Systeemstap naar minimaal energieverbruik Alstroemeria

Metingen op praktijkbedrijven en een energiezuinige teeltconcept

Nieves García¹, Feije de Zwart¹, Peter van Weel¹, Johan Steenhuizen¹ en Marco de Groot²

Rapport GTB-1372

1. Wageningen UR Glastuinbouw, 2. Flori Consult Group

Referaat

Wageningen University & Research, BU Glastuinbouw heeft in opdracht van Kas als Energiebron een integraal energiezuinig teeltconcept voor Alstroemeria ontworpen en doorgerekend. Elementen in het teeltconcept zijn: maximaal isoleren (twee schermen), zorgvuldig ontvochtigen met een Ventilation Jet, isoleren van de bodem, energiezuinige bodemkoeling en "slimmer belichten". Onderdelen van het concept zijn in de praktijk uitgetest en gemeten, andere onderdelen zijn met het simulatiemodel Kaspro berekend. Ten opzichte van een referentieteel kan er 28% (grondteelt, met stomen) tot 34% (substraatteelt) op warmte worden bespaard, en 40% op elektriciteit voor belichting en koeling. De besparing op belichting zal echter tot lagere productie in met name de winter leiden. De grote systeemstappen lijken daarom vooral te liggen in het verlagen van de verdamping uit de bodem, verbeterde bedrijfshygiene om de extra verdamping uit gewasresten te voorkomen en de plaagdruk te verlagen, het toepassen van schermen en een nauwkeurige regeling van de ontvochtiging.

Abstract

Alstroemeria cultivation in The Netherlands requires energy for heating, supplementary light and root cooling. For the program "Greenhouse as Source of Energy" we calculated to which extent the energy demand for growing this crop can be reduced with existing energy saving innovations. Some innovations were tested in practice, others were calculated by means of the greenhouse climate simulation model Kaspro. Results showed that it is possible to save up to 34% energy for heating compared to the reference situation. 40% energy can be saved on electricity for supplementary light and root cooling. However, this strategy leads to a reduced amount of PAR-light in the winter, and 4% less flowers in comparison with the reference. The greatest impact can be achieved by increasing the insulation of the greenhouse by using double screens, reducing the evaporation from the soil, improving the crop hygiene to avoid extra evaporation from crop debris and reduce pest pressure, and implementing controlled dehumidification of the greenhouse air.

Dit project is tot stand gekomen in het kader van het programma Kas als Energiebron, het innovatie- en actieprogramma van het ministerie van Economische Zaken en LTO Glaskracht Nederland en mede gefinancierd door de Stichting Programmafonds Glastuinbouw.

Rapportgegevens

Rapport GTB-1372

Projectnummer: 3242194200

BO nummer: BO-20-021-013-PPO/PRI

DOI nummer: 10.18174/414469

Disclaimer

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

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

Adresgegevens

Wageningen University & Research, BU Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk

Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk

T +31 (0)317 48 56 06

F +31 (0)10 522 51 93

Inhoud

	Samenvatting	5
1	Inleiding	7
1.1	Doel	7
1.1.1	Energiedoelstellingen	8
1.1.2	Nevendoelstellingen	8
2	Type werkzaamheden	9
3	Ontvochtigen onder twee schermen met Ventilation Jets	11
3.1	Achtergrond en kennisvragen	11
3.1.1	Doel	11
3.2	Werkwijze	11
3.3	Resultaten	13
3.3.1	Resultaten eerste rookproef	15
3.3.2	Technische aanpassingen	15
3.3.3	Berekening benodigde debiet	18
3.4	Conclusie	20
3.5	Aanbevelingen	20
4	Metingen bodem respiratie en transpiratie op drie praktijkbedrijven	21
4.1	Achtergrond en kennisvragen	21
4.2	Werkwijze	22
4.3	Resultaten	23
4.3.1	Bodemtemperatuur	23
4.3.1.1	Invloed isolatielaag op bodemtemperatuur	24
4.3.2	Bodemverdamping	25
4.3.2.1	Invloed gewasresten op bodemverdamping	25
4.3.2.2	Invloed isolatielaag op bodemverdamping	27
4.3.3	Bodemrespiratie	28
4.3.3.1	Invloed gewasresten op respiratie	28
4.4	Conclusies en implicaties	30
5	Metingen gewastemperatuur op praktijkbedrijven	31
5.1	Achtergrond en kennisvragen	31
5.2	Werkwijze	31
5.2.1	Bedrijf 1, twee schermen aanwezig	32
5.2.2	Bedrijf 2, een afdeling zonder scherm, twee afdelingen met 1 scherm	32
5.3	Resultaten	34
5.3.1	Bedrijf 1, een scherm versus twee schermen	34
5.3.1.1	Gevolgen voor het kasklimaat	36
5.3.2	Bedrijf 2, een scherm versus geen scherm	37
5.4	Conclusies	39

6	Energiezuinige teeltconcept	41
6.1	Warmtegebruik en eerdere teeltconcepten	41
6.2	Huidige belichtingstrategieën in de Alstroemeria teelt	42
6.2.1	Duur van de belichting	42
6.2.2	Fotosynthese en intensiteit van de belichting	43
6.3	Referentieteelt en teeltconcept	44
6.4	Resultaten	46
6.4.1	Belichtingsenergie per etmaal in de belichtingsmaanden	47
6.4.2	Berekende netto fotosynthese	47
6.4.3	Invloed getrapt aanschakelen van de belichting	49
6.4.4	Invloed op de hoeveelheid PAR licht in de kas	50
6.4.5	Invloed op de productie	51
6.4.6	Lichtbenuttingsefficiëntie	52
6.4.7	Invloed op het elektriciteitsverbruik	52
6.4.8	Invloed op de warmtevraag	53
6.4.9	Invloed op het CO ₂ verbruik	54
6.5	Conclusies	54
7	Discussie: leerpunten, aanbevelingen, ontwikkelingen	57
7.1	Luchten boven gesloten schermdoeken stuit op weerstand	57
7.2	Technologie testen om te verzekeren dat het doet waar het voor bedoeld is	57
7.3	Beter isoleren levert een hogere kastemperatuur en bespaart veel energie	57
7.4	Beter isoleren voorkomt uitstraling van het gewas	58
7.5	Schermen eerder sluiten aan het einde van de dag kan snelle gewasafkoeling voorkomen	59
7.6	Minder ongecontroleerd vocht inbrengen verlaagt de hoeveelheid af te voeren vocht uit de kaslucht	59
7.6.1	Bodem isoleren verlaagt verdamping uit de bodem en koelbehoefte	59
7.6.2	Gewasresten afvoeren verlaagt bodemverdamping en verbetert bedrijfshygiëne	60
7.7	CO ₂ uit bodem, gewas(resten)respiratie en verruiming doseercapaciteit	60
7.8	"Slim belichten" bij Alstroemeria is eerder meer dan minder belichten	61
7.9	De systeemstap naar een energiezuinige Alstroemeria teelt	61
	Literatuur	63

Samenvatting

Alstroemeria is een gewas dat geteeld wordt bij relatief lage temperaturen. In de afgelopen jaren zijn mogelijkheden onderzocht om op warmte te besparen. Naast warmte gebruikt een Alstroemeriegewas ook elektriciteit voor belichting en bodemkoeling. Zonder belichting is winterproductie van alstroemeria niet of nauwelijks mogelijk; bodemkoeling is noodzakelijk om de bloei te induceren.

In een overleg met telers en voorlichters is de behoefte uitgesproken om een integraal energiezuinig teeltconcept te ontwikkelen voor Alstroemeria: minimaal energieverbruik nastreven met goede productie en top (blad)kwaliteit in de winter, en een verbetering van het zomerklimaat.

Hoofdelementen in het teeltconcept zijn: "slim" belichten, maximaal isoleren, zorgvuldig ontvochtigen en met minder stroom koelen.

Er zijn vier typen werkzaamheden uitgevoerd:

- Metingen bodemrespiratie en transpiratie op praktijkbedrijven.
- Metingen gewastemperatuur op praktijkbedrijven onder 0, 1 en 2 schermen.
- Een onderzoek naar de mogelijkheden te ontvochtigen onder twee schermen met behulp van Ventilation Jets, eveneens op een praktijkbedrijf.
- Een deskstudie: omschrijven en doorrekenen energiezuinige elementen in het teeltconcept.

De verdamping uit de bodem in februari tot begin maart varieert tussen 0,37 en 0,60 liter water per m² per dag. In grammen af te voeren vocht vertegenwoordigt dit tot 600 gram vocht dat in koude dagen met weinig instraling moet worden afgevoerd, oftewel 25 gram per uur. Bij een verschil in AV tussen binnen en buiten van ongeveer 4 gram vocht, kan er door het scherm ongeveer 30 gram vocht per uur worden afgevoerd. Dat betekent dat als er maar 5 gram vocht per uur door het gewas mag worden verdampt om op de maximale afvoercapaciteit van het scherm te bereiken, waarna er geforceerde ventilatie nodig is.

Afdekken van het teelt bed met een isolerende laag Styromull heeft een positief effect op de hoeveelheid water wat uit de bodem in de lucht komt: Deze neemt af met 9% tot 53%, waarbij een dikkere laag (20 mm) meer effect heeft dan een dunnere laag (5 mm).

Gewasresten (loze, dunne, gebroken of anders onverkoopbare takken) worden op het pad gegooid. Hun bijdrage aan de hoeveelheid af te voeren vocht blijkt 5 tot 10 gram vocht per uur. Ook dragen ze sterk bij aan bodemrespiratie. Deze is gemeten bij drie grondsoorten en bij alle grondsoorten was de respiratie aanzienlijk hoger (75 tot 206%) op de paden met gewasafval dan de respiratie in de teeltbedden.

Metingen aan de temperatuur van het gewas met behulp van een thermische camera hebben laten zien dat het gewas gedurende de nachtperiode ten opzichte van de kastemperatuur 0,5 tot 1,8 kouder is dan de omgeving, afhankelijk van de mate van isolatie. De aanwezigheid van schermdoeken verkleint het verschil in temperatuur tussen het gewas en de omgeving, van bijna 2 graden zonder scherm, naar 0.5 met twee schermen of met een verduisteringsscherm, ook afhankelijk van bewolgingsgraad. De sterkste afkoeling van het blad is gemeten in de tijdspanne tussen zonsondergang en het moment van sluiten van scherm(en). Een logische aanbeveling die hieruit volgt is het eerder sluiten van het (transparante) doek.

Zonder scherm was de kastemperatuur 2 graden lager dan in de afdelingen met scherm, ondanks een flinke temperatuur in het bovennet, en daar werd ook de laagste gewastemperatuur (9.7 °C) gemeten

De mogelijkheid om geforceerd vochtige lucht af te voeren bij het telen onder twee gesloten schermen is ook op een praktijkbedrijf getest. Het dicht houden van 2 schermen, gecombineerd met ruim luchten (raamkieren) boven het scherm, heeft een flinke verbetering van de vochttafvoer door de schermen opgeleverd. Op momenten in het jaar waarin het AV buiten naar waarden gaat die de kas AV van ongeveer 10-15 g/m³ naderen zal het vochttransport door het scherm steeds minder groot zijn. Op die momenten zal een VentilationJet voor de benodigde vochttafvoer kunnen zorgen.

De metingen aan de VentilationJet hebben laten zien dat deze een stuwning van de lampwarmte omlaag kunnen bewerkstelligen, mits deze een voldoende lange schacht hebben en de schoepen van de Nivolator correct zijn afgesteld.

Bij een geschatte nachtverdamping in de Alstroemeriateelt van 40 g/m²/uur is hierbij een uitwisselingscapaciteit van 10 m³/(m² uur) nodig. Bij een debiet per VJ van 3200 m³/uur is er dan 1 VentilationJet nodig per 320 m². In het geval de bodemverdamping door een goede isolatie van de bodem verlaagd zou worden, dan zou er slechts een ventilator per ca. 500 m² nodig zijn om het door het gewas verdampt vocht af te voeren.

Deze elementen in combinatie met een energiezuinige belichting strategie zijn doorerekend m.b.v. het Kasklimaat simulatiemodel KASPRO.

De invloed van het dubbele scherm laat het gasverbruik dalen van 17.0 voor de referentie naar 13.0 m³ /m².

Ook is met KASPRO de invloed berekend van "slim" te belichten, d.w.z.: Belichten zoveel mogelijk in daglicht loze periode, niet te belichten overdag van september tot november en februari tot april en de lampen getrapt inschakelen (1^e uur 50 % belichting aan, omdat conform bevindingen uit eerder onderzoek, de fotosynthese pas anderhalf uur nadat de lampen aan gaan op het niveau is dat hoort bij de gekozen belichtingsintensiteit). Getrapt inschakelen van de belichting lijkt niet het rendement op te leveren dat ervan verwacht werd. De berekeningen tonen weliswaar een toename van de belichtingsefficiëntie in de eerste twee belichtingsuren, maar die toename is klein en is op de totale hoeveelheid belichting op een dag verwaarloosbaar. De energiezuinige belichting strategie bespaart in die opstartperiode natuurlijk zeker elektriciteit, maar geeft geen noemenswaardige toename van de efficiëntie van het elektriciteitsverbruik.

De besparing op belichting in deze strategie is 53 kWh/m² (van 2750 belichtingsuren naar 1660 equivalente vollasturen (2090 belichtingsuren, waarvan 1240 uur op vol vermogen en de rest dus op half vermogen)). De forse vermindering van het aantal belichtingsuren leidt tot een duidelijk verlaagde hoeveelheid PAR-licht in de winter in de energiezuinige situatie in vergelijking tot de referentie. De strategie met minder belichting leidt, volgens de modelberekeningen, door de hele winter heen tot een lagere productie. De toegenomen lichtbeschikbaarheid in de zomer door de hogere lichttransmissie die voor het kasdek (een moderne, diffuus kasdek) verondersteld is leidt tot enige extra productie in de zomer, maar deze compenseert niet voor het verlies in de winter.

Deze berekeningen nemen het eventuele effect op de takkwaliteit niet mee. Te verwachten is een afname van het steelgewicht. Steelgewicht is de belangrijkste factor geworden in het verdienmodel van een Alstroemeria teler. Een minimum steelgewicht van 60-65 gram leidt tot een betere prijsvorming. Steelgewichten van onder de 40 gram worden niet of nauwelijks meer gewaardeerd.

1 Inleiding

In de afgelopen jaren is veel onderzoek gedaan naar verlaging van het energieverbruik bij Alstroemeria, een gewas dat geteeld wordt bij relatief lage temperaturen.

In een kasproef bij Wageningen University & Research, Business Unit Glastuinbouw werd aangetoond dat door de geforceerde toevoer van droge buitenlucht ruim 40% energiebesparing op warmte haalbaar is en dat daarnaast een positief effect op gewaskwaliteit werd verkregen (minder vochtblaadjes) (Labrie en De Zwart, 2010). Maar naast warmte gebruikt een Alstroemeria gewas ook elektriciteit voor belichting en bodemkoeling. Belichten is in de winter noodzakelijk om knopverdroging te voorkomen en regelmaat in groei, kwaliteit en scheutontwikkeling te houden. Zonder belichting is winterproductie van Alstroemeria niet of nauwelijks mogelijk. Het aantal uren dat belicht wordt is verschillend per bedrijf, maar vaak zodanig dat de daglengte 17 uur per dag bedraagt, want Alstroemeria is een kwantitatieve langedag plant.

Vanwege de belichtingsbehoefte hebben veel bedrijven een WKK en op deze bedrijven is er in de periode van september tot januari al gauw een overschot aan warmte, waardoor besparen op warmte in deze periode geen prioriteit heeft. Dit wordt pas belangrijk als de vraag naar elektra afneemt. Mogelijkheden om op elektra te besparen zijn recent onderzocht op een praktijkbedrijf waar LED belichting was geïnstalleerd. De metingen in dit onderzoek van fotosynthese en bladkwaliteit geven aanwijzingen dat een te lage bladtemperatuur door uitstraling in combinatie met een lange lichtperiode de bladkwaliteit negatief kan beïnvloeden. Een beter isolerend scherm dat voorkomt dat het blad te veel afkoelt zou de mogelijkheden tot besparing, ook op belichting kunnen vergroten. Want het gevoel van de betrokken telers zegt dat er langer wordt belicht dan goed voor dit gewas is, om afkoeling van het blad te voorkomen, dus meer voor de warmte dan voor de fotosynthese. Naar aanleiding van deze resultaten is geconcludeerd dat men op zoek moet naar een meer optimale balans in het energieverbruik (wellicht korter belichten, andere belichtingsniveaus, of beter isoleren).

Nieuwe kennis, onder meer uit recent onderzoek van Plant Dynamics en Plant Lighting (Trouwborst *et al.* 2015) onder het project "Meer rendement uit licht en CO₂" laat zien dat de efficiëntie van de fotosynthese verbeterd kan worden door verbeteringen in de belichtingsstrategie.

In een brainstormsessie met telers, adviseurs, onderzoekers en de coördinatoren van het energieprogramma is de behoefte besproken aan een afstemming tussen wat voor de fotosynthese als efficiënt omgaan met de belichting kan worden beschouwd, en energiezuinig belichten.

Er spelen ook veel vragen omtrent verbeteringen van het zomerklimaat: Alstroemeria is een matige verdamper die makkelijk zijn huidmondjes sluit bij te hoge of directe instraling.

Geconcludeerd is dat er behoefte is om een integraal energiezuinig teeltconcept te ontwikkelen voor Alstroemeria.

Dit rapport geeft invulling aan deze behoefte door het beschrijven en doorrekenen van een dergelijk energiezuinig teeltconcept, en dit aan te vullen met metingen op praktijkbedrijven.

1.1 Doel

Doelstelling is minimaal energieverbruik bij een teelt van Alstroemeria in combinatie met een top (blad)kwaliteit in de winter, ook als dit in beperkte mate ten koste gaat van de totale productie, en een verbetering van het zomerklimaat.

1.1.1 Energiedoelstellingen

Kwantitatief wordt een energiebesparing beoogd van 30% op warmte en 20% op elektra bij de teelt van Alstroemeria. Concreet betekent dit een besparing van 5 m³ aan warmte en 32 kWh aan elektra per m² per jaar. Het totaal energieverbruik daalt dan van 58 m³ a.e./ (m² jaar) naar 45 m³ a.e./ (m² jaar). Dit volgt uit een verlaging van het gasverbruik voor warmte van 16 m³ naar 11 m³/ (m² jaar) en een stroomverbruik wat van 160 kWh/(m² jaar) zou dalen naar 128 kWh/(m² jaar) en bij een omrekening van stroomverbruik naar gasverbruik via de efficiency van het openbare elektriciteitsnet, dat 3.78 kWh uit een m³ aardgas equivalent levert.

1.1.2 Nevendoelstellingen

Verbetering van de bladkwaliteit, verbetering van het zomerklimaat, verlaging van de kostprijs, dit verbetert de concurrentiepositie van de Nederlandse Alstroemeria.

2 Type werkzaamheden

Er zijn vier soorten werkzaamheden uitgevoerd:

- Een onderzoek naar de mogelijkheden te ontvochtigen onder twee schermen met behulp van Ventilation Jets.
- Metingen bodemrespiratie en transpiratie op praktijkbedrijven.
- Metingen gewastemperatuur op praktijkbedrijven onder 0, 1 en 2 schermen.
- Deskstudie: doorrekenen energiezuinige elementen in een teeltconcept.

Voor deze rapportage bespreken we de achtergronden en methodes voor deze vier type werkzaamheden en de resultaten per type onderzoek afzonderlijk beschreven.

3 Ontvochtigen onder twee schermen met Ventilation Jets

Door het gebruik van twee schermen in plaats van één kan er (conservatieve berekeningen) 8% energie op warmtevraag bij Alstroemeria bespaard worden (Labrie en de Zwart, 2010). Daarnaast denkt men de bladkwaliteit te kunnen verbeteren door de verlaagde uitstraling (García Victoria *et al.* 2015). Ontvochtiging kan een belangrijk knelpunt worden bij verbeterde isolatie. Daarom wordt er gekeken naar de mogelijkheden onder twee schermen te ontvochtigen met behulp van Ventilation Jets. Het installeren van deze systemen brengt echter hoge kosten met zich mee, en er is te weinig zicht over de baten bij dit gewas. Daarom is dit oriënterend onderzoek uitgevoerd.

Hiertoe is bij een Alstroemeria bedrijf die al gewend is om met twee schermen te werken een Ventilation Jet geïnstalleerd. Met behulp van een uitgebreid netwerk van sensoren en rookproeven is van 18 maart tot 4 juni 2015 intensief gemeten op het bedrijf. Hieronder meer over achtergrond informatie en de geformuleerde kennisvragen, het doel van het onderzoek en de gevolgde werkwijze.

3.1 Achtergrond en kennisvragen

De strategie van de teler is de schermen zoveel mogelijk 100% gesloten te houden om energie te besparen. Met deze strategie lukt de teler het om met slechts 9 m³ gas per m² per jaar Alstroemeria te telen.

De teler ziet dat op sommige momenten de RV en AV bij gesloten schermen zo hoog oploopt dat er gevaar dreigt voor vochtblaadjes en schimmel. De strategie die dan gevolgd wordt is eerst kieren met het onderste doek en vervolgens kieren met de bovenste doek. De ramen worden pas in laatste instantie geopend, dus wanneer het kieren in beide doeken onvoldoende effect geeft. Echter, deze strategie leidt zelden tot merkbare verlaging van de luchtvochtigheid, en wel tot een toename van het energiegebruik en de bladafwijkingen.

Droge (buiten)lucht uit de ruimte boven de doeken door het scherm pakket aanvoeren met behulp van actieve ventilatie, kan de hoge RV en AV mogelijk helpen beheersen. Schermkieren zijn dan niet nodig en mogelijk kan het aantal schermuren verder worden verhoogd waardoor de energiebesparing kan toenemen.

Als de lampwarmte tegen de natuurlijke stroom omlaag gebracht kan worden door middel van verticale luchtbeweging, kan dit extra bijdragen aan een drogere lucht tussen het gewas en de warmtebehoefte vanuit de buizen verminderen.

Het voorliggend oriënterend onderzoek moet licht werpen op deze veronderstellingen.

3.1.1 Doel

Doel was om met één ventilator te testen of er voldoende lampwarmte omlaag komt en het vocht tussen het gewas kan afvoeren, er geen kouval optreedt en of het gewas afwijkingen vertoont onder de VentilationJet.

Dit als voorbereiding op een (eventueel) grotere proef waarbij een hele afdeling wordt ingericht en vergeleken met een naastliggende vergelijkbare afdeling.

3.2 Werkwijze

In een kasafdeling van 6000 m² is één VentilationJet opgehangen. Het systeem bestaat uit een koker die door twee schermstoffen steekt met daarin een regelbare ventilator. Daaronder een mengplaat en een Nivulator die de kaslucht mengt met de koudere (droge) lucht van boven het scherm (Figuur 1). De boven ventilator kan maximaal 3200 m³/m²/uur koude droge lucht toevoeren.

Figuur 1 Ventilation Jet over de Alstroemeria gewas in de 6.000 m² afdeling, links met de schermen open, rechts met schermen dicht tijdens de uitvoering van een rookproef.

Om het effect te meten op het microklimaat is van 18 maart tot 4 juni 2015 een set van 15 draadloze sensoren opgehangen waarmee zowel temperatuur als RV continu gemeten konden worden op verschillende plekken: boven het doek, tussen het gewas, boven het gewas, onder de luchttoevoer....

In Figuur 2 is de verdeling van de verschillende sensoren in de kas schematisch weergegeven.

Daarnaast zijn er twee rookproeven uitgevoerd om de luchtstroom te visualiseren. De eerste proef heeft geleid tot aanpassingen aan de configuratie van de Ventilation Jet. De tweede proef is uitgevoerd om het effect van deze aanpassingen te bepalen.

Figuur 2 Plattegrond verdeling draadloze sensoren in de kas. Elke nummer is een sensor. Bij twee getallen vlak op elkaar vertegenwoordigt het bovenste getal de sensor bovenin en het onderste getal de sensor onderin.

3.3 Resultaten

Kort na de installatie bleek de RV in de hele afdeling erg hoog te zijn (Figuur 3). In de nacht met lampen uit werd er op de verschillende plekken boven 97% en dikwijls 99%, ook op de plek waar de Nivolator hing. Alléén de meetbox boven het doek (met dichte ramen) gaf een RV van 96%.

Figuur 3 RV op de verschillende sensoren kort na installatie van de meetset en de Ventilation Jet.

Na overleg bleek dat de oorzaak gezocht moest worden in het feit dat de luchtramen gesloten waren. Daardoor wordt het ook boven het doek relatief vochtig en warm en zuigt de VentilationJet te vochtige lucht aan. Nadat de raamstand was vergroot werd de RV beter; dit is te zien in Figuur 4.

Figuur 4 RV op de verschillende sensoren na het vergroten van de raamstand (kiertje lucht boven het doek).

De sensor die in de luchtstroom hing onder de boven ventilator gaf eerst een te hoge temperatuur aan. Op basis daarvan werd verondersteld dat luchten boven het scherm toch nog niet het gewenste effect had. Nadat een sensor boven het doek is geplaatst bleek dat er wel degelijk voldoende werd gelucht. De sensor onder de ventilator is daarna nog meer in de luchtstroom gehangen en gaf daarna wel een lagere temperatuur aan. Dit is een teken dat de menging met kaslucht al over korte afstand plaats heeft. Dat wordt bevestigd door de temperatuur metingen in het gewas. Daar zijn nergens koude plekken gevonden. Dankzij het dubbele dichte scherm zijn de temperatuur verschillen in de kas erg klein (verschillen zitten binnen 1 °C, zie Figuur 5.).

Figuur 5 *Temperatuur op de verschillende plekken. De twee onderste lijnen geven de temperaturen boven het doek en onder de ventilator weer. De andere lijnen zijn de metingen tussen het gewas op meerdere plekken in de kas.*

3.3.1 Resultaten eerste rookproef

Om de werking van de ventilatoren te controleren is er een rookproef uitgevoerd. Daaruit bleek dat de Nivulator de lucht te vlak uitblies waardoor er geen luchtstroming op gewashoogte was en er ook geen lampwarmte omlaag kon worden gestuurd. Ook bleek deze ventilator te dicht onder het doek te hangen, waardoor de uitstromende lucht opwarmt en opstijgt. Bovendien ging de lucht plakken aan het scherm door de grote snelheid van de lucht.

Anders geformuleerd: de kaslucht kon onvoldoende naar onderen worden gebracht door de Nivulator. Dit had toch te maken met het feit dat de Nivulator te kort op het scherm en te ver boven de lampen hing. De lampwarmte zat al boven de Nivulator.

3.3.2 Technische aanpassingen

Nivola heeft het eerste probleem opgelost door de schoepstand wat te verstellen.

Hint heeft de ventilator lager onder het doek en de lampen gehangen, waarna het stromingsprofiel optimaal was en de lucht over het gewas heen streek.

De sensormetingen van de drie eerstvolgende nachten na deze aanpassingen laten zien (Figuur 6) dat er koudere lucht uit de koker stroomt, maar vrij snel met de kaslucht vermengt. Alle andere temperaturen waren nagenoeg gelijk dankzij het volledig gesloten zijn van 2 doeken.

Het vochtdeficiet op deze 3 nachten is getoond in Figuur 7. Op deze Figuur is te zien dat gedurende de derde nacht het VD lager was dan de twee andere nachten.

Dit komt doordat in die derde nacht het absoluut vochtgehalte van de buitenlucht hoger was. Daardoor was ook het absoluut vocht boven het scherm hoger en kan er, met of zonder Ventilation jet minder gemakkelijk vocht worden afgevoerd. Het verschil in beiden nachten is goed te zien in Figuur 8.

Figuur 6 Temperatuurprofiel na aanpassingen Ventilator. De groene lijn geeft de temperatuur boven het doek weer en de blauwe lijn die van de lucht die uit de koker stroomt.

Figuur 7 Vochtdeficiet profiel als gemeten in de drie nachten na de aanpassingen aan de ventilator.

Figuur 8 Weergave van het Absoluut vocht in de afdeling op 4 (boven) en 5 (onder) mei. De afwijkende sensoren zijn Sensor 3 (boven het doek) en Sensor 15 (uitblaas onder de koker).

Sensor 3 (boven het doek) geeft in het bovenste overzicht van op Figuur 8 een AV weer van 5.5 g/m^3 , terwijl in de kas gemiddeld 10.8 g/m^3 heerst. Dat betekent dat met elke m^3 lucht $10.8 - 5.5 = 5.3$ gram vocht door lekkage via de poriën in het doek wordt afgevoerd.

In het onderste overzicht van Figuur 8 is een andere nachtsituatie zien. Op 5 mei bedroeg het AV boven het doek 9.9 g/m^3 en was de lucht dus veel vochtiger. De luchtvochtigheid onder het doek komt daardoor ook veel hoger uit (13.4 g/m^3 in plaats van de 10.8 g/m^3 in de nacht daarvoor). De hogere luchtvochtigheid boven het doek maakt dat de vocht-afvoer capaciteit bij uitwisseling over het scherm een stuk kleiner is dan de nacht ervoor (13.4 (kas) - 9.9 (boven doek) = 3.5 g/m^3 in plaats van 5.3 g/m^3). Beide effecten samen maken dat de luchtvochtigheid in de kas erg hoog werd (een VD onder de 1 gram/m^3).

Omdat er op de hele afdeling slechts 1 VentilationJet draaide voerde deze maar een zeer kleine hoeveelheid vocht af (ordegrootte $2 \text{ gr}/(\text{m}^2 \text{ uur})$). Deze had dus nauwelijks invloed op het VD in de kas. Toch lijkt het in deze situatie zo dat het dicht houden van 2 schermen gecombineerd met ruim luchten een beduidend verbeterde vochttafvoer heeft opgeleverd. Een "willekeurig" figuur voor Absoluut Vocht buiten uit een weerstation van een teler uit de omgeving (Figuur 9) laat zien dat er in het jaar moeilijke momenten zijn voor vochttafvoer: als de buiten AV dichterbij waarden gaat die de kas AV van ongeveer $10\text{--}15 \text{ g/m}^3$ naderen, zal het vochttransport door het scherm heen steeds minder groot zijn.

Het voordeel van een Ventilation Jet voor de afvoer van vocht komt dan ook vooral naar voren op de "moeilijke momenten", waarop dat het verschil in absoluut vochtgehalte van de buitenlucht en de kaslucht kleiner is dan de situaties die hierboven besproken zijn.

In de volgende paragraaf wordt een berekening gemaakt van de capaciteit die er dan door zo'n Ventilation jet geleverd zou moeten worden.

Figuur 9 Absoluut vochtgehalte in de buitenlucht.

3.3.3 Berekening benodigde debiet

De berekening van het benodigde debiet dat een Ventilation Jet voor de afvoer van vocht zou moeten hebben start bij het vaststellen van de hoeveelheid vocht die afgevoerd moet worden. Het gaat dan om de gewasverdamping in de nacht, plus de verdamping vanuit de bodem.

Voor een eerste benadering ten tijde van de afronding van deze proef, maakten we hier een vergelijk met Gerbera. Hoewel gerbera een grotere verdamer is dan Alstroemeria, wordt deze wel bij een lagere kastemperatuur in de nacht geteeld. In de gerbera wordt de verdamping gemeten met weegschalen; die bedraagt in de nacht zonder belichting ongeveer 20 g/m²/uur.

Figuur 10 toont het jaar verloop van het AV in een gerbera kas en buiten. Op de "moeilijke momenten" bedraagt het AV verschil 4 g/m³ of lager. Boven het scherm is het AV meestal nog iets hoger tenzij er zeer ruim gelucht wordt of de lucht die door de VJ's wordt aangevoerd niet door het scherm wordt gedrukt, maar via een sluis boven het betonpad apart wordt afgevoerd.

Onder belichting zal de verdamping nog hoger zijn en naar verwachting toenemen tot zo'n 60 g/m²/uur. Dat er meer vocht dan dat moet worden afgevoerd is te verklaren omdat er uit de bodem veel extra vocht verdampt en door de luchtbeweging wordt dat ook nog eens extra gestimuleerd.

Dat kost extra energie, vandaar dat bij Gerbera de volgende stap in het besparen van energie bestaat uit het afdekken van de bodem.

Figuur 10 AV verloop (weekgemiddelde) over een jaar bij een gerbera kas met Ventilation Jet.

Daar waar bij de gerbera 's nachts totaal zo'n 60 g/(m² uur) wordt verdampt en dus moet worden afgevoerd zal dit bij Alstroemeria, die bekend staat als een kleinere verdamer, en een kortere nacht kent, een vochttafvoer- vermogen van 40 g/(m² uur) een goed bruikbare ontwerpparameter zijn. Dit volgt uit de volgende gegevens:

Uit wateropnamedata (gift min drain) uit een Lysimeter (Voogt, 2016) kan worden bevestigd dat Alstroemeria inderdaad een matige verdamer is. Cumulatief maar zo'n 350 – 400 liter /m² per jaar. Dat is 1 tot 1.2 liter per dag per m².

Hoeveel daarvan voor rekening komt van de nachtverdamping bij een nacht dat 7-9 uur donker omvat? Als de gewasverdamping in de nacht, in analogie van de gerbera, ongeveer de helft is van die overdag (waarschijnlijk is dat nog veel lager: de huidmondjes zijn in het donker nagenoeg dicht, en hebben het eerste uur van de belichting een geleidbaarheid van maar 0.05 (García Victoria *et al.* 2014); bovendien is de CO₂ concentratie 's nachts hoog onder meer uit de verterende gewasresten op de bodem) dan zou je ongeveer 0.145 tot 0.175 liter per nacht, oftewel 20 tot 25 gram per (nacht) uur worden verdampt.

Daarnaast weten we uit oriënterende metingen (zie hoofdstuk 4.3.2) bij drie verschillende bedrijven hoeveel de verdamping uit de bodem bedraagt in de winter: Dat is (Figuur 16), 0.4 tot 0.6 liter per dag; verondersteld gelijk over de dag en de nacht, verhoogt de bodem de hoeveelheid af te voeren vocht met 16 tot 25 gram extra per uur.

Hieruit volgt dat 40 gram vocht per m²/uur af te voeren realistisch is bij Alstroemeria, en bij een debiet per VJ van 3200 m³/uur is er dan 1 VentilationJet nodig per 320 m².

3.4 Conclusie

Het dicht houden van 2 schermen gecombineerd met ruim luchten heeft een beduidende verbetering van de vochtafvoer door de schermen opgeleverd. De metingen aan de Ventilation jet hebben laten zien dat deze een stuwing van de lampwarmte omlaag kunnen bewerkstelligen. Hierdoor zou de buistemperatuur omlaag kunnen worden gebracht, en is er extra energiebesparing mogelijk.

Op momenten in het jaar zijn waarin het AV buiten naar waarden gaat die de kas AV van ongeveer 10-15 g/m³ naderen zal het vochttransport door het scherm heen steeds minder groot zijn. Op die momenten zal een VentilationJet voor de benodigde vochtafvoer kunnen zorgen.

Bij een geschatte nachtverdamping van Alstroemeria van 40 g/m²/uur is hierbij een uitwisselingscapaciteit van 10 m³/(m² uur) nodig. Bij een debiet per VJ van 3200 m³/uur is er dan 1 VentilationJet nodig per 320 m².

In het geval de bodemverdamping door een goede isolatie van de bodem verlaagd zou worden, dan zou er slechts een ventilator per ca. 500 m² nodig zijn om het door het gewas verdampt vocht af te voeren.

Isoleren van de bodem lijkt bij Alstroemeria praktisch gezien niet haalbaar omdat er uit de bodem steeds nieuwe scheuten komen en deze mogen niet belemmerd worden. Maar zoals uit hoofdstuk 4 zal blijken, een niet verlijmd laag van Styromull die de nieuwe scheuten onbelemmerd laat, kan al een effect hebben op de mate van verdamping.

3.5 Aanbevelingen

1. De afstelling van de schoephoek van de Nivulator en de ophanghoogte zijn kritisch en moeten vooraf goed worden beoordeeld.
2. Extra vochtafvoer op moeilijke momenten in het jaar lijkt noodzakelijk. Als dat met een VentilationJet wordt uitgevoerd is er één VJ per 320 m² nodig.
3. Regeling van de raamstand en de VentilationJet op basis van een meting van Absoluut Vocht buiten, boven het scherm en in de kas geeft een goede controle over de hoeveelheid afgevoerd vocht en daarmee over de gerealiseerde verdamping.
4. Afvoer van de door de VJ's aangevoerde lucht via een aparte kier boven het betonpad afgeschermd met schotjes boven het scherm zorgt ervoor dat de vochtige en warme lucht niet weer terugstroomt boven het scherm.

4 Metingen bodem respiratie en transpiratie op drie praktijkbedrijven

Alstroemeria wordt veelal in de grond geteeld. De bloei van deze plant is in hoge mate afhankelijk van de bodemtemperatuur. Lage bodemtemperaturen bevorderen de bloei-inductie. Temperaturen boven 18-20°C zal de knopinductie in nieuw ontwikkelende scheuten vertragen of zelfs helemaal kunnen tegengaan.

Bij de teelt van Alstroemeria als kassnijbloem wordt de bodemtemperatuur van de teeltbedden gekoeld. Voor grondkoeling (met 4 of 6 slangen op ± 7-8 cm diepte) of de grond afdekken met een isolerende laag. Bij de meeste rassen zal bij een bodemtemperatuur lager dan 15°C de bloei het hele jaar vrijwel ongestoord doorgaan. Elk ras lijkt haar eigen optimale bodemtemperatuur te hebben. Zo zijn er rassen die een bodemtemperatuur van 14°C vragen, terwijl andere rassen 17°C prefereren. Ook blijkt het effect van de bodemkoeling beter te zijn, naarmate de ruimtetemperatuur hoger is.

4.1 Achtergrond en kennisvragen

Over de bijdrage van vocht uit de bodem aan het energiegebruik in de Alstroemeria teelt is nog weinig bekend. In de winter is de bodemtemperatuur 's waar er niet gekoeld wordt (zoals de paden) 's nachts hoger dan de ruimtetemperatuur waardoor de verdamping uit de bodem relatief groot is. Meer verdamping uit de bodem leidt tot meer vocht afvoer behoefte (zie hoofdstuk 3) en vormt een knelpunt voor het sterk isoleren van de kas. Het afdekken van de grond met bijvoorbeeld een synthetische isolatielaag, kan de verdamping uit de bodem verminderen en daarmee dit knelpunt verminderen en meer energiebesparing mogelijk maken. In de Alstroemeria teelt produceert de bodem naast vocht ook CO₂. Wat de bijdrage is van de teeltbedden op de totale CO₂ productie is nog niet bekend.

Veel telers gebruiken een dun laagje Styromull boven op de teeltlaag, voor isolatie. Via de bodem kan in beginsel langs drie wegen op energie worden bespaard. In de eerste plaats neemt het benodigde verwarmings- en koelingsvermogen af als de bodem beter is geïsoleerd. In de tweede plaats neemt de verdamping van vocht uit de grond af bij een betere isolatie en als de verdamping afneemt neemt ook de opname van latente warmte uit de grond af. In de derde plaats neemt de warmtevraag van een kas met een geïsoleerde bodem af omdat de vochtproductie afneemt en daarmee de ventilatiebehoefte op vocht. Om te weten hoeveel energie er kan worden gespaard door bodemisolatie is er behoefte om de vochtafgifte uit de bodem met en zonder isolatie te kwantificeren.

In de teelt worden, om redenen van arbeid en afvoerkosten, overkoopbare bloemen, loze takken en andere gewasresten in het pad weggegooid waar ze kunnen verteren (Figuur 15 links). De bijdrage van deze verterende gewasresten (die voor 80-90% uit water bestaan) aan het vochtgehalte en de CO₂ gehalte in de kas bij beperkte ventilatie (zoals 's nachts met dichte ramen en isolerende schermen) is niet bekend.

Er zijn daarom vier onderzoeksvragen geformuleerd:

- Hoeveel CO₂ en vocht produceert de bodem gedurende het etmaal?
- Wat is de bijdrage van een isolatielaagje (Styromull) op de totale vochtproductie?
- Wat is de bijdrage van de gewasresten in het pad op de totale vocht en CO₂ productie?
- Wat is de bijdrage van vocht uit de bodem en de gewasresten aan de ontvochtigingbehoefte en het energiegebruik in de Alstroemeria teelt.

4.2 Werkwijze

Om deze vragen te beantwoorden zijn er metingen verricht bij drie telers met behulp van een LCPro+ van ADC BioScientific Ltd. Om deze metingen te kunnen uitvoeren wordt de bladkamer van de LCPro+ verwijderd en de "soil respiration hood" op de meetarm bevestigd. De soil respiration hood bestaat uit een PVC kamer met een ventilator en een ventilatieopening (Figuur 11.). De ventilatoropening houdt de luchtdruk in de kamer constant. De PVC kamer kan op een stalen ring worden geplaatst die in de bodem kan worden gedrukt. Het oppervlak van deze stalen ring is 97.5 cm². Het verschil tussen de binnenkomende en buiten stromende vocht en CO₂ wordt berekend als zijnde de bijdrage van transpiratie en/of respiratie en wordt omgerekend naar liters/ha per tijdseenheid.

Een temperatuursensor wordt vlakbij de meting 6 cm diep in de bodem gestoken om zo een indruk te krijgen van de bodemtemperatuur, aangezien zowel verdamping als respiratie temperatuurafhankelijk zijn.

De drie bedrijven waar er is gemeten zijn:

- Een bedrijf in 's Gravenzande (zandbodem).
- Een bedrijf in Ter Aar (veengrond).
- Een bedrijf in Brakel (kleigrond met erop teeltbedden met koko's substraat).

Figuur 11 Meting van de bodemverdamping met de LCPro+ en "soil respiration hood" in een bed met een jong gewas *Alstroemeria*'s. Foto links een bed zonder een isolerende laag, rechts bedekt met een laag Styromull.

Per bedrijf is overdag op vijf soorten plekken op meerdere momenten handmatig gemeten, om een indruk te krijgen van het verloop over de dag (lampen aan, lampen uit, zonnetje...):

- Een vrije plek in het pad (bodem zonder styromull laagje).
- Een vrije plek in het bed (bodem of substraat zonder styromull laagje).
- Een plek in het bed met een normale laag isolatie (styromull op normale dikte).
- Een plek in het bed met een dubbele laag isolatie.
- Een plek in het pad met een dikke laag gewasresten.

De handmatige metingen zijn korte metingen geweest over een tijdsduur van ongeveer tien minuten, die op meerdere plekken per object en in duplo zijn uitgevoerd.

Om een indruk te verkrijgen over het verloop van de CO₂ afgifte van de gewasrestenlaag 's nachts te meten wordt over een langere meetperiode (gedurende de nacht) gemeten in een pad bedekt met snoeiafval. De meetresultaten zijn iedere minuut, vanaf 17.00 's middags tot 7.00 uur 's morgens de volgende dag (2-3 maart 2016), opgeslagen.

De metingen zijn uitgevoerd van begin februari tot begin maart 2016.

4.3 Resultaten

Hieronder worden de resultaten van de metingen op de verschillende plekken in de kas bij de drie Alstroemeria telers weergegeven en besproken. Zowel van de incidentele metingen overdag als van de continue meting 's nachts. Eerst wordt de bodemtemperatuur besproken, vervolgens de bodemverdamping en tot slot de bodemrespiratie.

4.3.1 Bodemtemperatuur

De bodemtemperatuur gemeten op 9 februari (kokos/klei) en 23 februari (veengrond) en 2 maart (zandgrond) van de teeltbedden en in het pad tussen de bedden op 6 cm diepte is weergegeven in Figuur 12.

Zoals te verwachten valt, heeft in vrijwel alle gevallen het gekoelde teelt bed duidelijk een lagere bodemtemperatuur dan de tussen liggende paden. Het verschil in temperatuur varieert tussen 1 en 3 °C.

Figuur 12 De gemiddelde bodemtemperatuur op 6 cm diepte in de teeltbedden met een jong of volgroeid gewas Alstroemeria en in het pad tussen de bedden bij verschillende grondsoorten. Verticaal lijntje is de standaardafwijking van het gemiddelde.

De resultaten van de continue meting van de bodemtemperatuur in een zandpad bedekt met een laag gewasresten is in de tijd uitgezet (Figuur 13). Die is gedurende de nacht vrijwel stabiel en schommelt iets rond de 17 °C De temperatuur gedurende de nacht verschilt nauwelijks ten opzichte van die van overdag in de periode dat er gemeten is, met weinig instraling.

Figuur 13 Het verloop van de bodemtemperatuur in een pad op 6 cm diepte bedekt met gewasresten op zandgrond gedurende de nacht van 2 - 3 maart 2016.

4.3.1.1 Invloed isolatielaag op bodemtemperatuur

In Figuur 14 is de bodemtemperatuur van het teelt bed bij kokos en veengrond weergegeven al dan niet bedekt met een dunne of dikke laag Styromull. Op deze metingen is er een verschil tussen beide kassen, mogelijk vanwege verschil in gewenste temperatuur (ieder ras heeft zo haar eigen optimum bodemtemperatuur). Tussen niet afgedekte en afgedekte stukken teelt bed is er geen verschil te zien. Mogelijk is er (nog) geen verschil in bodemtemperatuur gemeten omdat de isolerende laag vlak voor de meting ter plekke op het teelt bed is aangebracht. In onderzoek met Freesia, ook een gewas met bodemverwarming en bodemkoeling, met verschillende bodemafdekmaterialen (Van Weel *et al.* 2011) is aangetoond dat een laag isolatie tot 2.5 graden verschil in bodemtemperatuur met de niet-afgedekte referentie (dit is ook een ervaringsgetal bij Alstroemeria). Bovendien levert het minder schokken in de bodemtemperatuur als gevolg van instraling overdag of uitstraling in de nacht.

Figuur 14 De gemiddelde bodemtemperatuur op 6 cm diepte in de teeltbedden met Alstroemeria's zonder en met een dunne (5 mm) of dikke laag (20 mm) Styromull bedekt, bij kokos en veengrond als gemeten op 9 en 23 februari. Verticaal lijntje is de standaardafwijking van het gemiddelde ($n=2$).

4.3.2 Bodemverdamping

De gemeten uitwisseling van water (een maat voor de verdamping) in een teelt bed zonder afdeklaag varieert tussen 0.37-0.47 liter water per m² en is afhankelijk van de grondsoort (Figuur 15).

De verdamping in de paden is voor klei-, veen- en zandgrond: 0.45, 0.44 en 0.60 liter water per m², dat is respectievelijk 20, 11 en 28% hoger ten opzichte van de verdamping in de teeltbedden.

4.3.2.1 Invloed gewasresten op bodemverdamping

Als eerder vermeld, worden gewasresten in de Alstroemeria teelt in het pad tussen de teeltbedden weggegooid waar ze kunnen verteren (Figuur 15).

Deze verterende gewasresten (die voor 80-90% uit water bestaan) zorgen voor extra verdamping. De gemeten bodemverdamping blijkt bij alle drie grondsoorten hoger in een pad bedekt met een laag snoeiafval dan bij een teelt bed (zonder een isolerende afdeklaag). De gemeten bodemverdamping (uitgedrukt als uitwisselingsnelheid van water tussen de bodem en de omgeving) is zowel in een teelt bed als in een pad met een laag snoeiafval voor de drie grondsoorten weergegeven in Figuur 16.

Figuur 15 Pad tussen de teeltbedden bedekt met een laag gewasresten. Een gebruikelijke werkwijze in de Alstroemeria teelt.

Door de paden schoon te houden van deze gewasresten en te bedekken met worteldoek kan deze bijdrage aan verdamping in de kas worden teruggedrongen.

Afdekken van de paden tussen de teeltbedden met worteldoek en deze schoonhouden in plaats van de paden of het eventueel worteldoek erop te bedekken met een laag gewasresten leidt tot een afname van de verdamping, zowel bij klei- als zandgrond. De afname in verdamping is bij klei- en zandgrond respectievelijk 18 en 37% (Figuur 17). Het ter plekke afschuiven van de gewasrestenlaag vlak voor de meting geeft een geringe verlaging van de verdamping; mogelijk omdat het direct voor de metingen gebeurde.

Figuur 16 De verdamping in een teelt bed met *Alstroemeria*'s (zonder afdeklaag) en in een pad bedekt met een laag gewasresten bij drie verschillende grondsoorten. Verticaal lijntje is de standaardafwijking van het gemiddelde.

Figuur 17 De verdamping in een pad zonder en met laag snoeiafval afgedekt en waarvan de laag snoeiafval is afgeschoven, bij twee bedrijven. Verticaal lijntje is de standaardafwijking van het gemiddelde.

De verdamping gedurende de nacht in een pad bedekt met gewasresten op zandgrond is vrij stabiel en schommelt rond de 0.50 liter per m² per dag (Figuur 18). Overdag wordt met de korte metingen een hogere verdamping gemeten, namelijk 0.60 liter per m² per dag (Figuur 17).

In de winter is dit zeker een nadeel omdat het vocht moet worden afgevoerd. In voorjaar en zomer zal het overdag mogelijk een voordeel opleveren omdat RV in de kas en in het microklimaat dan beter op niveau blijft.

Figuur 18 Het verloop van de verdamping in een pad met een laag gewasresten op zandgrond gedurende de nacht van 2 - 3 maart 2016.

4.3.2.2 Invloed isolatielaag op bodemverdamping

Afdekken van het teelt bed met een isolerende laag Styromull leidt tot een afname van de verdamping, zowel bij kokos als veengrond. Bij een dikkere laag (20 mm) is de verdamping beduidend minder dan bij een dunne laag (5 mm) Styromull (Figuur 6). De afname in verdamping is bij een teelt bed op kokos voor een dunne en dikke laag respectievelijk 12 en 52% ten opzichte van een teelt bed zonder een isolerende laag Styromull. Bij een teelt bed op veengrond is deze afname geringer, namelijk 8 en 29%.

Figuur 19 De verdamping in een teelt bed met *Alstroemeria*'s zonder een isolerende afdeklaag en afgedekt met een dunne (5 mm) of dikke laag (20 mm) Styromull bij twee grondsoorten. Verticaal lijntje is de standaardafwijking van het gemiddelde.

4.3.3 Bodemrespiratie

De gemeten bodemrespiratie (uitgedrukt als uitwisselingssnelheid van CO₂ tussen de bodem en de lucht) is weergegeven in Figuur 20. Deze varieert in een teelt bed zonder afdeklaag tussen 2.8-5.0 µmol CO₂ per m² per s en is afhankelijk van de grondsoort.

4.3.3.1 Invloed gewasresten op respiratie

De bodemrespiratie is bij alle drie grondsoorten aanzienlijk hoger als het pad bedekt is met een laag snoeiafval (ook zichtbaar in Figuur 20) dan bij het teeltbed (zonder een isolerende afdeklaag). De bodemrespiratie in de met snoeiafval bedekte paden is voor klei-, veen- en zandgrond: 7.2, 4.9 en 15.2 µmol CO₂ per m² per s, dat is respectievelijk 97, 75 en 206% hoger ten opzichte van de respiratie in de teeltbedden.

Figuur 20 De bodemrespiratie in een teelt bed met *Alstroemeria*'s (zonder afdeklaag) bij drie verschillende grondsoorten en in een pad bedekt met een laag gewasresten. Verticaal lijntje is de standaardafwijking van het gemiddelde.

Het verloop gedurende de nacht van de bodemrespiratie in een pad bedekt met gewasresten op zandgrond is getoond in Figuur 21. Te zien is dat het aan het einde van de dag overeenkomt met de gemeten momentane dag respiratie, en vervolgens afneemt tot een "nachtwaarde" van 9 µmol CO₂ per m² per s, mogelijk doordat de temperatuur van de lucht wat afneemt (de bodemtemperatuur op 6 cm diepte blijkt behoorlijk stabiel gedurende de nacht, (zie Figuur 13).

Figuur 21 Het verloop van de bodemrespiratie in een pad met een laag gewasresten op zandgrond gedurende de nacht.

Als de paden tussen de teeltbedden zijn afgedekt met worteldoek en schoon worden gehouden, in plaats van de paden te bedekken met een laag gewasresten, is de bodemrespiratie, zowel bij klei- (onder de substraatbedden) als zandgrond laag (Figuur 22). De afname in respiratie is zowel bij klei- als zandgrond zo'n 80%.

Het ter plekke afschuiven van de gewasrestenlaag vlak voor de meting geeft een verhoging van de respiratie.

Figuur 22 De respiratie in een pad zonder en met laag snoeiafval afgedekt en waarvan de laag snoeiafval is afgeschoven, bij twee grondsoorten. Verticaal lijntje is de standaardafwijking van het gemiddelde.

4.4 Conclusies en implicaties

Bij de drie Alstroemeria bedrijven is de temperatuur in de teeltbedden door koeling van de grond zo'n 1 - 3°C lager ten opzichte van de bodemtemperatuur in de tussen liggende paden. Een isolerende laag van Styromull korrels vlak voor de meting op het teelt bed aangebracht heeft geen invloed gehad op de temperatuur, maar uit metingen met andere gewassen is het bekend dat het een positieve invloed heeft op de te behalen temperatuur.

De verdamping uit de bodem in februari-begin maart varieert tussen 0.37 en 0.60 liter water per m² per dag. Het laagste getal is gemeten in bedden met substraat los van de grond, en het hoogst in het pad tussen teeltbedden op zandgrond.

Dit zijn geen grote hoeveelheden water (een m² van een goed verdampende sierteelt gewas, zoals gerbera of roos kan met gemak 3.5 liter per dag verdampen). Alstroemeria is echter geen grote verdamper, cumulatief (Voogt, 2016) maar zo'n 350 – 400 liter /m² per jaar, gemiddeld 1 tot 1.2 liter per dag per m². In grammen af te voeren vocht vertegenwoordigt het tot 600 gram vocht dat in koude dagen met weinig instraling en met ramen dicht moet worden afgevoerd, oftewel 25 gram per uur. Bij een verschil in AV tussen binnen en buiten van ongeveer 4 gram vocht, kan er door het scherm ongeveer 30 gram vocht per uur worden afgevoerd (zie hoofdstuk 3). Dat betekent dat als er maar 5 gram vocht per uur door het gewas mag worden verdampt om op de maximale afvoercapaciteit van het scherm te bereiken, waarna er geforceerde ventilatie ervoor nodig is.

Afdekken van het teelt bed met een isolerende laag Styromull heeft een positief effect op de hoeveelheid water wat uit de bodem in de lucht komt: Deze neemt af met 9% tot 53% , waarbij een dikkere laag (20 mm) meer effect heeft dan een dunnere laag (5 mm).

De gewasresten die in het pad worden gegooid dragen bij aan de hoeveelheid water dan in de lucht komt met gemiddeld 0.1 liter water per m² per dag (100 gram vocht extra per dag, ca. 5 gram extra per uur). Het schoon houden van de paden die afgedekt zijn met worteldoek verlaagt het vochtgehalte met 0.22 liter water per m² per dag, bijna 10 gram vocht per uur. Ook dragen ze sterk bij aan bodemrespiratie: bij alle drie de grondsoorten was de respiratie aanzienlijk hoger (75 tot 206%) op de paden met gewasafval dan de respiratie in de teeltbedden. Meer CO₂ uitwisseling is het gevolg van meer activiteit van de bodemfauna. De gemeten verhoogde uitwisseling van water en CO₂ in de met gewasresten bedekte paden ten opzichte van de gekoelde teeltbedden is waarschijnlijk ook deels een gevolg van de iets hogere temperatuur: zowel de verdamping als de respiratieprocessen verlopen sneller bij een hogere temperatuur.

De 20 µmol CO₂ per m² per seconde aan bodemrespiratie levert zeker een grote bijdrage aan de hoge CO₂ gehalten die soms 's nachts (zonder dat er wordt gedoseerd) worden gemeten bij telers. Dit maakt dat er de eerste 2-3 uur minder CO₂ gedoseerd hoeft te worden omdat de CO₂ levering uit de bodem voldoende is voor fotosynthese.

Het is echter niet bekend of een hoge CO₂ concentratie in de nacht negatieve effecten heeft op het gewas. Bekend is dat de huidmondjes weerstand groter is bij hoog CO₂. Bij paprika bij voorbeeld sluiten de huidmondjes 3% per 100 ppm extra CO₂ in de lucht boven 700 ppm.

5 Metingen gewastemperatuur op praktijkbedrijven

5.1 Achtergrond en kennisvragen

Metingen gedurende een eerder praktijkonderzoek (García Victoria *et al.* 2015) gaven aanwijzingen dat het bladtemperatuur door uitstraling heel ver kan zakken (tot ruim 5 graden onder de ruimte temperatuur) in koude en heldere nachten. Wat dit voor effect heeft op de kwaliteit van het blad in de winter, waar telers al lang ontevreden over zijn, is niet bekend, maar het zou wel een mogelijke oorzaak kunnen zijn van de matige bladkwaliteit in de winter, en tevens een verklaring bieden waarom telers de neiging hebben om langer te belichten om bladafkoeling met lampwarmte tegen te gaan.

Naar aanleiding van deze eerste resultaten is toen geconcludeerd dat men op zoek moet naar een meer optimale balans in het energieverbruik (korter belichten en beter isoleren).

5.2 Werkwijze

Om de eerdere metingen te bevestigen en een gevoel te krijgen van de effecten van een hogere isolatiegraad in de kas op de mate waarin het blad door uitstraling afkoelt (of beter gezegd, wat is het effect van 1 en 2 isolatie schermen op de bladtemperatuur) zijn op twee verschillende bedrijven gedurende een aantal nachten metingen van de temperatuur van het gewas verricht met behulp van een Flir thermografische camera (Figuur 23). De metingen zijn gedaan op twee verschillende bedrijven aan het gewas onder het kasdek zonder scherm, met één scherm en met twee schermen dicht.

Figuur 23 de thermografische camera opgesteld tussen het gewas voor metingen aan de bladtemperatuur.

5.2.1 Bedrijf 1, twee schermen aanwezig

Het eerste bedrijf is tevens het bedrijf waar de VentilationJet is opgehangen. Zoals eerder aangegeven, zijn er al veel stappen gezet richting energiebesparing: op het bedrijf zijn twee schermen geïnstalleerd (een aluminiumscherm, 70% afscherming boven en als onderzoek een transparant groentedoek met 30% lichtafscherming).

De schermen worden zoveel mogelijk 100% gesloten. Hierdoor wordt er slechts 9 m³ gas per m² per jaar verbruikt, veel lager dan de meeste collega's, waar het gebruik ca. 16 m³/(m² jaar) is. Er is geen WKK, maar elektra wordt ingekocht en warmte wordt met een gasketel opgewekt.

Figuur 24 Beeld van het eerste meetbedrijf; links, beide doeken open, rechts, met gedeeltelijke afsluiting van het eerste doek.

Gehanteerd wordt een daglengte van 16 uur, met een donkerperiode van zon onder tot 2 uur 's nachts. Belicht wordt met een intensiteit van 67 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$. Het aantal uur belichting is op jaar basis bij dit bedrijf 1750, aanzienlijk minder dan het gemiddelde (2300 uur).

In de belichtingsperiode wordt belicht met beide doeken gesloten.

Gemeten is in december. Enkele nachten met twee schermen dicht, met een scherm dicht, en enkele uren met beide schermen open. Hierna blijkt de afkoeling van de kas en de warmtevraag dusdanig toe te nemen, dat de ondernemer besloot een doek te sluiten.

5.2.2 Bedrijf 2, een afdeling zonder scherm, twee afdelingen met 1 scherm

Het tweede praktijkbedrijf waar metingen zijn verricht betreft een bedrijf van in totaal 8.000 m² bestaande uit twee afdelingen met pothoogte 3.5 m, met ertussen een oude afdeling met een lage pothoogte van 2.16 m (Figuur 25).

Figuur 25 links de aan elkaar grenzende afdelingen van verschillende poothoogte waar gewastemperatuur is gemeten; rechts de lage kas van binnen, waarbij de configuratie van de lampen en verwarmingsbuizen zichtbaar is.

In de zeer lage, oude afdeling, is er geen ruimte voor een scherm boven de lampen. Medio 2016 zou deze kas worden vervangen door nieuwbouw, een hogere kas met ruimte voor het scherm.

Een halve meter onder de goot (spant) hangt een bovennet voor verwarming bestaande uit 51 mm buizen. Op dezelfde hoogte en tussen de verwarmingsbuizen, hangt de belichting (SON-T lampen met een intensiteit van 7500 lux, ca. $90 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$). In Figuur 25 rechts is een foto te zien van deze lampen en buizen configuratie. De afstand tussen het gewas en de lampen is maar 140 cm.

Op de bodem is er een ondernet met 28 mm buizen. De lampen branden vanaf 00:30 elke nacht in de winter. In de nieuwere afdelingen, die met poothoogte 3.5 m, die de lage afdeling flankeren, is er wel ruimte voor een scherm, en in elke afdeling hangt er een ander type scherm: in de ene afdeling is dan een LS-16 scherm (zonnedoek), die gesloten wordt tot maximaal 99% (altijd een kier van minimaal 1%), Figuur 26 links. In de andere afdeling hangt een 99% dichte lichtafschermings (Figuur 26 rechts). In deze afdelingen is het lichtniveau hoger, $115 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$.

Figuur 26 Afdelingen met schermen, links met zonnesherm, rechts met lichtuistoot scherm.

Er is gemeten met behulp van de Thermische camera. De metingen zijn verricht tussen 15 en 19 februari, waarbij iedere einde dag (om en nabij 16:00 uur) de camera verplaatst is naar een andere plek in de kas. Als extra check voor het klimaat in de kas is een eenvoudige, nauwkeurig maar niet geventileerde TESTO datalogger geplaatst.

5.3 Resultaten

5.3.1 Bedrijf 1, een scherm versus twee schermen

De temperatuur van het gewas gemeten over enkele etmalen waarbij 's nachts twee schermen dicht gingen worden in Figuur 27 weergegeven. Met 's nachts een scherm dicht in Figuur 28.

Figuur 27 Gemeten ruimte en gewastemperatuur gedurende 3 achtereenvolgende etmalen waarbij in de nacht 2 schermdoeken dicht liggen.

Figuur 28 Gemeten ruimte en gewastemperatuur gedurende 2 achtereenvolgende etmalen waarbij in de nacht 2 schermdoeken dicht liggen.

In beide figuren is het te zien hoe het blad overdag onder invloed van de straling opwarmt en hoger komt te liggen dan de ruimte temperatuur. In deze periode was deze opwarming ongeveer 1 graad boven de ruimte temperatuur, met een uitschieter in de middag van 6 december waarbij de temperatuur van het gewas opliep tot 5.3 graden boven de ruimtetemperatuur.

Nadat de zon onder gaat, ongeveer 16 uur, koelen gewas en ruimte snel af, van 19-20 graden naar 13-14 graden, waarbij het gewas net iets dieper afkoelt (ongeveer een graad), dan de omgeving.

In de grafieken is een duidelijke temperatuurstoename te zien in de uren waarbij het scherm dicht is maar de lampen branden, tussen 00:20 en 8:00 uur 's ochtends. De lampen verhogen de temperatuur van zowel de ruimte als het gewas naar ca. 16 graden.

In de donkere uren, waar de dichte schermen zowel het energieverbruik als de afkoeling van het blad moeten tegengaan, is de ruimte op een vrij vlakke temperatuur van 14-15 graden (dankzij stoken), waarbij het gewas steeds één tot anderhalf graad kouder is dan de omgeving. Het verschil tussen ruimte en gewas temperatuur is getoond in Figuur 29 voor twee nachten in de situaties met één schermdoek dicht en met twee schermdoeken dicht. Een positief verschil betekent dat het gewas kouder is. Een negatief verschil is dat het gewas warmer is dan de omgeving. Omdat de metingen niet tegelijkertijd konden plaatsvinden, is de bijdrage van het dubbele scherm aan het voorkomen van bladafkoeling door uitstraling niet uit de metingen uit te halen (wel is te zien dat een of twee schermen de gewasafkoeling reduceerden naar maximaal een halve tot één graad onder de ruimtetemperatuur). De buitenomstandigheden zijn ook vrij sterk bepalend voor de warmteverliezen van het gewas door uitstraling. De eerst afgebeelde nacht was een heldere nacht, waarbij het gewas tot 1,8 graden kouder werd dan de omgeving. De volgende nachten waren deels bewolkt, wat de minder sterke afkoeling verklaart. Met behulp van data uit een sensor boven het scherm geplaatst (Figuur 30) is ook te zien dat de temperatuur boven het doek (het dichtst op de buitentemperatuur) op de derde meetnacht (de nacht van 6 op 7 december) de hoogste in die week was, (13 °C in plaats van <10 °C). De vierde afgebeelde meetnacht uit Figuur 29, met één scherm dicht, was het boven het doek 10 °C en bewolkt, daarom koelt het gewas ondanks het hebben van slechts een scherm niet extreem veel.

Uit Figuur 29 blijkt tevens dat eerder de schermen sluiten wel een flinke piek in uitstraling zou kunnen besparen; nu gaat het doek na zon onder dicht; een uur tot anderhalf uur na zon onder lijkt het gewas het sterkst af te koelen.

Van 9 december 's middags tot 11 december 's ochtends, zou er gedurende enkele uren in de nacht niet geschermd worden en zouden de 2 doeken open blijven tot het moment van lampen aan, om 00:00 uur. Na lampen aan, zouden de doeken wel dicht gaan om aan de lichtuitstoot regels te kunnen voldoen. De ondernemer besloot echter de doeken toch al om 19:30 te sluiten, door de lage temperatuur en de zichtbare gevolgen voor het energiegebruik (warmtevraag). Van de tussenliggende schaarse meetmomenten zijn er helaas geen metingen met de camera bewaard, omdat de stroomkabel per ongeluk was losgekoppeld tijdens gewaswerkzaamheden.

Figuur 29 Verschil tussen ruimte en gewas temperatuur gedurende vier opeenvolgende nachten met gebruik van één (rood) of twee (blauw) schermdoeken. Afgebeeld zijn de verschillen in de nachten van 5 op 6 december, 6 op 7 december, 7 op 8 december en 8 op 9 december.

5.3.1.1 Gevolgen voor het kasklimaat

Het kasklimaat is met 15 extra sensoren in de kas in dezelfde periode gemeten. De sensoren waren nog op het bedrijf aanwezig om de ondernemer te helpen omgaan met ontvochtigen door boven de doeken te luchten in plaats van met doeken te kieren. Figuur 30 laat de invloed van het doekgebruik op de kastemperatuur, en laat tevens iets zien van het buitenklimaat tijdens deze meetdagen.

De doekregeling was als volgt:

- 4 december 's middags tot 7 december 's ochtends, 's nachts 2 doeken dicht.
- 7 december 's middags tot 9 december 's ochtends, 's nachts met 1 doek dicht (het aluminiumdoek dicht, de transparante energiedoek open).
- 9 december 's middags tot 11 december 's ochtends, met 2 doeken open (maar zijn door de lage temperatuur in de kas en het risico op natslag eerder dichtgedaan).

Figuur 30 Kastemperatuur gemeten met 15 sensoren op verschillende plekken in de kas. Lichtgroen is de temperatuur boven het doek gemeten; roodbruin is de temperatuur net onder het doek gemeten. De overige lijnen die bij elkaar liggen geven de ruimtetemperatuur weer op verschillende hoogtes tussen het gewas en de horizontale verdeling. De zwarte cirkel laat de situatie zien waarbij het doek later gesloten werd dan normaal.

Voor deze proef zijn relevant de volgende sensoren:

- Sensor 3, (boven het doek, lichtgroen, het dichtst bij de buitentemperatuur).
- Sensor 15, een meter onder het doek.
- Sensor 4, tussen het gewas, dicht bij de Thermische camera.
- Sensor 9 en 10, tussen en boven het gewas, op een vergelijkbare plek als waar de camera stond.

Figuur 31 laat de temperaturen zien ingezoomd op de nachten met 2, 1 en geen doeken dicht voor de relevante sensoren.

Figuur 31 Kasttemperatuur als in Figuur 30 ingezoomd voor 3 relevante sensoren en alléén voor de nacht: Lichtgroen (sensor 3) is de temperatuur boven het doek gemeten; sensor 4 (oranje) tussen het gewas vlakbij de thermische camera; sensor 9 en 10, tussen en boven het gewas, op een vergelijkbare plek als waar de camera stond. De zwarte cirkel laat de situatie zien waarbij het doek open bleef gedurende enkele uren aan het einde van de dag (later gesloten werd dan normaal).

Uit Figuur 31 blijkt ook de invloed van het scherm op het verticale temperatuurgradiënt in de kas: Zonder scherm ligt de temperatuur op gewashoogte en direct onder de nok vrij dicht op elkaar; het scherm vormt een duidelijke barrière en scheidt koude lucht van boven het doek van de warmere lucht tussen het gewas.

5.3.2 Bedrijf 2, een scherm versus geen scherm

De ruimte en gewastemperaturen als gemeten op enkele nachten worden getoond in Figuur 32 tot Figuur 35. Wat in dit bedrijf opvalt is dat, ondanks de koude buitentemperatuur (lichte nachtvorst) en het ontbreken van een scherm, er niet een enorme afkoeling van het gewas wordt gemeten, waarschijnlijk door de gebruikte bovenverwarming.

Het verschil tussen ruimte temperatuur en gewastemperatuur in de afdeling en nachten zonder scherm is desondanks wel groter (1.5 graad Celsius) dan in de afdeling en nachten waar gebruik gemaakt wordt gedurende de donkere uren van één scherm, of dit nou een lichtafschermingsdoek of een energiescherm is; beide verkleinen het temperatuurverschil tussen ruimte en gewas naar minder dan 0.6 graden.

Wat verder opvalt, is dat de kasttemperatuur 2 graden lager is in de afdeling zonder scherm dan in de afdelingen met scherm. En door het grotere verschil met de gewastemperatuur, is de gemeten gewastemperatuur tot onder 10 graden geweest.

Verder valt het op, dat ook met de lampen aan, de temperatuur van het gewas lager blijft dan de gemeten ruimtemperatuur, hoewel het temperatuurverschil kleiner wordt.

Figuur 32 Gewas en ruimtetemperatuur gemeten in de nacht van 15 op 16 februari, een heldere koude nacht, in een afdeling zonder schermdoeken.

Figuur 33 Gewas en ruimtetemperatuur gemeten in de nacht van 15 op 16 februari, een heldere koude nacht, in een afdeling zonder schermdoeken.

Figuur 34 Gewas en ruimtetemperatuur gemeten in de nacht van 18 op 19 februari, een heldere koude nacht, in een afdeling met een LS10 doek.

Figuur 35 Gewas en ruimtetemperatuur gemeten in de nacht van 18 op 19 februari, een heldere koude nacht, in een afdeling met een donker doek.

5.4 Conclusies

De eerder in een praktijkproef waargenomen afkoeling van het blad bij een Alstroemeria gewas tot 5 graden onder de ruimtetemperatuur is in deze reeks metingen bij twee bedrijven niet waargenomen.

Gemeten is een afkoeling van het blad gedurende de nachtperiode van 0.5 tot 1.8 graden onder de kasttemperatuur.

De aanwezigheid van schermdoeken verkleint het verschil in temperatuur tussen het gewas en de omgeving. Hoeveel doeken er nodig zijn om de afkoeling van het gewas te minimaliseren, is uit deze metingen niet te zeggen, omdat niet tegelijk, maar na elkaar gemeten werd met 0, 1 en 2 schermen, waarbij de buitenomstandigheden op de meetdagen verschilden.

Zonder scherm was, ondanks een flinke temperatuur in het bovennet, de kasttemperatuur 2 graden lager dan in de afdelingen met scherm.

In het energiegebruik merkten de teler het ontbreken van een doek direct. Dit was ook de reden voor bedrijf 1 om niet de hele nacht beide schermen open te laten.

Tussen het moment dat de zon het blad niet meer opwarmt en het sluiten van het scherm is de grootste afkoeling van het blad gemeten. Een logische aanbeveling die hieruit volgt is het eerder sluiten van het (transparante) doek. Dit kan ten koste gaan van wat licht.

De laagste gewastemperatuur (9.7 °C) is gemeten in een afdeling zonder energiescherm. In hoeverre lage temperaturen de oorzaak zijn van bladschade, is niet met deze proefopzet vast te stellen.

6 Energiezuinige teeltconcept

In overleg met Flori Consult Group is op basis van de huidige instellingen die door veel telers worden gehanteerd een referentieteelt gedefinieerd.

Ook is er een energiezuinige teeltconcept omschreven. Hierbij is rekening gehouden met eerdere energiezuinige teeltconcepten (besparing op warmte) en met de nieuwste inzichten en praktijkervaringen op het gebied van fotosynthesegedrag van *Alstroemeria*, ontvochtiging onder een dubbel scherm en diffuus licht ter beheersing van het zomerklimaat. Ook is het effect van de beperking van verdamping vanuit de bodem meegenomen.

Het energiezuinige teeltconcept verlaagt de warmtevraag, maar geeft vooral ook een forse besparing op het elektriciteitsverbruik.

Het omschreven teeltconcept wordt met behulp van het kasklimaat simulatiemodel KASPRO doorgerekend om de relatieve besparingen te berekenen.

In de volgende paragrafen, wat basis informatie over het huidige energiegebruik in de teelt van *Alstroemeria*, eerdere teeltconcepten, en de informatie die geleid heeft tot het elektrazuinige teeltconcept.

6.1 Warmtegebruik en eerdere teeltconcepten

Alstroemeria is een relatief koude teelt; de kas wordt gestookt met een verwarmingssysteem, meestal alleen een ondernet, om een temperatuur van ca. 15-16 graden te bereiken. Om een goede bloei inductie te behouden wordt de bodem op een temperatuur van rond de 15 graden gehouden. Verwarming van de bodem is daarvoor niet nodig, maar in de zomer moet de bodem wel worden gekoeld. Dit wordt gedaan met behulp van bodemkoeling, bestaande uit 4-6 koud water slangen van 25 mm per bed van 1.20m breed.

Een energiezuinig teeltconcept was al eerder ontworpen (Labrie *et al.* 2010). In dat teeltconcept lag de nadruk op besparing op warmte. Berekend werd dat door het toepassen van temperatuurintegratie, negatieve DIF, dubbel schermen en luchtcirculatie met buitenluchtaanzuiging, tot 52% bespaard kon worden aan energie voor verwarming in de teelt van *Alstroemeria*. Dankzij de buitenluchtaanzuiging kan het RV setpoint voor schermkieren en droogstoken met 5% worden verhoogd wat 16% energie bespaarde. Telen op substraat in plaats van grond leverde nog 3% extra besparing op, en nog veel meer als ook wordt meegerekend dat bij een substraatteelt de grond niet meer gestoomd hoeft te worden bij de teeltwisseling.

Met het gebruik van de warmtepomp in combinatie met seizoensopslag in aquifers kan de *Alstroemeria* teelt voor wat betreft de warmtevoorziening bijna geheel op duurzame energie worden gebaseerd, namelijk op de energie die in de zomer aan de bodem wordt onttrokken.

Het door Labrie beschreven teeltconcept is in een kasproef bij WUR Glastuinbouw getest in vergelijking met de toen standaard (referentie) teeltwijze. Na een jaar telen was 37% gas bespaard in de testkas, voornamelijk door de bijdrage van temperatuurintegratie in het voorjaar en najaar (18%). 16% was te danken aan het hanteren van een hogere luchtvochtigheid.

De productie was identiek, en de kwaliteit van het gewas verbeterde omdat er een lager percentage vochtblaadjes in voorkwam; vochtblaadjes verminderen de marktwaaarde van de takken.

Een praktijkproef met buitenluchtaanzuiging (Van der Helm *et al.* 2012) in een afdeling die niet was afgesloten van de referentie, leverde geen energiebesparing op, maar wel een lagere luchtvochtigheid, en 70% minder vochtblaadjes. Verwacht werd enerzijds dat in een afgesloten afdeling wel energie bespaard had kunnen worden, en anderzijds dat de kosten van een dergelijke installatie op termijn lager zouden worden, en daardoor haalbaar voor een gewas als *Alstroemeria*. Vier jaar na dit onderzoek is de toepassing buitenluchtverdeelsystemen met slurven echter nog niet door de *Alstroemeria* bedrijven opgepakt. Dit komt waarschijnlijk doordat de Ventilation Jet momenteel als een beter hanteerbaar systeem voor grondgebonden teelten wordt gezien (goedkoper en beter in te passen bij bestaande bedrijven). Daarom wordt voor het hier ontwikkelde teeltsysteem de ventilator die geforceerd lucht van boven het scherm inblaast als uitgangspunt gehanteerd.

6.2 Huidige belichtingstrategieën in de Alstroemeria teelt

In Alstroemeria is belichting noodzakelijk om voldoende bloemen te oogsten in de winter. De primaire reden waarom telers assimilatiebelichting zo'n 20 jaar geleden installeerden was het verbeteren van de winterkwaliteit, verhogen van de winterproductie en verlagen van de productiepiek in de maanden april en mei. Gemiddeld heeft de toepassing van assimilatiebelichting gezorgd voor een productiestijging van 20 % bij de meeste rassen (De Groot, M., 2008).

In de praktijk ervaart men dat een langere daglengte een minder groot effect op productie en kwaliteit heeft dan lichtniveau. Hieronder worden beiden effecten (duur en intensiteit) besproken.

6.2.1 Duur van de belichting

Belicht wordt gedurende maximaal 15 -17 uur (in de winterdag) afhankelijk van buitenstraling. De lampen worden aangeschakeld rond middernacht te worden aangezet tot enkele uren na zon op. Totaal wordt ca. 2300 uur per jaar belicht. De gangbare belichtingsintensiteiten zijn momenteel 66-90 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s})$. De intensiteit is hiermee veel groter dan in de beginjaren toen 36 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s})$ de standaard was. De laatste tijd zien we een toename van het geïnstalleerd vermogen en een verkleining van het aantal uren. Dit omdat het gevoel heerst dat Alstroemeria in de winter gevoelig is voor een te lange daglengte (langer dan 20 uur voor Virginia en langer dan 17 uur voor rest sortiment) wat ten koste gaat van scheutvorming in het voorjaar.

De elektra voorziening wisselt per bedrijf. Het grootste gedeelte van de bedrijven, zo'n 80% gebruikt WKK met terug levering. 20% koopt alle stroom in en de rest gebruikt een WKK. Netgekoppelde bedrijven hebben meestal een WKK vermogen dat de helft is van het geïnstalleerd belichtingsvermogen om de vernietiging van warmteoverschotten te beperken.

Rekening houdend met productie in aantal takken, teruglevering, en met de kosten van belichting, heeft Flori Consult Group voor twee in areaal belangrijke rassen (Virginia en Granada) de opbrengsten van belichting berekend. Hierbij is uitgegaan van belichting met 5500 lux (ca. 66 μmol). Met de resultaten daarvan kan het effect van het verlagen van aantal belichtingsuren per jaar worden berekend. De uitkomsten zijn hieronder samengevat:

- Bij verlaging van het aantal belichtingsuren bij cv. Virginia naar 2000 uur is de berekende productieverlaging 6% ten opzichte van de standaard bij 2500 uur belichting. Nog verdere verlaging naar 1750 uur levert een productieverlaging van 13%. Bij Granada is de berekende productieverlaging respectievelijk 10% en 16%.
- Het netto omzetverlies bij verlaging van het aantal belichtingsuren is groter dan de extra opbrengsten uit de verlaagde gasinkoop en de vergrootte teruglevering van elektra.

De uren dat er niet wordt belicht, is er bovendien extra warmtevraag als dezelfde etmaaltemperatuur moet worden aangehouden; de verhouding is 0.7 °C kasttemperatuur per 1000 lux aan geïnstalleerd vermogen (ervaringsgetal).

Hoewel het rendement van een vermindering van het aantal belichtingsuren ten opzichte van de standaard volgens de berekeningen altijd negatief uitkomt, is er wellicht wel wat winst mogelijk door "slimmer te belichten". Door de lampen overdag op half vermogen te laten draaien wordt op elektriciteit bespaard, maar overdag wellicht niet teveel op productie ingeleverd. Ook zou de opstart op half vermogen gunstig kunnen uitpakken en zouden de lampen aan de randen van het belichtingsseizoen uitgelaten kunnen worden. Tenslotte wordt in de zuinigere belichtingsstrategie de lampen een uur later aangeschakeld, om de daglengte wat te bekorten en elektriciteit te besparen.

6.2.2 Fotosynthese en intensiteit van de belichting

In het onderzoek van Trouwborst is uitgezocht hoe de relatie is tussen licht-aanbod en gewasfotosynthese. In het rapport "Meer rendement uit licht en CO₂ bij Alstroemeria" (Trouwborst, 2015) wordt onder andere onderstaande grafiek getoond. De grafiek laat zien dat in het eerste stuk van 0 tot 200 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s})$ de fotosynthese vrijwel lineair oploopt met het licht-aanbod. Boven de 250 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s})$ neemt de efficiëntie van de fotosynthese snel af.

Figuur 36 Fotosynthese als gemeten door Trouwborst et al. 2015.

De figuur laat zien dat de belichtingsniveaus die in de Alstroemeria teelt gebruikelijk zijn ruim onder het punt liggen waar de efficiëntie gaat afnemen. Komt de straling van de zon overdag echter boven de 150 of 200 W/m^2 dan zal de intensiteit binnen in de kas in combinatie met belichting boven dat afbuigpunt komen en levert het extra licht uit de lampen maar weinig extra productie.

Om de effecten van de energiezuinige belichtingsstrategie door te kunnen rekenen is de door Trouwborst bepaalde fotosynthese responskromme in KASPRO ingebouwd. De onderstaande Figuur 37 toont het door Trouwborst getoonde verband en het in KASPRO gebruikte verband.

Figuur 37 De in KASPRO gebruikte relatie tussen licht en fotosynthese (blauw) en de door Trouwborst gemeten relatie (voor het ras Virginia uit de vorige Figuur).

Net als in de metingen ligt er een duidelijk knippunt bij een lichtintensiteit van $300 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s})$.

Behalve de toepassing van de gemeten fotosyntheseresponskromme voor *Alstroemeria* in de berekeningen is ten behoeve van dit project ook de vertraagde huidmondjesreactie die in de metingen is vastgesteld in het simulatiemodel ingebouwd. Dit betekent dat bij inschakelen van de lampen de huidmondjes pas na anderhalf uur helemaal geopend zijn. In de metingen, en dus ook in het model, bleek dat deze vertraging onafhankelijk was van de intensiteit van de belichting.

De boven getoonde afname van de benutting efficiëntie van het licht is reden geweest om de lampen overdag op de helft van het vermogen te laten branden en de waargenomen vertraging in de opening van de huidmondjes heeft tot het idee geleid om bij het aanschakelen van de lampen in het eerste uur slechts de helft van de lampen aan te schakelen.

Wel moet de kanttekening geplaatst worden dat uitsluitend gemeten is aan het bovenste blad in het gewas. Blad onderin het gewas heeft meer schaduw en kan wellicht nog profiteren van het iets langer laten branden van de lampen. Hier is echter niet aan gemeten.

6.3 Referentieteelt en teeltconcept

Als referentieteelt wordt gebruik gemaakt van een kas uitgerust met de volgende technische componenten:

- Kasdek van Float glas (82% hemisferische lichtdoorlatendheid).
- Belichting zonder WKK.
- Belichtingsintensiteit $80 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$.
- Ondernet, enige temperatuurintegratie door setpointverhoging bij belichting.
- Enkel scherm (LS 15).
- Geen luchtcirculatie via verticale ventilatoren of luchtslangen.
- Luchtbevochtiging met sprinklers, geen vernevelinginstallatie.
- Grondgebonden teelt.
- Bodemkoeling (6 slangen van 25 mm per bed).
- Koelmachine, geen warmtepomp.

Als basis voor de referentieteelt is gebruik gemaakt van dezelfde setpoints als in het onderzoek van Labrie en De Zwart (2010). Deze setpoints worden nog altijd in de praktijk gebruikt, met een paar verschillen:

- Lichtverhoging voor ventilatietemperatuur was in 2010 vanaf $500 \text{ W}/\text{m}^2$ instraling; tegenwoordig is het standaard om de lichtverhoging in te zetten al vanaf $200 \text{ W}/\text{m}^2$.
- Lampen worden tegenwoordig eerder afgeschakeld, bij $170 \text{ W}/\text{m}^2$ in plaats van bij $200 \text{ W}/\text{m}^2$.

Voor het energiezuinige teeltconcept is de kas uitgerust met de volgende technische componenten:

- Kasdek met diffuus glas (hoge haze 50 % met dubbelzijdige AR coating, 85% hemisferische transmissie).
- Een diffuus scherm, XLS 25 F HARMONY, met een diffuse lichtdoorlatendheid van 69%.
- Een tweede (energie) scherm, voor maximale isolatie maar hoog transparant (bv de 1243 van de Luxous serie van LS, lichtafscherming 15%).
- Substraatteelt.
- Belichting zonder WKK.
- Son-T belichting $80 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s})$, in twee fases als dambord uitschakelbaar.
- Luchtbevochtiging met een vernevelinginstallatie (capaciteit $150 \text{ gram}/\text{m}^2\text{uur}$).
- CO_2 capaciteit van $200 \text{ kg}/\text{ha}/\text{uur}$.
- Ontvochtiging onder twee dichte doeken met VentilationJet met een capaciteit van $10 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ uur})$.
- Bodemkoeling (10 slangen van 15 mm per bed).

De energiezuinige teeltwijze vereist vooral aanpassingen in de belichtingsstrategie.

Winter:

- Nadruk van de belichting in op de nacht.
- Inschakelen in fases: 1^e uur 50 %.
- Belichten middernacht tot half uur na zon op.
- Daglengte beperken tot 16 uur, in plaats van de 17 uur die in de referentieteel wordt gehanteerd.

In de zomer wordt een verbeterd lichtregime nagestreefd door:

- Licht zoveel mogelijk diffuus maken door gebruik van 20% Harmony doek in combinatie met 2^e transparant energiescherm.
- Verhoging van het AV in de kas door hoge vernevelingscapaciteit (200 gram/(m² uur)), waardoor de fotosynthese beter op peil zou kunnen blijven.
- Voldoende grote CO₂ capaciteit van 200 kg/(ha uur).
- Meer licht toelaten door minder te schermen (hogere niveaus dan o.b.v. metingen Plant Dynamics en Plant Lighting).

Besparingen op het warmteverbruik worden gerealiseerd door de stookstrategie aan te passen. Onderstaande tabel geeft een overzicht van aanpassingen die in de energiezuinige teelt worden toegepast in vergelijking met de referentie.

Tabel 1

Setpoints referentieteel en energiezuinige teeltconcept met verbeterde winter en zomerklimaat.

	Referentie	Energiezuinig
Stooktemperatuur	Stooklijn minimaal 14°C. Temperatuurintegratie met kleine bandbreedte, alleen op ventilatie.	Stooklijn minimaal 12°C. Temperatuurintegratie met grotere bandbreedte over ca. drie dagen, op ventilatie en stooklijn (handmatig gerealiseerd).
Etmaaltemperatuur streefwaarde	Winter 15,5°C Zomer 18°C. Tmax overdag 25°C.	Gelijke temperatuursom over drie dagen.
Minimum raamstand	2% luwe zijde bij buitenT > 5°C 0% windzijde	geen minimum raam
Ventilatie luwe zijde	nacht 15 a 16°C dag 17 a 18°C. In de winter met een lichtverhoging van enkele graden.	Zelfde als referentie, tenzij beperkte ventilatie nodig om lagere nachtT te compenseren (koppelen aan TI). Overdag niet meer ventileren dan de referentie (als dat nodig zou zijn, doek 's nachts eerder open).
Ventilatie windzijde	In de zomer loopt windkant mee met de luwe zijde. Instellen via p-band (windzijde hogere p-band). Koppelen aan TI, dan eerder windzijde mee indien nodig. (In de winter windzijde vanaf 20°C pas mee)	We willen veel minder ventileren zeker bij hoge instraling om CO ₂ vast te houden.
Lichtverhoging afbouwen naar zomer toe (alleen voor ventilatietemperatuur, niet voor stooktemperatuur)	boven 200W/m ² 3°C verhoging. Dus lucht pas open bij 16+1+3°C= 20°C (koppelen aan TI, eerder luchten indien nodig om etmaalT te realiseren).	Pas ventileren als luchtbevochtiging niet voldoende is om Tmax < 25°C. Compenseren voor hoge etmaal met lagere nachtT.

	Referentie	Energiezuinig
Energieschermen	Sluiten bij minder dan 50 W/m ² globale straling en buitentemperatuur lager dan 11 °C Bij buitentemperatuur onder 5 °C gesloten houden tot globale straling meer is dan 80 W/m ² , oplopend naar 150 W/m ² bij -5 °C buitentemperatuur	Energiescherm sluiten zoals in referentie, maar al bij een buitentemperatuur onder 13 °C. Daarnaast 's nachts tweede scherm sluiten bij een temperatuur onder de 11 °C
Ontvochtiging	Regelen op vochtdeficiet (g/m ³) < 1.9: start schermkier < 1.7 start raamkier < 1.5 start buis	Regelen op vochtdeficiet (g/m ³) <1,7 start raamkier <1,5 VentilationJet <1,2 schermkier bovenscherm Geen kier in onderscherm op vocht <0,7 start buis
CO ₂	Doseercapaciteit is ingesteld op 100 kg/(ha u) Streef 700 ppm gelijk na lampen aan.	Doseercapaciteit is ingesteld op 200 kg/(ha u) Streef 700 ppm gelijk na lampen aan.
Verneveling	Vochtdeficiet van 7 gr/m ³ (ouder gewas 10)	Aanzetten bij vochtdeficiet van 6 gr/m ³ .
Bodemtemperatuur	Streefwaarde bodemtemperatuur 15 °C. Geen bodemverwarming.	Gelijk aan referentie, maar gerealiseerd met een groter aantal slangen in het teelt bed en dus met minder lage water temperaturen.
Stomen	In de Alstroemeria teelt wordt de grond bij iedere teeltwisseling ontsmet en dat is dus één keer in de 4-5 jaar. Stomen kost gemiddeld 5 m ³ /m ² per keer dus het gaat hier om 1 m ³ /(m ² jaar)	Substraat, niet stomen maar vervangen.

De aldus berekende referentie heeft een energieverbruik van 58 m³ a.e./(m² jaar): 11 m³/(m² jaar) voor warmte en een stroomverbruik van 160 kWh/(m² jaar).

Dit blijkt aardig overeen te komen met de praktijk, waar het gasverbruik inclusief belichting laatste 2 jaar tussen 45 en 47 m³ per m² ligt voor bedrijven met WKK. Dit is inclusief stomen van jaarlijks 15 % van de kasoppervlakte (6-7 m³/m²). Dit zijn bedrijven met 80-90 µmol belichting.

Bedrijven die stroom inkopen (geen WKK) verbruiken jaarlijks tussen de 15 en 20 m³ gas per m². Voornamelijk ketel. Daarbij wordt dan ook 15-20 kg CO₂ ingekocht via OCAP of zuiver. Jaarverbruik inkoop elektra schommelt dan tussen 175-200 kWh/m². Dit is inclusief stomen van 15% van kasoppervlak.

6.4 Resultaten

De resultaten van het berekenen van de referentiestrategie in vergelijking met de energiezuinige strategie worden hieronder weergegeven.

6.4.1 Belichtingsenergie per etmaal in de belichtingsmaanden

De grafieken uit Figuur 38 laten de maandgemiddelde verbruiksprofielen voor de belichting zien. De energiezuinige teeltstrategie leidt tot een forse vermindering van het elektriciteits- en warmteverbruik. Het elektriciteitsverbruik neemt vooral af doordat er minder wordt belicht. In Figuur 38 is te zien dat in september en maart de belichting in de energiezuinige situatie uit blijft waar die in de referentiesituatie wel gebruikt wordt. Het niveau van de nachtelijke belichting in september is de helft van het niveau in de andere maanden omdat de belichting pas 15 september aan gaat en, gemiddeld over de maand 's nachts dus half zoveel elektriciteit gebruikt.

Overdag worden de lampen in de energiezuinige situatie op half vermogen gezet als er meer dan 20 W/m² straling is. Dit leidt er toe dat overdag het stroomverbruik duidelijk lager is en vooral in het midden van de dag richting 50% gaat.

Figuur 38 Etmaalverloop van het elektriciteitsverbruik voor de belichting in de referentiesituatie (blauw) en bij gebruik van de energiezuinige belichtingsstrategie (groen).

Ook is duidelijk te zien dat in de energiezuinige situatie de lampen een uur later aan gaan en het eerste uur op half vermogen.

6.4.2 Berekenende netto fotosynthese

Om het effect op de gewasfotosynthese van de belichting strategieën, is de fotosynthese als functie van de lichtintensiteit gemodelleerd.

Figuur 39 Lichtrespons van de netto fotosynthese van het KASPRO Alstroemeria fotosynthesemodel als functie van de lichtintensiteit boven het gewas.

In Figuur 39 is de groene lijn van de door Trouwborst en collega's gemeten respons van een Alstroemeria gewas voor het ras Virginia (Figuur 40) en is de blauwe lijn de bruto fotosynthese zoals die door KASPRO wordt berekend.

Figuur 40 Fotosynthese als gemeten door Trouwborst et al. 2015, gebruikt voor het berekenen van de effecten van belichting op fotosynthese in de simulaties.

Met behulp van de getoonde fotosynthese responskromme kan het toegepaste lichtregime worden vertaald naar een gemiddeld fotosyntheseprofiel voor de 5 wintermaanden in de beide cases. Het resultaat hiervan is samengevat in Figuur 41.

De grafieken uit Figuur 41 laten zien dat de gehanteerde belichtingsintensiteit van $80 \mu\text{mol PAR}/(\text{m}^2 \text{s})$ leidt tot een netto fotosynthese van om en nabij $5 \mu\text{mol CO}_2$ -opname per m^2/s . De onderhoudsrespiratie ligt op $1 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{s})$, waardoor de lijn in de donkere periode onder 0 ligt.

In september en maart staat de belichting in de energiezuinige situatie uit. De nachtelijke fotosynthese tijdens belichting in september is de helft van het niveau in de andere belichtingsmaanden omdat de belichting pas 15 september aan gaat en in september 's nachts gemiddeld dus half zoveel fotosynthese oplevert.

In alle wintermaanden leidt de energiezuinige belichtingsstrategie tot een afname van de productie (in ieder geval afname van fotosynthese/ vastgelegde CO_2). Vooral in maart zal de productie afnemen omdat de hele maand gedurende 4 tot 5 uur lang $5 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{s})$ minder fotosynthese plaatsvindt doordat de belichting helemaal uit blijft. Overdag is de fotosynthese vergelijkbaar. In september zien we overdag een hogere fotosynthese dan in de referentie. Dit komt door de combinatie van diffuus glas, een grotere CO_2 doseercapaciteit en een uitgestelde ventilatie en verneveling. De meeropbrengst overdag is echter kleiner dan de afname van de fotosynthese 's nachts.

Figuur 41 Gemiddeld etmaalverloop van de netto fotosynthese in de belichtingsmaanden in de referentie-situatie (blauw) en bij gebruik van de verlaagde belichtingsstrategie.

6.4.3 Invloed getrapt aanschakelen van de belichting

De grafieken laten ook de vertraagde opstart van de fotosynthese zien. De nadere bestudering van die opstart gaat het gemakkelijkste aan de hand van de grafiek voor de maand oktober. Daar gaat de belichting in de referentie-situatie om 00:00 aan, meteen naar vol vermogen. In de energiezuinige situatie gaat de belichting om 01:00 aan met half vermogen en gaat de belichting om 02:00 naar vol vermogen.

Het effect van vertraagde opstart wordt getoond in Figuur 42. Die laat de berekende fotosynthese zien over de eerste 3 uur van het etmaal in oktober, dus een uitvergroting van de tweede grafiek in de linker kolom van Figuur 41.

In overeenstemming met de bevindingen van Plant Dynamics duurt het anderhalf uur voordat de fotosynthese aan het begin van de belichtingsperiode op het niveau is dat hoort bij de gekozen belichtingsintensiteit ($80 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{s})$).

Ook in de energiezuinige strategie duurt dat anderhalf uur, maar wordt die opstart-periode ingezet bij een half zo groot elektriciteitsverbruik.

In de eerste twee uur gebruikt de referentiesituatie 98 Wh elektriciteit, waarmee 18 mmol CO_2 wordt opgenomen (het oppervlak onder de blauwe lijn van 0 tot 2 uur). In de energiezuinige situatie wordt in de eerste twee uur 14 mmol CO_2 vastgelegd met 74 Wh elektriciteit. Wanneer het aantal vastgelegde mmol CO_2 per kWh elektriciteit in die twee eerste uren van de dag wordt berekend komt dat voor de referentiesituatie op 183 mmol/kWh en voor de energiezuinige situatie op 189 mmol/kWh. De getrapte inschakeling van de belichting levert dus een kleine verbetering van de efficiëntie van de belichting in die eerste twee uur van de dag.

Na de opstart-periode zijn de benuttingsefficiënties uiteraard gelijk (230 mmol netto fotosynthese per kWh) en na 4 of 5 uur belichting is er geen noemenswaardig verschil meer in overall lichtbenuttingsefficiëntie.

Figuur 42 Opstarten van de fotosynthese in de eerste 3 uur van het etmaal in oktober in de referentiesituatie (blauw) en in de energiezuinige situatie (groen).

6.4.4 Invloed op de hoeveelheid PAR licht in de kas

De forse vermindering van het aantal belichtingsuren leidt tot een duidelijk verlaagde hoeveelheid PAR-licht in de energiezuinige situatie in vergelijking tot de referentie. In de zomer is de PAR-toetreding wat groter door het verminderde gebruik van schermen, wat mogelijk is geworden door het diffuse kasdek.

Dit is te zien in Figuur 43.

Figuur 43 Lichtbeschikbaarheid per dag in de referentiesituatie (blauw) en in de energiezuinige situatie (groen). Voor de leesbaarheid zijn de data gefilterd met een 14-daags voortschrijdend gemiddelde.

De grafiek uit Figuur 43 laat zien dat tegenover een afname van de lichthoeveelheid in de winter een toename van de lichtbeschikbaarheid in de zomer staat. Dit komt door de hogere lichttransmissie die voor het kasdek (een moderne, diffuus kasdek) verondersteld is, en de vermindering van het gebruik van het schaduw scherm, wat mogelijk is door het diffuse kasdek. De jaar som aan licht in de kas is daardoor bij de nieuwe situatie zelfs nog iets hoger dan in de referentie (6170 mol PAR/m² binnen in plaats van 6130 mol PAR binnen).

6.4.5 Invloed op de productie

Omdat er geen gewasgroeimodel bestaat voor Alstroemeria, is er voor de productieberekeningen aangenomen dat de productie evenredig is aan de fotosynthese, en dat een 10% hogere fotosynthese toename of afname tot een 10% hogere of lagere productie leidt. Uit andere gewassen weten we dat fotosynthese en productie niet altijd 1 op 1 te vergelijken zijn, omdat er andere factoren dan fotosynthese een rol spelen in de productie, zoals assimilatenverdeling, opslag in reserveorganen, aanmaak van niet-verkoopbare plantendelen, etc. Omdat de voor de referentie gesimuleerde productie de praktijkproducties redelijk goed benadert, hebben wij de fotosynthese waardes als beste benadering van de productie gebruikt.

In combinatie met de extra CO₂-dosering geeft het extra licht in de zomer ook een extra productie. Dit ondanks de afvlakkende lichtrespons curve van de Alstroemeria.

De extra productie in de zomer weegt echter niet op tegen het productieverlies in de winter door de belangrijk verminderde belichting. In de nieuwe situatie worden 399 takken geoogst, waar in de referentie 413 takken geoogst worden.

Uit de grafieken van het gemiddeld verloop van de netto fotosynthese over het etmaal is te zien dat de strategie met minder belichting door de hele winter heen tot een lagere productie leidt. Het jaarverloop van de door KASPRO berekende productie (in stuks per dag per m²) is weergegeven in Figuur 44.

Figuur 44 Berekend productieverloop door het jaar heen in de referentiesituatie (blauw) en in de energiezuinige situatie (groen). Voor de leesbaarheid zijn de data gefilterd met een 14-daags voortschrijdend gemiddelde.

6.4.6 Lichtbenuttingsefficiëntie

De gemiddelde lichtbenuttingsefficiëntie (het aantal stuks per mol, Figuur 45) is in de nieuwe situatie in de winter ook ietsje lager omdat er bij minder licht minder fotosynthese is en de onderhoudsademhaling relatief zwaarder drukt op de biomassa-productie. In de zomer is de lichtbenuttingsefficiëntie een fractie hoger. Dit is een combinatie van het effect van het diffuus glas en de hogere CO₂ dosering.

Figuur 45 Berekende lichtbenuttingsefficiëntie uitgedrukt als aantal bloemen per mol PAR licht door het jaar in de referentiesituatie (blauw) en in de energiezuinige situatie (groen). Voor de leesbaarheid zijn de data gefilterd met een 14-daags voortschrijdend gemiddelde.

6.4.7 Invloed op het elektriciteitsverbruik

De verminderde belichting leidt uiteraard wél tot een forse vermindering van het elektriciteitsverbruik. In Figuur 46 is het jaarverloop van het elektriciteitsverbruik per dag weergegeven.

In plaats van de 135 kWh/(m² jaar) die in de referentiesituatie aan belichting wordt gespendeerd, wordt er in de nieuwe situatie 81 kWh/(m² jaar) voor de belichting gebruikt.

Figuur 46 Elektriciteitsverbruik van de referentie Alstroemeria teelt (blauw) en in de energiezuinige situatie (groen).

De vermindering van het stroomverbruik in het najaar komt door de verbetering van de efficiency van de koelmachine die door de vergroting van het koelend oppervlak met een verbeterde COP kan koelen. In de energiezuinige situatie gebruikt de grondkoeling 20 kWh/(m² jr) in plaats van 25 kWh/(m² jaar). Het verbruik van ventilatoren voor de ontvochtiging is zeer gering (ordegrootte 1 kWh per m² per jaar) omdat er een hoge luchtvochtigheid geaccepteerd wordt (pas bij een RV van 88% gaan ventileren) en omdat het gebruik van bodem-afdekfolie een verlaging van de bodemverdamping oplevert.

6.4.8 Invloed op de warmtevraag

Behalve de elektriciteitsvraag is ook de warmtevraag van de energiezuinige Aalstroemeria teelt fors verlaagd. Waar er in de referentie 16.1 m³ aardgas per m² per jaar werd gebruikt is dit in de energiezuinige teelt verlaagd naar 12 m³/(m² jaar). Figuur 47 toont de verbruikscijfers per week.

Figuur 47 Gasverbruik van de referentie Alstroemeria teelt (blauw) en in de energiezuinige situatie (groen).

Het gasverbruik in de energiezuinige situatie ligt bijna altijd onder dat van de referentie. Alleen in maart is er in de energiezuinige teelt wat meer warmte nodig. Dat komt omdat in die maand in de energiezuinige situatie niet meer wordt belicht en er dus ook minder lampwarmte beschikbaar is. Het zomerse verbruik komt door het gebruik van een vocht-buis, waarmee in warmere omstandigheden een zekere verdamping wordt geforceerd.

6.4.9 Invloed op het CO₂ verbruik

Het CO₂-verbruik is door de verruiming van de doseercapaciteit in de nieuwe situatie flink toegenomen tussen april en september, zoals het te zien in Figuur 48, die het verbruik per week toont.

Figuur 48 CO₂ verbruik van de referentie Alstroemeria teelt (blauw) en in de energiezuinige situatie (groen).

Het CO₂ verbruik is in de winter lager door verminderde belichting en vermindering van de ventilatieverliezen (hogere luchtvochtigheid, temperatuurintegratie). In de zomer is het CO₂ verbruik veel hoger door de verdubbelde capaciteit. De jaarlijkse CO₂-gift neemt daardoor toe van 38 naar 48 kg/(m² jaar).

6.5 Conclusies

De energiezuinige belichtingsstrategie verlaagt het elektriciteitsverbruik met 54 kWh/m² per jaar. Daarnaast levert de vergroting van het aantal slangen in de teeltbedden een besparing van 5 kWh/m² doordat het de COP van de koelmachine verbetert. De Ventilation jets vergroten het elektriciteitsverbruik weer iets, maar netto is de elektriciteitsbesparing door de energiezuinige strategie 58 kWh/m². Het totale stroomverbruik in de referentiesituatie wordt berekend op 161 kWh/m² dus de besparing op elektriciteit is 36%.

De warmte besparende maatregelen, zoals het extra scherm, de hogere luchtvochtigheid en de ruimere temperatuurintegratie geven een forse verlaging van de warmtevraag. Die gaat van 16.1 m³/(m² jr) 11.6 m³/(m² jr), een besparing van 4.5 m³/(m² jr), ofwel 28%. Dit is exclusief de besparing op stomen, wat bij een substraatteelt niet meer nodig is. Wordt die er bij gerekend dan loopt de gasbesparing op naar 5.5 m³/(m² jr), ofwel 34%.

Het getrapt inschakelen van de belichting geeft een heel kleine verhoging van het belichtingsrendement. In de eerste twee belichtingsuren wordt 180 mmol CO₂ per kWh vastgelegd wanneer de belichting direct op vol vermogen wordt ingeschakeld, maar wordt 189 mmol CO₂ per kWh vastgelegd als de lampen het eerste uur op half vermogen worden ingeschakeld. In de uren daarna is het belichtingsrendement in beide situaties gelijk, 290 mmol CO₂/kWh. Het iets hogere belichtingsrendement in de eerste wee uur van de belichtingsperiode is zo klein dat dit in de praktijk niet zal kunnen worden teruggevonden.

De beperking van de belichting leidt wel tot een verlaging van het aantal verkochte stelen. Die daalt volgens de berekeningen van 413 naar 399. Dit is een overall productieverlaging van iets meer dan 3%. In de winterperiode is de productiedaling volgens de berekeningen veel groter (ongeveer 10%) die dan weer goeddeels gecompenseerd wordt in de zomer. De daling aan inkomsten is daarmee groter dan deze 3% omdat de prijzen in de winter hoger zijn. Daar komt bij dat eventuele kwaliteitseffecten niet in de berekening zijn meegenomen. Steelgewicht is belangrijkste factor geworden in het verdienmodel van een Alstroemeria teler. Naast een minimum kritische productie van ongeveer 300 stelen per m² per jaar voor een gangbare teelt, blijkt dat een minimum steelgewicht van 60-65 gram leidt tot een betere prijsvorming.

Steelgewichten van onder de 40 gram worden niet of nauwelijks meer gewaardeerd. Ondanks een wellicht hogere productie van 450-500 stelen per m², blijkt dit niet rendabel vanwege een onevenredige toename van arbeidskosten.

Naast door de verbetering van het zomerklimaat (meer diffuus licht) is de vermindering van de productie beperkt gebleven door de toegenomen inzet van CO₂. De verdubbelde capaciteit leidt in de zomer tot hogere CO₂-concentraties, die in combinatie met de hogere lichtbeschikbaarheid een deel van de productievermindering in de winter beperken. De CO₂-dosering is in de energiezuinige situatie 48 kg/(m² jaar) waar die in de referentiesituatie 38 kg/(m² jaar) bedraagt.

7 Discussie: leerpunten, aanbevelingen, ontwikkelingen

Tijdens de uitvoering van de verschillende werkzaamheden binnen dit project zijn veel leerpunten naar voren gekomen die tot een aanbeveling leiden. Hieronder worden ze nogmaals benoemd en besproken.

7.1 Luchten boven gesloten schermdoeken stuit op weerstand

Er heerst grote weerstand bij telers om de schermen te sluiten en te kieren met de ramen voor vochtafvoer. Dit omdat het helemaal tegen het gevoel in gaat en men de indruk heeft veel energie op deze manier te verspillen. Terwijl uit veel verschillend onderzoek blijkt dat onder een dicht scherm veel minder horizontale temperatuurverschillen zich voordoen dan onder een scherm met kieren. Er zijn minder plekken met kouval en "koude hoeken" (mits de warmteverliezen langs de gevel goed worden gecompenseerd). Deze weerstand kwam ook in dit project naar voren. Een stapsgewijze aanpak om deze weerstand te overwinnen wordt aanbevolen. In dit project is daarvoor gebruik gemaakt van de resultaten van gedistribueerde temperatuur- en vocht opnemers en is de warmtevraag nauwkeurig gevolgd. Het resultaat was overtuigend: het dicht houden van 2 schermen, gecombineerd met ruim luchten (raamkieren) boven het scherm, leidde tot voldoende vocht afvoer door de schermen, en kostte geen extra energie ten opzichte van kieren met de doeken.

7.2 Technologie testen om te verzekeren dat het doet waar het voor bedoeld is

Het onderzoek naar de mogelijkheden met een VentilationJet onder twee schermdoeken te ontvochtigen heeft laten zien dat het soms best "tobben" is met installaties. Concreet in dit geval bleek dat een goede afstelling van de installatie kritiek en noodzakelijk is. Dit geldt ongetwijfeld bij heel veel installaties. Bij deze installatie luidt heel concreet het advies:

Controleer de installatie (of laat het controleren) met behulp van metingen en indien mogelijk ook rookproeven. In dit onderzoek bleek dat de afstelling van de schoepen van de onderventilator van den VentilationJet, en de afstand tussen beide ventilatoren nauw luistert. Voordat de ventilator goed was afgesteld kwam de droge lucht niet onderin de kas, maar bleef deze langs het scherm stromen.

7.3 Beter isoleren levert een hogere kastemperatuur en bespaart veel energie

De invloed van het dubbele scherm laat (in de modelberekeningen) het gasverbruik dalen ten opzichte van een enkel scherm van $17.0 \text{ m}^3 / \text{m}^2$ naar $13.0 \text{ m}^3 / \text{m}^2$. Het effect van schermen kwam dan ook duidelijk naar voren uit de metingen met de thermische camera en de dataloggers. Zonder scherm blijft de kas koud en de warmtevraag is hoog. Bij sluiten van de schermen daalt de temperatuur in de kas-nok fors en worden de temperaturen in het gewas homogener. De sensoren die op verschillende hoogtes zijn geïnstalleerd, laten duidelijk zien hoe de aanwezigheid van schermen voor een soort temperatuurgelaagdheid zorgt van het gewas tot de lucht direct onder het kasdek en onder de nok.

De recente ontwikkelingen in de schermdoeken kunnen positief bijdragen aan het nog beter isoleren van de kas. Zo zijn er ontwikkelingen gaande om verduisteringsschermen met een luchtspouw tussen de twee doeken waaruit dit type schermen bestaan (Figuur 49) te maken. Daar wordt momenteel in de sierteelt (gerbera, Chrysant) en in de groenteteelt (paprika) ervaring mee opgedaan, en deze kennis kan ook voor gewassen als Alstroemeria nuttig zijn.

Figuur 49 Afbeelding van een verduisteringsscherm met een spouw tussen de twee, normaal op elkaar gemonteerde doeken, momenteel in onderzoek bij o.a. Gerbera.

7.4 Beter isoleren voorkomt uitstraling van het gewas

Ook in dit project is weer aangetoond dat de gewastemperatuur bij gebruik van schermen 's nachts veel minder ver onder de kasluchttemperatuur zakt dan wanneer er geen schermen gebruikt worden. Zonder scherm is een gewastemperatuur van bijna 2 graden lager dan de omgeving gemeten, ondanks een warme buis dicht boven het gewas. De aanwezigheid van twee schermen verlaagt het verschil tussen het gewas en de omgeving naar ongeveer 0.5 graden. Dit verlaagt aanzienlijk het gevaar voor condensatie van vocht uit de omgeving op het gewas en daarmee het risico voor het kiemen van schimmelziekten zoals Botrytis.

Er zijn intussen betaalbare sensoren ontwikkeld om de uitstraling te meten, en daar wordt ook ervaring mee opgedaan. Met een "Netto stralingsmeter" (Figuur 50) kan gemeten worden aan hoeveel straling het gewas netto ontvangt. Overdag is dat meestal een positief getal vanwege de grote hoeveelheid straling van de zon maar 's nachts wordt de netto straling negatief. Het gewas verliest dan energie via straling en zal dan onder de kasluchttemperatuur dalen.

Figuur 50 Netto stralingsmeter.

Onderzoekers van WUR Glastuinbouw (de Zwart en Baeza, 2016) hebben ook een rekenmodule ontwikkeld, de "uitstralingsmonitor", die met behulp van buiten en binnentemperaturen, kasdek materiaal en schermmateriaal de netto uitstraling berekent en het effect daarvan op de gewastemperatuur bepaalt. In Figuur 51 wordt een voorbeeld gegeven van het resultaat van deze berekeningen met de "Uitstralingsmonitor". Op deze manier kan vooraf worden berekend aan de te verwachten effect van een bepaalde type scherm op de uitstraling door het gewas.

Figuur 51 Berekening van temperatuur op gewashoogte in een gegeven situatie, links zonder gebruik van scherm, rechts met gebruik van een energiescherm.

7.5 Schermen eerder sluiten aan het einde van de dag kan snelle gewasafkoeling voorkomen.

Uit de metingen bleek dat de grootste gewasafkoeling vindt plaats vlak voor zonsondergang, terwijl de schermen nog niet, of nog niet helemaal gesloten zijn. Door de (transparante) schermen eerder te laten sluiten dan de zon ondergaat zou deze plotselinge afkoeling kunnen worden voorkomen.

7.6 Minder ongecontroleerd vocht inbrengen verlaagt de hoeveelheid af te voeren vocht uit de kaslucht

Minder vocht in de lucht om af te voeren verlaagt de behoefte aan luchtuitwisseling met de buitenlucht in de moeilijke momenten in het jaar. Dit resulteert in een verdere verlaging van het energieverbruik.

De verdamping uit de bodem en uit gewasresten is gemeten. Hieruit blijkt dat wanneer er gekozen wordt voor ontvochtiging met bijvoorbeeld een VentilationJet zou het aantal ventilatoren dat nodig is voor een gegarandeerde vochttafvoer verlagen van 1 per 320 m² naar 1 per 500 m² kasoppervlak indien de verdamping vanuit de bodem en de gewasresten op het pad verlaagd kan worden.

7.6.1 Bodem isoleren verlaagt verdamping uit de bodem en koelbehoefte

Verdamping uit de bodem in februari vergroot de hoeveelheid af te voeren vocht met 25 gram per uur. Afdekken van het teelt bed met een isolerende laag losse Styromull heeft daarom een positief effect op de hoeveelheid water wat uit de bodem in de lucht komt: Deze neemt af met 9% tot 53%, afhankelijk van de dikte van de isolatielaag.

Tussen een teelt bed in de grond of een teelt bed op substraat is het gemeten verschil in bodemverdamping klein. In gebieden met veel inzijging van boezemwater kan de overgang van grond naar substraat voor een belangrijke verlaging van de hoeveelheid af te voeren vocht zorgen, en tegelijkertijd de emissie problematiek te verbeteren.

Bodem isolatie verlaagt tevens de koelbehoefte. In de energiezuinige situatie gebruikt de grondkoeling 20 kWh/(m² jr) in plaats van 25 kWh/(m² jaar).

7.6.2 Gewasresten afvoeren verlaagt bodemverdamping en verbetert bedrijfshygiëne

Uit de bodemverdampingmetingen blijkt ook dat gewasresten (loze takken, te dunne of kromme takken) die op het pad worden gegooid 5 tot 10 gram per uur aan extra vochtproductie leveren. Deze resten afvoeren in plaats van in het pad te gooien zal de luchtvochtigheid en/of de hoeveelheid af te voeren vocht verlagen. De platgetrapte resten achteraf opruimen heeft minder zin dan direct afvoeren aangezien de vochtige grond onder de resten dan toch nog veel verdampt.

De argumenten om gewasresten op de bodem te laten om de vochtvoorziening in de kas in de zomer te verbeteren zijn niet zo sterk, omdat er veel beter regelbare manieren zijn om vocht in te brengen in de moeilijke momenten in de zomer. Verneveling bijvoorbeeld is goed regelbaar en heeft een veel grotere capaciteit.

Het argument dat deze resten afvoeren arbeid kost, is begrijpelijk, maar is niet onoplosbaar. Het vraagt wel een andere manier van werken en mogelijk een ander ontwerp van de oogstwagentjes waar de goede bloemen worden gelegd, met een apart onderdeel voor de af te voeren resten. Geen verterende resten in het pad zullen ook ongetwijfeld bijdragen aan een verbeterde bedrijfshygiëne. De bloemen met trips of luizen op het pad bieden nog voldoende voeding aan de niet afgevoerde trips, en paden vol gewasresten bieden vocht, voeding en een perfecte schuilplek voor plagen als slakken en trips. Met vangplaten dicht bij de bodem in kooien of bakjes op de bodem (ongepubliceerd) worden trips gevangen. Als men erin slaagt door een verbeterde hygiëne de plaagdruk te verlagen, bespaart het ook indirect arbeid voor het uitvoeren van bestrijdingen. Minder ziekten en plagen als neveneffect van energiezuinig.

7.7 CO₂ uit bodem, gewas(resten)respiratie en verruiming doseercapaciteit

Gemeten is tevens dat de gewasresten op het pad voor een verhoogde CO₂-levering aan de lucht zorgen ten opzichte van een schoon pad. Ervan uitgaande dat dit door het gewas zou kunnen worden benut, dan zou het naar schatting tot een besparing van maximaal 2 kg CO₂ -dosering per m² per jaar kunnen leiden¹. Echter, gedurende de nacht wordt geen CO₂ door het gewas vastgelegd, terwijl de afbraak van plantenresten gewoon doorgaat. Niet alle vrijkomende CO₂ is dus productief, en in de winter mogelijk zelfs contraproductief. Bij gesloten ramen kan de concentratie zo ver oplopen dat roofmijt populaties er onder leiden (pers. comm. J. Pijnakker) en huidmondjes er aan het begin van de lichtperiode door gesloten blijven.

De bovengenoemde redeneringen maken het niet overtuigend dat verterende gewasresten een duidelijk positieve invloed hebben op de CO₂ huishouding.

Overigens is in het energiezuinige teeltconcept berekend dat het CO₂ verbruik op jaarbasis naar 48 kg/m²jaar stijgt. Dit vanwege de verdubbelde doseercapaciteit van 100 in de referentie, naar 200 kg /ha uur, een huidige trend uit de praktijk. Dit verdient verdere verdieping met de praktijk en mogelijk onderzoek; het is de vraag of de verwachte productietoename in de zomer de kosten van die 100 kg extra CO₂ goedmaken.

Beide zijn open vragen voor eventueel vervolg onderzoek.

¹ Een gewas neemt per jaar ongeveer 8 kg CO₂ per m² op. Een deel van die CO₂ wordt met de verkoop van het product afgevoerd. De rest blijft in de biomassa van de wortels en afvallend blad in de kas achter. Als we aannemen dat de helft van de biomassa wordt verkocht, een kwart in de wortels gaat zitten en een kwart in de gewasresten, dan wordt er met het afvoeren van de gewasresten 2 kg CO₂ per m² uit de kas weggehaald. Als dit was blijven liggen dan was het langzaam verteerd, waarbij uiteindelijk de CO₂ weer vrijkomt. Afvoeren van plantenresten zal dus de behoefte aan CO₂-dosering iets kunnen verhogen, maximaal 2 kg/m².

7.8 “Slim belichten” bij Alstroemeria is eerder meer dan minder belichten

Elektra besparen kost productie. Dit bleek uit de berekeningen aan de gevolgen van een energiezuinige belichting strategie (belichten alleen op de meest nuttigere uren en “Getrapt inschakelen van de belichting” (het 1^e uur 50 % belichting aan) hebben laten zien dat het weliswaar mogelijk is om op deze manier elektriciteit te besparen (tot 53 kWh/m²), maar dat deze besparing niet onbestraft blijft: de verlaagde hoeveelheid PAR-licht in de winter in vergelijking met de referentie leidt in de maanden oktober t/m februari tot meer dan 10% productievermindering. In de berekeningen aan het nieuwe systeemconcept wordt er door een verbeterd lichtregime in de zomer weliswaar een productiestijging gerealiseerd, zodat de jaarproductie ‘slechts’ 3% afneemt, maar met lage prijzen in de zomer en hogere prijzen in de winter pakt zo’n forse productiedaling in de winter slecht uit. Ook is het te verwachten dat de productkwaliteit bij verminderde lichttoediening afneemt. Vooral ook omdat op dit moment de stroomkosten laag zijn betekent “slim” belichten in de Alstroemeria voor de meeste tuinders eerder meer belichten dan minder belichten.

De verklaring ligt in de lage lichtniveaus waarmee belicht wordt in de Alstroemeria teelt, die liggen in het gebied waarbij de fotosynthese nog lineair stijgt met iedere micromol extra licht. De eerste micromolen PAR licht zijn bovendien nodig om de donkerademhaling te compenseren. Daarom levert het effect van getrapt inschakelen in het eerste uur ook maar een heel kleine verbetering van het belichtingsrendement dan meteen inschakelen op volle lampkracht.

Met de constatering dat slim belichten in de Alstroemeria teelt betekent dat er gekeken moet worden naar verhoging van de intensiteit (en misschien ook naar verlenging van het aantal belichtingsuren) wordt het vanuit het oogpunt van energieverbruik steeds belangrijker om de warmte die van de lampen komt zoveel mogelijk te gebruiken voor de verwarming van de kas. Bij meer belichting daalt de behoefte aan warmte inbreng. Eerder in dit rapport (6.2.1) is een relatie (ervaringsgetal) genoemd tussen belichtingsintensiteit en kastemperatuur (ca. 0.7 °C kastemperatuur per 1000 lux aan geïnstalleerd vermogen). De relatie tussen belichtingsintensiteit en gasverbruik is als vuistregel en bij gebruik van schermen (Het Nieuwe Telen, maar zonder het “slimme belichten”) als volgt: het gasverbruik daalt met 0.06 m³/(m² jaar) per μmol/(m² s) belichtingsintensiteit (uitgaande van het standaard, dus niet “slimme” aantal belichtingsuren). Verhoging van het lichtniveau van 80 naar 100 μmol/(m² s) belichting doet de warmtevraag met 1.2 m³ per jaar afnemen.

Naarmate de stroomproductie in de komende jaren zal verduurzamen wordt de milieu-impact van een toenemende belichting navenant kleiner. En met de voortgaande ontwikkeling van LED’s kunnen steeds hogere lichtintensiteiten worden gerealiseerd bij gelijkblijvend stroomverbruik. Een voorbeeld van verhoging van het lichtniveau met een bescheiden toename van de elektra kosten (een hybride systeem SON-T en LED) is momenteel (2017 tot half 2018) in onderzoek op een Alstroemeria praktijkbedrijf.

7.9 De systeemstap naar een energiezuinige Alstroemeria teelt

Uit de bovenstaande deelconclusies, leerpunten en discussies kunnen we concluderen dat de sleutel voor een systeemstap in Alstroemeria niet in minder belichten lijkt te liggen, maar in:

- Beter isoleren (met schermen en met los bodemisolatie materiaal; dit laatste verlaagt tevens de koelbehoefte).
- Zoeken naar de grens qua luchtvochtigheid zonder dat de houdbaarheid en de kwaliteit van het blad eronder leiden.
- Een betere vochtbeheersing en een verbeterde bedrijfshygiëne realiseren door:
 - Minder ongecontroleerd vocht inbrengen (bodem met een isolerend laag los materiaal afdekken, gewasresten direct afvoeren tijdens het oogsten).
 - Een goed systeem aanleggen voor geforceerde ventilatie tijdens moeilijke momenten.
 - Zonder aarzelen de ramen boven de gesloten schermen te openen.
 - Verbeteren lichtdoorlatendheid en toepassing van verneveling in de zomer.

Literatuur

De Groot, M., 2008.

Minder belichten Alstroemeria in de winter geen optie. Vakblad voor de Bloemisterij 47, p.46-47.

Garcia Victoria, N. ; Helm, F.P.M. van der; Warmenhoven, M.G. 2015.

Praktijkproef LED Alstroemeria: invloed licht spectrum op bladkwaliteit, bouwstenen voor energiebesparing.
WUR Glastuinbouw Rapport GTB- 1337

García Victoria, N.; Van Weel, P. 2015.

Vocht afvoeren bij Alstroemeria onder dubbel scherm mogelijk met VentilationJet. <https://www.kasalsenergiebron.nl/nieuws/>

Labrie, Caroline en De Zwart, Feije. 2010.

Het nieuwe Telen Alstroemeria. Energiezuinig teeltconcept snijbloemen met een lage warmtebehoefte. WUR Glastuinbouw Rapport GTB-1031

Trouwborst, G., Hogewoning S. en Pot, S. 2015

Meer rendement uit licht en CO₂ bij Alstroemeria

Van der Helm, F., van Weel, P. en Raaphorst, M., 2012.

Droge buitenlucht toevoeren bij Alstroemeria. Praktijkproef naar de invloed van droge buitenlucht toevoeren op microklimaat en gewas in Alstroemeria. WUR Glastuinbouw Rapport GTB-1180.

Van Weel, P., Labrie, C., Van der Helm, F., 2011.

Het Nieuwe Telen Freesia. Ontwerpt van een energiezuinige teeltconcept. Rapport GTB-1099

Voogt, W., 2016.

Lysimeter icm verdampingsmodel hulpmiddel voor verminderde uitspoeling bij Alstroemeria. Onderdeel Glastuinbouw Waterproof. Presentatie voor LGC Alstroemeria.

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

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

Glastuinbouw Rapport GTB-1372

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

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