de ontvochtigingsbehoefte lager was. Bovendien is het gewas naar het oordeel van de tuinder in winter 2013 te "schraal weggegroeid", wat wordt geweten aan te veel ontvochtiging. In de winter van 2014 wilde men dit voorkomen en is ontvochtigd met schermkieren en minimumbuis.

De minimumbuis wordt nodig geacht, om actief te telen. Bovendien was in de warme winter van 2014 toch warmte 'over' (uit de geothermie bron), waardoor de minimumbuis altijd gebruikt werd.

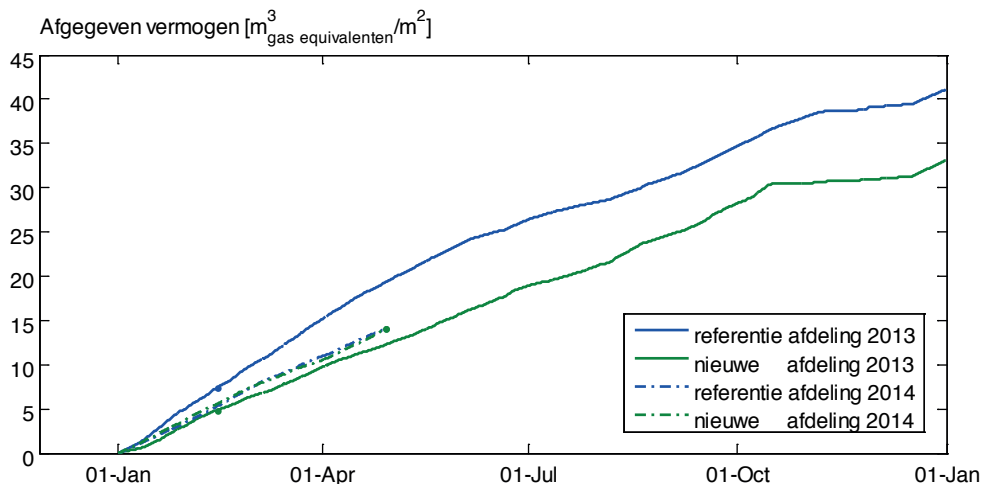


Figuur 2.8 Cumulatief aantal draaiuren van de luchtbehandelingskast over de periode van 1 januari 2013 tot eind april 2014.

In 2013 was het totale warmteverbruik van de referentie $41 \text{ m}^3/\text{m}^2$ (in aardgas equivalenten) en in de nieuwe afdeling $33 \text{ m}^3/\text{m}^2$ (bron: Tuinderij VA, pers. med.). Het verloop van de warmtevraag van beide afdelingen is bepaald met een modelmatige benadering. Figuur 2.9 geeft de warmtevraag die is geschat aan de hand van de gemeten ingaande buistemperatuur (groene en blauwe lijn). In de nieuwe afdeling wordt een deel van de verwarming ook met de LBK verzorgd, het vermogen hiervan is geschat met de uitgaande luchttemperatuur en een gemiddeld luchtdebiet van $6 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{uur})$.

De warmtevraag van de nieuwe afdeling in 2013 was zo'n 20% lager dan in de oude afdeling. Overigens is het verbruik in de referentiekas en in de HNT-afdeling hoog voor een komkommerteelt. Het bedrijf VA hanteert dan ook een vrij lage luchtvochtigheid (tussen de 80 en 85%). De andere komkommertelers (AA, CL en MA) telen tussen de 85 en 90% RV en komen dan ook op een lager verbruik uit.

Door de goede ervaringen met het werken met twee schermen (goed voor de beperking van het energieverbruik, maar ook goed voor het kasklimaat) heeft het bedrijf besloten ook in de kasafdeling waar geen buitenlucht inblaas installatie is aangebracht een dubbel scherm aan te brengen. Dit heeft ertoe geleid dat vanaf de nieuwe teelt (gestart in december 2013) het energieverbruik in de referentiekas gelijk werd aan het energieverbruik in de kas waar volgens HNT wordt geteeld. Dit is goed te zien in onderstaande figuur.



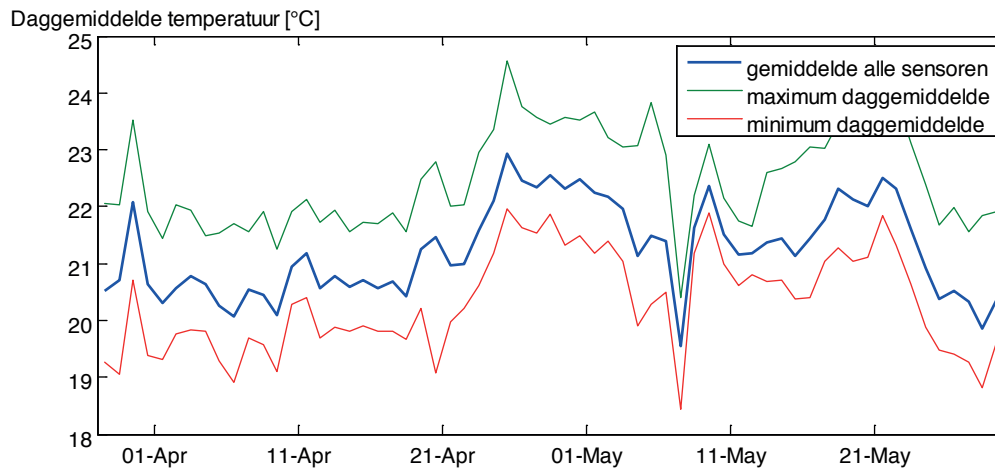
Figuur 2.9 Cumulatieve warmtevraag in 2013 en het eerste deel van 2014 in de nieuwe afdeling en in de referentie (blauw)

Het feit dat de HNT-kas en de referentiekas in 2014 op hetzelfde verbruiksniveau werken kan worden verklaard door het inmiddels vergelijkbare schermgebruik. Het feit echter dat het verbruik in de HNT-kas hoger ligt dan het verbruik in dezelfde periode in 2013 is verrassend, aangezien 2014 een stuk warmer was dan 2013. Dit wordt verklaard uit het feit dat de tuinder niet tevreden was over de gewasontwikkeling die hij in 2013 in de HNT-kas heeft gezien. Op grond van die ervaring is hij in 2014 intensiever gaan telen. Dit heeft geleid tot een hoger warmteverbruik, zelfs ondanks de zeer zachte winter.

2.4 Horizontale temperatuurverdeling

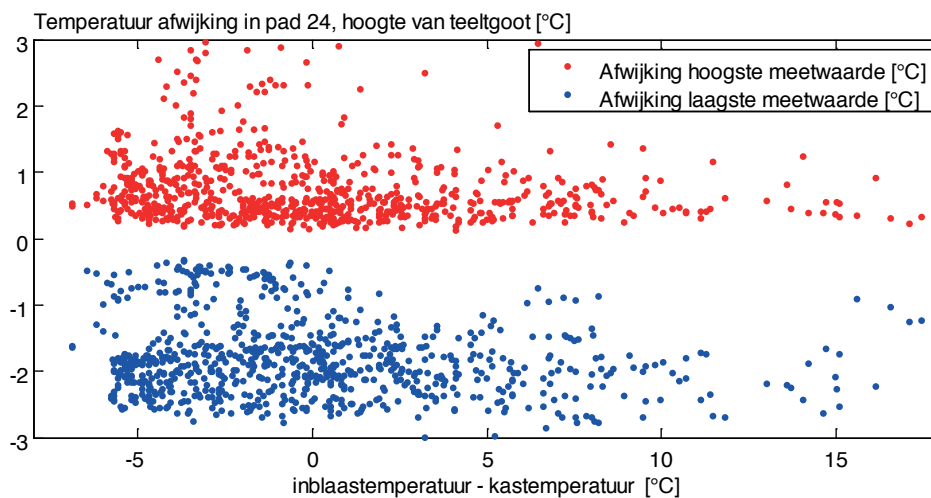
Net als bij bedrijf VB is met draadloze sensoren de horizontale temperatuurverdeling in kaart gebracht. Er is gemeten over de lengterichting van het pad. Dit is namelijk de richting waarin de temperatuurverschillen beïnvloed kunnen worden door ventilatie met slurven onder het gewas.

De meetperiode met relevante meetdata was in april-juni 2014. Vóór deze tijd werd het ontvochtigingssysteem niet gebruikt. Net als in de analyse voor bedrijf VB worden alleen de data gebruikt bij geen/zeer lage zonninstraling. Dit omdat de sensoren niet zijn geventileerd.



Figuur 2.10 Bandbreedte van de gemeten nachttemperaturen.

De temperatuurverdeling wordt niet slechter (of beter) als de inblaastemperatuur verandert, zelfs als de inblaastemperatuur 15°C hoger is dan de kaslucht. Hieruit concluderen we dat de temperatuurverdeling niet merkbaar beïnvloedt wordt door een variërende inblaastemperatuur (Figuur 2.11). Blijkbaar zijn de overige onregelmatigheden in warmte-input of warmteverlies belangrijker voor de horizontale temperatuurverdeling dan de inblaastemperatuur van het luchtverdeelsysteem.



Figuur 2.11 Effect van inblaastemperatuur op de homogeniteit van de kasluchttemperatuur.

2.5 Conclusies

Energiegebruik

Het energiegebruik van de afdeling met actieve ontvochtiging en dubbel scherm was in 2013 20% lager dan een vergelijkbare referentie afdeling met één scherm.

Na installatie van een tweede scherm in de referentieafdeling bleken beide afdelingen evenveel energie te gebruiken in de (warme) winter van 2014. Het is dus op dit bedrijf het dubbele scherm dat zorgt voor de energiebesparing, onafhankelijk van het gebruik van de buitenlucht inblaas installatie.

Temperatuurverdeling

De temperatuurverdeling is in de periode van april-mei 2014 gemeten. Het luchtinblaassysteem blijkt geen invloed te hebben op de temperatuurverdeling.

Op gebied van opbrengst en gewasgezondheid zijn geen verschillen gerapporteerd tussen de referentie en afdeling met ontvochtigingssysteem.

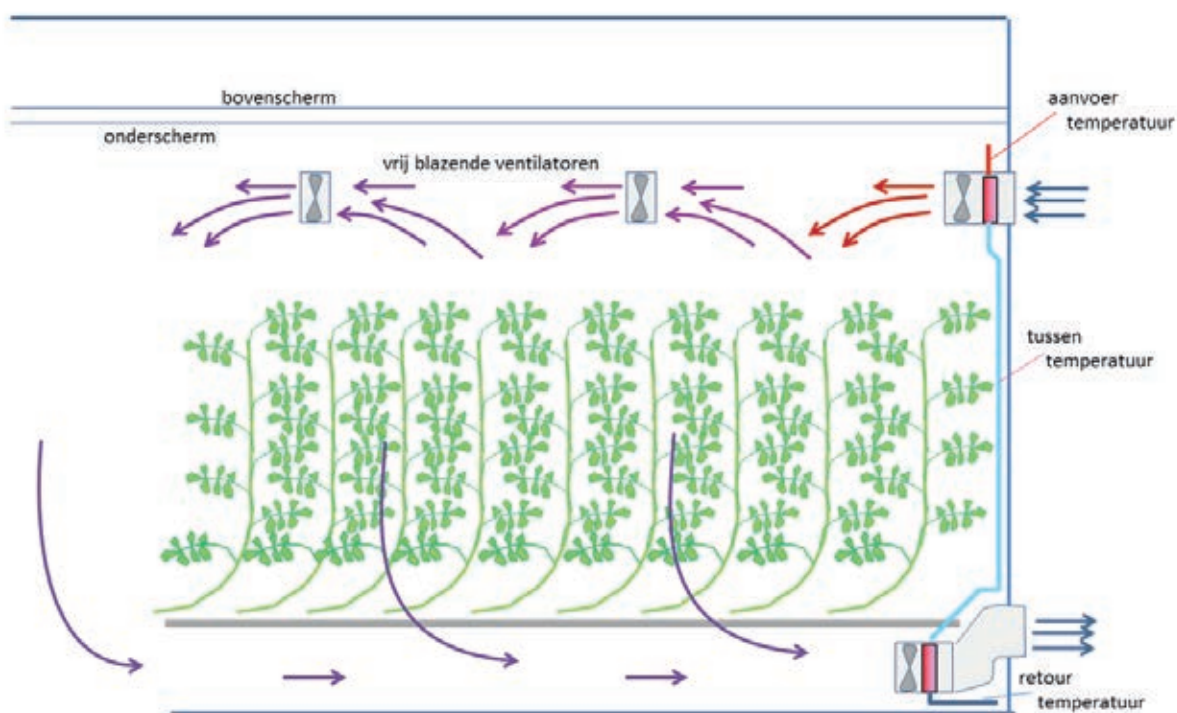
3 Komkommerbedrijf (AA)

3.1 Inleiding

Het komkommerbedrijf AA beslaat bijna 4.8 ha. Op een derde van dit bedrijf (1.78 ha) is er in 2014 gewerkt met een nieuw buitenlucht aanzuig systeem. Dit systeem wijkt op twee punten af van het standaard buitenlucht aanzuigstelsel. In de eerste plaats vindt de verdeling van de verse buitenlucht niet plaats via slurven, maar via een rijtje circulatieventilatoren. Deze ventilatoren worden geacht de lucht die vrij uit de luchtbehandelingskast de kas in wordt geblazen op te pakken en via drie ventilatoren in de lengte van het pad in de richting van het middenpad te voeren.

Aan de onderkant van de gevel staat een tweede luchtbehandelingskast die lucht onderuit de kas zuigt en via een water/lucht warmtewisselaar naar buiten blaast. Het idee achter de toepassing van dit tweede warmtewisselaar-blok is dat het water dat met de opwarming van de droge buitenlucht koud geworden is (in de figuur aangeduid met 'tussentemperatuur') opgewarmd kan worden aan de warme vochtige kaslucht alvorens die naar buiten wordt afgevoerd.

Schematisch ziet de situatie er uit als in onderstaande schets.



Figuur 3.1 Schematische tekening van het balansventilatiesysteem waarmee de kas ontvochtigd kan worden.

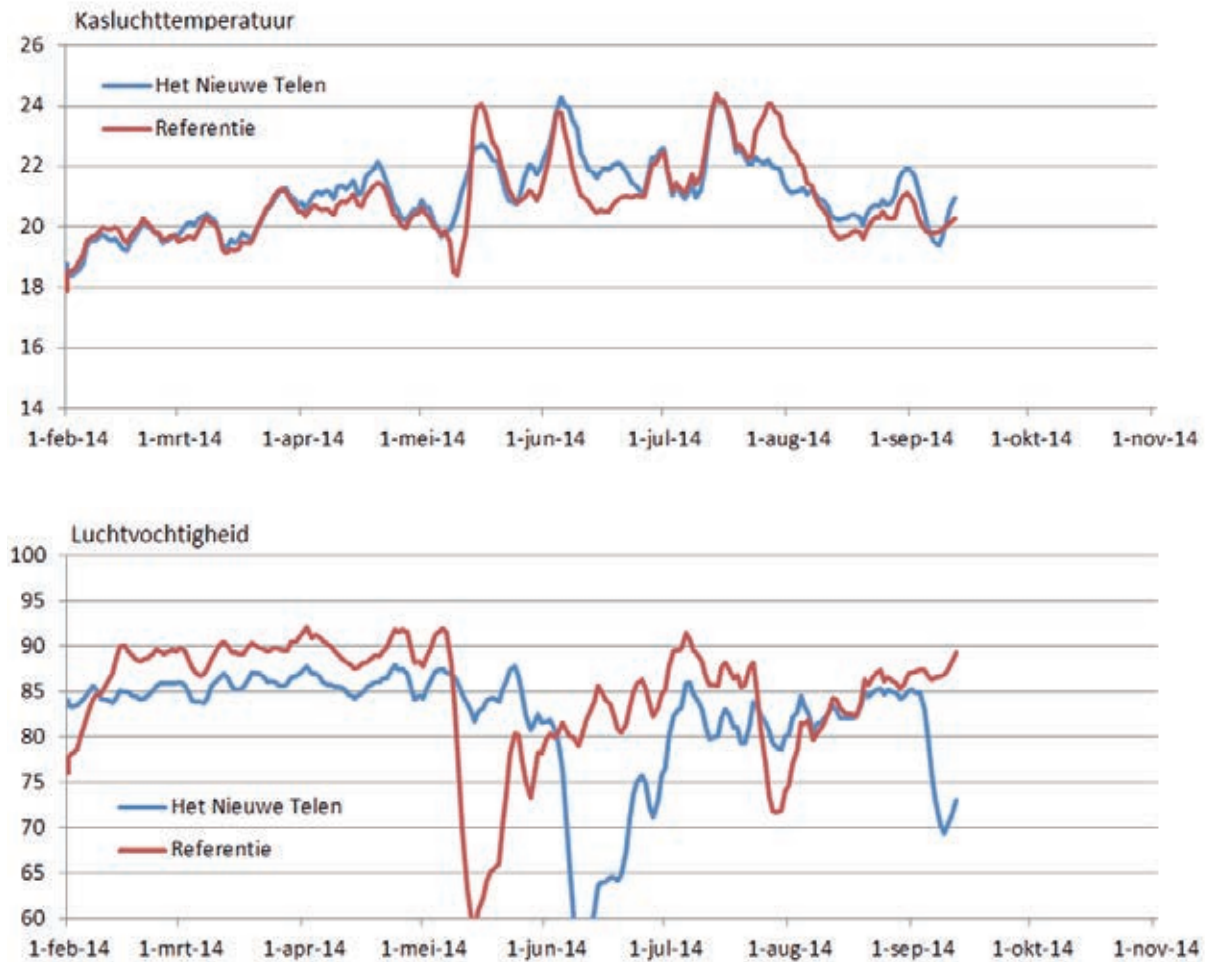
De figuur laat zien dat de HNT-installatie bij AA niet alleen een lucht-inblaassysteem heeft, maar ook een dubbel scherm. AA maakt geen gebruik van assimilatiebelichting.

Het kasklimaat en de energieprestatie van dit systeem wordt vergeleken met een naastliggende kasafdeling. Deze referentieafdeling heeft een enkel scherm en geen buitenlucht inblaassysteem.

3.2 Resultaten

De meetperiode waarover de prestatie van de nieuwe installatie wordt vergeleken met de referentie bestrijkt 1 februari tot 12 september 2014. Vanaf 12 september is in de referentieafdeling een najaarsteelt tomaat geplant zodat het klimaat en het energieverbruik niet meer goed vergeleken kunnen worden.

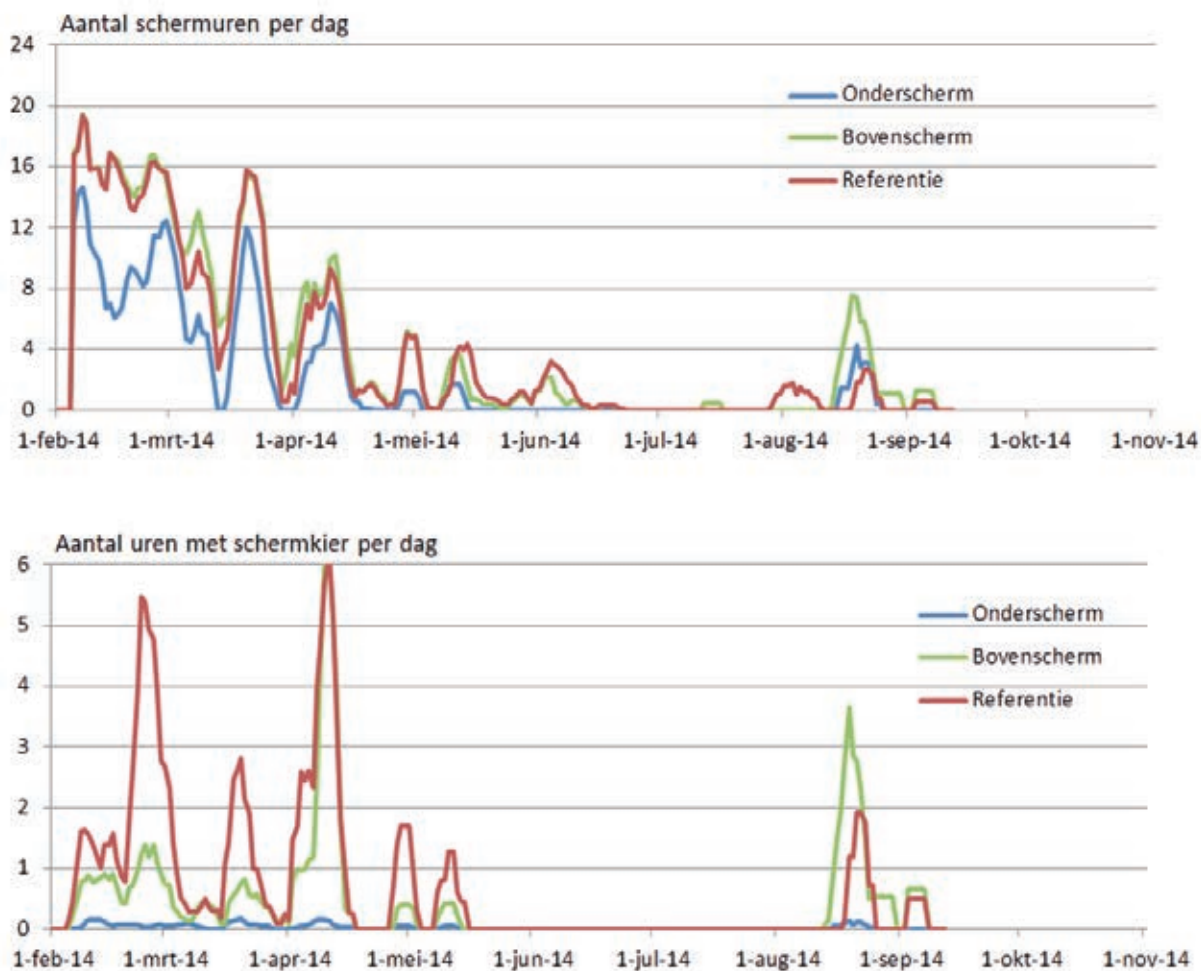
Onderstaande figuren tonen de etmaalgemiddelde temperatuur en de etmaalgemiddelde luchtvochtigheid van de HNT-afdeling en de referentie.



Figuur 3.2 Etmaalgemiddelde temperatuur en luchtvochtigheid in de HNT-afdeling en in de referentie. Om de grafiek makkelijk leesbaar te maken zijn de data afgevlakt met een 5-daags voortschrijdend gemiddelde filter.

Figuur 3.2 laat zien dat de teelttemperaturen dicht bij elkaar liggen, maar dat de luchtvochtigheid in de kas met de ontvochtigingsinstallatie stelselmatig lager ligt dan in de referentieafdeling. Alleen in de weken na een teeltwisseling is de referentiekas droger dan de HNT kas. Hieruit kan worden afgeleid dat de ontvochtigingsinstallatie intensief gebruikt wordt. Dit klopt met de registraties die aangeven dat AA de buitenlucht inblaas installatie 45% van de tijd aan heeft staan.

Door dit veelvuldig gebruik gaat een relatief droog kasklimaat prima samen met een intensief schermgebruik. Onderstaande grafiek toont het aantal schermuren per dag en het aantal uren dat het scherm op een kier stond. Een kierstand is hier gedefinieerd als een schermstand die groter is dan 95, maar geen 100%.



Figuur 3.3 Aantal schermuren en het aantal uren (daarvan) waarbij er een kier in het scherm werd getrokken in de HNT-afdeling (met onder- en bovenscherm) en in de referentie. Om de grafiek makkelijk leesbaar te maken zijn de data afgevlakt met een 5-daags voortschrijdend gemiddelde filter.

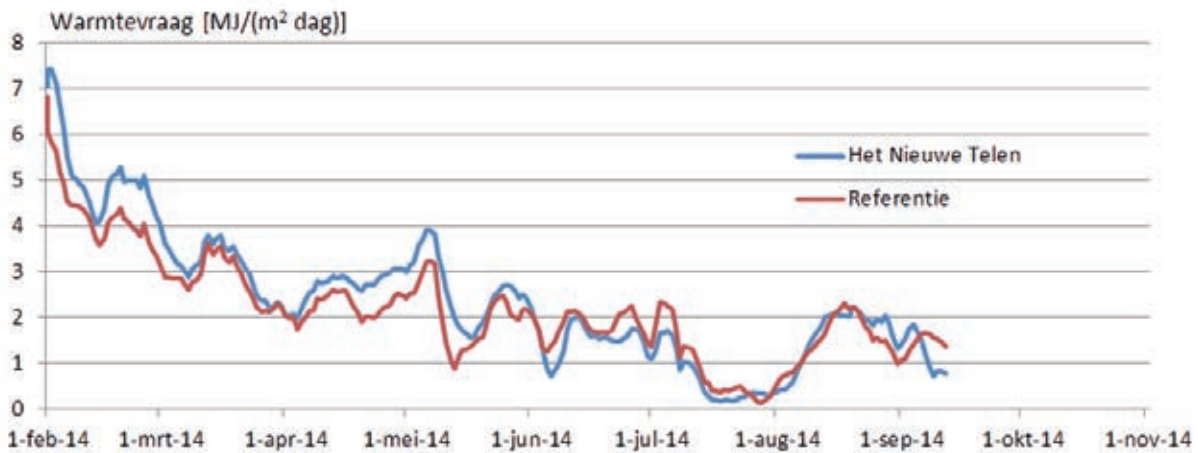
In de NHT-afdeling wordt niet eens heel veel meer geschermd, maar er wordt ruim de helft van de tijd met twee schermen geschermd. Het bovenscherm werd in de HNT afdeling in deze periode 940 uur gesloten, waarvan 100 uur met kier, terwijl het scherm in de referentie-afdeling 860 uur gesloten was, met maar liefst 155 kier-uren. Het onderschermb van de HNT-afdeling was 485 uur gesloten waarvan slechts 6 uur met een kier.

Ondanks het fors toegenomen schermgebruik heeft de HNT-installatie op dit bedrijf in 2014 niet tot energiebesparing geleid.

Onderstaande grafiek toont de hoeveelheid buisverwarming die in de kas is ingezet. Het afgegeven buisvermogen is hierbij berekend uit de overtemperatuur van de verwarmingsnetten ten opzichte van de kasluchttemperatuur in combinatie met het aantal buizen. In beide afdelingen liggen er per tralie 10 51-ers, maar de traliebreedte is in de HNT-afdeling 9 meter en in de referentie-afdeling 8 meter. Het VO (Verwarmend Oppervlak) is in de HNT-afdeling dus 11% kleiner zodat het afgegeven vermogen in de HNT-afdeling bij gelijke overtemperatuur (het verschil tussen gemiddelde buistemperatuur en kasluchttemperatuur) ook 11% kleiner is (1.77 W/°C in vergelijking met 1.99 W/°C).

Naast de buisrail-verwarming hebben beide kassen nog een tweede net. In de referentiekas is dat een standaard groeinet met 5 32-ers in een tralie van 8 meter, maar in de HNT-afdeling is dit een PE slangen net met 10 40 mm buizen per 9 meter tralie. Het VO in het tweede net van de HNT-afdeling is dus 2.2 maal groter dan dat van de referentie-afdeling. De PE-slangen geven echter per graad iets minder warmte af dan een metalen buis, zodat het afgegeven vermogen per graad overtemperatuur in het tweede net van de HNT-afdeling 1.8 maal groter is dan het tweede net in de referentie-afdeling (1.21 W/°C in vergelijking met 0.67 W/°C).

Uit de meetdata van de referentie-afdeling en de HNT-afdeling is voor elke 5 minuten waarin de pompen draaiden de overtemperatuur van de verwarmingsnetten bepaald en vermenigvuldigd met de bovenstaande omrekenfactoren. Dit leidde tot de onderstaande grafiek.



Figuur 3.4 Buisverwarming in de HNT-afdeling en in de referentie. Om de grafiek makkelijk leesbaar te maken zijn de data afgevlakt met een 5-daags voortschrijdend gemiddelde filter.

De figuur laat zien dat in de eerste helft van 2014 meer buiswarmte in de HNT-afdeling is ingebracht dan in de referentie-afdeling. In de zomerperiode liggen de warmteverbruiken op hetzelfde niveau. Over de 226 dagen waarover de vergelijking tussen deze twee kasafdelingen is gemaakt bedroeg de hoeveelheid warmte die via de buizen werd gegeven in de HNT-afdeling 17.1 m³ aardgas equivalenten. Voor de referentieafdeling was dit 15.5 m³ aardgas equivalenten.

Het energieverbruiksverschil wordt nog groter wanneer ook de warmte die ingezet is voor de opwarming van de buitenlucht wordt meegenomen. In de 2400 uur dat de buitenlucht-installatie in deze monitoringperiode heeft gedraaid werd de aangezogen buitenlucht gemiddeld 9.5 °C opgewarmd. Als hierbij gemiddeld 3 m³/(m² uur) buitenlucht is aangezogen waren er voor deze opwarming 2.8 m³ aardgas equivalenten nodig.

Met het opwarmen van de koude buitenlucht wordt het water dat door de warmtewisselaar stroomt afgekoeld tot onder de kasluchttemperatuur. Over de warmere periode kwam het water dat uit de eerste warmtewisselaar stroomde op een temperatuur van zo'n 2 graden onder de kasluchttemperatuur en in de koude periode van het jaar kan dit oplopen tot 5 graden onder de kasluchttemperatuur. Omdat deze watertemperatuur meestal onder de kasluchttemperatuur ligt kan er middels de tweede warmtewisselaar energie worden teruggewonnen uit de uitgeblazen, vochtige kaslucht. Dit is in figuur 3.1 gevisualiseerd door de tussentemperatuur lichtblauw gekleurd af te beelden (koud) en de retourtemperatuur, die uit het onderst blok stroomt donkerblauw te kleuren (minder koud).

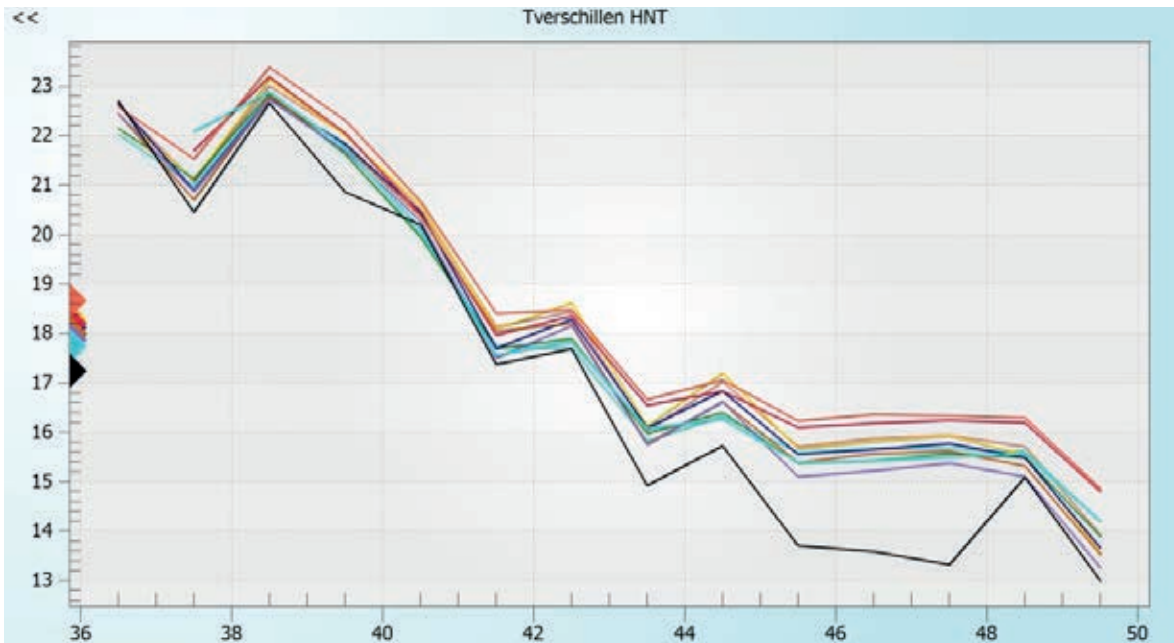
De terugwarming van het water blijkt echter niet groot. Gemiddeld bedraagt de afkoeling van het aanvoerwater naar de tussentemperatuur over de beschouwde periode 8 °C en de terugwarming van dit water is gemiddeld 2 °C. Van de 2.8 m³ aardgas equivalenten die nodig was voor het opwarmen van de buitenlucht wordt over de beschouwde periode dus ongeveer 0.7 m³ aardgas equivalenten teruggewonnen. De opwarming van de buitenlucht kostte in de beschouwde periode (1 februari tot 12 september 2014) dus netto iets meer dan 2 m³ aardgas equivalenten per m².

Behalve de energie voor de opwarming van de aangezogen buitenlucht wordt er ook nog elektrische energie gebruikt voor de ventilatoren. Deze hoeveelheid is niet bekend, maar zal gezien het aantal gebruiksuren en het feit dat er 5 ventilatoren per tralie draaien over de monitoringsperiode zeker 4 kWh/m² bedragen.

Het totale energieverbruik voor de HNT-afdeling in dit bedrijf over de monitoringperiode van 1 februari tot 12 september 2014 ligt daarmee 4.6 m³ aardgas equivalenten per m² hoger dan de referentie.

3.3 Horizontale temperatuurverdeling

Een van de vragen vooraf was of het systeem om de droge lucht over het gewas te verdelen met horizontale ventilatoren wel een uniforme verdeling zou opleveren. Uit het weekgemiddelde van de sensoren in de HNT afdeling ontstaat het beeld dat die verdeling redelijk uniform is. Wel nemen na week 45 de verschillen toe, sensoren 10 en 12 gaan uit de pas lopen. Ook valt op dat de temperatuur van de ingeblazen lucht een lange tijd duidelijk te laag is.



Figuur 3.5 Weekgemiddelden temperaturen van het gedistribueerd meetnet sensoren in de HNT afdeling. De weeknummers hebben betrekking op 2014.

De temperatuurverschillen over wat langere periode blijven binnen de plus of min een halve graad ten opzichte van het gemiddelde. Er is ook gekeken naar de relatie tussen het al dan niet in werking zijn van de buitenlucht inblaas installatie en de temperatuurverschillen. Hier werd geen invloed gevonden.

Wel gaven de metingen aan dat bij gesloten scherm de temperatuurverschillen wat groter werden. Waarschijnlijk is de onbalans tussen verwarming langs de gevel en verwarming in de rest van de kas groter bij een gesloten scherm.

Het gedistribueerde meetnet is ook op de referentie-afdeling geplaatst. Dit leverde hetzelfde beeld.

3.4 Conclusies

Energiegebruik

Het energiegebruik van de afdeling met het buitenlucht inblaas installatie is bij dit bedrijf in de periode van 1 feb 2014 tot 12 september 2014 ongeveer 30% hoger dan het verbruik van de referentieafdeling. Dit ondanks het feit dat de Nieuwe Telen afdeling een dubbel scherm heeft. Het hogere energieverbruik heeft te maken met de structureel lagere luchtvochtigheid die wordt aangehouden.

De terugwinning van warmte middels de tweede warmtewisselaar in het balansventilatiesysteem bespaarde een kwart op de warmte die benodigd was voor de opwarming van de aangezogen buitenlucht. Aangezien de warmteverbruik voor de opwarming van de buitenlucht op 2.8 m³ aardgas uitkwam betekende dit voor de beschouwde periode een besparing van 0.7 m³ aardgas equivalenten per m².

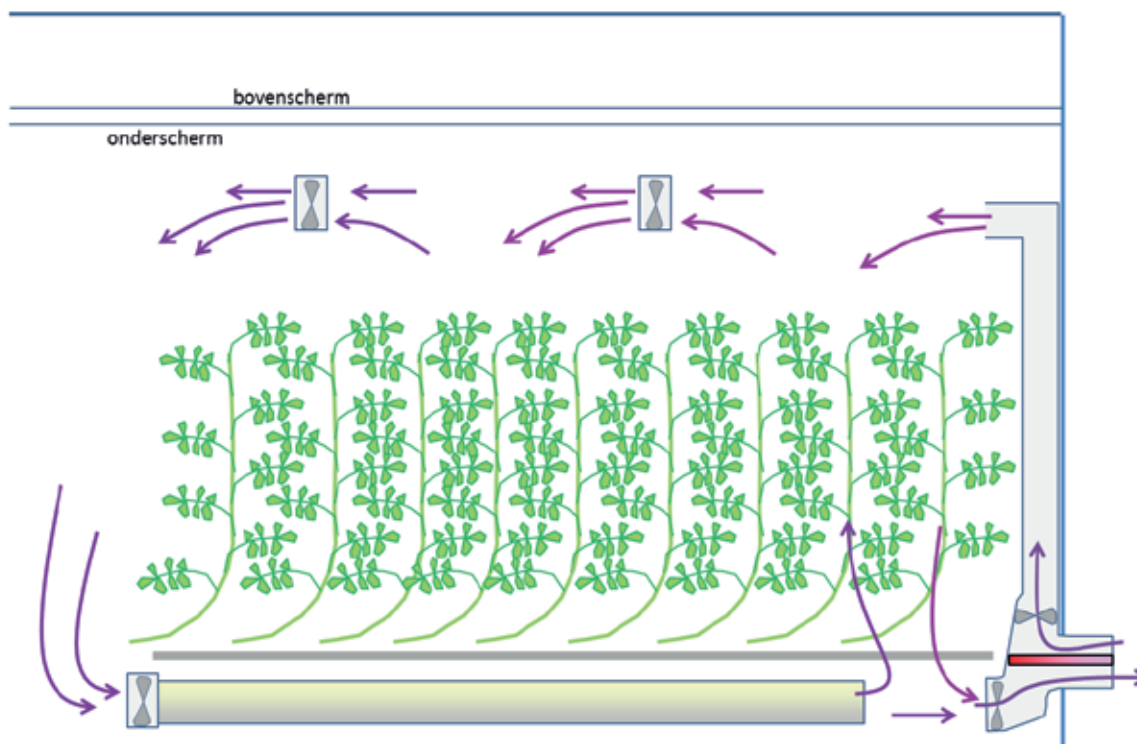
Temperatuurverdeling

Er zijn geen problemen met de temperatuurverdeling geconstateerd. Het lucht inblaassysteem laat geen beïnvloeding op de temperatuurverdeling zien.

4 Komkommerbedrijf (CL)

4.1 Inleiding

Het komkommerbedrijf CL heeft op een deel van het bedrijf geïnvesteerd in een buitenlucht inblaas installatie met een lucht/lucht warmtewisselaar. Ook dit is dus, net als bij AA, een balansventilatiesysteem. Schematisch ziet de situatie er uit als in onderstaande schets.



Figuur 4.1 Schematische tekening van het balansventilatiesysteem waarmee de kas ontvochtigd kan worden.

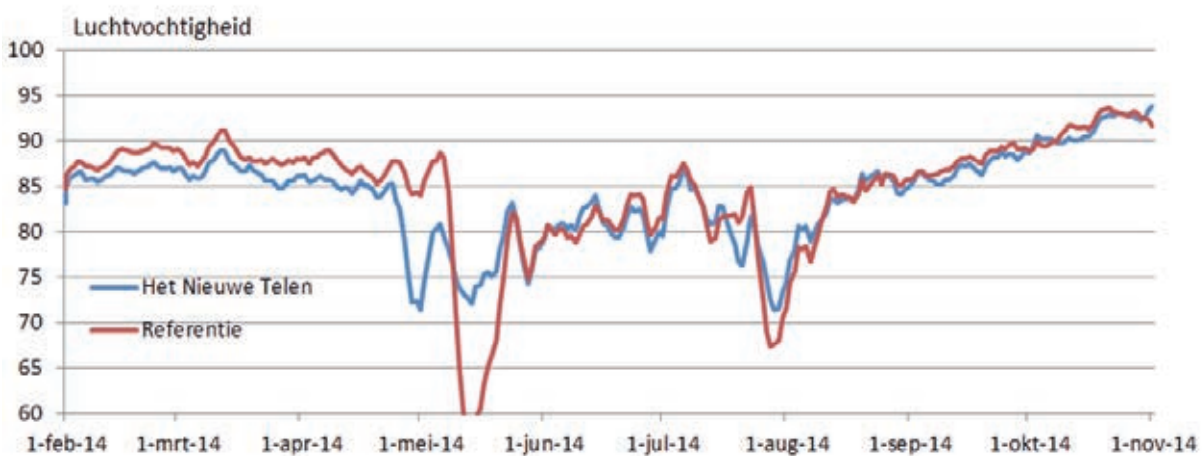
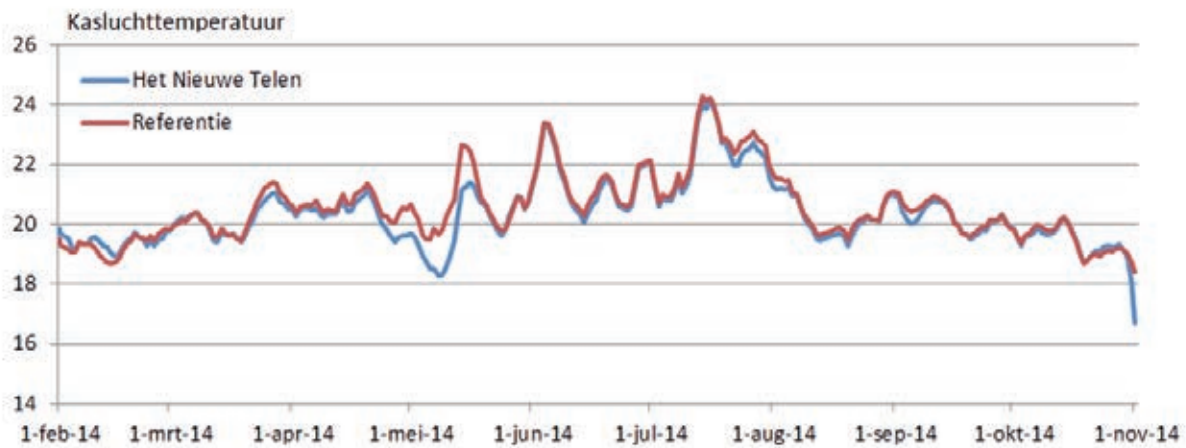
In de uitvoeringsvorm zoals bij CL wordt de instromende droge maar koude buitenlucht opgewarmd aan de uitstromende warme, vochtige kaslucht. Hierdoor kan de luchtbehandelingskast als een passief systeem zonder verwarmingsblok worden uitgevoerd.

Het kasklimaat en de energieprestatie van dit systeem wordt vergeleken met een naastliggende kasafdeling. Deze referentieafdeling heeft een enkel scherm en geen buitenlucht inblaassysteem.

4.2 Resultaten

De meetperiode waarover de prestatie van de nieuwe installatie wordt vergeleken met de referentie bestrijkt 1 februari tot 1 november 2014. Vanaf 1 november begint de tuinder met teeltwisselingen waardoor er pas vanaf eind januari 2015 weer vergelijkingen mogelijk zijn tussen de twee afdelingen.

Onderstaande figuren tonen de etmaalgemiddelde temperatuur en de etmaalgemiddelde luchtvochtigheid van de HNT-afdeling en de referentie.



Figuur 4.2 Etmaalgemiddelde temperatuur en luchtvochtigheid in de HNT-afdeling en in de referentie. Om de grafiek makkelijk leesbaar te maken zijn de data afgevlakt met een 5-daags voortschrijdend gemiddelde filter.

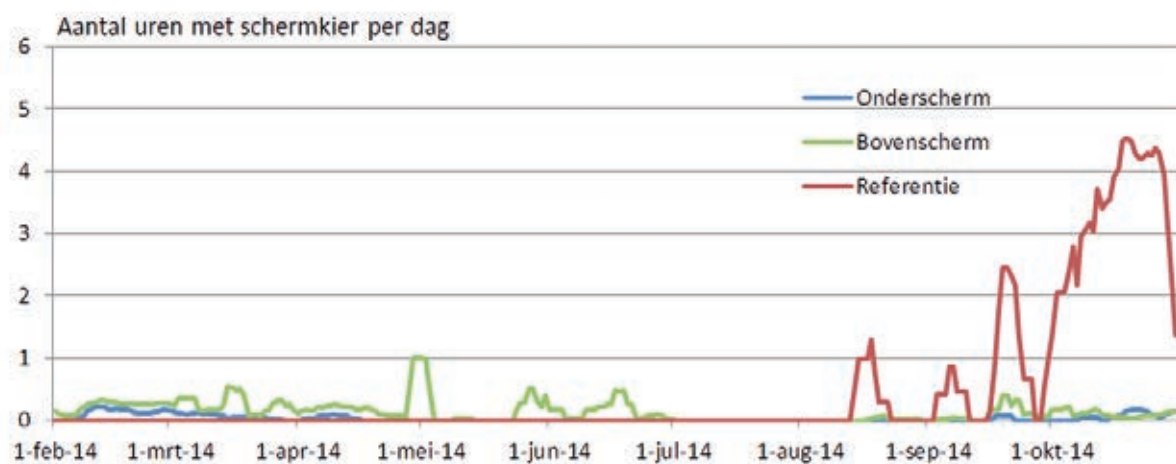
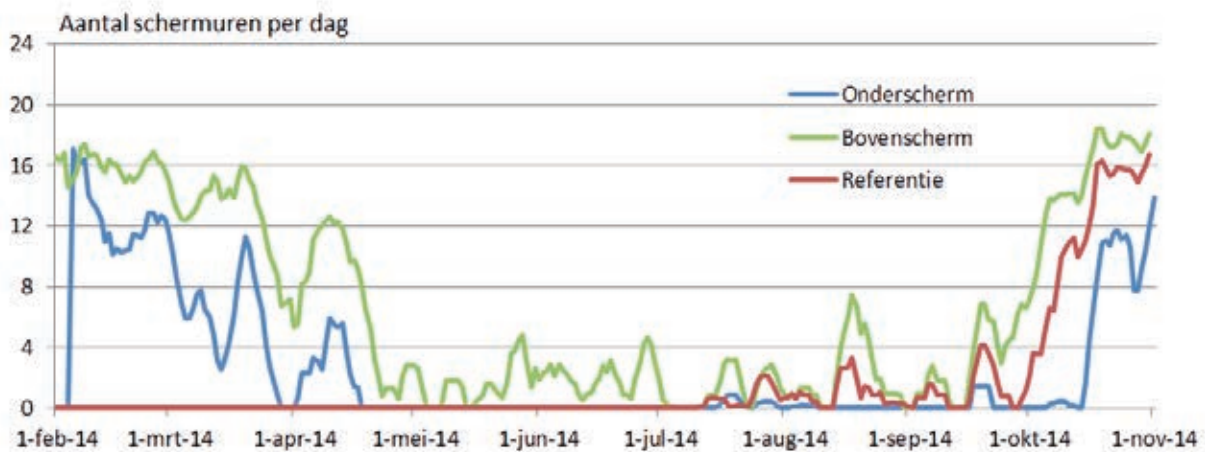
Figuur 4.2 laat zien dat de teelttemperaturen en luchtvochtigheid dicht bij elkaar liggen. Voor wat betreft de luchtvochtigheid is duidelijk sprake van een leercurve. Aan het begin van de monitoringsperiode werd in de HNT-afdeling droger geteeld, wat extra energie vraagt, maar aan het eind van de monitoring periode zijn de RV's gelijk.

Behalve een hoge luchtvochtigheid hanteert dit bedrijf op de HNT-afdeling ook meer schermuren, vaak met twee schermen en een klein aantal kier-uren. Ook hier is een kierstand gedefinieerd als een schermstand groter dan 95, maar geen 100%.

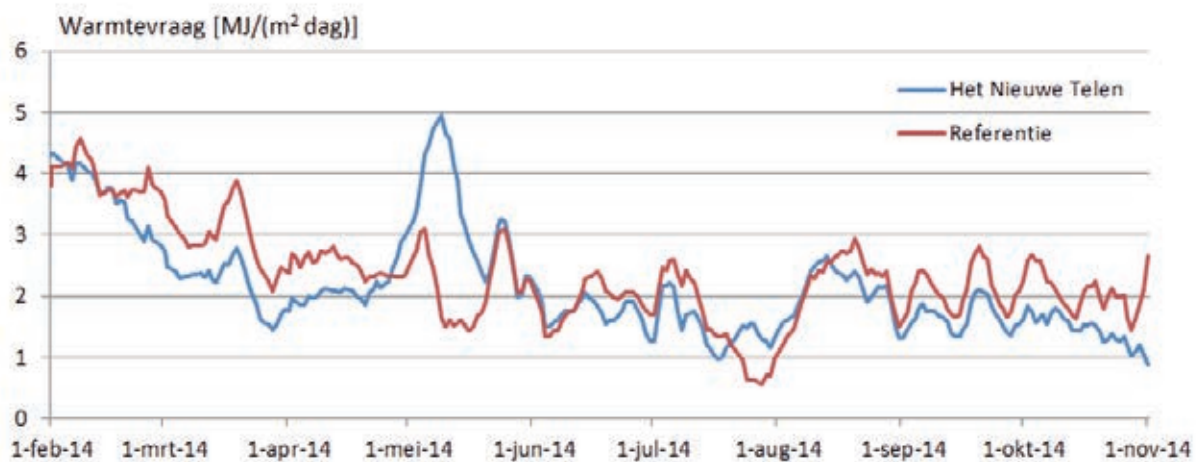
Figuur 4.4 laat zien dat de warmtevraag van de HNT-afdeling bijna altijd lager is dan van de referentieafdeling. Het berekende energieverbruik voor de HNT-afdeling over deze periode bedroeg $19.1 \text{ m}^3/\text{m}^2$, terwijl dit voor de referentie-afdeling $20.6 \text{ m}^3/\text{m}^2$ was.

Dit verschil is waarschijnlijk net genoeg om het energieverbruik dat gemoeid is met het elektriciteitsverbruik voor de ventilator te compenseren.

Om echt energiebesparend te zijn zal dit bedrijf dus nog meer moeten gaan schermen en/of vochtiger moeten gaan telen.



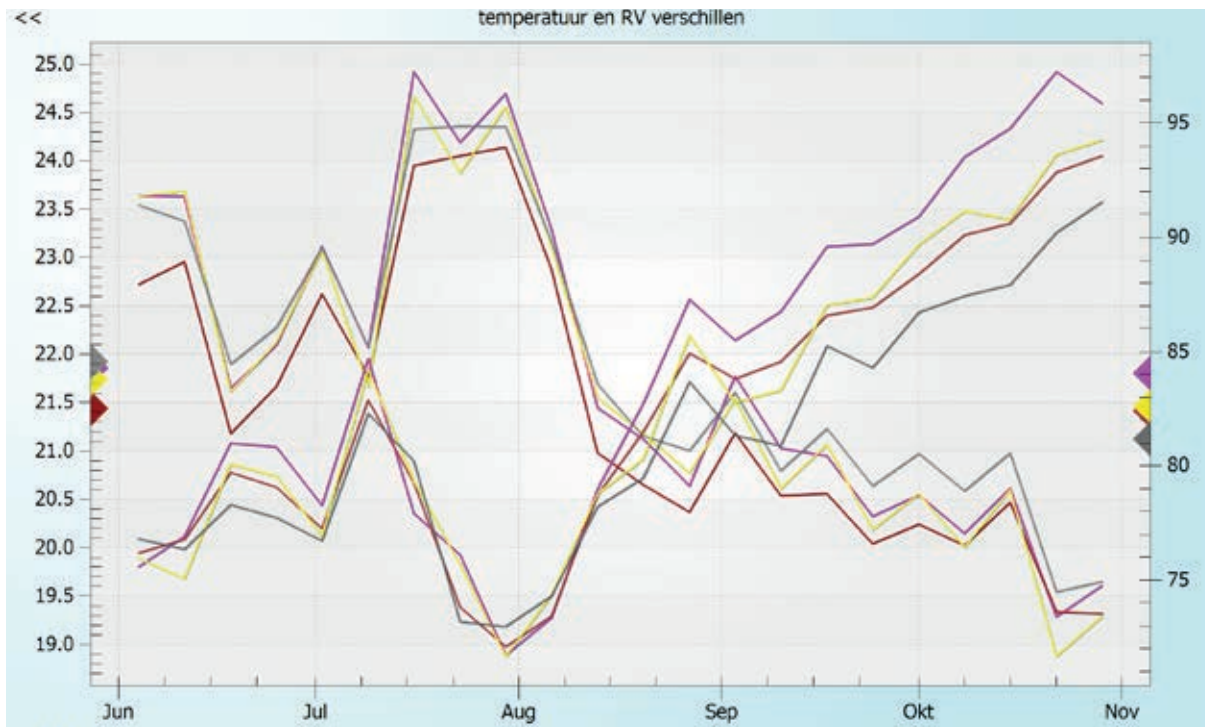
Figuur 4.3 Aantal schermuren en het aantal uren (daarvan) waarbij er een kier in het scherm werd getrokken in de HNT-afdeling (met onder- en bovenscherm) en in de referentie. Om de grafiek makkelijk leesbaar te maken zijn de data afgevlakt met een 5-daags voortschrijdend gemiddelde filter. De data over het schermgebruik in de referentiekas waren pas vanaf half juli beschikbaar.



Figuur 4.4 Buisverwarming in de HNT-afdeling en in de referentie. Om de grafiek makkelijk leesbaar te maken zijn de data afgevlakt met een 5-daags voortschrijdend gemiddelde filter.

4.3 Horizontale temperatuurverdeling

De installatie bij dit bedrijf levert droge buitenlucht dat op passieve wijze is opgewarmd naar de kasluchttemperatuur. De verschillen in temperatuur over de diepte van het pad zijn dan ook gering. Figuur 4.5 laat echter zien dat de verschillen in luchtvochtigheid vooral aan het einde van de teelt groot zijn. Blijkbaar leidt de buitenlucht inblaas vooral langs de gevels tot een lagere luchtvochtigheid en in het pad niet.



Figuur 4.5 Weekgemiddelden temperaturen van het gedistribueerd meetnet sensoren in de HNT afdeling. De weeknummers hebben betrekking op 2014.

4.4 Conclusies

Energiegebruik

De warmtevraag van de afdeling met het buitenlucht inblaas installatie was bij dit bedrijf in 2014 iets lager dan dat van de referentie. Het verschil is klein, maar genoeg om te compenseren voor het stroomverbruik van de ventilator. De tuinder zal een hogere luchtvochtigheid moeten gaan aanhouden en mogelijk nog wat meer moeten gaan schermen om tot een duidelijke energiebesparing te komen.

Horizontale verdeling van temperatuur en RV

Er zijn geen problemen met de temperatuurverdeling geconstateerd. Het lucht inblaassysteem laat geen beïnvloeding op de temperatuurverdeling zien. De RV werd langs het middenpad stelselmatig te hoog, waardoor aanpassing van het circulatiesysteem gewenst is.

5 Komkommerbedrijf (MA)

5.1 Inleiding

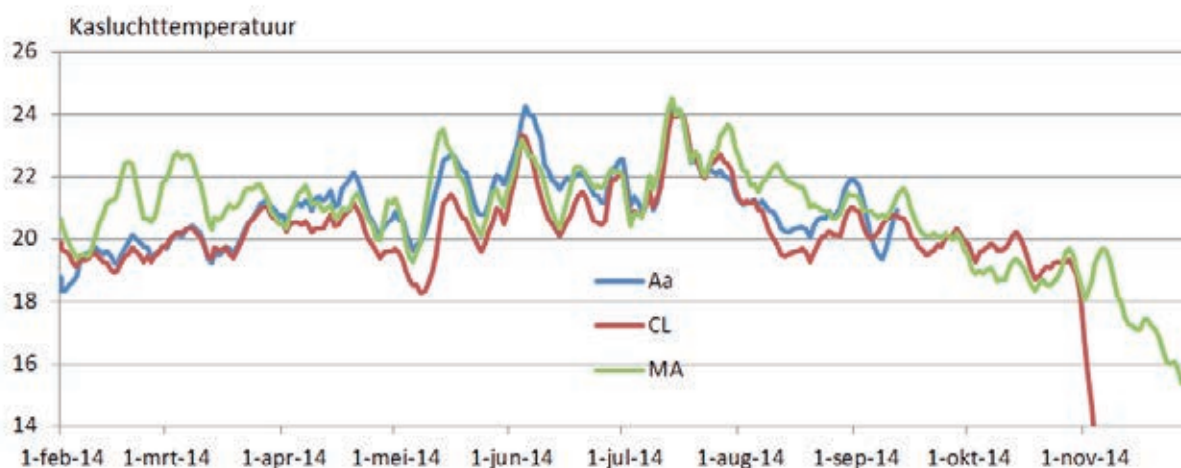
Het komkommerbedrijf MA heeft geen buitenlucht aanzuigingsstelsel. Het past echter wel de filosofie van HNT toe, dat wil zeggen dat de tuinder bij een hoge luchtvochtigheid teelt en intensief schermt. Er is echter slechts één scherm aanwezig.

Om de homogeniteit van de kaslucht onder het gesloten doek goed te houden heeft MA op het bedrijf van 2.9 ha 13 stuks zeer grote ventilatoren opgehangen. Deze ventilatoren hebben een bladdiameter van 4.8 meter en bedienen elk 2215 m². De ventilatoren zuigen volgens opgave vanuit het midden aan de onderkant 30000 m³/uur aan die zijdelings langs het schermdoek wordt weggeblazen. Dit betekent een gemiddeld luchtverplaatsingsdebiet van 13,5 m³/(m² uur).

Het bedrijf MA heeft hetzelfde systeem over het hele bedrijf zodat de prestaties alleen vergeleken kunnen worden met andere komkommerbedrijven. De twee voornoemde bedrijven AA en CL liggen in dezelfde regio en daarom worden deze als vergelijking gebruikt.

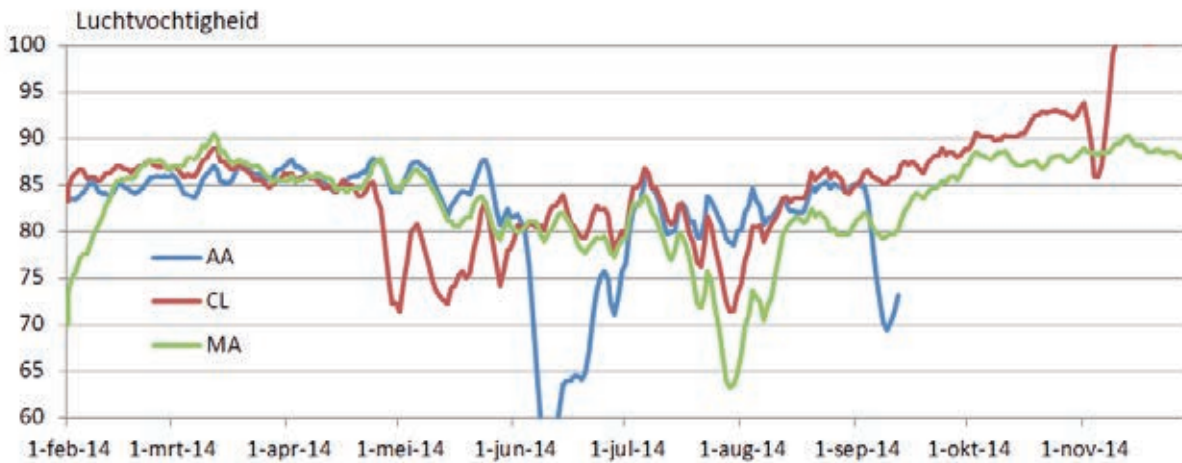
5.2 Resultaten

Qua temperatuur neigt MA gemiddeld wat warmer te telen dan de twee andere HNT-bedrijven in zijn regio. Dit blijkt uit onderstaande figuur.



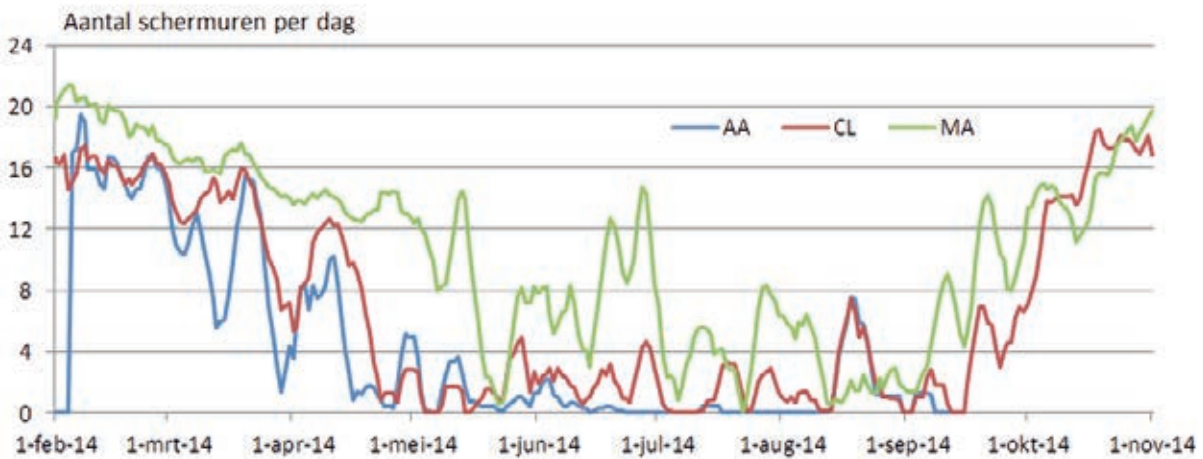
Figuur 5.1 Etmaalgemiddelde temperatuur van MA in vergelijking met twee HNT-telers in dezelfde regio. Om de grafiek makkelijk leesbaar te maken zijn de data afgevlakt met een 5-daags voortschrijdend gemiddelde filter.

De luchtvochtigheid die wordt aangehouden is meestal wat lager, met uitzondering van het voorjaar waar MA net zo'n hoge luchtvochtigheid aanhoudt als de andere bedrijven.



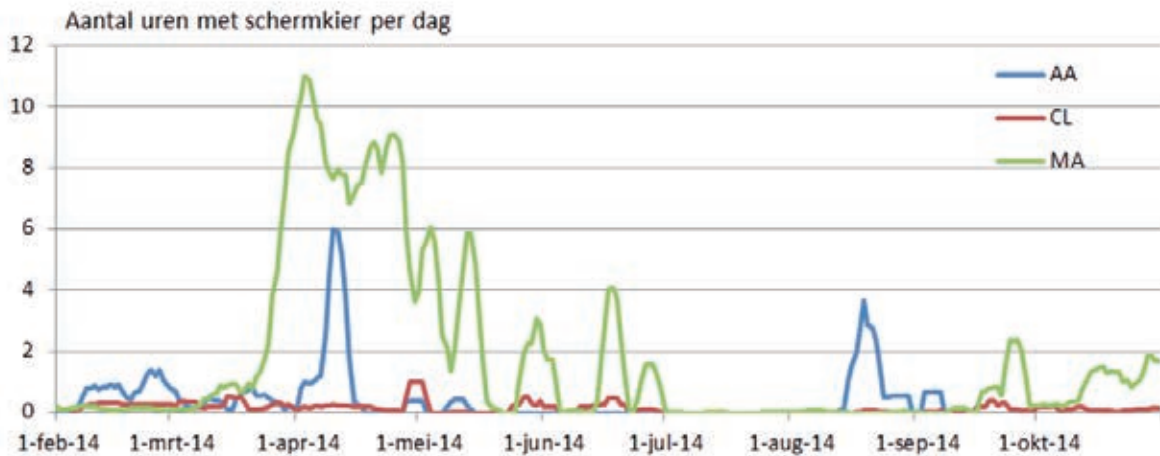
Figuur 5.2 Etmaalgemiddelde luchtvochtigheid van MA in vergelijking met twee HNT-telers in dezelfde regio. Om de grafiek makkelijk leesbaar te maken zijn de data afgevlakt met een 5-daags voortschrijdend gemiddelde filter.

Qua schermgebruik kan gesteld worden dat MA van de drie komkommertelers die in deze regio in het monitoringsproject betrokken waren het meest intensief van het scherm gebruik maakt.



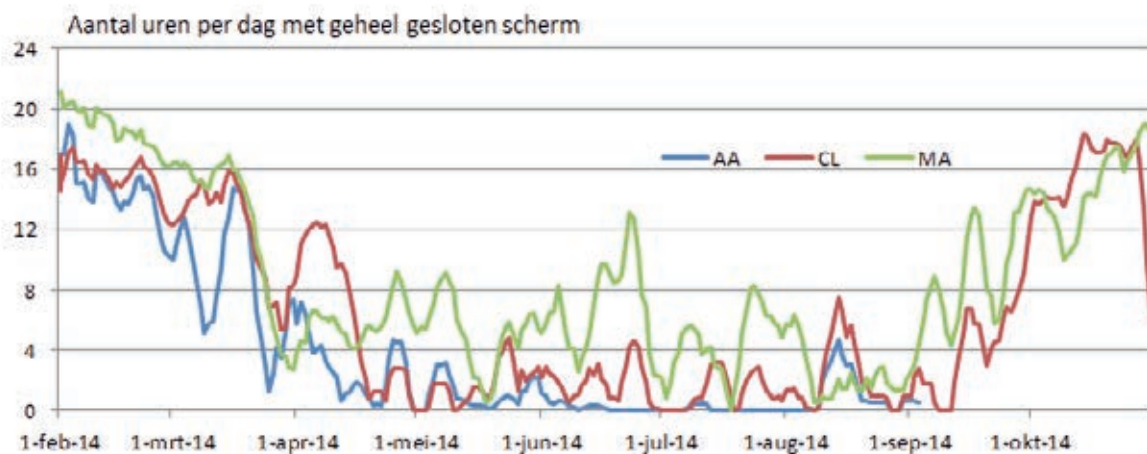
Figuur 5.3 Aantal schermuren op het komkommerbedrijf MA in vergelijking met twee andere komkommerbedrijven.

Over de periode van 1 februari tot 1 november had MA ruim 3400 schermuren waar CL 1900 schermuren maakte. Dit is opmerkelijk omdat MA geen buitenlucht aanzuig-systeem heeft en dus voor vochtafvoer afhankelijk is van de doorvoer door het scherm. Gedurende veel scherm-uren maakt MA dan ook gebruik van een schermkier. Dit blijkt uit onderstaande grafiek.



Figuur 5.4 Aantal uren waarop MA een kier in het scherm trekt in vergelijking met twee andere bedrijven in de regio.

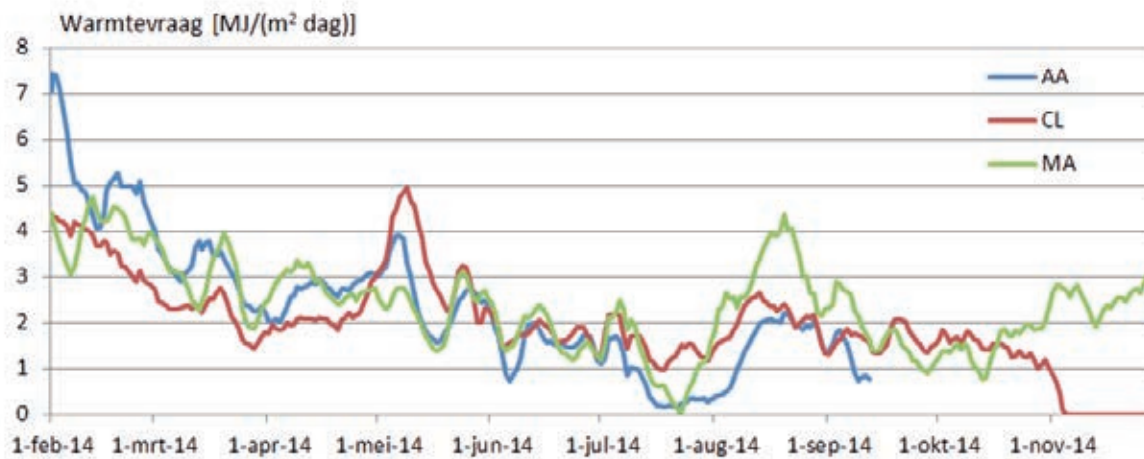
Toch blijven er nog heel veel uren over waarop MA een 100% gesloten scherm aanhoudt. Dit blijkt uit onderstaande grafiek die het totaal aantal uren met scherm minus het aantal uren met schermkier laat zien.



Figuur 5.5 Aantal uren met een 100% gesloten scherm.

Als we alleen naar het aantal uren kijken met een 100% gesloten scherm dan komt MA over het hier getoonde tijdvak op 2900 uur, waar CL 2000 uur met een volledig gesloten scherm geteeld heeft. Het feit dat MA zonder buitenluchtaanzuig installatie en met een zeer intensief schermgebruik toch geen opvallend hoge luchtvochtigheid heeft wordt gerealiseerd door niet te aarzelen om de ramen boven het gesloten scherm open te zetten. Kennelijk levert de combinatie van de grote plafondventilatoren en de geopende ramen voldoende luchtuitwisseling door het scherm om de luchtvochtigheid op een acceptabel niveau te houden.

De ontvochtiging via de geopende ramen boven het scherm en het feit dat MA slechts één scherm heeft maakt dat het energieverbruik ondanks het opvallend grote aantal schermuren vergelijkbaar is met dat van de andere komkommertuinders in deze regio. Dat blijkt uit onderstaande figuur.



Figuur 5.6 Energieverbruik van MA in vergelijking met dat van de twee andere HNT-bedrijven die in de betreffende regio zijn gemonitord.

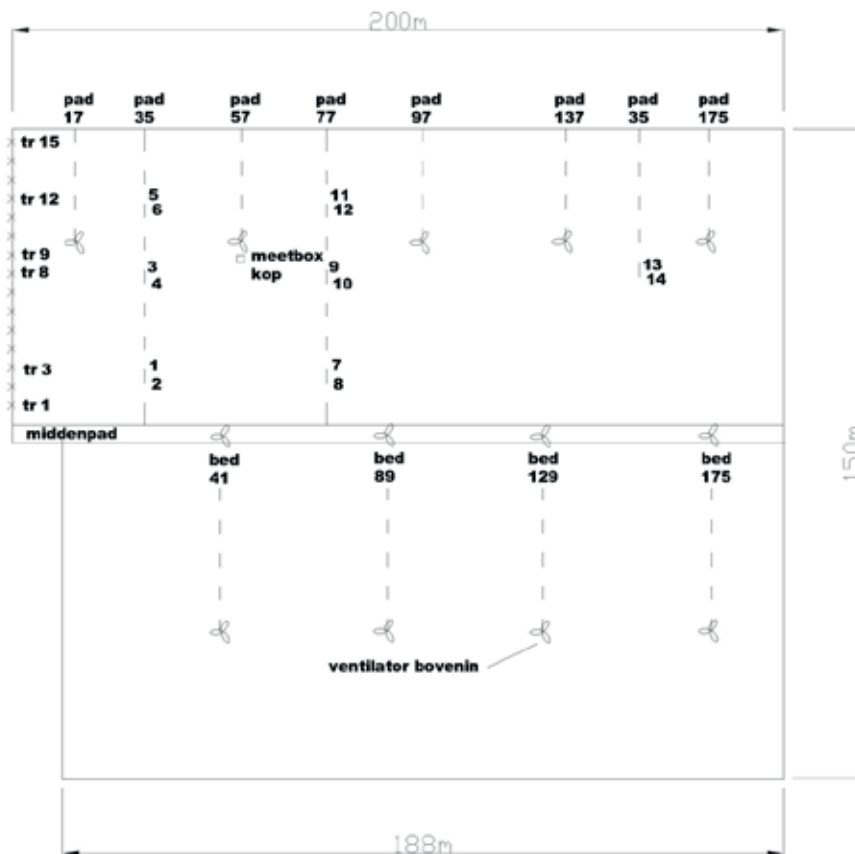
In de periode van 1 februari tot 12 september, de periode waarin alle drie de tuinen normaal in bedrijf waren verbruikte MA 18.4 m³ aardgas per m². AA gebruikte in die periode 19.9 m³ aardgas voor de verwarming en CL 15.7 m³ per m².

Over de iets langere periode tot 1 november groeien MA en CL iets naar elkaar toe. MA heeft over die periode 20.7 m³ aardgas per m² gebruikt en CL 19.1 m³ per m².

5.3 Horizontale temperatuurverdeling

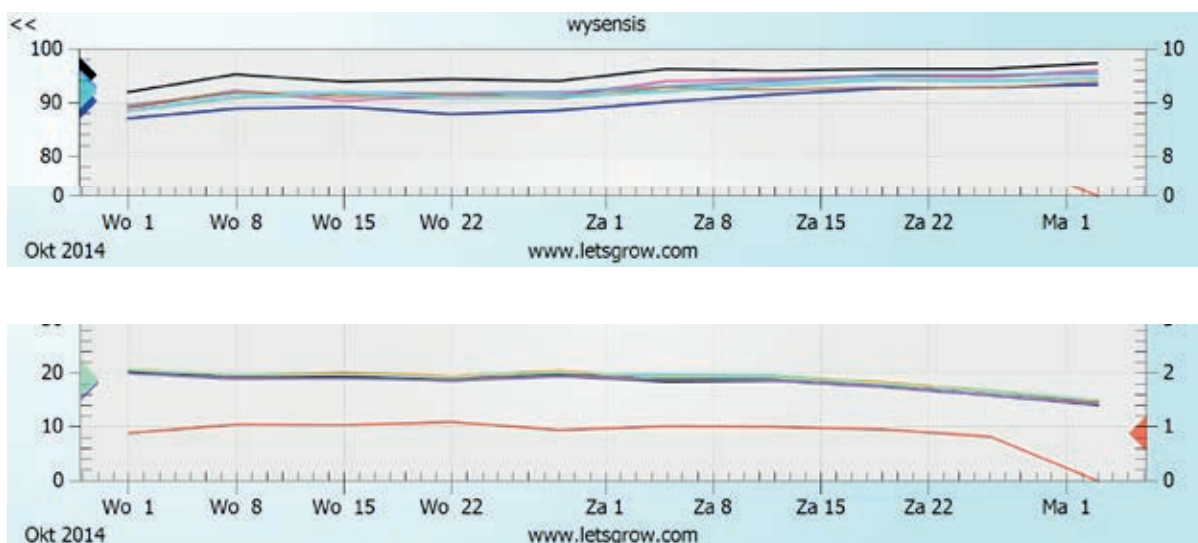
Het bedrijf MA maakt intensief gebruik van schermen en schakelt bij het sluiten van het scherm altijd de plafondventilatoren aan. Deze hebben dan ook, net als de schermen, in de betreffende periode ruim 3400 uur gedraaid.

In oktober en november 2014 is op dit bedrijf een gedistribueerd meet-netwerk aangebracht om de homogeniteit van de temperatuur- en vochtverdeling te kunnen bestuderen. De sensoren zijn op 7 plaatsen op twee hoogten opgehangen zodat de temperatuur en RV bij de kop en op 0.5 m hoogte vanaf de bodem continu kon worden gemeten. In Figuur 5.7 zijn de locaties van de plafondventilatoren en de sensoren aangegeven. In ieder blokje geeft het bovenste getal steeds het nummer van de sensor bij de kop en het onderste geval de sensor onderin het gewas.



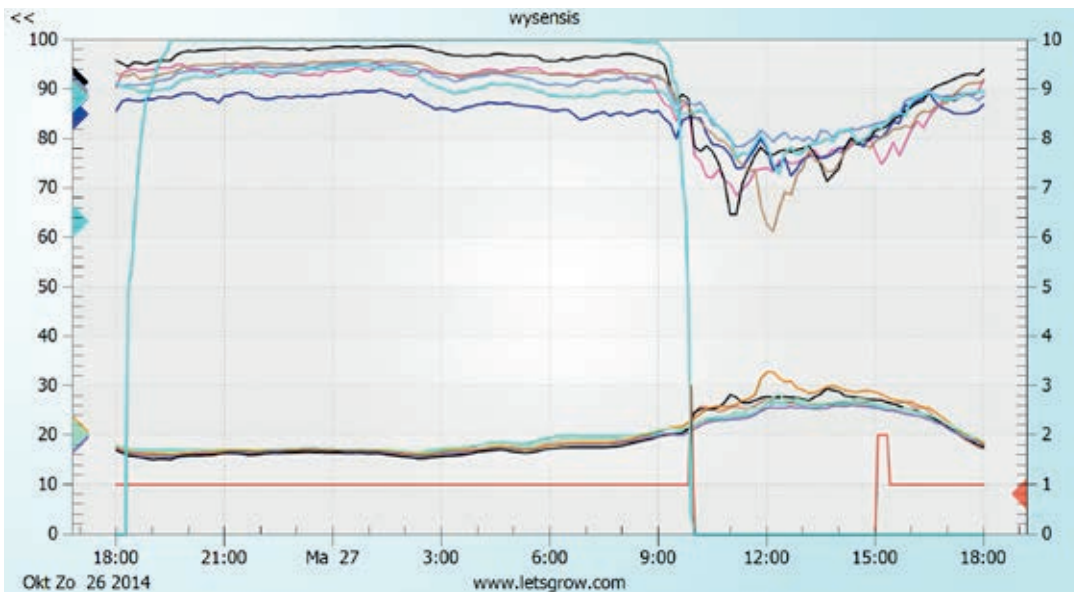
Figuur 5.7 Plattegrond van de kas van MA met de locatie van de ventilatoren en de locatie van de sensoren.

Een van de vragen vooraf was of het systeem in staat was om een homogene verdeling van temperatuur en vocht op te leveren. Uit het weekgemiddelde van de sensoren in de HNT afdeling ontstaat het beeld dat over de lengte van een kap die verdeling redelijk uniform is. De temperatuur is vrijwel overal gelijk. Alleen de RV vertoont een spreiding waarbij sensor 8 en sensor 9 het verst uit elkaar liggen. Dat sensor 8 droger is dan de rest heeft waarschijnlijk te maken met de ligging nabij het middenpad. Voor de zeer hoge waarde van sensor 9 kon geen plausibele verklaring worden gegeven.



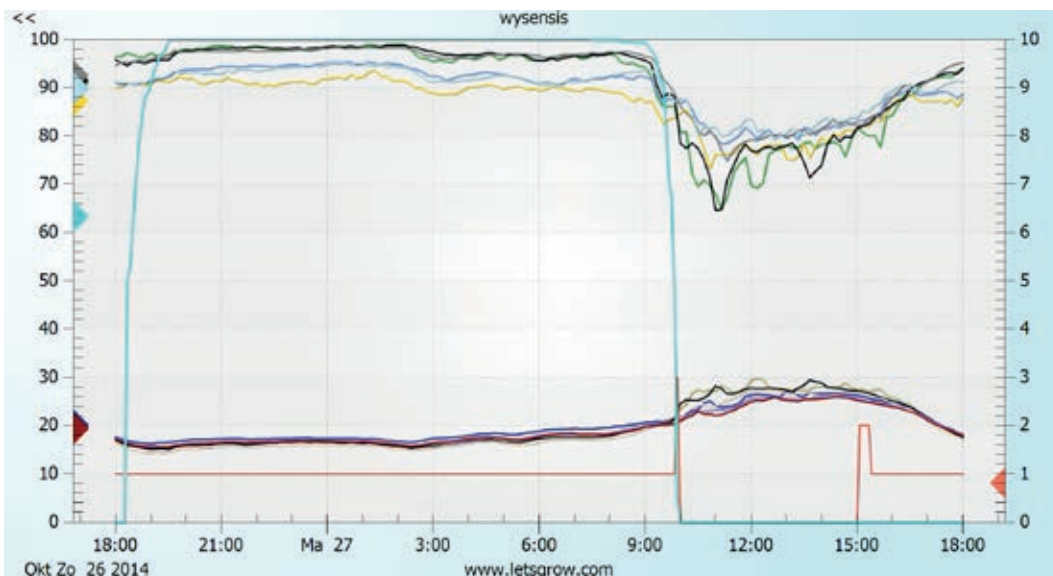
Figuur 5.8 Weekgemiddelden temperatuur en RV binnen een kap.

Ook als gekeken wordt naar de verschillen binnen een dag valt op dat zodra het scherm dichtloopt en de ventilator aan de temperaturen naar elkaar toe lopen. De luchtvochtigheden komen ook bij elkaar, met uitzondering van dezelfde sensor 8 en 9, die juist bij elkaar wegllopen als de ventilator aan gaat.



Figuur 5.7 *Temperatuur en RV profiel binnen een kap (5 min waarden).*

En de sensoren over de breedte van het bedrijf laten eenzelfde verdeling zien.



Figuur 5.9 *Temperatuur en RV profiel over de breedte van het bedrijf.*

De goede uniformiteit kan zowel het gevolg zijn van het ontbreken van schermkieren in deze periode als door de werking van de ventilatoren. Maar omdat deze telers van mening is dat bij een volledig gesloten scherm altijd luchtbeweging nodig is om het gewas actief te houden was er geen meetperiode beschikbaar waarin het scherm dicht was en de ventilatoren niet draaiden.

5.4 Conclusies

Energieverbruik

De monitoring van de teelt en het energieverbruik bij het komkommerbedrijf MA laat zien dat het ook zonder buitenlucht inblaas-installatie mogelijk is om intensief te schermen. Intensief schermen in combinatie met het accepteren van een hoge luchtvochtigheid houdt het energieverbruik laag. MA blijkt zonder grote investeringen en met slechts één scherm tot vergelijkbare of zelfs betere energieverbruiksprestaties te kunnen komen dan de andere komkommerbedrijven die in de betreffende regio zijn gevolgd.

Horizontale verdeling

De temperatuurverdeling onder gesloten scherm en bij gebruik van de plafondventilatoren bleek erg homogeen. De vochtverdeling liet wat meer spreiding zien. Vooral onderin het gewas kon het vochtig worden. De betreffende tuinder gaf echter aan geen problemen in de vochtverdeling te ervaren.

6 Tomatenbedrijf (AR)

6.1 Inleiding

Het tomatenbedrijf AR is een zusterbedrijf van een tomatenbedrijf waar in 2010 begonnen is met de toepassing van een buitenluchtaanzuigsysteem (hier aangeduid met BD). De goede ervaringen die daar zijn opgedaan hebben geleid tot de bouw van een vergelijkbaar systeem op het bestaande bedrijf AR eind 2011. Het buitenlucht inblaas systeem is echter wel goedkoper gemaakt door het maximaal debiet van de installatie te verkleinen van $7.5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ uur})$ naar $5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ uur})$.

In de monitoring is AR vergeleken met het onbelichte gedeelte van een andere kas (S1). S1 behoort tot dezelfde maatschap als AR. In S1 wordt een vergelijkbaar tomatengewas geteeld (zelfde plantdatum en ras en zonder belichting), maar zonder een buitenlucht inblaas installatie en ook zonder het vaste folie dat zowel door BD als AR aan het begin van de teelt wordt gebruikt.



Figuur 6.1 Plattegronden van het bedrijven AR (links) met daarin de HNT afdelingen en S1 (rechts). De onbelichte helft van S1 geldt als referentiebedrijf.

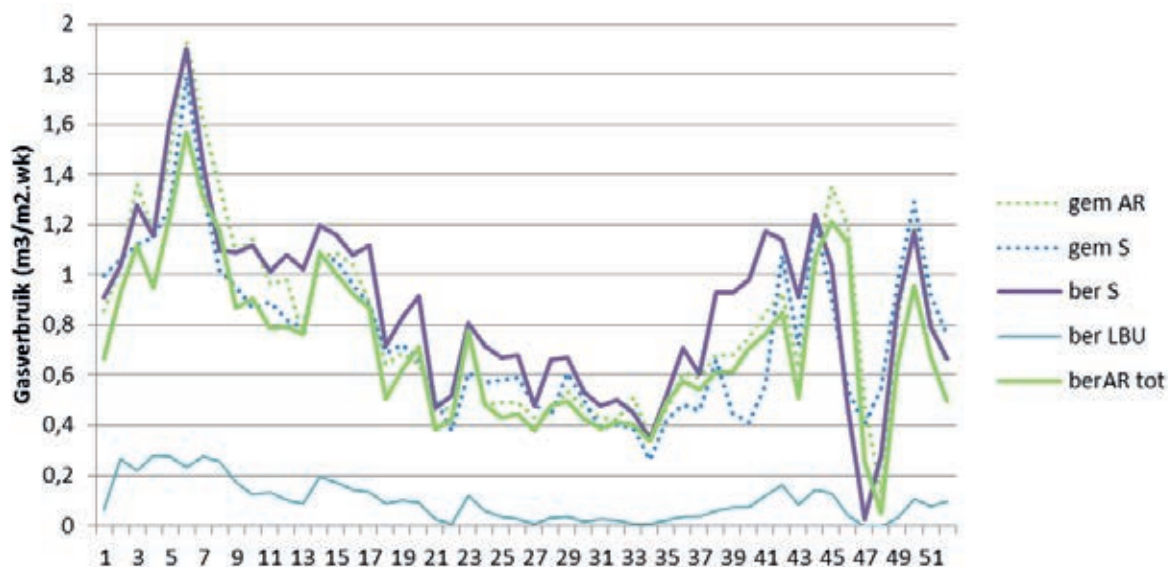
6.2 Berekend en gemeten energieverbruik in AR en S1

In kassen is de berekening van de warmteafgifte door het verschil van de gemiddelde buistemperatuur en de kasluchttemperatuur te vermenigvuldigen met een evenredigheidsfactor voor het verwarmingsvermogen per meter buis per graad temperatuurverschil. Voor de veel gebruikte 51 is deze factor $1.75 \text{ W}/(\text{m K})$ en voor een 28-er (vaak gebruikt in een groeinet is dit bijvoorbeeld $1.06 \text{ W}/(\text{m K})$).

Aan de hand van deze evenredigheidsfactoren en het aantal meters buis in de verschillende netten per m^2 kas is het warmteverbruik van AR en S1 berekend. Voor AR komt hier nog de warmte bij die gebruikt is voor de opwarming van de buitenlucht. Op jaarbasis was dit warmteverbruik voor de buitenlucht-opwarming $5.1 \text{ m}^3/\text{m}^2$. Samen met de warmte naar de buizen komt het berekende verbruik van AR op 37 m^3 per m^2 per jaar. Het is niet bekend hoeveel elektriciteit door de buitenlucht inblaas installatie is gebruikt. Als we dit op een gangbaar getal van $8 \text{ kWh}/\text{m}^2$ per jaar stellen dan komt het totale energieverbruik van AR op $39 \text{ m}^3/\text{m}^2$ per jaar. Het uit de buistemperaturen berekende verbruik van S1 komt op $45 \text{ m}^3/\text{m}^2$. Dit zou duiden op een energiebesparing van ruim 13%.

Figuur 6.2 toont de berekende warmte-input in de HNT-kas (AR) en de referentieafdeling (S1) als gasverbruiken per week. Behalve de berekende warmte-input toont de grafiek ook de warmte-input die is afgeleid uit de gasmeterstanden. De bepaling van het gasverbruik uit de meterstanden naar een warmtevraag van de kas levert echter nogal wat haken en ogen omdat beide bedrijven gebruik maken van WKK. Een groot deel van de energie die via de gasmeters is geleverd is dus niet omgezet in warmte, maar in elektriciteit.

In de berekening is uitgegaan van een 50% thermisch rendement van de WKK en een 100% thermisch rendement voor de ketel (beide op onderwaarde). Vooral bij S1, waar de ene helft van het bedrijf belicht is en het andere niet, is echter niet te stellen dat de geproduceerde warmte evenredig over de beide kas-helften wordt verdeeld. De belichte helft zal regelmatig een warmte-overschot hebben door de belichting, waardoor de geproduceerde warmte bovengemiddeld in de onbelichte afdeling gebruikt zal worden. Ook verschillende teeltwisseling-data in verschillende afdelingen kan de relatie tussen berekende warmte-input naar een kas-afdeling en de warmte-input berekend uit gasmeterstanden van het bedrijf vertekenen. Om bovengenoemde redenen wordt in dit rapport voor de beoordeling van het effect van de buitenlucht inblaas installatie in combinatie met het intensiever schermen meer waarde gehecht aan de berekende warmte-input dan aan de geregistreerde gasmeterstanden. De berekende warmte-input is immers direct gerelateerd aan de buistemperaturen en die waren bij AR duidelijk lager dan bij S1.



Figuur 6.2 Berekend (buistemperatuur, vaste lijn) en gemeten (gasmeter, stippellijn) gasverbruik van AR (groen) en S1 (blauw) per week in 2012.

Er zijn een groot aantal factoren die die lagere buistemperaturen ook zeer plausibel maken.

1. Van week 1 tot week 15 van 2012 zijn zowel de dag- als de nachttemperatuur in AR 0,3 °C lager dan in S1.
2. De RV in AR is van week 1 tot week 15 hoger dan bij S1.
3. AR heeft tot week 6 gebruik gemaakt van een vast folie, waar dat bij S1 niet is gebeurd.
4. In AR is het beweegbare scherm vaker gesloten geweest dan in S1. Op de dagen dat er geen AC-folie was, is in AR ruim 2x zo veel geschermd.
5. De temperatuurmeter boven het scherm van AR geeft 's nachts een 4,1 °C lagere waarde aan dan S1. Dit lijkt aan te geven dat het dubbele scherm in AR veel beter isoleert dan het enkele scherm in S1.

6.3 Conclusie

Uitgaande van het verschil in berekende warmtevraag vanuit de beduidend lagere buistemperaturen die bij AR zijn gemeten en de hierboven genoemde factoren die stuk voor stuk in dezelfde richting wijzen wordt geconcludeerd dat de aanpassingen die door AR zijn aangebracht (telen bij een hogere luchtvochtigheid, intensiever gebruik van het beweegbare scherm en de toepassing van een vast folie) tot een energiebesparing van 13% heeft geleid. In de berekening van dit getal is rekening gehouden met 2 m³ aardgas equivalenten per m² per jaar voor de opwekking van 8 kWh elektriciteit voor de aandrijving van de ventilatoren in de buitenlucht inblaas installatie .

7 Tomatenbedrijf (VB)

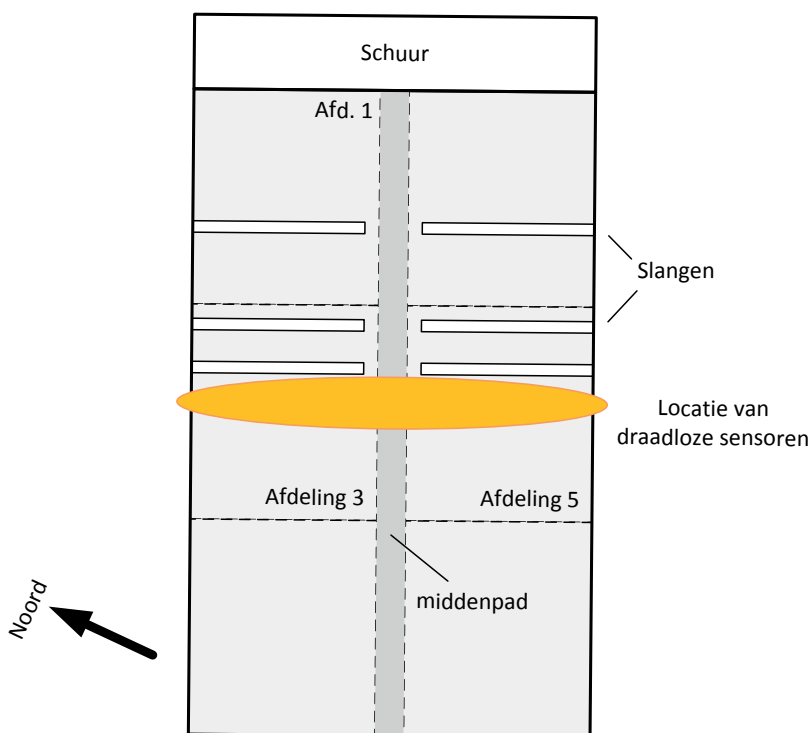
7.1 Inleiding

Bij het tomatenbedrijf VB is een luchtinblaassysteem geplaatst dat buitenlucht kan mengen met kaslucht en via luchtslurven boven het gewas in de kas kan doseren. Een opvallend verschil tussen deze installatie en de meeste andere installaties is dat er geen verwarmingsblok aan de luchtbehandelingskast is toegevoegd. De menging van binnenlucht met buitenlucht maakt dat extreem lage inblaastemperaturen worden voorkomen, maar een inblaastemperatuur die 10 graden onder de kasluchttemperatuur ligt is zeker geen uitzondering.

Het weglaten van het verwarmingsblok zorgt voor een aanzienlijke verlaging van de investeringskosten. De vraag is nu natuurlijk of de performance van de installatie ondanks deze vereenvoudiging nog steeds goed genoeg is om de voordelen van een luchtinblaassysteem (dat zijn een groter aantal schermuren, minder schermkieren en kunnen telen bij een hogere luchtvochtigheid) te kunnen blijven benutten.

7.2 Bedrijfsituering

Het bedrijf VB teelt losse tomaten op een areaal van 6.4 hectare.



Figuur 7.1 Plattegrond van bedrijf VB.

Tabel 2

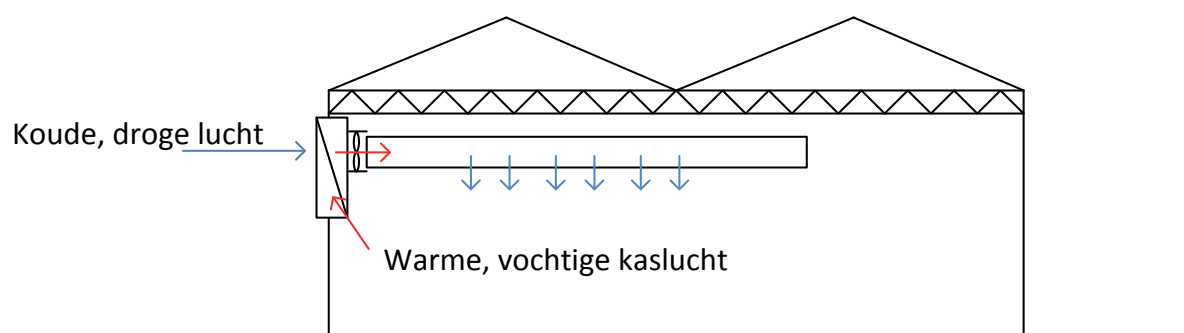
Enkele kenmerken van tomatenbedrijf VB.

Oppervlakte	6.4 ha
Bouwjaar	2007
Kas	Venlokas
Gewas	Tomaat (los)
Scherf 1	LS10 ultra
Scherf 2	vaste AC folie in december en januari
LBK	5 m ³ /m ² .uur met variabele mengverhouding
Belichting	nee

Werking van het systeem

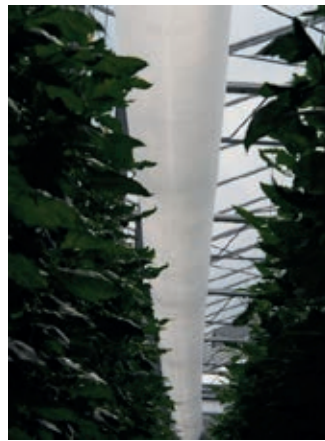
In de bestaande kas zijn luchtslangen boven het gewas opgehangen en verbonden met een ventilator (Figuur 7.2). Voor de ventilator is een luchtmengklep geïnstalleerd, waardoor buitenlucht en binnenlucht in iedere gewenste verhouding aangezogen kan worden. De in te blazen lucht wordt niet verwarmd.

Het systeem bestaat uit 2*14 luchtbehandelingskasten die ieder 11.500 m³/uur kunnen uitblazen, wat neerkomt op 5 m³/(m² uur). Het beperkte luchtdebiet en de grote slurven maakt dat er één slurf per 6 kappen is toegepast. Elke slurf bedient daarmee 15 paden.



Figuur 7.2 principeschets van het luchtinblaassysteem bij bedrijf VB.

Het systeem wordt geregeld aan de hand van het gemeten verzadigingsdeficit (VD). 's Nachts gaat het systeem aan vanaf een VD van 1.9 en overdag vanaf een VD van 3.5 gr/m³. De slurftemperatuur wordt gemeten, maar er wordt niet op geregeld. Wel wordt deze temperatuur gebruikt om te voorkomen dat te koude lucht wordt ingeblazen door de buitenklep dicht te sturen zodra de inblaastemperatuur te laag wordt. De slurven zijn gemaakt van transparant folie.

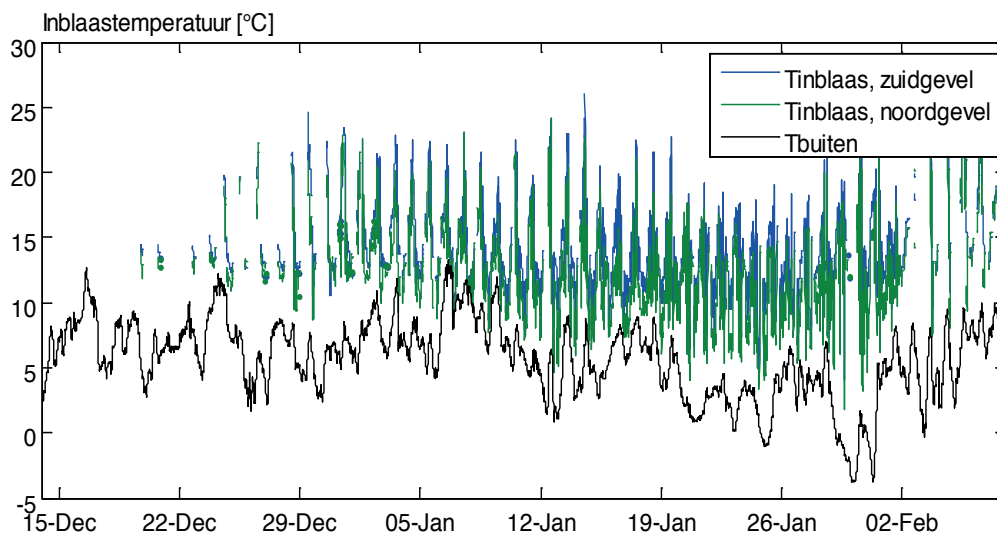


Figuur 7.3 De buitenlucht inblaas installatie van bedrijf VB. Links is de behuizing van de ventilator, inblaasopening naar de slang en de mengklep te zien. Rechts de doorzichtige slang zoals deze boven het gewas hangt. De slangen eindigen boven het middenpad (rechtsonder).

7.3 Homogeniteit van het kasklimaat, dec – feb 2014

Om met vertrouwen een vochtig klimaat in de kas aan te kunnen houden is het belangrijk om een homogene temperatuur- en vochtverdeling in de kas te hebben. Een homogene verdeling van temperatuur betekent vooral dat het verwarmingssysteem over de hele kas gelijkmatig de warmte afgeeft en dat er geen exceptionele lokale warmteverliezen optreden.

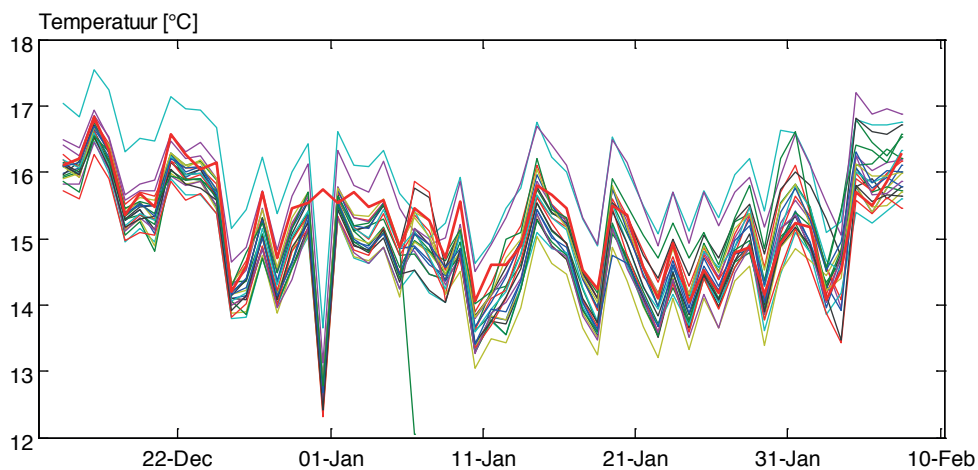
De buitenlucht inblaas installatie bij VB kan de lucht niet opwarmen. Hierdoor kan de inblaastemperatuur naar lage waarden zakken, hoewel erg lage temperaturen worden voorkomen door relatief meer binnenlucht te recirculeren. Onderstaande figuur toont de inblaastemperaturen die over deze meetperiode van 15 december tot 5 februari gemeten zijn. Zoals te zien begon de installatie pas eind december, toen de nieuwe planten meer begonnen te verdampen, regelmatig te werken. Af en toe zakte de ingeblazen temperatuur ruim onder de 10 °C.



Figuur 7.4 Inblaastemperatuur op momenten dat de ontvochtigingsinstallatie aan is.

De slurf hangt hoog in de kas en zeker bij een jong gewas is de afstand tussen de slurf en het gewas groot. Op gewas hoogte hoeft die af en toe lage inblaastemperatuur dus niet tot problemen te leiden. Om dit te bestuderen zijn 25 sensoren in een horizontaal vlak van 4000 m² verdeeld. Het vlak loopt van de linker naar de rechter kopgevel en is 24 meter breed; de werkbreedte van de slurven. Het meetnet bestaat uit ongeventileerde sensoren, waardoor de meetwaarde sterk beïnvloed kunnen worden door zonlicht. Alle resultaten die met betrekking tot deze sensoren worden gepresenteerd zijn dus gebaseerd op metingen op tijdstippen waar de stralingsintensiteit minder dan 50 W/m² was. Donkere perioden dus, en dat zijn precies de perioden waarin onevenwichtige temperatuurverdelingen het meest ongewenst zijn. De belangrijkste resultaten wordt hieronder besproken. Ter illustratie is ook een film gemaakt die opeenvolgende temperatuurverdelingen in de eerste week van januari toont (ftp://ftp.wur.nl/glastuinbouw/exchange/monitoring2013/film_vb_temperatuurverdeling.wmv).

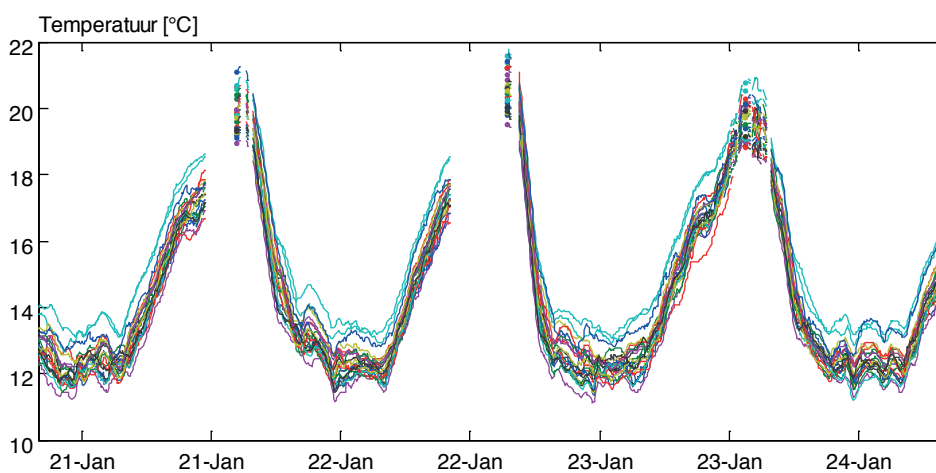
De etmaalgemiddelde temperatuur is weergegeven in onderstaande figuren. De eerste weken van de teelt (december) waren warmer dan januari en februari. De bandbreedte waarbinnen de 25 temperaturen lagen is weergegeven in Figuur 7.5. De grafiek toont de etmaaltemperatuur die op de meetbox (dikke rode lijn) is gemeten en de etmaal-temperaturen van de 25 gedistribueerde meetpunten.



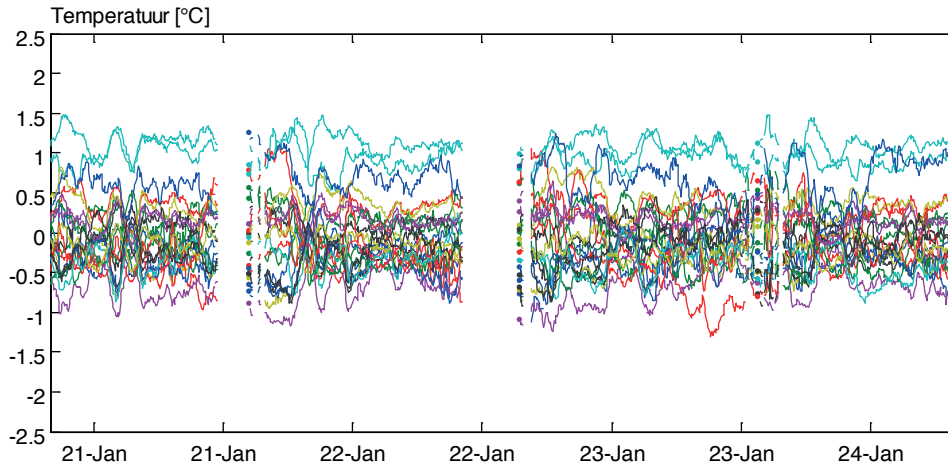
Figuur 7.5 Etmaaltemperaturen van de 25 meetpunten (dunne lijnen) en de etmaaltemperatuur gemeten op de meetbox (dikke rode lijn) (Alleen de metingen tijdens perioden met minder dan 50 W/m^2 straling zijn in beschouwing genomen, hierdoor lijken de etmaaltemperaturen lager dan in werkelijkheid).

Figuur 7.5 laat zien dat de etmaaltemperaturen op de verschillende locaties in de kas in deze periode dicht bij elkaar liggen; veelal binnen een halve graad ten opzichte van de gemiddelde etmaaltemperatuur in de kas, maar soms oplopend tot een graad verschil in de koudere periode van eind januari en begin februari.

Ook als we kijken naar de 5 minuut-waarden (Figuur 7.6 en Figuur 7.7) is duidelijk dat de temperaturen dicht bij elkaar blijven. Door de bank genomen blijven de temperaturen binnen een graad ten opzichte van het gemiddelde.



Figuur 7.6 Temperaturen in de nachten van 21 tot 24 januari. Iedere lijn is 1 sensor.

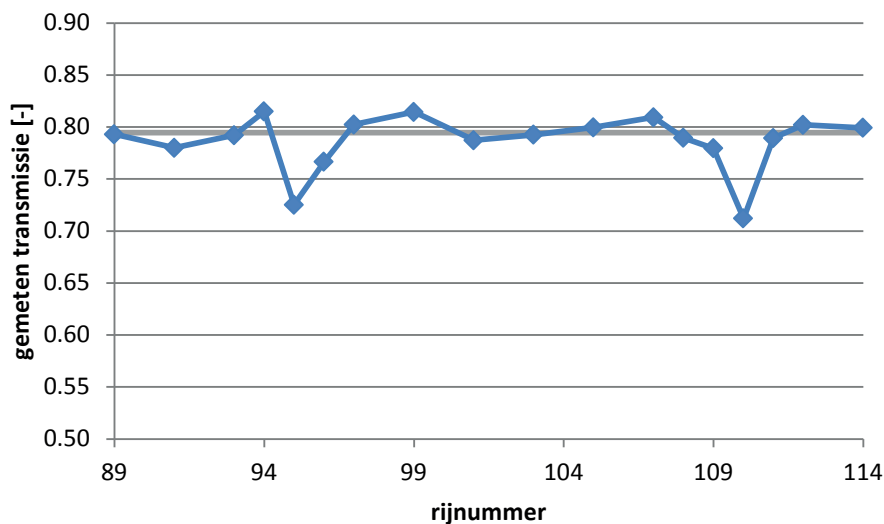


Figuur 7.7 meetwaarden per 5 minuten van de 25 meetpunten ten opzichte van het gemiddelde van die 25 meetpunten en de temperatuur zoals gemeten op de meetbox. (Alleen de metingen tijdens perioden met minder dan 50 W/m² straling zijn in beschouwing genomen).

7.4 Lichtmetingen

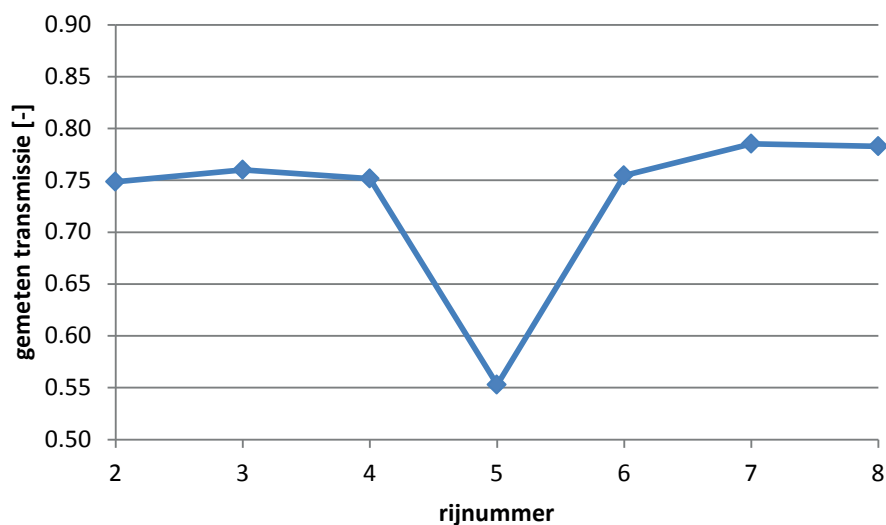
Behalve de horizontale temperatuurverdeling is de lichtonderschepping door de slurven bovenin de kas een zorgpunt van deze installatie. Daarom is in het voorjaar van 2014 de lichttransmissie van de kas en installaties bepaald. Dit is gedaan door op een bewolkte dag (met diffuus licht dus) het lichtniveau binnen lopend door de paden te vergelijken met het actuele lichtniveau buiten, beiden gemeten met een lichtsensor op een tijdsinterval van 2 seconde.

De resultaten van deze metingen staan in de onderstaande figuren; onder de transparante slurven (pad 95 en 110 in Figuur 7.8 is het lichtniveau beduidend lager dan in de overige paden. Over alle paden gemiddeld blijkt de transmissie ongeveer 1% lager.



Figuur 7.8 Gemeten lichttransmissie in pad 89 tot 114. In de paden 95 en 110 hing een transparante slurf.

Op het bedrijf van VB is één witte slurf geplaatst. Dit geeft de mogelijkheid om een vergelijking te maken tussen een witte en een transparante slurf.



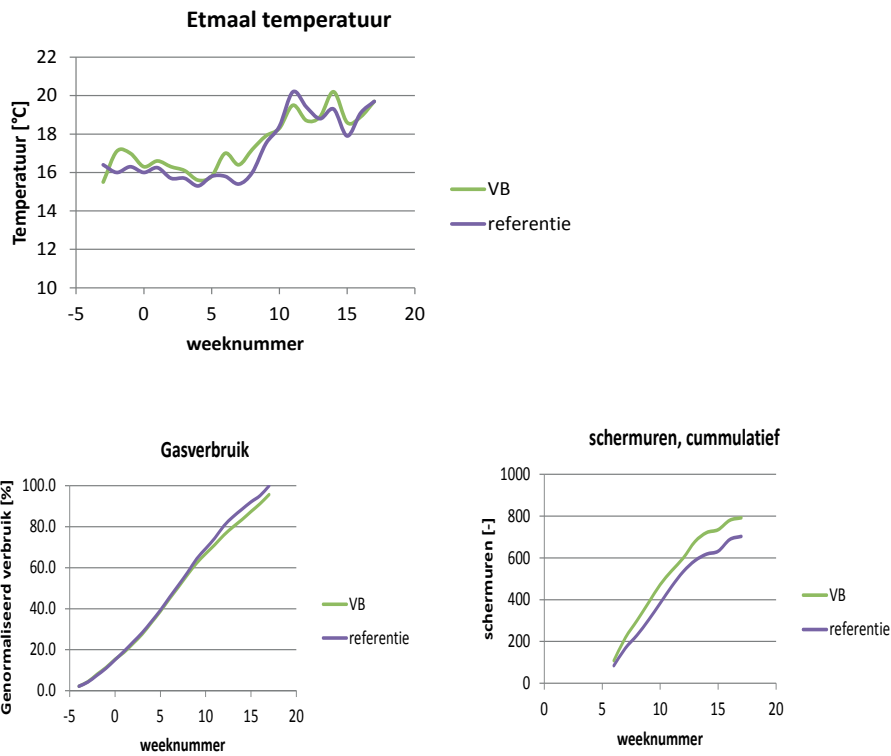
Figuur 7.9 gemeten lichttransmissie bij VB in pad 2 tot 8. In pad 5 hing een witte slurf.

Figuur 7.9 laat zien dat de lichtonderschepping van een witte slurf beduidend groter is dan die van een transparante slurf, zodat geconcludeerd kan worden dat bij gebruik van een installatie met slurven boven het gewas de transparante slurven de voorkeur hebben.

7.5 Vergelijking met referentie

Het klimaat en energieverbruik van VB is vergeleken met een in de buurt gelegen referentiebedrijf dat een vergelijkbare teelt had, zonder luchtbehandelingssysteem en AC folie. Hierbij is gekeken naar laatste weken van 2013 en de eerste weken van 2014 (Figuur 7.10).

Het gasverbruik lag 6% lager bij VB dan op het referentiebedrijf, ondanks de warme winter waarin het besparingspotentieel niet zo groot was. De besparing werd voor het grootste deel gerealiseerd van week 8 tot week 17, waarin bij VB meer werd geschermd.



Figuur 7.10 Vergelijk tussen VB (groene lijnen) en een referentiebedrijf (paarse lijnen).

7.6 Conclusies

- Het intensiever gebruik van het vaste foliescherm en het beweegbare doek wat door de buitenlucht inblaas installatie mogelijk wordt gemaakt heeft ongeveer 6% energiebesparing opgeleverd.
- De betreffende teler geeft aan dat sinds het gebruik van deze installatie de ziektedruk enorm is verminderd, hoewel dit ook te maken heeft de beschikbaarheid van Luna® Privilège.
- De temperatuurverdeling in de kas is ten tijde van actieve ontvochtiging, niet afhankelijk van de ingeblazen luchttemperatuur. Het lijkt niet nodig om bij ontvochtiging met slurven boven het gewas de lucht voor te verwarmen naar de kasluchttemperatuur.
- De temperatuurverschillen in de kas zijn beperkt. Bovendien verschuiven de 'slechte' plekken door de kas.
- Het lichtverlies door de slurven bovenin de kas ligt rond de 1%.
- De besturing van het luchtinblaassysteem is tamelijk abrupt, de regeling zou rustiger gemaakt kunnen worden. Dit zal overigens geen effect hebben op de temperatuurverdeling.

8 Tomatenbedrijf (RS)

8.1 Inleiding

Het innovatieve tuinbouwbedrijf RS heeft een voor Nederland geheel nieuw kastype in gebruik genomen. Deze zogenaamde UltraClimaKas is gebaseerd op volledig mechanisch aangedreven ventilatie. Hierdoor kan de luchtuitwisseling tussen de kas en de buitenlucht nauwkeurig worden geregeld. Nog belangrijker is echter dat door deze mechanische ventilatie een duidelijk lucht-aanzuigpunt en een duidelijk lucht-uitblaaspunt voor het ventilatiesysteem is gedefinieerd. Door bij het aanzuigpunt een fijnmazig gaas te gebruiken kunnen schadelijke insecten buiten de kas worden gehouden. Ook de uitblaasopeningen van deze kas zijn voorzien van fijnmazig gaas zodat ook aan die kant de binnendringing door insecten wordt voorkomen. De afscherming van de kas van de omgeving leidt tot een daling in de noodzaak van het gebruik van biologische bestrijders, maar vooral ook van chemische bestrijdingsmiddelen.

Dit kassysteem kan energiebesparing opleveren wanneer de luchtbehandelingsinstallatie tot een intensiever schermgebruik leidt en er bij een hogere luchtvochtigheid wordt geteeld. De energiebesparing door de verlaging van het warmteverbruik moet ook hier weer worden gecorrigeerd voor het extra stroomverbruik van de ventilatoren voor de ventilatie. Voor het bedrijf RS kan dit verbruik behoorlijk oplopen omdat de ventilatoren niet alleen voor een energiezuinige vochtbeheersing moeten draaien, maar ook voor de afvoer van het zomerse warmte-overschot.

De kas van het bedrijf RS is helemaal volgens hetzelfde concept gebouwd, zodat er ter plekke geen referentie is waarmee het energieverbruik kan worden vergeleken. Daarom wordt hier gebruik gemaakt van een zusterbedrijf als referentie. Dit bedrijf staat aan de andere kant van Nederland, maar teelt wel hetzelfde tomatenras volgens dezelfde teeltinzichten. Uiteraard wordt er bij de vergelijking rekening gehouden met mogelijke verschillen in de zonlicht-beschikbaarheid en buitentemperatuur.

8.2 Bedrijfssituering

Het bedrijf RS is in 2012 nieuw gebouwd en beslaat op dit moment 10 ha. In de toekomst hoopt het bedrijf op deze locatie in verschillende stappen uit te kunnen breiden naar uiteindelijk 30 ha. De ervaringen met dit eerste deel van het nieuwbouwttraject zullen zwaar meewegen in de wijze waarop de toekomstige uitbreidingen ingevuld gaan worden. Onderstaande figuur toont het bovenaanzicht van het bedrijf met daarin de 8 klimaatgroepen. In dit monitoringsproject is afdeling 6 gevolgd.



Figuur 8.1 Plattegrond van het bedrijf RS. Afdeling 6 is de afdeling die in dit project gemonitord is. Als referentieafdeling is een zusterbedrijf gebruikt, waar een vergelijkbare teelt heeft plaatsgevonden met een standaardkas.

Het nieuwe luchtverdeelsysteem is gebaseerd op een mengkamer in de eerste twee meter van de kas. Deze mengkamer staat met een regelbare opening in verbinding met de teeltruimte. Als deze opening groot is kan lucht met een klein drukverschil worden gecirculeerd door de kas. Door dit kleine drukverschil is het elektriciteitsverbruik zelfs bij het maximale circulatiedebiet van $80 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ uur})$ slechts 4 W/m^2 . Indien er toevoer van buitenlucht nodig is om de kas te koelen of te ontvochtigen, wordt buitenlucht bijgemengd door de opening met de teeltruimte te verkleinen en tegelijk het (verticale) raam voor de inlaat van buitenlucht te openen. Parallel met het openen van de luchtinlaat worden er ramen in het kasdek geopend om de aangezogen buitenlucht af te kunnen voeren.



Figuur 8.2 Foto's van de luchtbehandelingskamer met ventilatoren. Rechts een detail van de klep die de verhouding buitenlucht/kaslucht bepaalt .

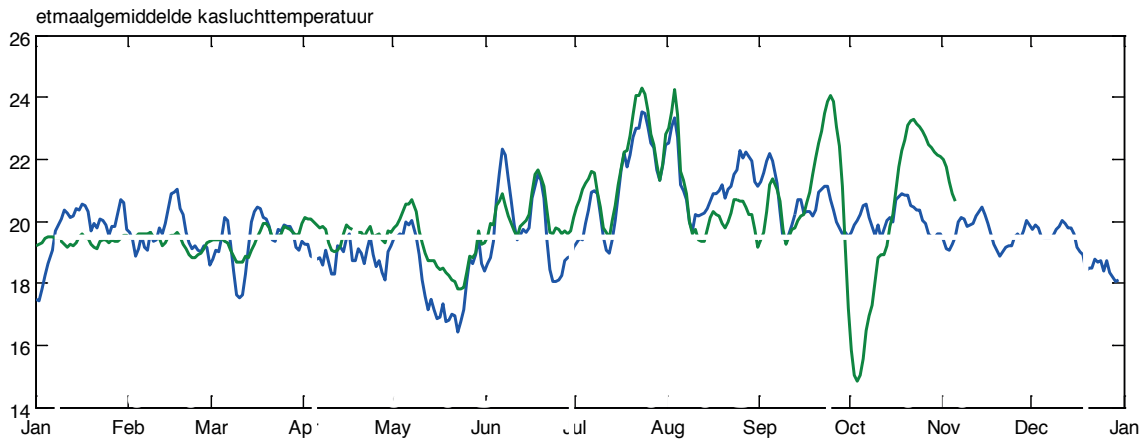
De ventilatoren die de lucht de kas in blazen zijn verdeeld in 3 groepen, één groep met een relatief kleine maximale capaciteit van $20 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \text{ uur})$ en twee groepen van ieder $30 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \text{ uur})$. Hierdoor kan een bijna vloeiend regelbaar luchtcirculatie-debiet worden gerealiseerd tussen de 10 en $80 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \text{ uur})$ terwijl de luchtinblaas vanuit de slurf in de diepte van het pad homogeen verdeeld blijft.

In de mengkamer kan de lucht die uit de ventilator wordt geblazen worden verwarmd tot zo'n $30 \text{ }^\circ\text{C}$. Bij dergelijke hoge temperaturen en bij hoge debieten wordt de kas dus substantieel verwarmd middels een luchtverwarmingssysteem. In deze kas functioneert de verwarming vanuit de mengkamer echter als secundair verwarmingssysteem. In eerste instantie wordt de kas met het buisrailnet verwarmd en pas als er meer dan 60 W/m^2 nodig is wordt de luchtverwarming bijgeschakeld als verwarmingssysteem.

Ter verduistering van de kas en ter beperking van het warmteverlies wordt gebruik gemaakt van een donker schermdoek (99% Revolux).

8.3 Resultaten energiegebruik

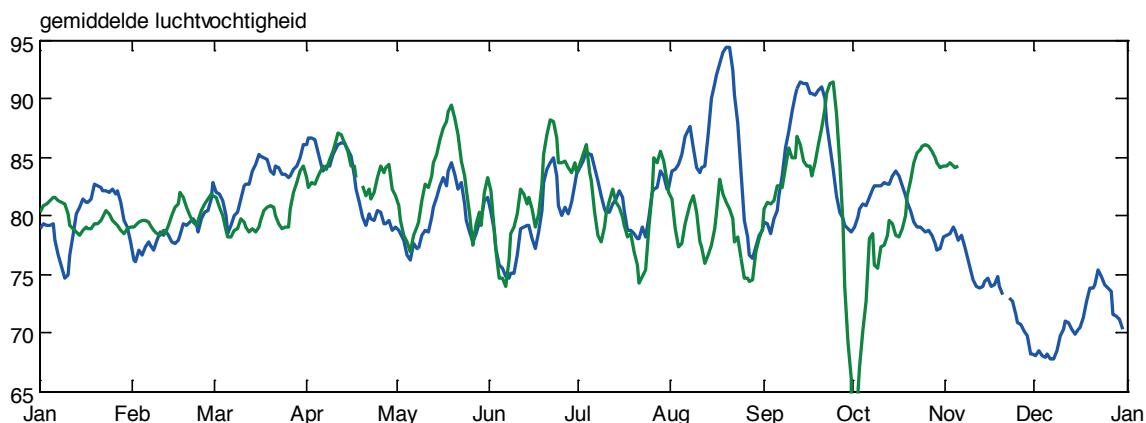
Bij de beoordeling van het energiegebruik van deze innovatieve klimaatinstallatie zijn drie factoren het meest kenmerkend, namelijk de kasluchttemperatuur, de luchtvochtigheid en het schermgebruik. Deze worden in onderstaande drie figuren getoond, steeds zowel voor het bedrijf RS als voor het referentiebedrijf.



Figuur 8.3 Etmaalgemiddelde kasluchttemperatuur in het bedrijf RS (blauw) en op het referentiebedrijf (groen). Voor een betere leesbaarheid zijn de data gefilterd met een 5-daags voortschrijdend-gemiddelde filter.

De figuur laat zien dat er perioden zijn waarin RS warmer was dan het referentiebedrijf, maar ook perioden waarin dit omgekeerd was. Op jaarbasis zijn de toegepaste teelttemperaturen ongeveer gelijk. Perioden waarin RS opvallend verschilde ten opzichte van het referentiebedrijf liggen rond teeltwisselingen. Eind september stookt het referentiebedrijf de kas warmer om de laatste vruchten af te laten rijpen. De eerste twee weken van oktober staat het referentiebedrijf nagenoeg koud vanwege de teeltwisseling en de laatste weken van oktober en begin november wordt er juist weer warm geteeld om de jonge plant zo snel mogelijk te laten uitgroeien. Vanaf half november komen de teelttemperaturen voor beide bedrijven weer dicht bij elkaar te liggen.

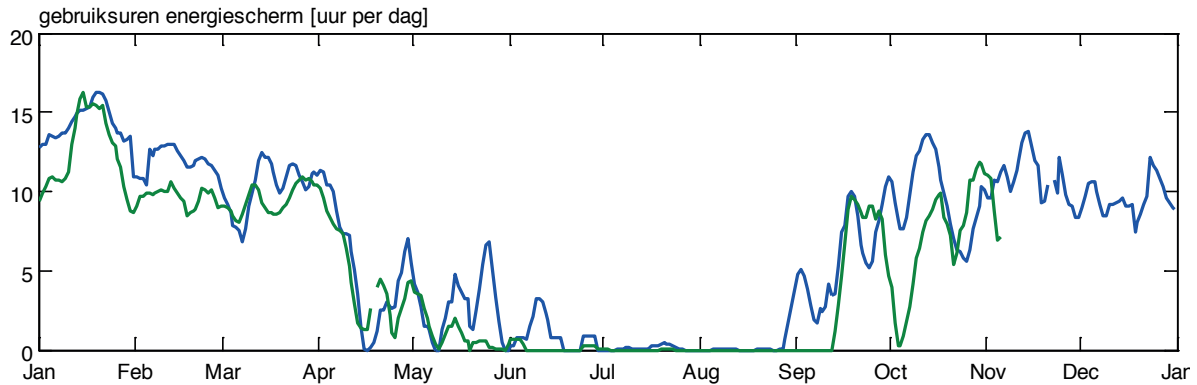
Het bedrijf RS kent geen duidelijk teeltwisselingsperiode omdat het is ingericht op een continu-teelt met tussenplanting. Iets daarvan is te zien in de laatste weken van augustus, waar RS tegelijkertijd zowel het oude als het nieuwe gewas in de kas heeft staan. Voor beide stadia is een wat hogere temperatuur nodig, maar lang niet zo extreem als bij het referentiebedrijf.



Figuur 8.4 Etmaalgemiddelde luchtvochtigheid op het bedrijf RS (blauw) en op het referentiebedrijf (groen). Voor een betere leesbaarheid zijn de data gefilterd met een 5-daags voortschrijdend-gemiddelde filter.

Qua luchtvochtigheid liggen de beide bedrijven tot november dicht bij elkaar. De grote verschillen halverwege augustus en begin oktober zijn te wijten aan de teeltwisseling. Begin oktober zien we een veel lagere luchtvochtigheid bij het referentiebedrijf, wat komt doordat het net geplante jonge gewas een zeer kleine verdampingscapaciteit heeft. Eind augustus zien we juist bij RS een sterk afwijkende luchtvochtigheid. Dat komt doordat RS tussenplanting toepast en er in die periode juist heel veel gewas in de kas staat, namelijk het oude én het nieuwe gewas.

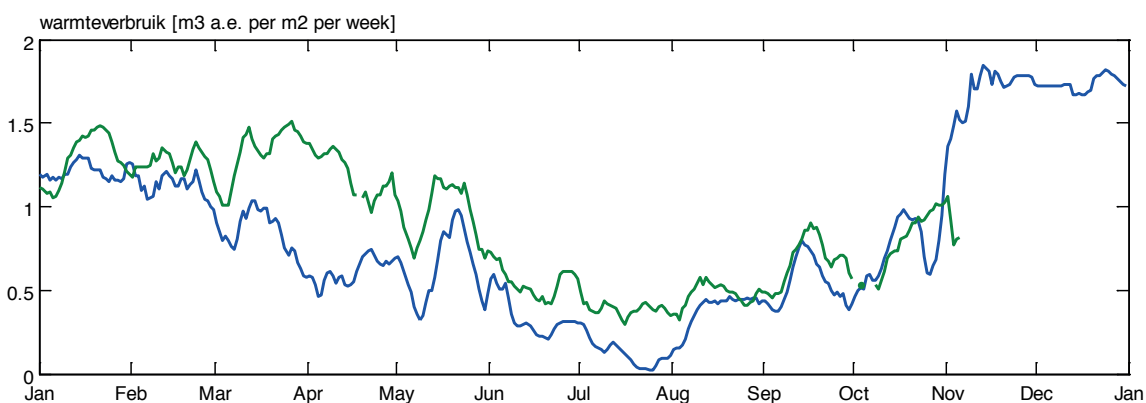
Vanaf november zien we dat RS veel droger gaat telen. Dit komt doordat vanaf dat moment het bedrijf een tweede WK-installatie in gebruik heeft genomen en vanaf dat moment alle benodigde elektriciteit zelf is gaan maken. Hierdoor krijgt de kas een groot warmte-overschot wat afgevoerd wordt via de verwarmingsbuizen. Vanwege dit warmte-overschot gaat RS ook minder schermen. In de periode van november tot december zien we het gemiddeld aantal schermuren per etmaal gemiddeld afnemen in plaats van toenemen.



Figuur 8.5 Aantal uren met gesloten scherm (blauw) op het bedrijf RS en bij het referentiebedrijf (groen). Voor een betere leesbaarheid zijn de data gefilterd met een 5-daags voortschrijdend-gemiddelde filter.

Naast de trendbreuk die we vanaf november zien is er in oktober ook een groot verschil tussen RS en de referentie. Hier is dit een gevolg van de teeltwisseling op het referentiebedrijf in die periode. De kas ligt dan koud, waardoor het scherm dan net zo goed open kan blijven liggen.

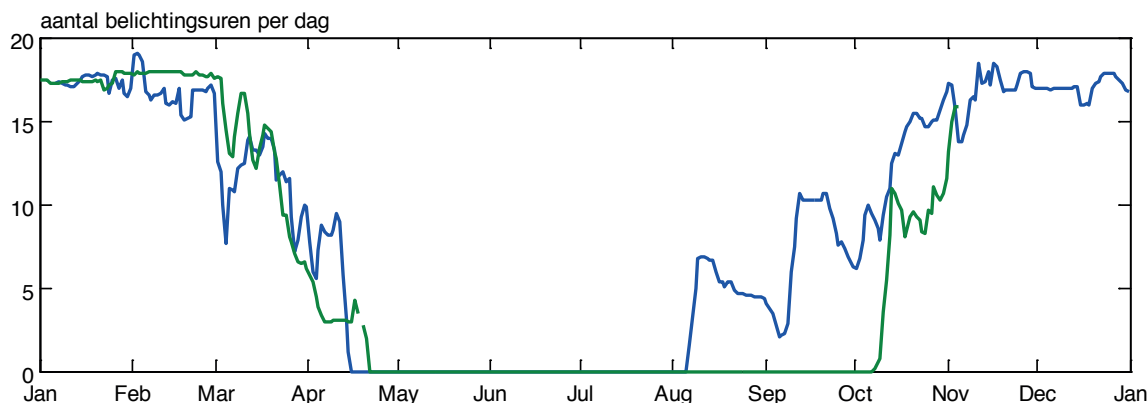
Het energieverbruik van RS in vergelijking met dat van het referentiebedrijf wordt sterk beïnvloedt door de ontwikkeling van het WKK-vermogen op het bedrijf. Tot november had RS 70 Wel/m² WKK-vermogen en kocht het 30% van het elektriciteitsverbruik voor de belichting in. Door dit beperkte vermogen had het bedrijf geen warmte-overschot en werd de verwarming zo efficiënt mogelijk ingezet. Vanaf maart t/m juli was het warmteverbruik van RS dan ook substantieel lager dan dat van het referentiebedrijf. In augustus, september en oktober waren de warmteverbruiken op de twee bedrijven vergelijkbaar. Vanaf november beschikt RS echter over extra WK-vermogen en gecombineerd met de gemiddeld bijna 18 belichtingsuren per dag (zie Figuur 8.7) levert de WKK gemiddeld 1.8 m³ aardgas equivalenten per m² per week aan warmte. Deze warmte wordt afgezet in de kas middels de buisverwarming wat tot een grote toename van het warmteverbruik leidt (zie Figuur 8.6).



Figuur 8.6 Warmteverbruik van het bedrijf RS (blauw) en het referentiebedrijf (groen) als voortschrijdend gemiddelde weekverbruik, omgerekend naar m³ aardgas equivalenten per m² per week.

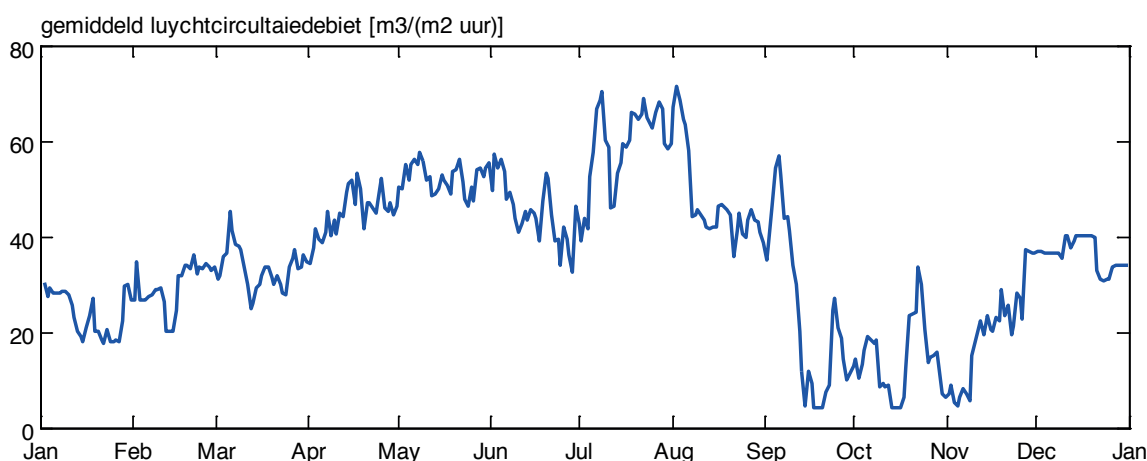
Het jaarverbruik aan warmte bij RS bedroeg in 2013 is 43 m³ aardgas equivalenten per m². Op het referentiebedrijf was dat in 2013 naar schatting 45 m³/m². Het verschil is vooral ontstaan doordat RS in het begin van het jaar door het relatief kleine WK-vermogen weinig warmteoverschotten kende en daarom zuinig met warmte is omgesprongen.

Een blik op de figuur waarin het toegepaste aantal belichtingsuren wordt getoond (Figuur 8.7) laat zien dat RS qua belichting intensiever teelt. Vooral de vroege tussenplanting gaat gepaard met een groter aantal belichtingsuren. In 2013 bedroeg het aantal belichtingsuren bij RS 3150 uur, waar dat bij het referentiebedrijf rond de 2700 uur bedroeg. Aangezien beide bedrijven 100 W/m² belichting hebben geïnstalleerd betekent dit dat RS 45 kWh meer elektriciteit aan belichting heeft gespendeerd dan het referentiebedrijf.



Figuur 8.7 Stroomverbruik voor belichting op het bedrijf RS (blauw) en bij het referentiebedrijf (groen). Voor een betere leesbaarheid zijn de data gefilterd met een 4-daags voortschrijdend-gemiddelde filter.

Behalve extra elektriciteit voor de belichting gebruikt RS ook extra elektriciteit voor het circuleren en ventileren van de kas. Omdat de kas maar heel weinig ramen heeft moet er in de zomer een grote hoeveelheid lucht worden verzet. Maar ook in de winter, wanneer de ventilatoren de vochtproductie die door de belichting wordt gegenereerd moeten afvoeren wordt er regelmatig meer dan 20 m³/(m² uur) lucht verplaatst (zie Figuur 8.8).



Figuur 8.8 Gemiddeld luchtcirculatie-debiet. Voor een betere leesbaarheid zijn de data gefilterd met een 4-daags voortschrijdend-gemiddelde filter.

De ventilatoren die voor de luchtverversing en -circulatie worden gebruikt zijn echter zeer efficiënt zodat het stroomverbruik ondanks het grote luchtdebiet slechts 16 kWh per m² per jaar bedraagt.

Het extra stroomverbruik voor de ventilatoren, maar met name het extra verbruik voor de belichting geven samen een extra energievraag van 15 m³ a.e. per m² per jaar. Dit is een veel grotere toename dan de vermindering van het energiegebruik dat gerealiseerd is door meer te schermen en een hogere luchtvochtigheid aan te houden.

8.4 Conclusies

- Door de keus van een goede kwaliteit ventilatoren kan de installatie bij RS een grote hoeveelheid lucht rondblazen bij een relatief laag elektriciteitsverbruik (16 kWh/(m² jr)).
- De buitenlucht inblaas installatie biedt de mogelijkheid om energiezuinig te telen (vergroting van het aantal schermuren, telen bij hogere RV). In het begin van de monitoring-periode werd dit potentieel benut, maar met de komst van extra WKK-vermogen voor de eigen elektriciteitsvoorziening kan dit potentieel niet meer worden ingezet. Het warmte-overschot is zo groot dat de kas gedeeltelijk de functie van koeltoren krijgt. Overigens is voor de benutting van het energiebesparingspotentieel voor belichte teelten een buitenlucht inblaas installatie met een capaciteit van 20 m³/(m² uur) voldoende.
- De intensivering van de teelt die bij RS is toegepast (met name aan het eind van de monitoringperiode) heeft over deze monitoringperiode geleid tot een meerverbruik van 13 m³ aardgas equivalenten per m².

9 Rozenbedrijf (BR)

9.1 Inleiding

Het rozenbedrijf BR maakt intensief gebruik van belichting om de kwantiteit en kwaliteit van de productie in de winterperiode op peil te houden. Hierin verschilt dit bedrijf niet van het doorsnee rozenbedrijf in Nederland.

9.2 Bedrijfsituering

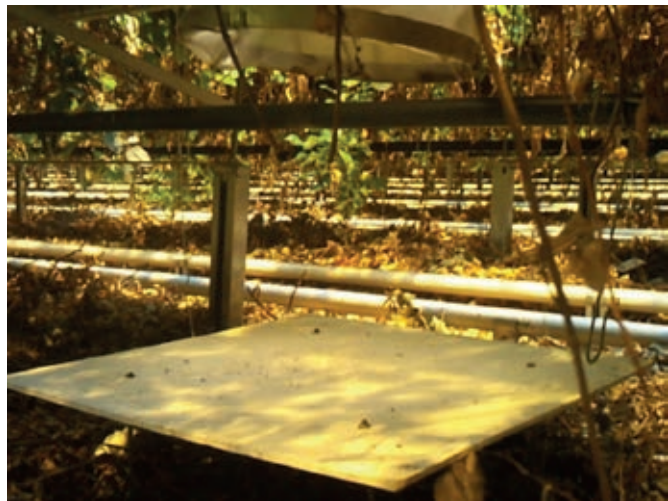
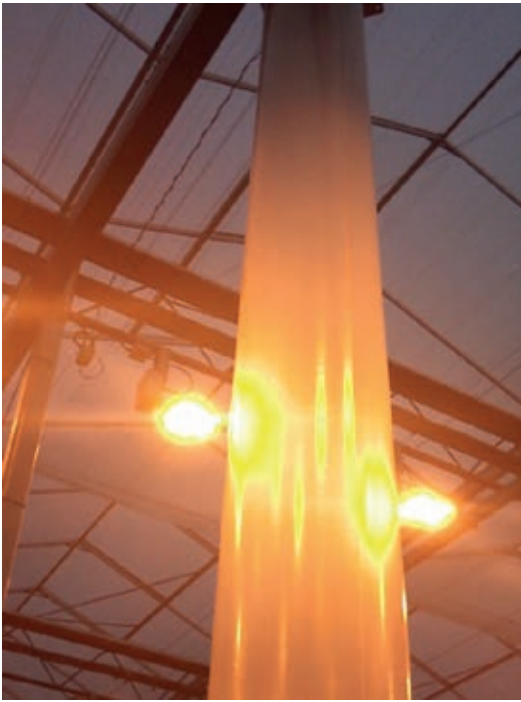
In Figuur 9.1 is het bedrijf BR weergegeven. In afdeling 11 van het rozenbedrijf zijn vertifans geïnstalleerd en afdeling 12 dient als referentie. De twee afdelingen zijn slechts gescheiden door een betonpad.



Figuur 9.1 Plattegrond van het bedrijf BR. De proef met de Vertifans heeft plaatsgevonden in afdeling 11. De naastliggende afdeling 12 geldt als referentieafdeling.

9.3 Installatie en meetapparatuur

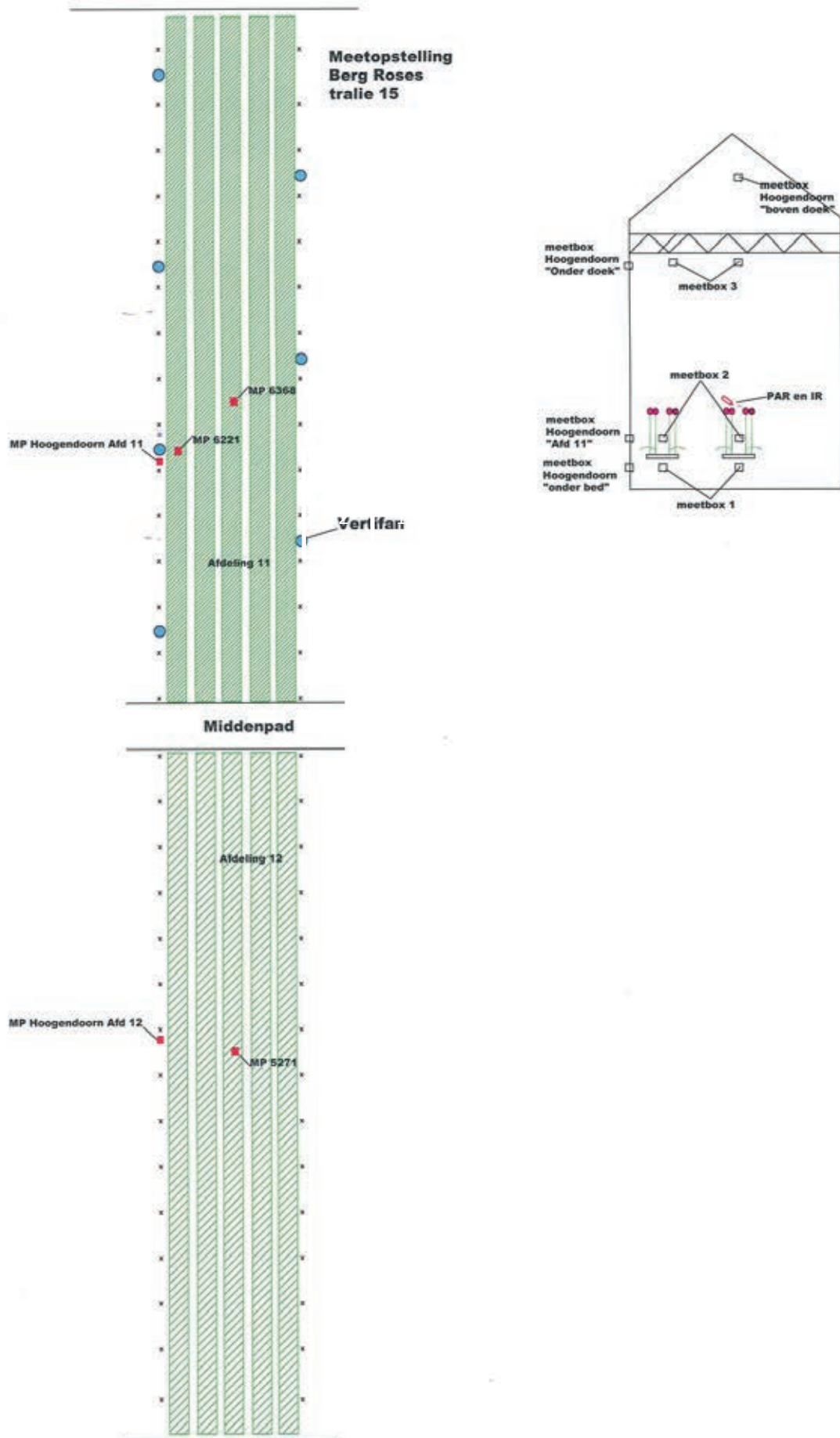
De vertifans (zie Figuur 9.2) geven volgens opgave $3500 \text{ m}^3/\text{uur}$ per 300 m^2 en hebben een elektrisch vermogen van 200 W . Een ketsplaat ligt 40 cm onder de uitmondning van de slurf om de lucht een zijwaartse impuls te geven. Bij nameting van de hoeveelheid lucht die door de slurven wordt getrokken bleek het volume veel lager ($2400\text{-}3000 \text{ m}^3/\text{h}$ ofwel $8\text{-}10 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{uur})$) te liggen.



Figuur 9.2 Slurf van de vertifan (links) die uitblaast onder de teeltgoot op een ketsplaat (rechts).

In afdeling 11 is een sensornetwerk opgehangen om de horizontale temperatuurverdeling te meten. Bovendien is in afdeling 11 en 12 op vijf plaatsen een meetpaal geplaatst (zie Figuur 9.3), die de temperatuur en de RV meet. Ook is in afdeling 11 boven het schermdoek een meetbox (T en RV) opgehangen en wordt op vier meetpalen de hoeveelheid PAR en de planttemperatuur (IR) gemeten.

In beide afdelingen zijn twee schermdoeken geïnstalleerd. Een donker schermdoek met een strook open doek, en een open schermdoek met een strook donker doek. Tijdens belichting wordt het donkere scherm (vrijwel) gesloten en zorgt de donkere strook van het heldere schermdoek ervoor dat de lichtuitstoot wordt beperkt.



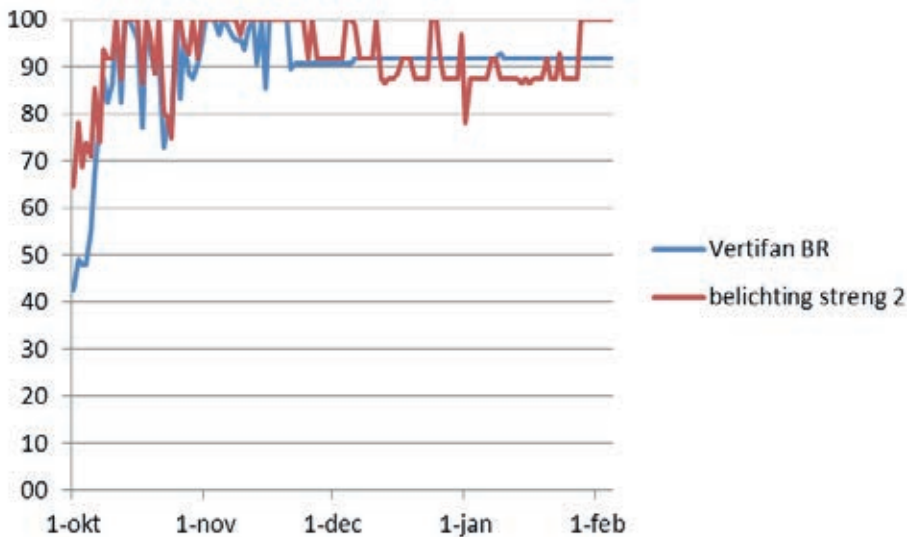
Figuur 9.3 Schets van de opstelling van de Vertifans en de meters bij BR.

9.4 Resultaten energiegebruik

De toepassing van Vertifans kan worden gezien als een klimaatbeheersingsmaatregel met beperkte investeringen om warme en/of droge lucht van boven in de kas in het gewas te blazen. Dit heeft twee doelen:

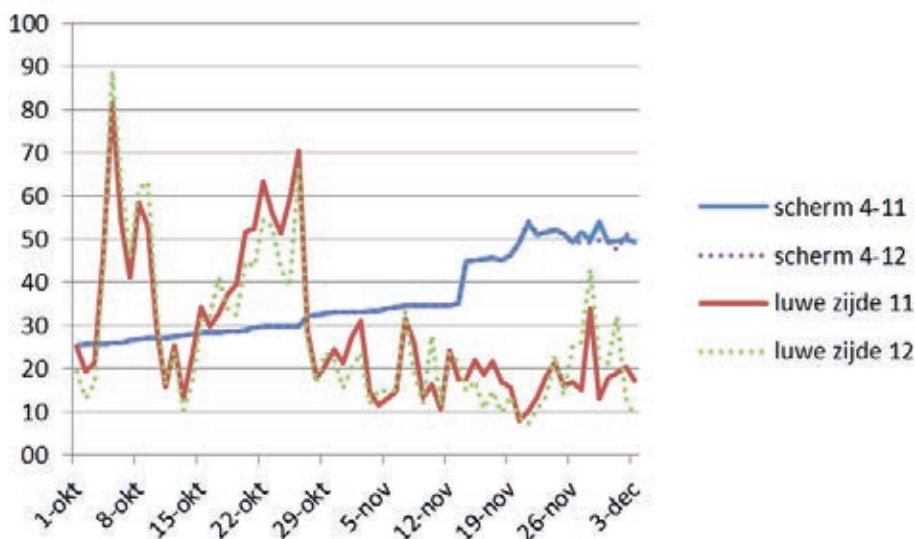
- Het besparen van energie door minder gebruik te maken van de minimum buis.
- Het stimuleren van de verdamping opdat de houdbaarheid van de rozen wordt verbeterd.

In de periode van 1 oktober tot 1 februari loopt het gebruik van de vertifan vrijwel gelijk op met de belichting (zie Figuur 9.4).



Figuur 9.4 Percentage van de tijd dat de vertifan in afdeling 11 draait en de belichting brandt (in afdeling 11 gelijk aan afdeling 12). De periode bestrijkt 1 oktober 2013 tot 4 februari 2014.

De luwe raamstand en de hoeveelheid schermuren waren in beide afdelingen vrijwel gelijk (zie Figuur 9.5).

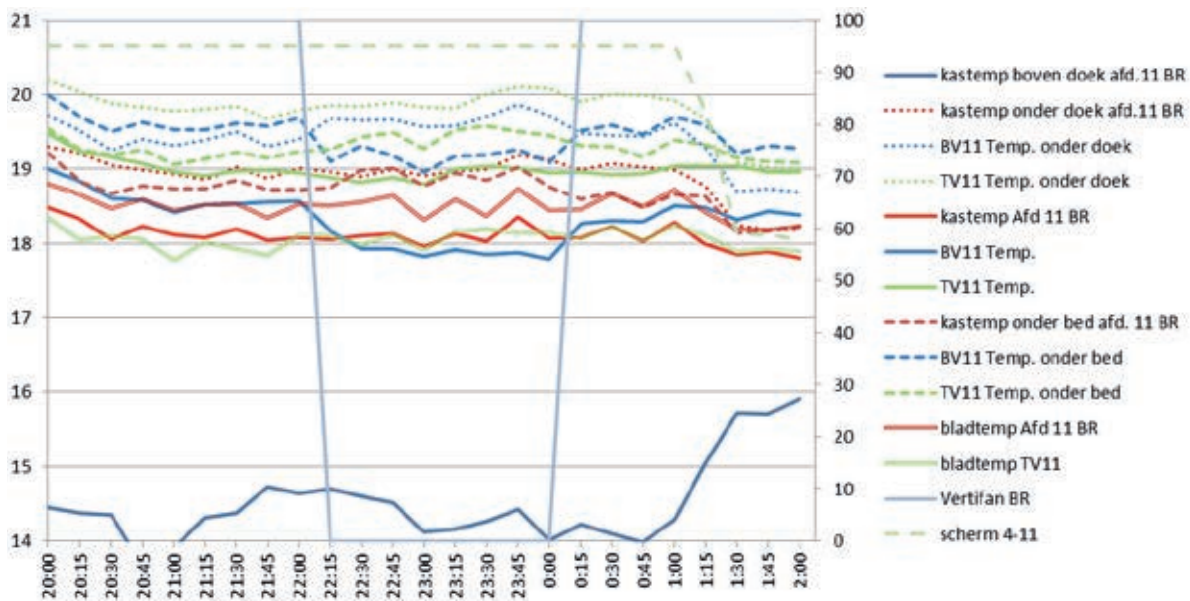


Figuur 9.5 Etmaalgemiddelde raamstand en schermstand van 1 oktober tot 3 december.

9.5 Invloed van vertifan op het kasklimaat

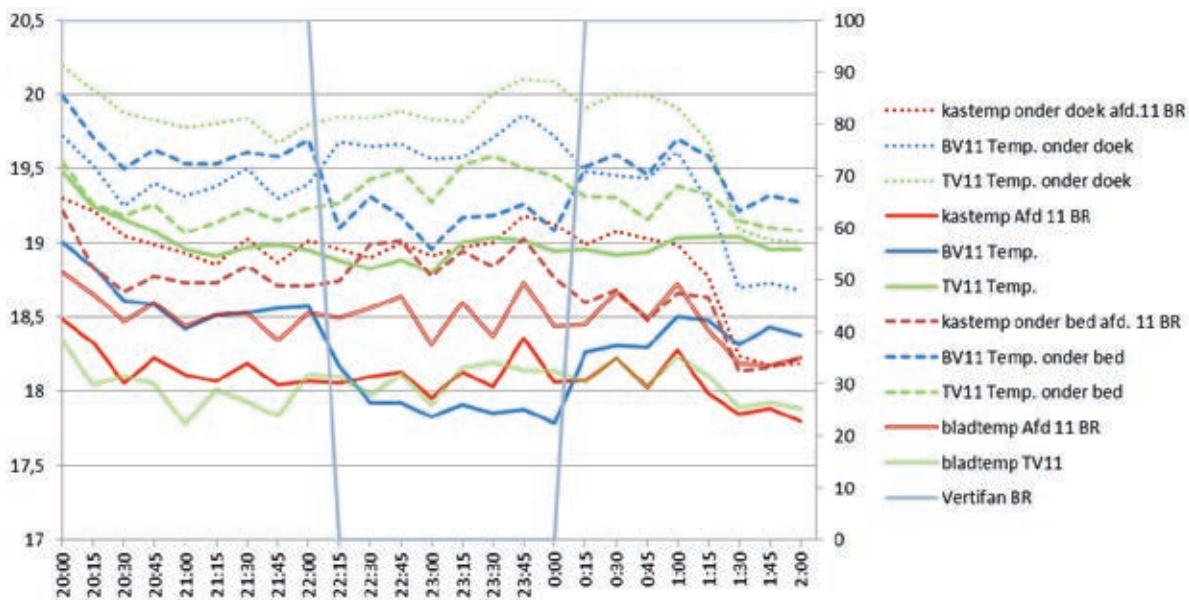
De afschakelperiode van de vertifans is van 9 januari 2014 tot 5 februari verschoven naar 22:00 tot 24:00 uur. Na 28 januari heeft de belichting 24 uur gebrand. Sindsdien is een vrij stabiel klimaat te zien bij de meetboxen, zodat van deze dagen een cyclisch etmaalgemiddelde is gemaakt van de meetboxen (zie Figuur 9.6). De 2 meetboxen bij de vertifans (BV 11 onder bed en BV 11 in gewas; blauw) geven een dalende temperatuur als de vertifans zijn uitgeschakeld. De 2 meetboxen tussen de vertifans (TV11 onder bed en TV 11 in gewas; groen), de planttemperatuurmeters en de meetboxen onder het doek blijven onveranderd.

Bij het aanschakelen van de vertifans rond 24:00 uur keert de situatie zich om. De vertifans zorgen er dus voor dat de temperatuur onder het bed en in het gewas bij de vertifans enkele tienden van graden stijgt. Dit zou kunnen komen doordat de temperatuur onder het doek tijdens belichting hoger is dan onder het bed. Deze invloed is in het gebied tussen de vertifans niet meer terug te vinden en lijkt bij de meetbox (BV11 Temp onder bed; blauwe gestreepte lijn), die ook dicht bij de vertifans staat, helemaal niet op te gaan.



Figuur 9.6 Cyclisch etmaalverloop van 29 januari tot 5 februari van de temperatuurmeters in afdeling 11 rondom het in- en uitschakelen van de vertifans.

Als naar het RV verloop wordt gekeken dan blijkt uit Figuur 9.7 dat met name de RV in het gewas bij de vertifans (BV11 RV) wordt beïnvloed door de vertifans. Ook de RV tussen de vertifans in het gewas lijkt 1 à 2% te worden verlaagd als de vertifans draaien. De overige meetboxen geven nauwelijks invloed te zien.



Figuur 9.7 Cyclisch etmaalverloop van 29 januari tot 5 februari van de RV meters in afdeling 11 rondom het uitschakelen van de vertifans.

9.6 Analyse van de benodigde luchtuitwisseling

Aangezien een belicht rozengevoel ongeveer $100 \text{ g}/(\text{m}^2 \text{ uur})$ verdampt, moet dit vocht op een of andere manier worden afgevoerd. Bij een kasklimaat van $20 \text{ }^\circ\text{C}$ en $80\% \text{ RV}$ bevat de kaslucht $13,9 \text{ g}/\text{m}^3$. Buitenlucht van 8°C en $80\% \text{ RV}$ bevat $6,6 \text{ g}/\text{m}^3$. Om $100 \text{ g}/\text{m}^2$ af te voeren is dus ongeveer $100/(13,9-6,6) = 14 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ uur})$ aan luchtuitwisseling nodig. Bij hogere buitentemperaturen is dit nog meer. Deze volumes zijn groter dan wat met de vertifans wordt verplaatst, hetgeen een verklaring is voor de geringe invloed van de vertifans op het kasklimaat.

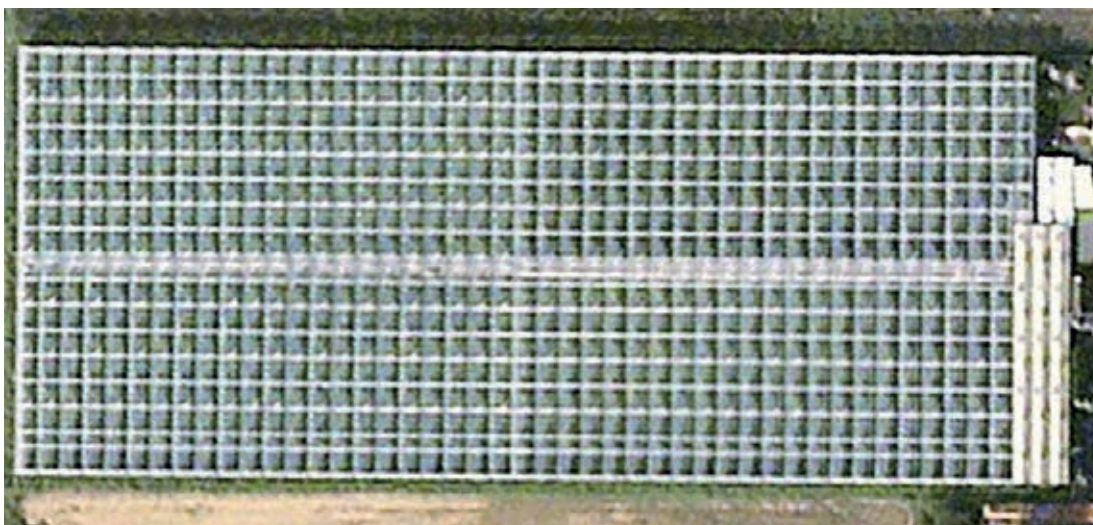
9.7 Conclusies

- Tijdens belichting en alleen in de directe omgeving van de uitmonding van de slurf verhogen de Vertifans de temperatuur en verlagen ze de RV in zeer lichte mate.
- Aangezien de buistemperatuur nog niet is verlaagd, is er geen energie bespaard in de proefafdeling.

10 Alstroemeria bedrijf (VD)

10.1 Inleiding

Het Alstroemeria bedrijf VD produceert meerdere cultivars op substraat in twee afdelingen (zie Figuur 10.1). Om minder gebruik te maken van de schermkieren en hiermee energie te besparen is het hele bedrijf in januari 2013 voorzien van nivolatoren (zie Figuur 10.2). Deze geven luchtbeweging onder het gesloten schermdoek, waardoor de verticale temperatuurverdeling in de kas wordt geëgaliseerd en mogelijk een te lage verdamping van het gewas kan worden voorkomen. Bovendien zou het dichter gesloten houden van het scherm kunnen voorkomen dat er ongewenste luchtstromingen (kouval) en horizontale temperatuurverschillen ontstaan. Vochtblaadjes (zie Figuur 10.5) worden gezien als het belangrijkste risico van een te lage verdamping in Alstroemeria.



Figuur 10.1 Plattegrond van het bedrijf VD met rechts Afdeling 1.



Figuur 10.2 Draaiende nivolator onder een opengaand scherm.

10.2 Metingen en resultaten

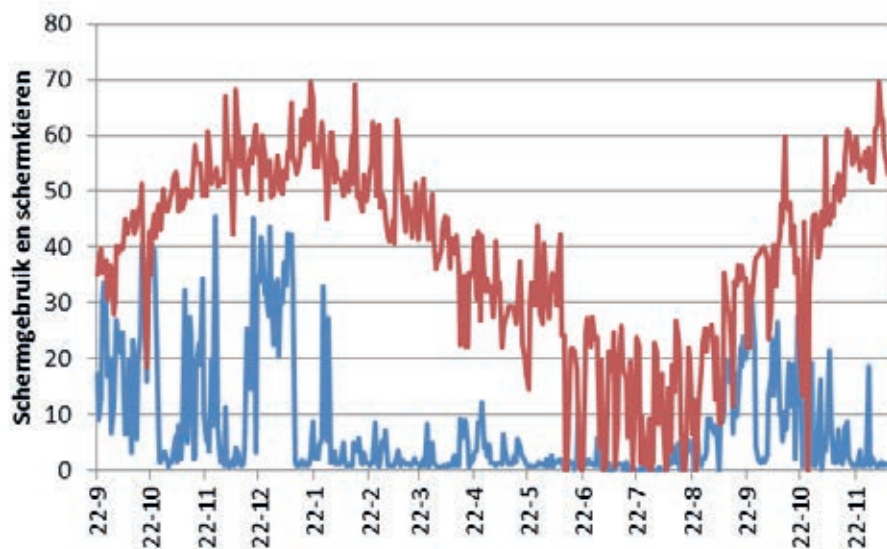
10.2.1 Schermgebruik

Vanaf september 2012 zijn klimaatdata uit de klimaatcomputer beschikbaar. In Figuur 10.3 is het verloop van het schermgebruik sindsdien weergegeven. In januari 2013 zijn de nivolatoren geïnstalleerd en is veel minder gebruik gemaakt van schermkieren. Als de periode van 22 september tot 13 december van 2012 en 2013 met elkaar worden vergeleken dan blijkt dat in 2013 het scherm vaker is gebruikt en er minder schermkieren zijn getrokken

Tabel 10.1

Percentage van de tijd dat het scherm gebruikt is en dat een schermkier getrokken is tussen 22 september en 13 december van 2012 en 2013.

	Schermsgebruik	Schermkiergebruik
2012	33%	14%
2013	37%	8%



Figuur 10.3 Verloop van percentage van de tijd dat het scherm is gebruikt (rode lijn) en het percentage dat een schermkier is aangehouden (blauwe lijn) in 2012 en 2013.

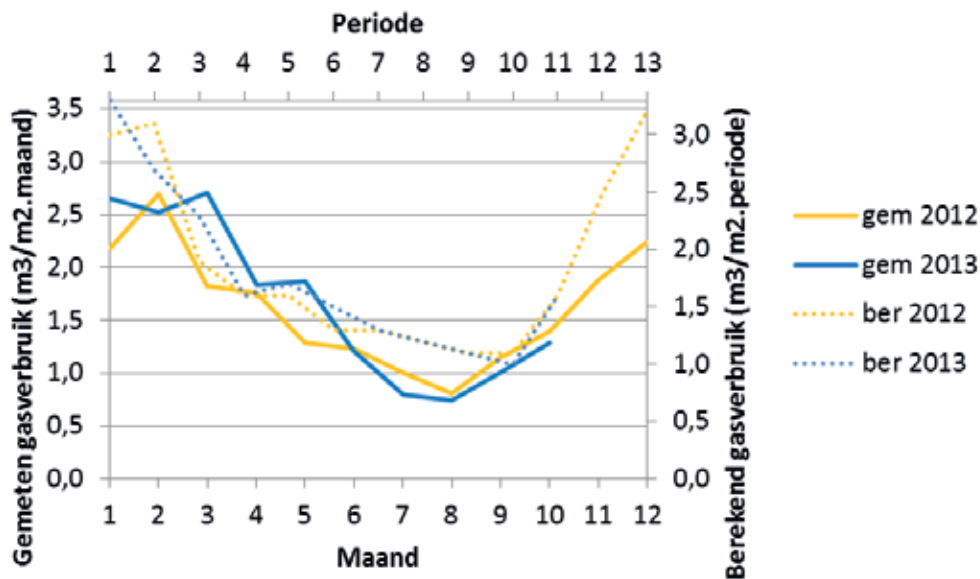
10.2.2 Belichting

Het aantal belichtingsuren in 2013 is 5% gestegen ten opzichte van 2012. In 2013 wordt ruim 3000 uren belicht met $92 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s})$. Dit komt neer op een elektriciteitsverbruik van $154 \text{ kWh}/\text{m}^2$ voor de belichting.

10.2.3 Verwarming

Bedrijf VD heeft geen WKK, zodat alle elektriciteit wordt ingekocht en alle warmte met een ketel wordt opgewekt. Het gasverbruik voor de verwarming en de CO_2 -voorziening van de kas is in 2013 met $1,3 \text{ m}^3/\text{m}^2$ gestegen ten opzichte van 2012, terwijl het buitenklimaat aanleiding zou geven tot $0,5 \text{ m}^3/\text{m}^2$ extra gasverbruik in 2013 (zie Figuur 10.4).

Na de installatie van de nivolatoren begin 2013 is het warmtegebruik dus gestegen ondanks het verhoogde schermgebruik en de iets toegenomen warmte-input via de belichting. Mogelijk heeft de luchtbeweging geleid tot een verhoogde verdamping of meer convectieverliezen tegen het gesloten scherm.



Figuur 10.4 Gemeten gasverbruik per maand en berekend gasverbruik per periode (m^3/m^2) in 2012 (oranje) en 2013 (blauw).

10.2.4 Gewaskwaliteit

Vochtblaadjes (zie Figuur 10.5) zijn een fysiologische afwijking die vooral in de winterperiode optreedt. Volgens onderzoek [Labrie en de Zwart, 2010] zijn vochtblaadjes te verminderen als buitenlucht kan worden ingeblazen. Bij het bedrijf VD zijn in december 2013 bij een gevoelig ras (Hercules) plotseling veel vochtblaadjes opgetreden. Met name tussen de nivolatoren (waar minder luchtbeweging plaatsvindt dan onder de nivolatoren) zijn de meeste vochtblaadjes voorgekomen.



Figuur 10.5 Alstroemeria "Hercules" met ernstige aantasting van vochtblaadjes.

10.2.5 Bladdikte

In het najaar van 2013 zijn bladdiktemeters geplaatst om te onderzoeken of de nivolatoren effect hebben op de verdamping (zie Bijlage 2 Onderzoek met bladdiktemeters). Op veel momenten was er nauwelijks effect te zien van het schermkieren, noch van de nivolatorstand. Wel gaf instraling (daglicht of assimilatiebelichting) een duidelijke vermindering van de bladdikte te zien.

10.2.6 Meetresultaten met de thermocamera

Inleiding

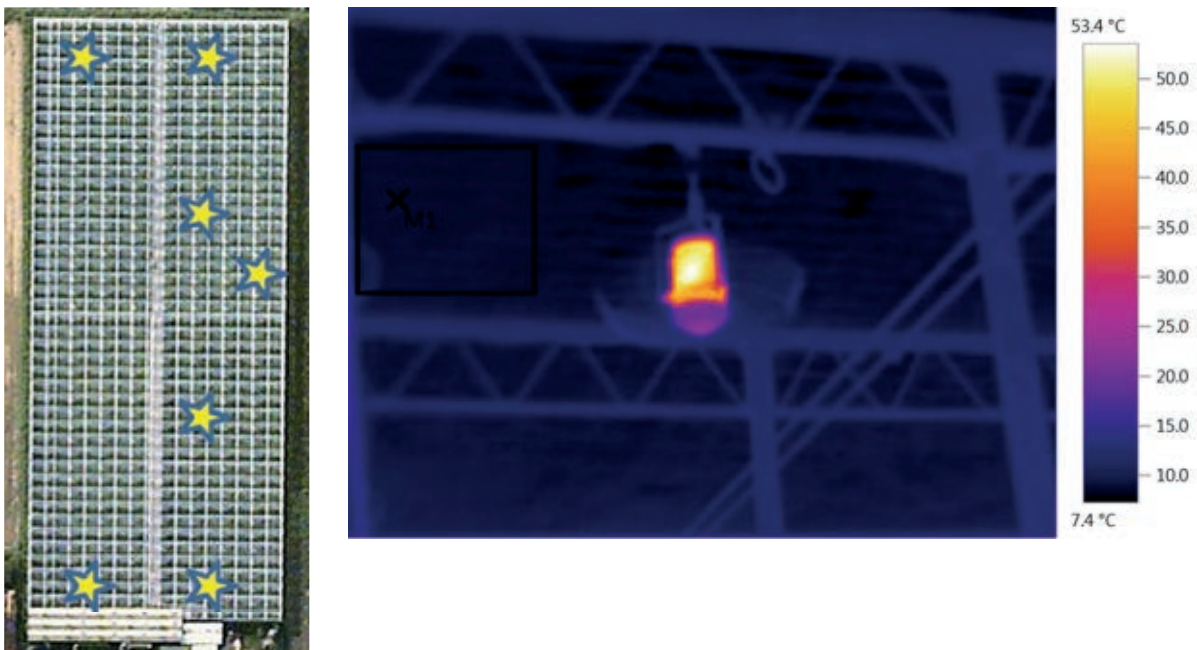
Met de thermocamera is op diverse plaatsen in de kas (zie Figuur 10.6) gemeten wat de temperatuur is van het scherm, de plant en de bodem. De onderscheiden plaatsen zijn:

Links en rechts van het middenpad

Voor en achter in de kas (voor is tralie 3-4 en achter is de op 1 en 2 na laatste tralie)

Bij de meetboxen in het midden van de kas en bij een horizontale ventilator langs de rechtergevel.

Zowel onder nivolatoren als tussen nivolatoren



Figuur 10.6 Meetplaatsen in de kas

De metingen hebben plaatsgevonden op 29 januari 2014 van 17:00 uur tot 18:30 uur. In de analyse is onderscheid gemaakt tussen de metingen voor en na 17:45 uur (vroeg en laat).

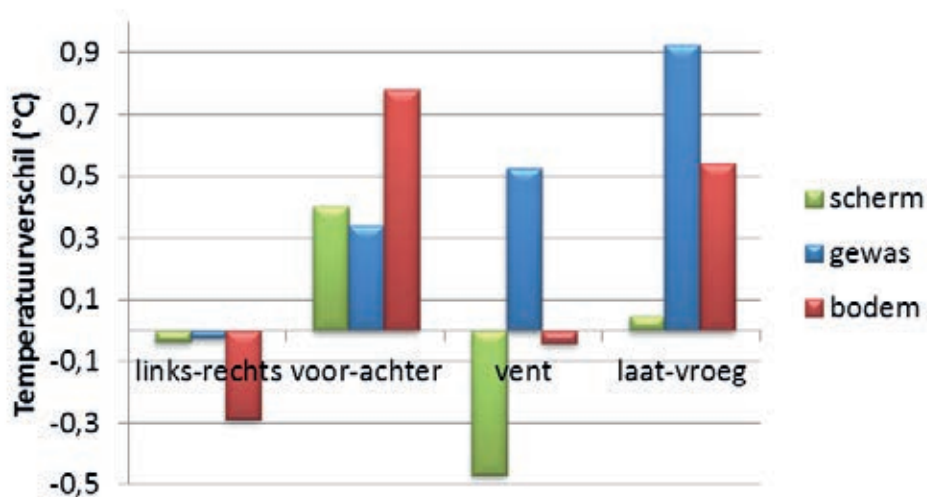
Resultaten

De gemiddelde temperaturen tijdens de meetperioden waren:

- Schermtemperatuur 8,8°C.
- Sewastemperatuur 14,0 °C.
- Bodemtemperatuur 15,4 °C.
- Kastemperatuur (meetbox 1) daalt van 15,1 naar 14 °C en stijgt weer naar 15,1 °C.
- Buitentemperatuur (meteo) daalt van 1,2-0,1 °C.
- Buistemperatuur stijgt van 30 tot 60 °C.

In Figuur 10.8 zijn de scherm-, gewas- en bodemtemperatuurverschillen tussen de diverse plaatsen weergegeven. Hieruit blijkt het volgende:

1. De temperatuurverschillen links en rechts van het middenpad zijn klein. Hooguit is de bodemtemperatuur rechts iets warmer dan links.
2. De temperatuur, en met name de bodemtemperatuur is voorin de kas hoger dan achterin de kas.
3. Bij de nivolatoren is de schermtemperatuur lager en de gewastemperatuur hoger dan tussen de nivolatoren. De bodemtemperatuur wordt niet beïnvloed.
4. De temperatuur van het gewas en de bodem zijn gestegen, terwijl de schermtemperatuur niet is gedaald.



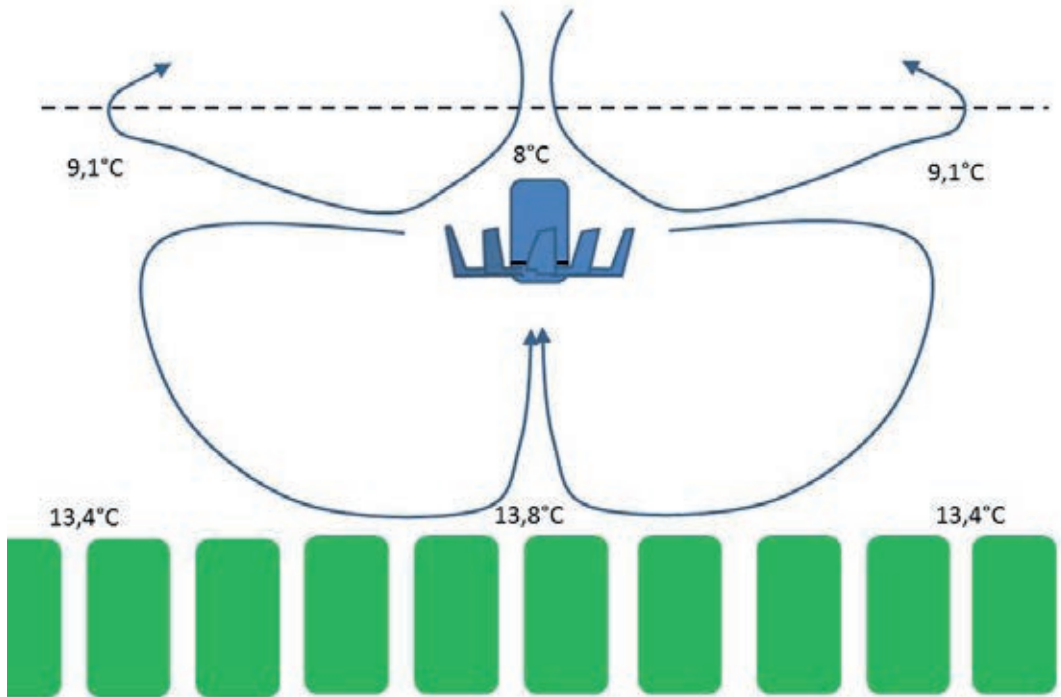
Figuur 10.8 Scherm-, gewas en bodemtemperatuurverschillen tussen diverse plaatsen en tijdstippen in de kas.

Daarnaast zijn metingen gedaan bij een horizontale ventilator langs de kopgevel rechts midden (gewas Hercules) en bij de meetboxen. Bij de horizontale ventilator langs de kopgevel was de temperatuur ruim 1°C hoger dan in de rest van de kas. De metingen bij de meetboxen (zowel tussen als bij de nivolatoren) gaven een vergelijkbaar beeld als de metingen voor en achter in de kas.

Conclusie

Het meest opvallende resultaat is de lage schermtemperatuur en de hoge gewastemperatuur bij de nivolatoren ten opzichte van de metingen tussen de nivolatoren. Mogelijk kan dit worden verklaard met de volgende uitleg: Een nivolator zuigt zowel van onderaf als van bovenaf lucht aan (zie Figuur 10.9). Aangezien het schermdoek ongeveer 5% open is, wordt er bij de nivolatoren ook koude lucht van boven het scherm aangezogen. Daardoor is het scherm boven de nivolatoren relatief koud.

De koude lucht wordt gemengd met warme kaslucht en tussen de nivolatoren geblazen. Dit mengsel zakt daar naar het gewas, dat voor afkoeling van het gewas tussen de nivolatoren zorgt.



Figuur 10.9 Schematische weergave van de luchtstroming en temperatuurverdeling rond de nivolator bij gesloten scherm.

Figuur 10.7 Opname van een nivolator met een thermocamera.

11 Phalaenopsisbedrijf (TL)

11.1 Inleiding

Het innovatieve bedrijf TL heeft met de bouw van de DaglichtKas vier vernieuwingen doorgevoerd. In de eerste plaats wordt het kasdek gevormd door isolatieglas. Aan de noordzijde is de binnenste ruit van diffuus glas gemaakt. Het licht dat door het zuiddek valt is op gewasniveau ook diffuus omdat de spouw van het dubbele glas in de zuidwaarts gerichte vlakken voorzien is van Fresnel lenzen. Het diffuse licht is de tweede innovatie. Deze lenzen hebben een dubbele werking want behalve het feit dat ze het licht op gewasniveau diffuus maken zorgen ze ervoor dat op een specifieke plaats hoog in de kas het zonlicht juist in een smalle bundel geconcentreerd wordt. Door precies op die plek een collectorbuis te plaatsen kan overtollig zonlicht direct worden omgezet in warmte. Deze warmte kan, na tussenkomst van een opslagsysteem en een warmtepomp, op een later moment worden gebruikt voor de gewas verwarming. Dit zonne-energie collectiesysteem is de derde innovatie die op dit bedrijf is ingezet. Voor de werking van de Fresnel lenzen en het zonnecollector systeem wordt verwezen naar de Zwart (2012).

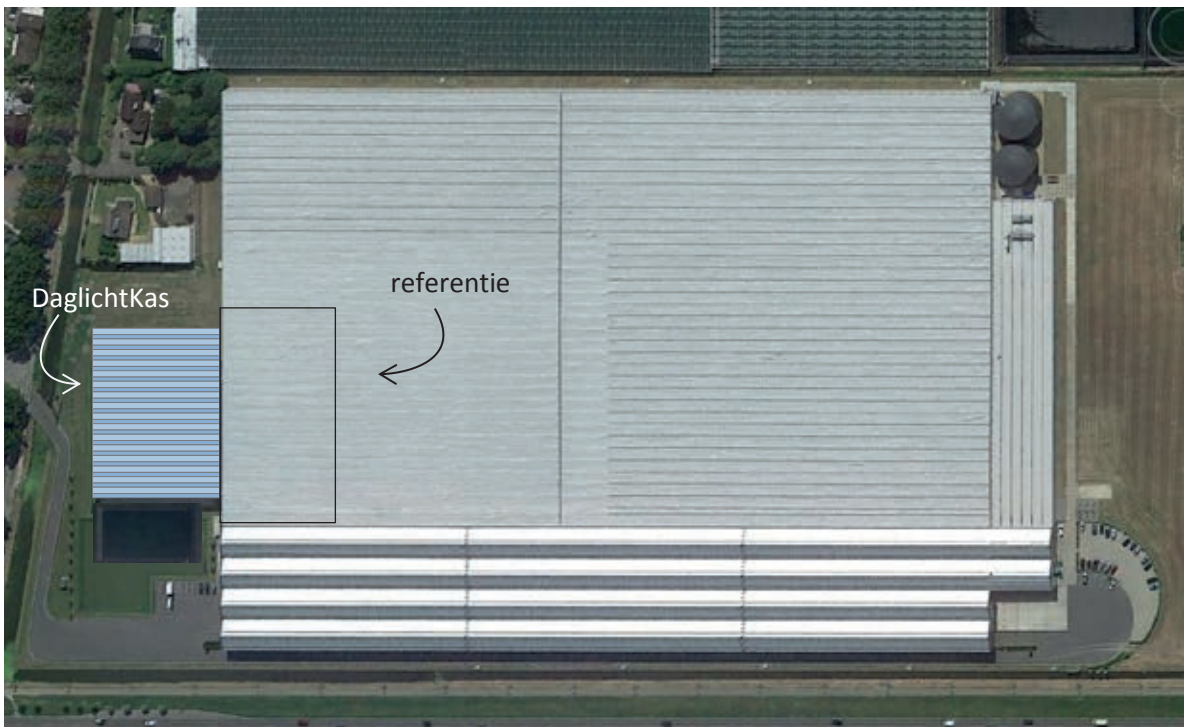
De vierde innovatieve techniek die in de nieuwe aanbouw is toegepast is een buitenlucht inblaas installatie waarmee de kas kan worden ontvochtigd. De installatie kan $6 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ uur})$ lucht circuleren met een variabele mengverhouding tussen recirculerende kaslucht en verse buitenlucht. De luchtbehandelingskast is voorzien van warmtewisselaar, waardoor de lucht naar kasluchttemperatuur kan worden opgewarmd

Na menging van buitenlucht met kaslucht en eventuele opwarming wordt de lucht onder de teelttafels verdeeld via luchtslurven.

11.2 Bedrijfsituering

Figuur 11.1 toont een overzicht van het bedrijf. De DaglichtKas is als extra opkweekafdeling met de bestaande kas geïntegreerd. In de bedrijfsvoering worden de planten ex vitro in verspeenkisten geplant. Deze gaan 14 tot 16 weken in de afdeling die in dit onderzoek als referentie wordt gebruikt. Daarna vervolgen de planten hun weg door het bedrijf via de DaglichtKas, waar ze 10 tot 12 weken staan. Na deze eerste 25 tot 27 weken gaan de planten naar de andere, koudere teeltafdelingen voor de bloeitrek en de afkweek.

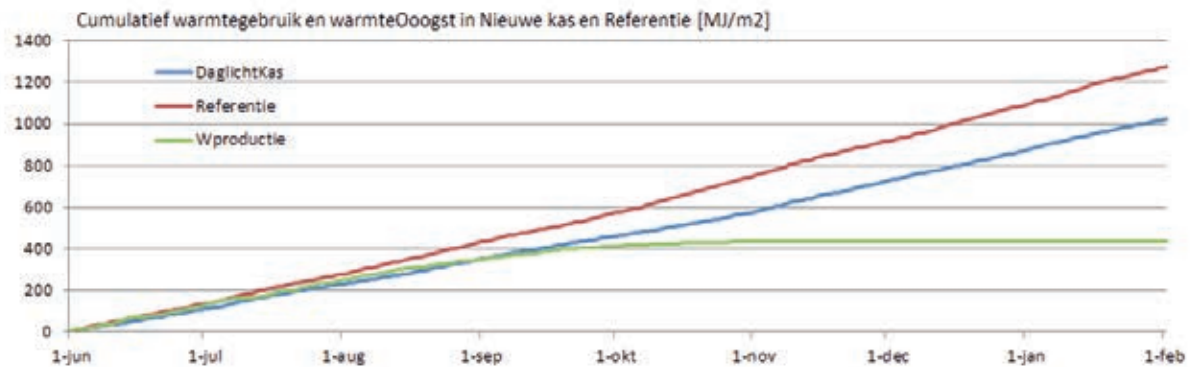
De klimaatinstellingen en teeltwijze in de eerste opkweekafdeling lijkt sterk op die in de DaglichtKas en daarom is het klimaat en energieverbruik van deze naastgelegen afdeling als referentie voor de bepaling van het effect van de energie-innovaties gebruikt. De referentiekas heeft enkel glas, een dubbel scherm-systeem en een buitenscherm. Om ondanks het enkele glasdek toch de warmtevraag in de referentiekas laag te houden is het onderste (transparante) schermdoek in de referentie-afdeling altijd gesloten.



Figuur 11.1 Overzicht van het bedrijf. Het totale oppervlak bedraagt na de uitbreiding met de DaglichtKas 7.9 ha. (Foto: Google earth).

11.3 Resultaten energieverbruik

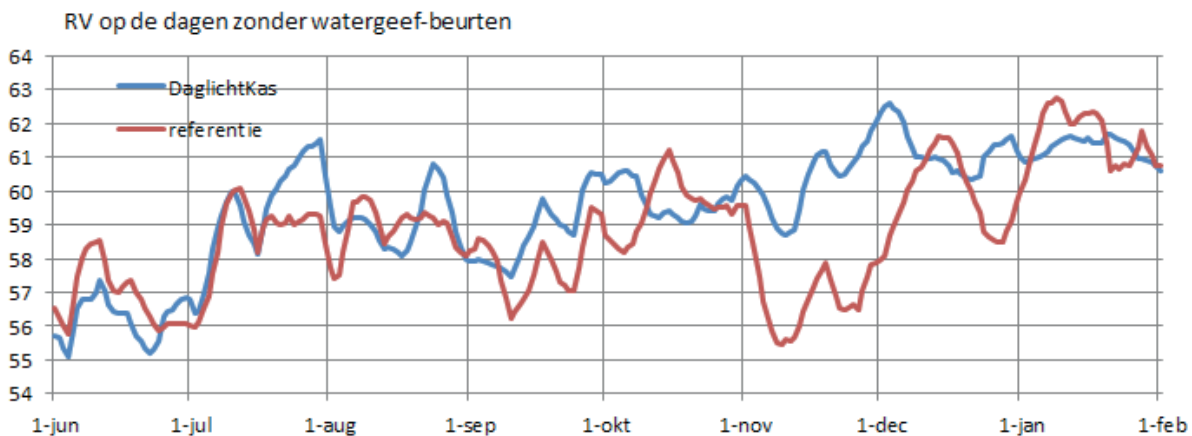
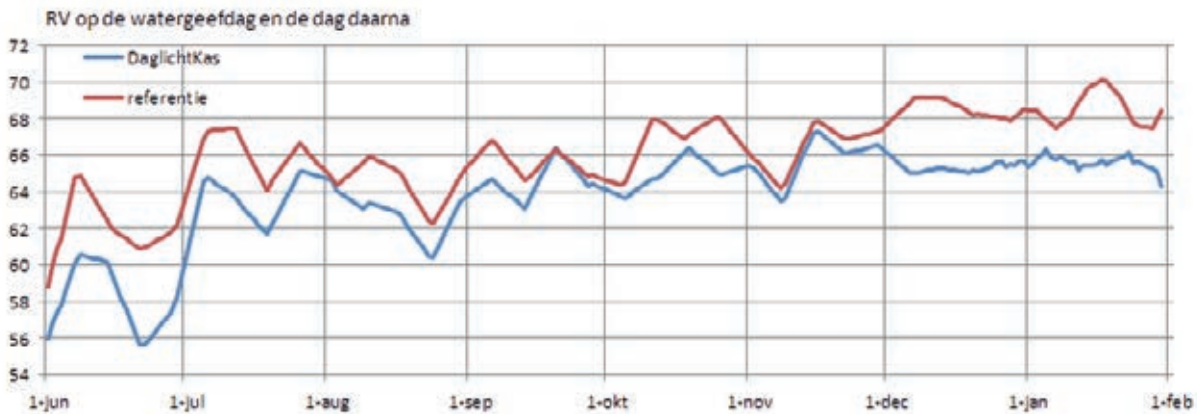
Onderstaande grafiek toont het cumulatieve energieverbruik voor de verwarming van de nieuw gebouwde kasafdeling samen met het cumulatieve energieverbruik van de referentiekas.



Figuur 11.2 Cumulatieve warmtevraag van de nieuwe kasafdeling en van de referentie over de periode van 1 juni 2014 tot 1 feb 2015. De grafiek toont ook die hoeveelheid warmte die het zonnecollector systeem heeft ingevangen.

Figuur 11.2 toont dat over de monitoringsperiode de warmtevraag in de nieuwe kasafdeling 1020 MJ/m² bedroeg terwijl dit in de referentieafdeling 1275 MJ/m² was. Deze forse besparing (20%) is vooral gerealiseerd door het isolerende kasdek. Daarnaast worden er in de winter nauwelijks nog schermkieren gebruikt doordat de buitenlucht inblaas installatie de gewenste ontvochtiging zonder kieren weet te realiseren. Behalve een verlaagde warmtevraag heeft de DaglichtKas ook een ruime hoeveelheid duurzame energie verzameld; 435 MJ/m². Deze warmte-oogst is boven verwachting en zo'n 30% beter dan de warmteoogst van het eerste prototype van dit type kas dat in 2010 in Bleiswijk is gebouwd.

In principe zou de DaglichtKas met deze verzamelde warmte voor ongeveer de helft met duurzame energie verwarmd kunnen worden. Uiteraard is hierbij een warmtepomp noodzakelijk die hoogwaardige aandrijfenergie nodig heeft, maar dit laat onverlet dat de netto warmtevraag van de DaglichtKas over deze meetperiode $1020 - 435 = 585 \text{ MJ/m}^2$ bedraagt. Dit is minder dan de helft ten opzichte van de referentie. Het feit dat de buitenlucht inblaas installatie de luchtvochtigheid goed kan beheersen blijkt uit de onderstaande grafieken waar de etmaalgemiddelde luchtvochtigheid wordt getoond.



Figuur 11.3 Etmaalgemiddelde luchtvochtigheid in de nieuwe kasafdeling en in de referentie-afdeling op de watergeefdagen (en de dag daarna) en op de niet-watergeef dagen (de overige dagen) over de periode van 1 juni 2014 tot 1 feb 2015.

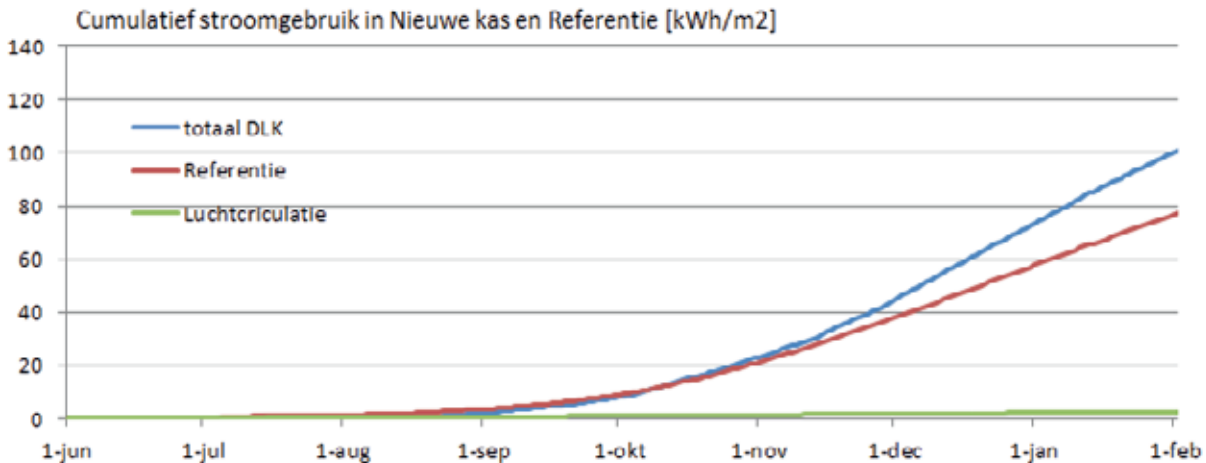
In de hier toegepaste teelt van phalaenopsis wordt de kas iedere week besproeid. De dag waarop dat gebeurt wordt hier de watergeefdag genoemd. Op deze dag, en op de dag daarna, is de kas duidelijk vochtiger dan op de overige dagen. Als we kijken naar de gemiddelde RV op de watergeefdagen (en de dag daarna) dan ligt die voor de nieuwe kas rond de 64% en voor de referentiekas rond de 66%. Op de niet-watergeefdagen light de gemiddelde luchtvochtigheid voor beide afdelingen rond de 60%.

Het feit dat de RV in de nieuwe kas op de watergeefdagen gemiddeld lager is dan in de referentie geeft aan dat de buitenlucht inblaas installatie het overtollige vocht snel kan afvoeren. Deze mogelijkheid wordt door de betreffende tuinder benut om wat droger, en dus intensiever te telen. Wanneer de luchtvochtigheid in de nieuwe kas vergelijkbaar zou zijn gehouden als in de referentie, dan zou de gerealiseerde verlaging van het warmteverbruik nog hoger zijn geweest.

Het elektriciteitsverbruik van de ventilatoren van de buitenlucht inblaas installatie is gering. Onderstaande figuur laat zien dan na een periode van 8 maanden de ventilatoren slechts 2.6 kWh/m^2 hebben gebruikt. Deze hoeveelheid valt in het niet bij het stroomverbruik van de belichting. Met de belichting komt het stroomverbruik van de nieuwe kasafdeling over de beschouwde periode op 100 kWh/m^2 , terwijl dat voor de referentieafdeling in dezelfde periode 79 kWh/m^2 bedraagt.

Het grotere stroomverbruik voor de belichting komt voort uit de hogere intensiteit die geïnstalleerd is. Daarmee wordt de lichtsom in de nieuwe kas in de winter op gemiddeld 6.5 mol/(m² dag) gebracht, waar die in de referentiekas in de winter rond de 4.5 mol/(m² dag) ligt.

Behalve de extra belichting zorgt ook de hoge lichtdoorlatendheid van de nieuwe kas voor een grotere lichtsom. De nieuwe kas geeft in de winter 33% meer natuurlijk licht in de kas dan de referentiekas. De referentie heeft een lage lichttransmissie door het permanent gesloten schermdoek en door de constructie van het buitenscherm wat een forse lichtonderschepping oplevert. De overall lichttransmissie van de nieuwe kas is in de winter 40%, waar die voor de referentieafdeling slechts 30% bedraagt.



Figuur 11.4 Cumulatief stroomverbruik van de nieuwe kasafdeling en de referentie-afdeling over de periode van 1 juni 2014 tot 1 feb 2015.

Het extra primaire energieverbruik ten gevolge van het grotere stroomverbruik bedraagt over deze monitoringperiode dus 21 kWh/m². Volgens de in de inleiding genoemde omrekenfactor komt dit overeen met 5.3 m³ aardgas equivalenten per m². De directe besparing op warmte in de beschouwde periode bedraagt 8 m³ aardgas equivalenten per m² en als er wordt gekeken naar de netto warmtebesparing bij gebruikmaking van de warmteoogst dan is die zelfs bijna 22 m³ aardgas equivalenten per m².

De uiteindelijke energiebesparing die over de monitoringperiode kan worden vastgesteld bedraagt daarmee 16.7 m³/m².

11.4 Conclusies

- Het isolerende dubbel glas kasdek geeft een forse verlaging van de warmtevraag. De vermindering van de verwarmingsbehoefte bedraagt op dit moment 20%, maar zou hoger zijn geweest indien in de nieuwe kas een vergelijkbare luchtvochtigheid zou worden aangehouden als in de referentie.
- De warmtevraag van de kas kan voor bijna de helft worden ingevuld met duurzame energie die met het zonnecollectorsysteem verzameld wordt. Hiervoor moet gebruik gemaakt worden van een seizoensopslagsysteem en een warmtepomp.
- De buitenlucht inblaas installatie levert een goed regelbare ontvochtiging. Ook bij een 100% gesloten schermdoek kan voldoende vocht worden afgevoerd. De betreffende tuinder gebruikt deze goede ontvochtigingscapaciteit tot nu toe voor een intensivering van zijn teelt (droger telen).
- De nieuwe kas heeft een 33% hogere lichttransmissie dan de referentie-afdeling (40% in plaats van 30%).
- De combinatie van verlaging van het warmteverbruik en de inzet van duurzame energie leidt volgens de berekeningssystematiek die in dit rapport wordt gehanteerd tot een verlaging van het primair energieverbruik met 22 m³ a.e./m². De intensivering van de belichting leidde over de beschouwde periode tot een verhoging van het verbruik met 5.3 m³ a.e., waardoor de netto besparing op 16.7 m³ a.e./m² uitkomt.

12 Conclusies

Naar aanleiding van de monitoring op een 10-tal bedrijven kan worden geconcludeerd dat lang niet in alle gevallen de investering in innovatieve systemen voor de klimaatconditionering leidt tot een afname van het energieverbruik. In sommige gevallen komt dit doordat er nog intensief gebruik gemaakt blijft worden van een minimumbuis, al dan niet in verband met de vernietiging van warmte-overschotten. In andere gevallen komt dit doordat de tuinder de nieuwe systemen gebruikt om intensiever (= droger) te gaan telen.

Ook komt het voor dat het bedrijf tegelijk met de installatie van innovatieve klimaatinstallaties ook andere wijzigingen aanbrengt, zoals een hogere belichtingsintensiteit. In dat geval wordt een deel van de energiebesparing die in principe met extra schermen of het vochtiger telen met een buitenlucht inblaas installatie behaald had kunnen worden weer teniet gedaan. In sommige gevallen levert de innovatie een zodanig groot voordeel dat ondanks de intensivering nog steeds een energiebesparing gerealiseerd wordt, maar meestal kost de intensivering meer energie dan het innovatief klimaatsysteem bespaart.

Ten aanzien van problemen met de horizontale temperatuurverdeling blijkt telkens weer dat luchtcirculatiesystemen nauwelijks een bijdrage kunnen leveren aan de oplossing van zulke problemen.

Problemen met de horizontale temperatuurverdeling worden veroorzaakt door kieren in het scherm of in de ramen of slecht gebalanceerde gevelverwarming.

13 Literatuur

Zwart, H.F. de en F. van Noort, 2012,

Praktijkervaringen met de DaglichtKas, Wageningen UR Glastuinbouw, rapport GTB-1157.

Zwart, H.F. de, 2013,

Lage temperatuurverwarming in de Glastuinbouw, Wageningen UR Glastuinbouw, rapport GTB-1219.

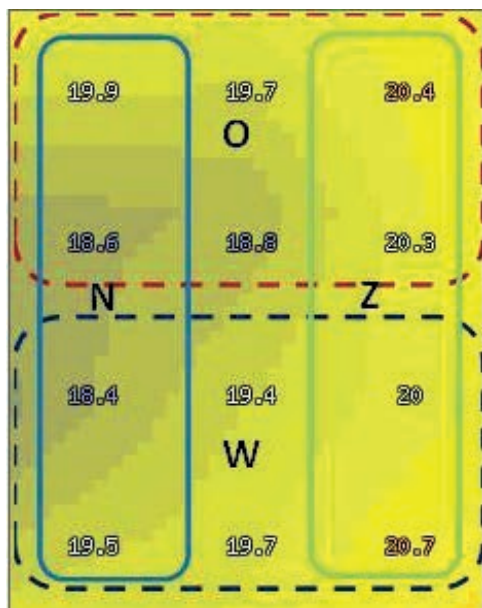
Labrie, C., en de Zwart, F. (2010):

Het nieuwe telen Alstroemeria : energiezuinig teeltconcept snijbloemen met een lage warmtebehoefte.
Wageningen UR Glastuinbouw. Bleiswijk.

Bijlage 1 Analyse windrichting en temperatuurverdeling bij het bedrijf BR

Tussen 14 januari en 5 februari zijn 12 draadloze sensoren in de kas bekeken op de temperatuur, afhankelijk van de windrichting. De voorspelling is dat de temperatuur het hoogst is, daar waar de wind vandaan komt.

In B1.1 is weergegeven hoe de sensoren zijn gegroepeerd in kompasstreken. De kompasstreken Noord en Zuid bevatten ieder vier sensoren en Oost en West bevatten ieder zes sensoren. De groepen overlappen elkaar deels.



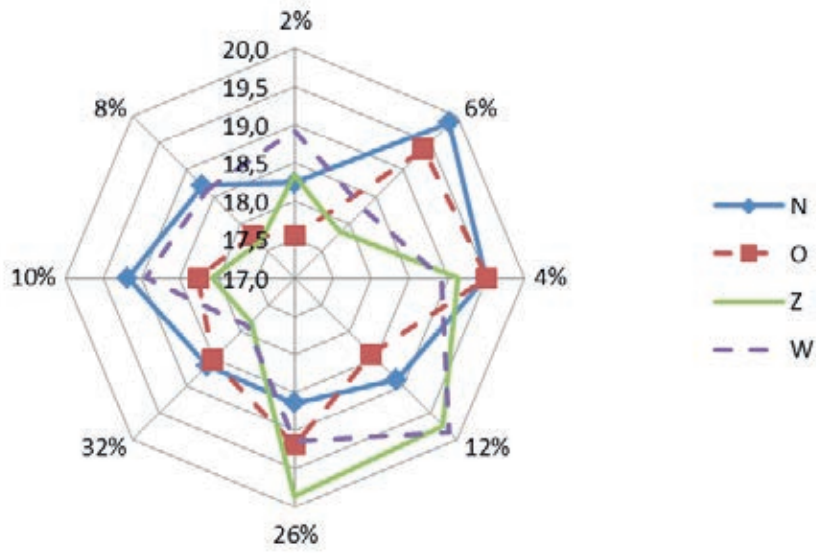
Figuur B1.1 Draadloze sensoren in afdeling 11 gegroepeerd in de kompasstreken Noord, Oost, Zuid en West.

In B1.2 is per kompasstreek weergegeven wat de temperatuur is, afhankelijk van de windrichting. Hiervoor is het gemiddelde genomen van de nachten tussen 14 januari en 5 februari. Ook is aangegeven hoe vaak een bepaalde windrichting voor is gekomen in deze periode. Zo is gedurende slechts 2% van de tijd, de wind uit het noorden gekomen, terwijl deze gedurende 32% van de tijd uit het zuidwesten kwam.

Een paar dingen die opvallen uit Figuur B1.1:

- De groep Noord heeft relatief de hoogste temperatuur bij de windrichtingen noordoost en west;
- De groep Oost heeft relatief de hoogste temperatuur bij de windrichting oost en noordoost
- De groep Zuid heeft relatief de hoogste temperatuur bij de windrichting zuid en zuidoost
- De groep West heeft relatief de hoogste temperatuur bij de windrichtingen noord, noordwest, west en zuidoost.

Hiermee is aangetoond dat de windrichting vanuit alle hoeken veel invloed heeft op de temperatuurverdeling in afdeling 11.



Figuur B1.2 Gemiddelde temperatuur van de gegroepeerde draadloze sensoren, uitgezet tegen de windrichting (gedurende de nachten van 14 januari tot 5 februari 2014).

Bijlage 2 Onderzoek met bladdiktemeters

Bij kwekerij De Hazenkamp is met bladdiktemeters bepaald in hoeverre de geïnstalleerde nivolatoren de verdamping beïnvloeden. Tevens zijn bladmeters een indicator voor een hoge celdruk.

Een bladdiktemeter wordt geplaatst op het blad, de bladnerf of de bladsteel (zie figuur B2.1). Als het blad dikker wordt (door opname van water, of door groei), drukt dit het klemmetje iets wijder, wat dan wordt gemeten en geregistreerd. Als het blad dunner wordt (door verdamping vermindert de celdruk), dan knijpt een veertje de meter weer terug. De bladdiktemeter geeft alleen een relatieve waarde (in punten) aan voor het verloop in de bladdikte. Hij meet geen absolute waarde in micrometers.

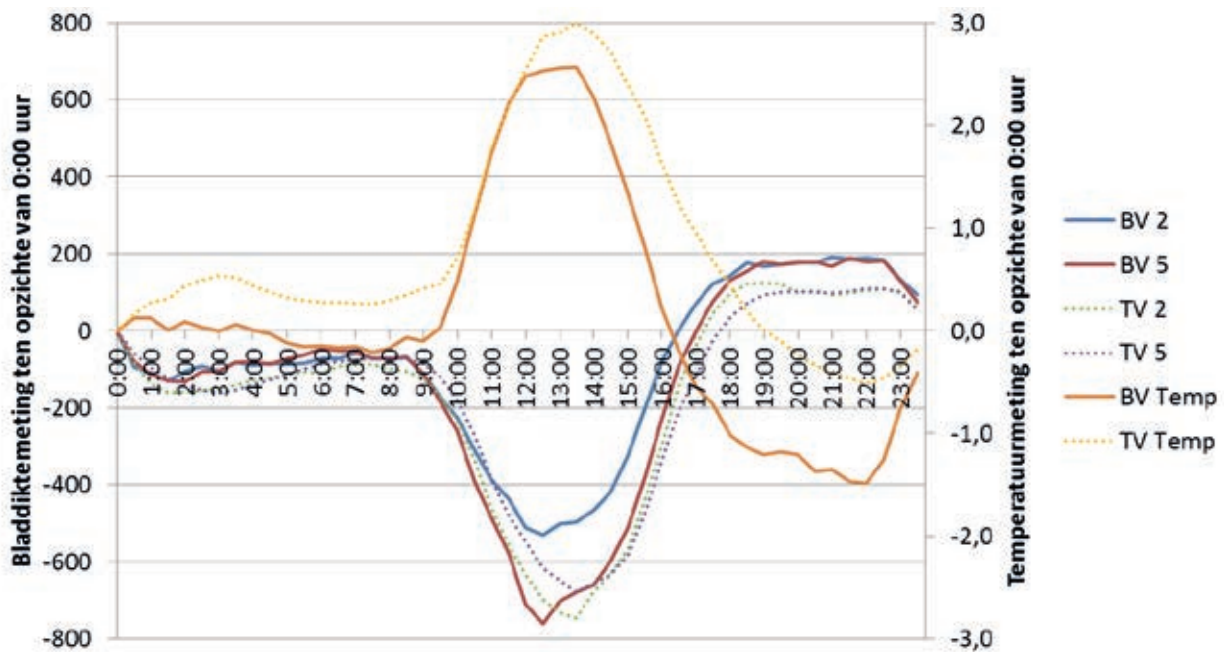


Figuur B2.1 Bladdiktemeter op de bladstengel.

In dit verslag worden cyclische etmaalgemiddelden getoond. Een cyclisch etmaalgemiddelde geeft voor meerdere etmalen het gemiddelde verloop weer. In figuur B2.2 starten alle lijnen om 0:00 uur met de waarde 0. De temperatuur om 12:00 uur is gemiddeld 2,5 tot 3°C hoger dan om 0:00 uur. De bladdikte is om 12:00 uur juist 500 tot 750 punten lager dan om 0:00 uur.

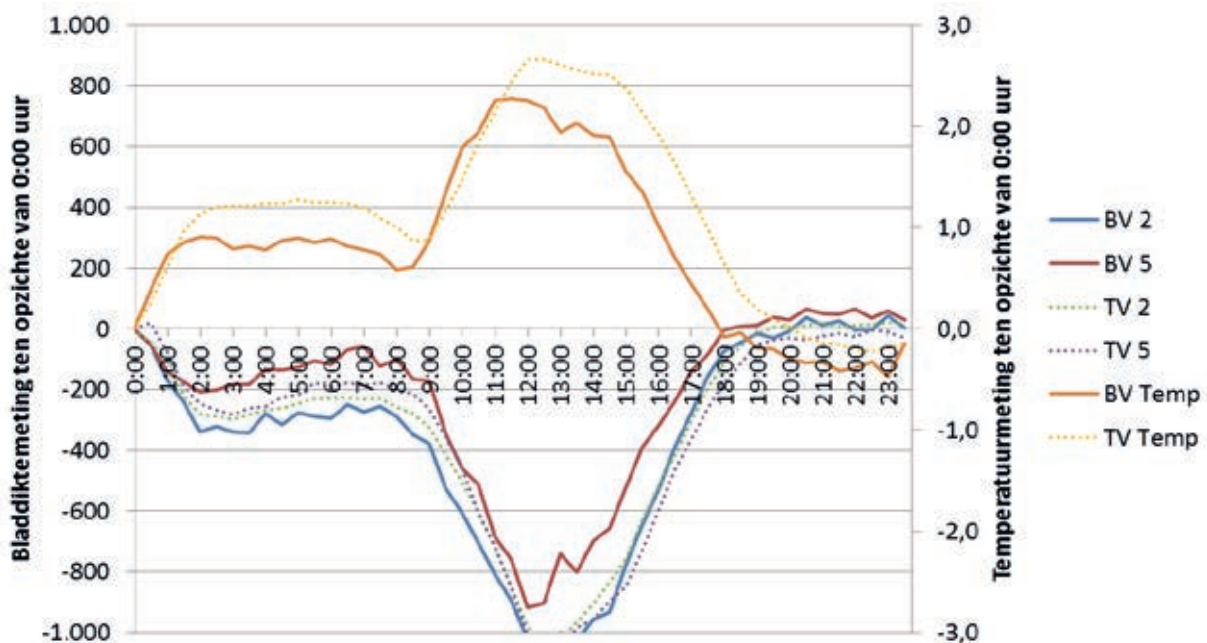
De gestippelde lijnen betreffen de bladdiktemeters die ver van de nivolatoren zijn geplaatst (tussen ventilatoren TV). De doorgetrokken lijnen betreffen de bladdiktemeters die vlak bij een ventilator (BV) zijn geplaatst. Zowel bij de ventilator (BV) als tussen de ventilatoren (TV) zijn zes bladdiktemeters geplaatst. Om de overzichtelijkheid van de grafiek te behouden, zijn naast het temperatuurverloop alleen de sensoren 2 en 5 weergegeven, die ± 20 cm onder de kop van de plant zijn geplaatst.

In figuur B2.2 zijn alleen de etmalen meegenomen waarin de nivolator tussen 20:00 uur en 22:00 uur is uitgeschakeld. Dit was van week 46 t/m week 9, met uitzondering van week 4 t/m 6. De verwachting was dat de verdamping zou verminderen bij het stoppen van de nivolatoren, waardoor de celdruk en dus ook de bladdikte zou toenemen. Als naar het gemiddelde verloop wordt gekeken is dit echter niet te zien. Wel is duidelijk dat de bladdikte afneemt als de belichting rond 23:00 uur wordt aangeschakeld. Onder invloed van het licht gaan de huidmondjes dan open. In combinatie met de energietoevoer van het licht wordt de verdamping sterk gestimuleerd.



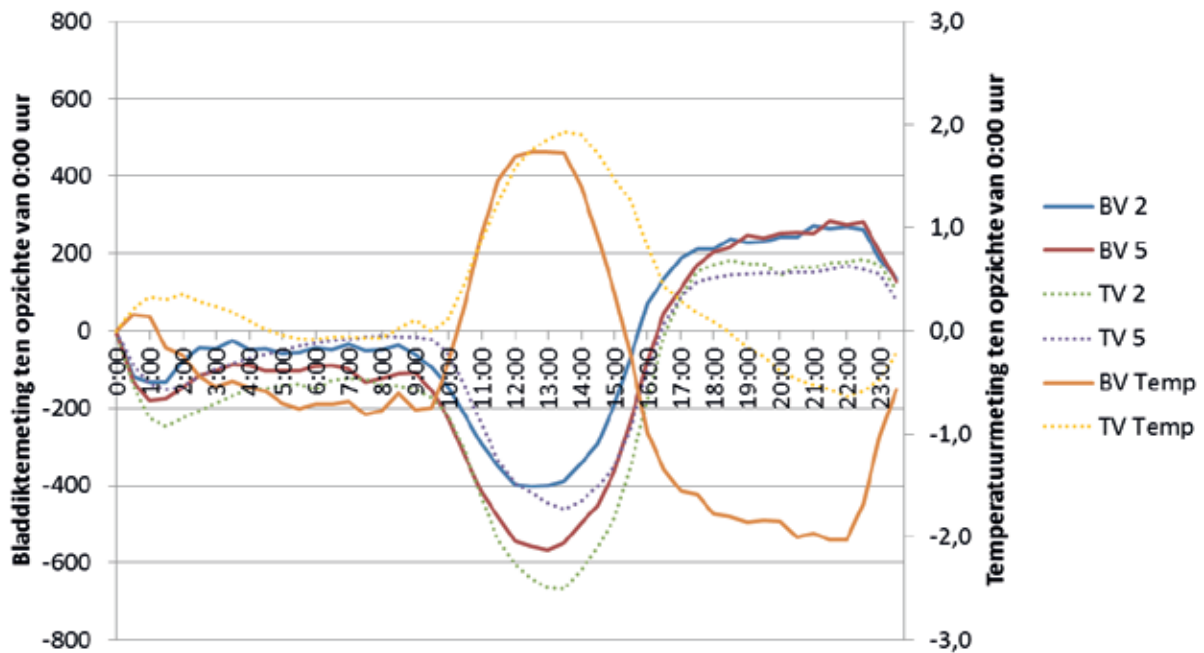
Figuur B2.2 Cyclisch etmaalgemiddelde van de bladdiktemetingen en temperatuur ten opzichte van 0:00 uur voor de weken waarin de nivolatoren tussen 20:00 uur en 22:00 uur zijn uitgeschakeld (week 46 tot week 3 en weken 7, 8 en 9).

In Figuur B2.3 is het etmaalverloop weergegeven van de temperatuur en bladdikte bij Nadya in week 37 tot en met week 47. Er zijn een aantal dingen die opvallen:
 Het verloop van de bladdikte is vrijwel tegengesteld aan de temperatuur. Bij nader onderzoek blijkt dit vooral een stralingseffect te zijn.
 Aan het einde van het etmaal is de bladdikte nauwelijks groter dan aan het begin. De fluctuaties in bladdikte door celspanning zijn dus veel groter dan de structurele diktegroei.
 De hoogste bladdikte/celdruk vindt 's avonds plaats als het donker is en het scherm gesloten is.

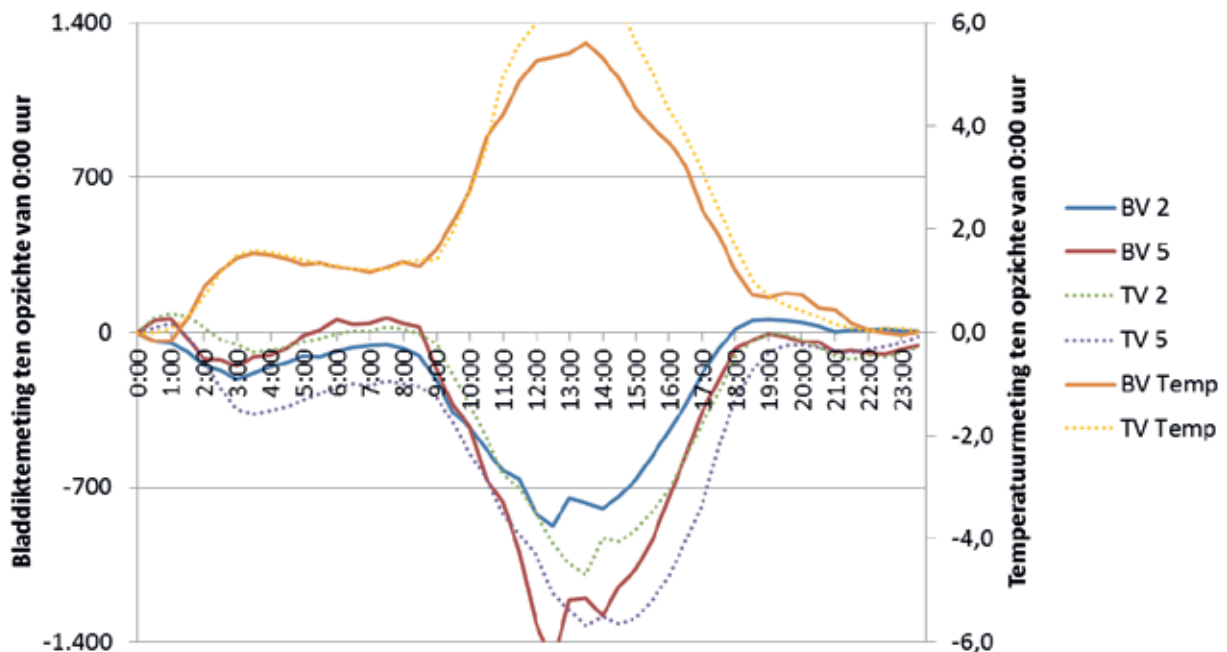


Figuur B2.3 Cyclisch etmaalgemiddelde van de bladdiktemetingen en temperatuur ten opzichte van 0:00 uur voor Nadya (week 37 t/m 47).

Vergelijkbare grafieken zijn gemaakt voor Lemon in week 48 t/m 3 en voor Hercules van week 4 t/m 8. Bij Hercules is het opvallend dat zowel de temperatuur als de bladdikte een groter dag/nacht verschil hebben dan de metingen bij Lemon of Nadya.



Figuur B2.4 Cyclisch etmaalgemiddelde van de bladdiktemetingen en temperatuur ten opzichte van 0:00 uur voor Lemon (week 48 t/m 3).



Figuur B2.5 Cyclisch etmaalgemiddelde van de bladdiktemetingen en temperatuur ten opzichte van 0:00 uur voor Hercules (week 4 t/m 8).

Conclusies/Discussie

Nivolatoren hebben geen meetbare invloed op de celdruk. Dit wil nog niet zeggen dat nivolatoren de verdamping niet beïnvloeden, maar hun invloed is vele malen kleiner dan die van belichting.

Het dag/nacht temperatuurverschil is minder groot bij de nivolatoren, dan tussen de nivolatoren in. 's Nachts is het onder de nivolatoren warmer dan tussen de nivolatoren.

Vanaf het moment dat het blad vrijkomt om een bladdiktemeter op te plaatsen, groeit het niet veel meer. De celdruk heeft veel meer invloed op de bladdikte dan de groei.

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



Wageningen UR 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-1357

Wageningen UR 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 UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University 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 Wageningen UR 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.