



Analyse luchtsysteem Marjoland IV

J. Bontsema, R. Baas, J. Fransen, J. O. Voogt, P.A. van Weel



Referaat

Bij Marjoland in Waddinxveen is een installatie aangebracht waarmee via slurven een mengsel van opgewarmde buitenlucht en gecirculeerde kaslucht onder het gewas wordt geblazen. Daarmee hoopt men kleinere temperatuurverschillen in de kas te krijgen en vocht op een goedkopere wijze af te voeren dan met een minimum buis. Uit metingen bleek dat de horizontale temperatuurverschillen veroorzaakt werden door een koude luchtstroom boven het doek die niet met de luchtblaasinstallatie gecompenseerd konden worden, maar wel met verticale schotten boven het schermdoek. Na deze ingreep is geleidelijk de verhouding kaslucht en buitenlucht zodanig gewijzigd, dat er steeds meer buitenlucht werd toegevoerd. Daarmee kon nagenoeg altijd het vochtdeficit boven 2,0 g/kg worden gehouden. Afhankelijk van de buitencondities werd 60 g/m²kas/uur vocht afgevoerd. Er was weinig energie nodig voor de ventilatoren en voor het opwarmen van de buitenlucht. De minimum buis kon 8 graden lager en de rookgaskoeler van de WKK werd beter benut. Dit onderzoek is gefinancierd door het Productschap Tuinbouw en het Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie.

Abstract

At Marjoland in Waddinxveen in the greenhouse an installation is put in, which is made of flexible hoses, through which a mixture of heated air and recirculated greenhouse air is blown under the crop. The idea is that in this manner one reaches smaller temperature differences in the greenhouse and to remove moisture at cheaper way from the greenhouse than using a so-called minimum pipe. Measurements showed that the horizontal temperature differences were caused by a cold air flow above the screen with could not be compensated by the air inlet system. This problem has been solved by installing vertical partitions above the screen. After this adjustment the ratio between of greenhouse air and outside air gradually has been changed so that more and more outdoor air was supplied. In this way almost always the moisture deficit could be kept above 2.0 g/ kg. Depending on outdoor conditions 60 g/m² greenhouse/hour moisture was removed. There was little energy needed for the fans and for heating the outdoor air. The minimum pipe temperature could be decreased with 8 degrees and the flue gas cooler of the CHP-unit was better exploited. This research was financed by the Dutch Horticultural Product Board and the Ministry of Economic Affairs, Agriculture and Innovation.

© 2012 Wageningen, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO), onderzoeksinstituut Wageningen UR Glastuinbouw.

Wageningen UR Glastuinbouw

Adres : Droevendaalsesteeg 1, 6708 PB Wageningen
: Postbus 644, 6700 AP Wageningen
Tel. : 0317 - 48 63 90
Fax : 0317 - 41 80 94
E-mail : glastuinbouw@wur.nl
Internet : www.glastuinbouw.wur.nl

Inhoudsopgave

	Voorwoord	5
	Samenvatting	7
1	Inleiding	9
	1.1	Systeembeschrijving 9
	1.2	Onderzoeksvragen 9
	1.2.1	Hoe zou het systeem naar verwachting moeten werken? 10
	1.2.1.1	Schermbesluiting zonder belichting 10
	1.2.1.2	Schermbesluiting met belichting 10
	1.2.1.3	Schermbesluiting open 10
	1.3	Doelstelling 11
2	Technische prestatie luchtsysteem	13
	2.1	Het LTO systeem en gehanteerde meetmethoden 13
	2.1.1	LTO buitenluchtventilatiesysteem 13
	2.1.2	Gebruikte meetmiddelen 16
	2.1.3	Meetmethoden 17
	2.2	Beproeving en meetresultaten 19
	2.2.1	Beproeving 19
	2.2.2	Meetresultaten 20
3	Klimaatmetingen	39
	3.1	Meetsysteem 39
	3.1.1	De meting van temperatuur en RV 39
	3.1.2	De weeggoten 40
	3.1.3	Netto stralingsmeter 42
	3.1.4	Rookproeven 43
	3.2	Resultaten metingen. 43
	3.2.1	De invloed van het luchtblazen 43
	3.2.2	Horizontale en verticale temperatuurverschillen 45
	3.2.3	De invloed van wind op de temperatuurverschillen 48
	3.2.4	Effect van het volledig sluiten van het doek 51
	3.2.5	De invloed van de luchtblaasinstallatie op de temperatuurverschillen 52
	3.2.6	Rookproeven om de bron van de temperatuurverschillen te vinden 53
	3.2.7	De invloed van wind na het aanbrengen van schotten 55
	3.2.8	Invloed luchtblazen op het vochtdeficit 55
	3.2.9	De verdamping 59
	3.2.9.1	Energiebalans 63
	3.3	Invloed luchtblaas installatie op energiebesparing en op klimaat binnen het gewas. 67
	3.3.1	Energieverbruik ontvochtiging 67
	3.4	Stroomverbruik ventilator luchtbehandelingskast 70
	3.5	Welke invloed heeft de luchtblaas installatie op energiebesparing en op het klimaat binnen het gewas? 71
	3.6	Meting Buiten RV 72
	3.6.1	Probleembeschrijving RV meting 72
	3.6.2	Oplossingsrichtingen voor betere buiten RV meting 73

4	Klimaatregeling	75
4.1	Doelstellingen klimaatregeling Roos	75
4.2	Voorgestelde regeling geforceerde ventilatie	76
4.3	Energiebalans kas en gewas	77
4.3.1	De energiebalans onder kunstmatige belichting	78
4.3.2	Kwalitatieve beschrijving van de energiebalans	79
4.3.3	De energie en vochtbalans	82
4.3.4	Schatting warmteverliezen van de kas	83
4.3.5	Toekomst perspectief sturing op verdamping	84
4.3.6	De invloed van het ventilatiesysteem op de vochtbalans	84
4.4	Beschouwing over de knoptemperatuur op basis van energiebalans	85
4.4.1	Inleiding / probleemstelling	85
4.4.2	De energiebalans van de bloemknop	86
4.4.3	Afkoeling door het natte bol effect	87
4.4.4	Afkoeling door uitstraling	88
4.4.5	Opwarming door straling van de zon of een verwarming	88
4.4.6	Opwarming door straling van de lampen	89
4.4.7	Opwarming en afkoeling door convectie	90
4.4.8	De energiebalans onder het gesloten schermdoek	90
4.4.9	Te hoge bloemknop temperatuur bij instraling	93
4.4.10	Toetsing van hypothesen over de knoptemperatuur	95
5	Meting verdamping bij Marjoland	97
5.1	Inleiding en doel	97
5.2	Uitvoering	97
5.3	Evaluatie	104
6	Conclusies	105
6.1	Technische prestatie luchtsysteem	105
6.1.1	Algemeen	105
6.1.2	Onderhoudstoestand	105
6.1.3	Proeven	105
6.2	Zijn de doelstellingen gehaald?	106
6.2.1	Invloed op het klimaat	106
6.2.2	Invloed op de ruimtelijke verdeling	107
6.2.3	Invloed op het energieverbruik	108
6.2.4	Aanzuigen van insecten en schadelijke gassen	108
6.2.5	Gewasreacties	108
6.3	Discussie en aanbevelingen	108
6.3.1	Overdruk	108
6.3.2	Horizontale temperatuurverschillen verder verkleinen	109
6.3.3	Minimum buis volledig uitbannen	109
6.3.4	Minimum buis uitbannen met alleen een luchtblaasinstallatie	110
6.3.5	Regeling van de installatie	110
7	Referenties	111
Bijlage I	Stefan - Boltzmann law	113
Bijlage II	Onder Glas, nummer 11, november 2011	115

Voorwoord

Voor u ligt het eindrapport van het project “Analyse luchtsysteem Marjoland IV”. In dit project is onderzoek gedaan naar de prestaties van een installatie in een rozenkas waarmee via slurven een mengsel van opgewarmde buitenlucht en gecirculeerde kaslucht onder het gewas wordt geblazen.

Het project is gefinancierd door het Ministerie van Economische Landbouw en Innovatie en het Productschap Tuinbouw, in het kader van het programma “Kas als Energiebron”. Wij bedanken beide instanties voor deze ondersteuning.

Dit onderzoek is uitgevoerd door:

R. Baas, FytoFocus (hfdst 5)

J. Fransen, LekHabo (hfdst 2)

J.O. Voogt, Hoogendoorn Growth Management (hfdst 4)

P. van Weel, Wageningen UR Glastuinbouw (hfdst 3).

Het onderzoek is uitgevoerd bij Marjoland IV in Waddinxveen. Wij bedanken de eigenaar J. van den Nouweland en de bedrijfsleider A. Rook voor het mogelijk maken van het onderzoek op hun bedrijf en voor de actieve ondersteuning van het onderzoek.

Het onderzoek is begeleid door de BCO Roos Ventilatie onder leiding van LTO Groeiservice. Wij bedanken de leden van de BCO voor de opbouwende discussies tijdens de bijeenkomsten.

J. Bontsema, projectleider

Wageningen, maart 2012

Projectreferenties

WUR Glastuinbouw projectnummer: 3242092310

PT projectnummer: 13995

EL&I programma: Kas als Energiebron

Samenvatting

Snijrozen kennen een constante hoge verdamping door het gebruik van kunstlicht. Met name bij het afschermen van de teelt om lichthinder te voorkomen kan dit leiden tot een te hoge RV tussen het gewas. Doordat er veel stralingswarmte bovenop het gewas terechtkomt, kan het onderin het gewas relatief koud worden met condensatie als gevolg. In de huidige praktijk wordt dit bestreden door permanent een buis van 40-50 graden onderin het gewas aan te houden. Dat heeft behalve extra energieverbruik ook tot gevolg dat de verdamping onnodig extra wordt verhoogd. De oplossing is gezocht in een systeem dat via slurven onder het gewas geconditioneerde lucht door het bladpakket stuwt. Het gaat daarbij om een instelbaar mengsel van kaslucht en tot kastemperatuur opgewarmde buitenlucht. Ruim een jaar lang is dat systeem beoordeeld op een bedrijf met cv "Passion". Hoewel er warmere lucht in de slurf werd geblazen dan kastemperatuur bleek het aan de gevel nog steeds 6-8 graden kouder dan in de rest van de kas, ook met een minimum buis van 50 graden. Met een rookproef kon worden aangetoond dat de oorzaak gelegen was in een luchtstroming boven het schermdoek. Warme lucht stijgt op door de kieren in het doek en koelt boven het scherm af. Omdat het kasdek naar de gevel toe afloopt in verband met waterafvoer, heeft de afgekoelde lucht de neiging naar de gevel te stromen. In een zone van ongeveer 10 meter breedte langs de gevel zakt de koude lucht door de kieren. De hoeveelheid lucht die daar omlaag komt is ongeveer 4 keer zoveel als de iets warmere lucht die uit de slurven komt. Door het plaatsen van verticale schotten boven het schermdoek kon de koude luchtstroom sterk worden verminderd. Vervolgens kon worden gekeken wat de luchtblaasinstallatie kon presteren. Daarbij waren er twee beperkingen. Het toerental van de ventilator werd door de gebruiker niet hoger ingesteld dan 60% van de maximale waarde van 12 m³/m²/uur in verband met mogelijke geluidsoverlast voor de burens. Na plaatsing van een extra geluidsbarrière bleef deze ruim binnen de wettelijke norm. De tweede beperking zat in het limiteren van de toegelaten hoeveelheid buitenlucht om te voorkomen dat er te koude lucht onderin het gewas zou worden geblazen. Daardoor kon er maximaal 6,5 m³/m²/uur buitenlucht de kas in worden gebracht. Daarmee kon het hele jaar, op een beperkt aantal momenten na, het vochtdeficit boven de gewenste 2,0 g/kg worden gehouden. Afhankelijk van de buitencondities kon 60 g/m²/uur vocht worden afgevoerd. Dat verbruikte aan stroom 3,7 kWh/m². In totaal is er 70 kWh/m² aan warmte toegevoerd aan de ingevoerde lucht. Dankzij de luchtblaasinstallatie kon de minimum buis 8-10 graden lager worden gezet en kon 9% extra warmte uit de rookgassen worden gewonnen dankzij de lage water aanvoertemperatuur van maximaal 35 graden. De luchtblaas installatie kon zonder zichtbare effecten op het gewas zorgen voor een goed klimaat. Maar de resterende horizontale temperatuur verschillen kun je er nauwelijks mee werken. Lucht die warmer wordt ingeblazen dan de kaslucht koelt onderweg af, maar heeft een te klein volume om grotere temperatuurverschillen dan 2 graden weg te werken. Bovendien valt er weinig te regelen aan de uitstroom van de warmte over de lengte van de slurf. Het plaatsen van schotten boven het schermdoek had in dat opzicht veel meer effect, maar zal nog wel verder verbeterd moeten worden omdat er altijd nog een temperatuurverschil van 2 graden resteerde. Uit een rookproef bleek dat die verschillen kleiner werden wanneer het scherm volledig gesloten werd. Alleen ontstond er dan wel een laag stilstaande lucht boven het gewas met als gevolg een dood klimaat tussen het gewas, zelfs wanneer de slurven bliezen. Er is aangetoond dat de doorstroming door het gewas verbeterd wanneer de gaten in de slurven omhoog gericht zijn. Uit de metingen bleek ook dat de raamstand van grote invloed is op het stromingsbeeld. Als ze dicht staan neemt het luchtdebiet in de slurven af en stroomt de lucht vooral in de looppaden richting hoofdpad, waar zich de toegangsdeur tot de afdeling bevindt. Staan de ramen meer dan 2% open, dan ontstaat er een meer verticale luchtstroom en neemt het debiet aan lucht toe bij dezelfde ventilatorstand. Het lijkt mogelijk om op basis van dit soort ervaringen de minimum buis nog verder terug te dringen. Bij een vermindering van het geïnstalleerde WK vermogen of het toenemen van de eisen aan lichtafscherming kan dit nuttig zijn.

1 Inleiding

Op het rozenbedrijf Marjoland IV is recent in een nieuw gebouwde bedrijf van 6ha een klimaatbeheersingssysteem onder de teeltgoten aangelegd waarmee afwisselend of gelijktijdig kaslucht en buitenlucht onder het gewas kan worden geblazen. Deze lucht kan aan de gevel worden opgewarmd. De verwachting is dat dankzij dit systeem schermdoeken voor lichtafscherming of energiebesparing volledig of in ieder geval vaker en dichter gesloten kunnen worden omdat lampwarmte beter verdeeld kan worden over het gewas en vochtafvoer onder het scherm goed geregeld is. Dit systeem is nieuw voor de rozenteelt. De verwachtingen over de potenties op het gebied van energiebesparing en de mogelijkheid om de kwaliteit van het product verder te verhogen zijn hoog. Mede daardoor en omdat een rozengegewas hele specifieke eisen stelt aan het kasklimaat om een kwaliteitsproduct te kunnen leveren, is het gestructureerd leren omgaan ermee van groot belang voor alle rozentelers. Dit project beoogt om via metingen de voor- en nadelen, de grenzen en de mogelijkheden van het systeem te verkennen en uit te dragen aan de sector.

1.1 Systeembeschrijving

Het systeem bij Marjoland IV bestaat uit:

Een Lucht Behandeling Kast (LBK) waarin een kaslucht klep, een buitenluchtklep en een verwarmingsblok zijn aangebracht. In de buitengevel en in het midden van elke kap van 12 meter is een LBK geïntegreerd. De verwarmingsblokken worden gevoed met LT warmte uit condensoren en interkoelers.

Op elke LBK is een luchtverdeler van gewapend kunststof aangesloten.

Onder elk bed is een slang van 100 meter met perforaties opgehangen en per 6 aangesloten op de luchtverdelers.

Door middel van de kasluchtklep en de buitenluchtklep kan worden gekozen voor het aanzuigen van kaslucht of buitenlucht of een mengsel daarvan. Circuleren van kaslucht creëert luchtbeveging in het gewas of kan gebruikt worden als een hetelucht verwarmingssysteem. Als buitenlucht wordt toegevoerd zal deze altijd op kastemperatuur worden gebracht. Doel van buitenlucht toevoer is ontvochtiging door middel van vervanging van vochtige kaslucht door drogere buitenlucht. Het verschil met gewoon luchten via de luchtramen is dat de hoeveelheid luchtuitwisseling exact kan geregeld en de droge lucht tussen het gewas wordt geblazen. Het combineren van kasluchtcirculatie met buitenlucht levert een gecombineerd effect op van droge buitenlucht die met een relatief groot luchtdebiet binnen het gewas wordt gebracht. De LBK kan bij vollast 10 m³/m²/uur lucht verplaatsen.

Kenmerken Lekhabo LT overdruk vochtreguleringsysteem:

Elimineren vochtprobleem in groente- en sierteelt; Schermen kunnen altijd gebruikt worden; Voor elke toepassing specifiek maatwerk; Integratiegraad LBK in gevel vergt geen teeltruimte; Warmtewisselaar waarvan de luchtweerstand 30% lager is; Met lagere watertemperaturen nog voldoende vermogen over te dragen; Veel minder elektriciteitsverbruik; Hoge geluidsreductie; Veel energie te besparen; Thermisch rendement van de WKK kan dus ook nog eens duidelijk verbeterd. De kosten van het in dit rapport beschreven systeem bedraagt circa een tiende van de kosten van een gesloten kas concept.

1.2 Onderzoeksvragen

Zijn de bovenvermelde claims gerechtvaardigd? Daarvoor zijn de volgende vragen te beantwoorden:

1. Waaruit bestaat het vochtprobleem? Wanneer, op welke plek en hoe gedefinieerd in fysische termen.
2. Wat verandert het vochtreguleringsysteem in fysische zin aan de lokale omstandigheden van het plantonderdeel waar het vochtprobleem zich manifesteerde.
3. Welke gevolgen heeft het systeem voor de rest van de plantomgeving.
4. Welke invloed heeft de regeling op de fysische prestaties van het systeem.

1.2.1 Hoe zou het systeem naar verwachting moeten werken?

Op zich zijn deze vragen heel complex en erg moeilijk los van elkaar te beantwoorden omdat in een kassysteem het klimaat en de plant op elkaar reageren. Onbewust regelen we bij nieuwe systemen het klimaat op een traditionele manier waardoor een deel van de beoogde effecten verloren kan gaan. Door vooraf een hypothese op te stellen over de vraag hoe de interactie plant/klimaat bij het nieuwe systeem onder specifieke omstandigheden zal verlopen, wordt het probleem in kleinere stukken opgedeeld en beheersbaar.

1.2.1.1 Scherm gesloten zonder belichting

In deze situatie zal met name in het najaar de absolute vochtigheid binnen het gewas hoog zijn door gebrek aan luchtbeweging, gebrek aan energietoevoer en gebrek aan dampdrukverschil met buiten. Kleine temperatuurverschillen leiden dan al tot hoge lokale RV's en kans op condens. Met de luchtslangen verlaag je de temperatuurverschillen en wordt vocht verplaatst. Daar waar geen luchtbeweging is (binnen het bladpakket?) zal dit effect er niet zijn. Omstromen met lucht met een lagere vochtinhoud zal een dampdrukverschil opwekken en langs die weg vocht afvoeren. Als de buitenlucht evenveel vocht (in gram/kg lucht) bevat als de kaslucht zal er geen vochtafvoer kunnen plaatsvinden tenzij de kaslucht temperatuur wordt verhoogd doordat extra warmte wordt toegevoegd. Dat kan beter met de buizen gebeuren dan met de LBK aan de gevel omdat de temperatuurverschillen over de lengte van de slang dan zullen toenemen en constant op dezelfde plek liggen. Bij roos is extra verhoging van de kastemperatuur eigenlijk ongewenst. Er kan worden nagedacht over een ontvochtigingssysteem in de gevelunit.

Is de absolute vochtigheid buiten lager dan binnen, dan kan worden uitgerekend wanneer het extra stroomverbruik het aanzetten van het systeem rechtvaardigt op basis van het vochtafvoerend vermogen of op basis van de verbetering van het microklimaat als gevolg van luchtbeweging.

Actief de kastemperatuur verlagen door buitenlucht in te blazen levert weer het probleem op van temperatuurverschillen over de slang. Maar door het stimuleren van de verdamping kan wel de bladtemperatuur en dus de kastemperatuur verlaagd worden omdat het gewas dan fungeert als "koelmachine".

1.2.1.2 Scherm gesloten met belichting

In deze situatie is er een ongewenst verticaal temperatuurverschil en zal er een warme deken bovenin de kas hangen die luchtbeweging in het gewas zal belemmeren. Ondanks het gebrek aan luchtbeweging is de verdamping wel hoog door de energietoevoer van de lampen. Een luchtslang zal droge lucht in kunnen brengen om dat vocht af te voeren. Maar omdat de verdamping relatief hoog is door de belichting kan het systeem mogelijk te weinig presteren om een specifieke verdamping in stand te houden. Het absolute vochtgehalte tussen het gewas neemt dan toe en zal de verdamping enigszins drukken en tegelijkertijd de RV lokaal verhogen zolang de temperatuur niet oploopt. Condensatie door temperatuurverschillen ligt dan op de loer. In hoeverre de luchtbeweging voldoende groot zal zijn om de verticale temperatuurverschillen op te heffen is ongewis. Dat hangt af van de vraag in hoeverre de twee luchtlagen zullen mengen. Mengen ze niet dan zal er tussen het gewas een egale temperatuuropbouw kunnen zijn. Mengen ze wel dan kunnen er lokale verstoringen optreden van naar beneden komende lucht. De inzet van een buisverwarming speelt daarin ook een belangrijke rol. In principe zou deze zo lang mogelijk uit moeten blijven om geen extra verstoring te krijgen, tenzij het daardoor te koud wordt binnen het gewas. Extra koelen of verwarmen via de slangen moet ook weer heel voorzichtig worden gedoseerd om temperatuurverschillen over de slang te voorkomen.

1.2.1.3 Scherm open

Ook overdag kan door het dichte bladpakket lokaal vochtophoping optreden. In principe is dat dan een gevolg van een slechte temperatuur verdeling en gebrek aan luchtbeweging. De luchtslangen zouden in die situatie vooral de verschillen moeten opheffen. Er zou dan volstaan kunnen worden met binnenlucht circulatie. De vraag die moet worden beantwoord is in welke mate er (gelijkmatige) luchtbeweging door de luchtslangen wordt bewerkstelligd.

Overwegingen die hebben geleid tot aanschaf van dit systeem

De aanschaf van dit systeem is gebaseerd op een aantal verwachtingen. De belangrijkste daarvan zijn:

1. Betere verticale temperatuurverdeling bij belichting zelfs met minder inzet van laagliggende verwarmingsbuizen. Daardoor minder hoge etmaal temperatuursommen, goed voor verbetering van de kwaliteit in de vorm van zwaardere stelen en dikkere knoppen.
2. Betere vochtafvoer tussen het ingebogen bladpakket, waardoor minder last van vochtblaadjes of schimmelziekten.
3. Geen schermkieren meer nodig om vocht af te voeren waardoor er geen tocht en kouval meer optreedt.
4. Betere horizontale temperatuurverdeling tussen het gewas zolang de inblaastemperatuur heel dicht bij de gewenste kasluchttemperatuur ligt.
5. Betere benutting van laagwaardige warmte van WKK's voor kasverwarming

Twijfels bij de aanschaf van het systeem

Daarnaast zijn er een aantal onduidelijkheden die een zeker risico vormen bij de overweging tot aanschaf:

1. Aanzuigen van insecten en schadelijke gassen.
2. Temperatuurverschillen over de slang bij te hoge inblaastemperatuur.
3. Te weinig invloed van slang op knophoogte.
4. Op basis van welke parameters moet het systeem bestuurd worden en dan met name het toerental van de ventilator en de verhouding buitenlucht/kaslucht.

Deze risico's zijn te vertalen in een aantal concrete vragen die gesteld kunnen worden en directe aanleiding waren voor de aanvraag van dit onderzoek.

1. Welk effect heeft extra luchtbeweging via slangen onder het gewas op het microklimaat tussen het gewas en op de verdamping?
2. Welk effect heeft ontvochtigen met buitenlucht via slangen onder het gewas op het microklimaat tussen het gewas en op de verdamping?
3. Kan lampwarmte omlaag worden gehaald met kaslucht circulatie?
4. Tot welke buitencondities heeft buitenlucht aanzuiging voldoende effect om de stroomkosten te rechtvaardigen?
5. Hoe groot zijn de verticale en horizontale temperatuurgradiënten en luchtvolumes over de lengte van een slang onder invloed van verschillende condities zoals ventilatorstand, inblaastemperatuur, schermgebruik, belichting en gewasdichtheid?
6. Hoeveel energie is er nodig en wordt er bespaard bij de verschillende omstandigheden en gekozen strategieën?

1.3 Doelstelling

De algehele doelstelling is om de rozentelers maximaal te laten profiteren van de kennis die in deze belangrijke proefkas wordt opgedaan en daarmee fouten in een vroeg stadium te herkennen en voorkomen en voor de sector te bepalen of deze nieuwe weg zinvol is.

Vragen te beantwoorden in dit project:

1. Welke invloed heeft het luchtbehandelingsstelsel op het klimaat rondom en tussen het gewas en op de gewasverdamping bij verschillende uitgangssituaties zoals wel of niet gebruik van belichting en schermen, gewasstand, standen van de luchtklep waarmee gekozen kan worden voor binnenlucht circulatie of buitenlucht aanvoer en mate van warmtetoevoer.
2. Hoe is de ruimtelijke verdeling van luchttemperatuur, bladtemperatuur, luchtbeweging, CO₂ en verdamping.
3. Wat is het energieverbruik van het totale kassysteem en de onderdelen van het klimatiseringssysteem bij de verschillende gebruikstoestanden en hoe kan dat eventueel nog verminderd worden.
4. Welke invloed heeft het systeem op het aanzuigen van schadelijke insecten en ethyleen van buiten de kas.
5. Welke gewasreacties zijn er in grove lijnen waar te nemen.

Technische doelstellingen

Volledig afschermen van licht wordt mogelijk zonder te hoog oplopende vochtigheid en temperatuur tussen het gewas. Het telen op verhoogde bedden wordt mogelijk zonder de problemen die daarmee op andere bedrijven zijn ontstaan met roest en botrytis.

De horizontale temperatuurverschillen kunnen binnen het gewas tot minder dan 1 graad beperkt worden.

De gewasverdamping wordt bij gesloten scherm en het niet gebruiken van kunstlicht volledig stuurbaar door aanpassing van het toerental van de ventilator. Bij gebruik van kunstlicht onder een scherm wordt de verdamping beperkt stuurbaar met het toerental van de ventilator

Energiedoelstellingen

Door het ontvochtigen met buitenlucht kan het schermdoek in de nacht volledig gesloten blijven zonder gevaar voor schimmels. Daardoor kan de buistemperatuur onder het gewas lager worden gekozen. Omdat de warmtewisselaar in de gevel met lage watertemperaturen kan worden gevoed neemt het thermisch rendement van de WKK toe. Beide effecten samen leveren naar verwachting een reductie op van het gasverbruik van 10%. Bij gebruik van (afgeschermd)_licht kunnen de verticale temperatuurverschillen worden verkleind door intern kaslucht te circuleren. Daardoor kan het lamplicht mogelijk efficiënter worden benut.

2 Technische prestatie luchtsysteem

Het Laag Temperatuur Ontvochtiging (LTO) systeem van rozenkwekerij Marjoland zoals aangelegd in kas Marjoland IV, is een van de eerste buitenluchtventilatiesystemen in de glastuinbouw. De techniek is afkomstig uit de utiliteitbouw en op maat gemaakt voor toepassing in kassen, in dit geval een rozenkas.

Toen Marjoland tot aanschaf van het systeem besloot was er nog geen ervaring met buitenluchtsystemen in roos. Het onderzoek waarvan dit rapport verslag doet, heeft onder andere als doel risico's in kaart te brengen zodat volgende (rozen)kwekers bij een beslissing tot aanschaf dit kunnen laten meewegen.

Ook is een van de doelstellingen na te gaan welke invloed het luchtsysteem heeft op het klimaat rondom en tussen het gewas en dus ook op de gewasverdamping.

Kennis van luchtsystemen in de utiliteit is voor een groot deel opgebouwd uit praktijkmetingen (empirisch bepaald), kan heel goed gebruikt worden bij het ontwerpen van luchtsystemen voor kassen. Een kas is echter geen gebouw. Daarom zijn praktijkmetingen hard nodig om de nodige kennis op te bouwen van de tuinbouwspecifieke kant. Met de opgedane kennis kunnen buitenluchtsystemen voor kassen doorontwikkeld worden.

Natuurlijk is het ook zo dat er geen goede uitspraken gedaan kunnen worden over gewasreacties op een luchtsysteem zonder de werkelijke technische prestaties ervan te kennen.

Dit hoofdstuk doet verslag van een serie proefnemingen/metingen op/aan het LTO buitenlucht- ventilatiesysteem van Marjoland (IV). De uitvoering vond plaats in de periode september t/m november 2011.

2.1 Het LTO systeem en gehanteerde meetmethoden

2.1.1 LTO buitenluchtventilatiesysteem

Inhoudelijk

Per kap is een systeem geïnstalleerd bestaande uit een (in de gevel) geïntegreerde luchtbehandelingskast (LB kast).

Elke LB kast bevat:

- Twee (contra) modulerende luchtkleppen respectievelijk voor buitenlucht en kaslucht.
- Een Laag Temperatuur (LT) verwarmingsblok
- Een radiaalventilator met EC motor

Per LB kast is een luchtverdeelsysteem aangelegd met een (zwarte) luchttrommel met links en rechts een hoofdverdeelslang aan de gevel en onder elk bed een geperforeerde slang.

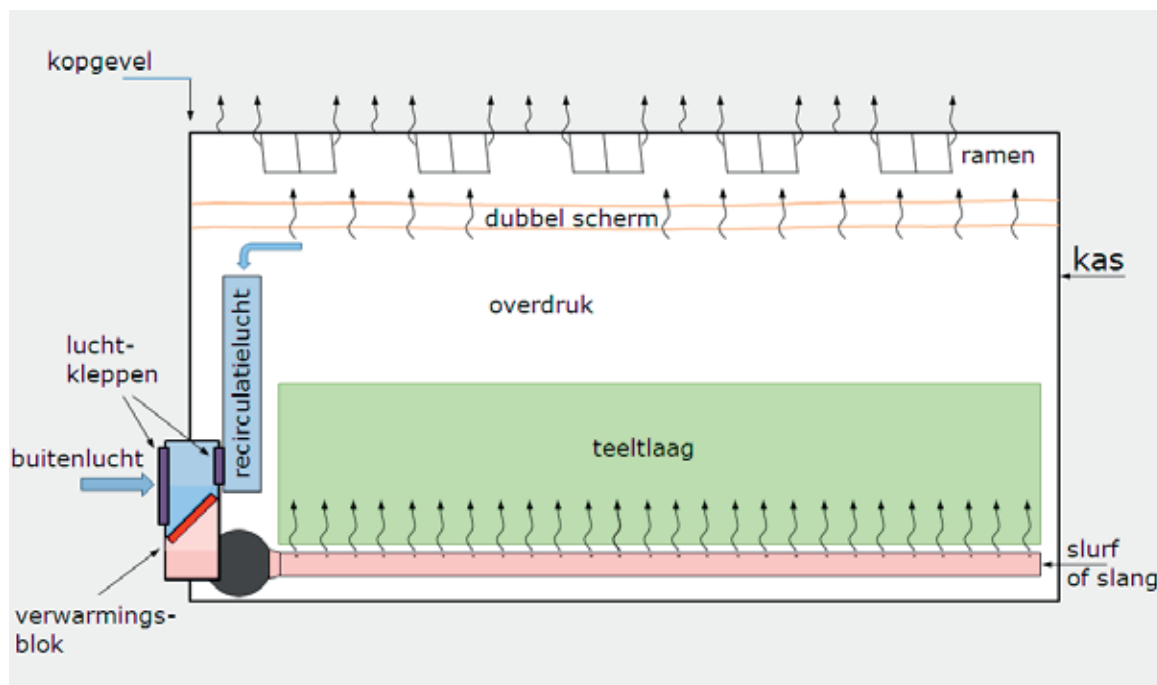


Figuur 2.1. LB kast en het luchtverdeelsysteem.

Functioneel

De beide luchtkleppen zijn contra roterend zodat door verstelling ervan gekozen wordt voor het aanzuigen van kaslucht of buitenlucht of een mengsel daarvan. Circuleren van kaslucht creëert luchtbeveging in het gewas of kan gebruikt worden om te verwarmen. Buitenlucht wordt altijd minimaal op kastemperatuur gebracht alvorens het aan de kas toegevoerd wordt.

Doel van buitenluchttoevoer is ontvochtiging door middel van vervanging van vochtige kaslucht door drogere buitenlucht.



Figuur 2.2. Functioneel schema LTO buitenluchtventilatie.

Het verschil met gewoon luchten via de luchtramen is dat de hoeveelheid luchtuitwisseling exact geregeld kan worden en vervolgens de drogere lucht tussen in het gewas wordt geblazen.

Het combineren van kasluchtcirculatie met buitenlucht levert een gecombineerd effect op van droge buitenlucht wat met een relatief groot luchtdebiet binnen het gewas wordt gebracht.

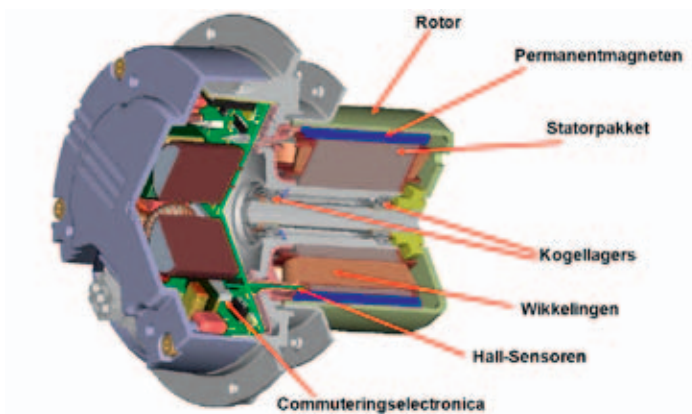
Bij Marjoland IV zijn geen drukontlastkleppen in de gevel gemonteerd. Naarmate de luchtramen en/of het scherm meer gesloten is, neemt de overdruk in de kas ten opzicht van buiten toe.

Overdruk in de kas biedt weerstand tegen windinvloed. Verwacht wordt dat bij gesloten scherm en beperkt geopende luchtramen door overdruk er een meer homogeen kasklimaat zal ontstaan.

Het verwamingsblok ligt schuin en onder een hoek in de LB kast en heeft hierdoor een relatief groot doorstroom oppervlak gekregen. Ook zijn er extra rijen buizen met lamellen aangebracht zodat altijd de benodigde hoeveelheid droge buitenlucht tot de kasttemperatuur opgewarmd kan worden met LT warmte van interkoeler en/of rookgascondensor van Warmte Kracht Koppeling (WKK).

Voor het luchttransport zorgt een radiaal ventilator met Electronically Commutated (EC) motor. Het is een borstelloze, permanent magneet bekrachtigde, synchroonmotor met elektronische commutering. Commutated wil zeggen herhaaldelijk een omgekeerde richting van een elektrische stroom in een motor die gelijkstroom heeft als stroombron. In de motor zit ook regel- elektronica ingebouwd.

Via buscommunicatie kan de EC motor naar elk gewenst toerental worden gestuurd en kan ook de motorstatus worden opgevraagd.



Figuur 2.3. Doorsnede EC motor.

2.1.2 Gebruikte meetmiddelen

Drukmeting

Voor het meten van druk in de geperforeerde slangen ten opzichte van de druk in de kas is gebruik gemaakt van een DP-calc 5815 micromanometer van TSI Incorporated gecombineerd met bijbehorende pitot buis.

Specificaties:

Bereik: -28,0 tot +28,0 mmHg, -3735 tot +3735 Pa (-15 tot +15 inch H2O)

Nauwkeurigheid: $\pm 1\%$ van de meetuitslag ± 1 Pa, $\pm 0,01$ mmHg ($\pm 0,005$ inch H2O)
 $\pm 0,03\%/^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0,02\%/^{\circ}\text{F}$)

Resolutie: 1 Pa, 0,01 mmHg (0,001 inch H2O)



Figuur 2.4. Meetmiddelen.

Luchtsnelheid- en temperatuurmeting

Voor het meten van de luchtsnelheid en de temperatuur in de geperforeerde slangen is gebruik gemaakt van een Veloci Calc 8345 luchtsnelheidsmeter van TSI Incorporated gecombineerd met bijbehorende telescoop spriet met 35 mm meetsensor.

Specificaties:

Snelheid

Bereik: 0,4 tot 30 m/s.

Nauwkeurigheid: $\pm 1,5\%$ van de uitlezing ofwel 0,025 m/s.

Temperatuur

Bereik: 0 tot 80 °C.

Resolutie: 0,1 °C

Nauwkeurigheid $\pm 0,5$ °C

De meters zijn in juni 2010 gekalibreerd.

Nauwkeurigheid metingen

Praktijkmetingen zoals uitgevoerd vergen handzame meetmiddelen.

Het nadeel van dergelijke meters is dat de meetnauwkeurigheid minder is dan de meetmiddelen welke op labschaal worden toegepast. De meeste metingen zijn echter relatief ten opzichte van elkaar en dubbel uitgevoerd.

2.1.3 Meetmethoden

De LB kasten bij Marjoland zitten geïntegreerd in de gevel in het midden van elke kap.

Aan de kaskant van elke LB kast is een zwarte luchttrommel gemonteerd met daaraan links en rechts $\text{\O}600$ mm hoofdverdeelslangen en per hoofdverdeelslang 3 stuks $\text{\O}350$ mm geperforeerde slangen (een per bed) zijn aangesloten. De lengte van de geperforeerde slangen is 100 meter.

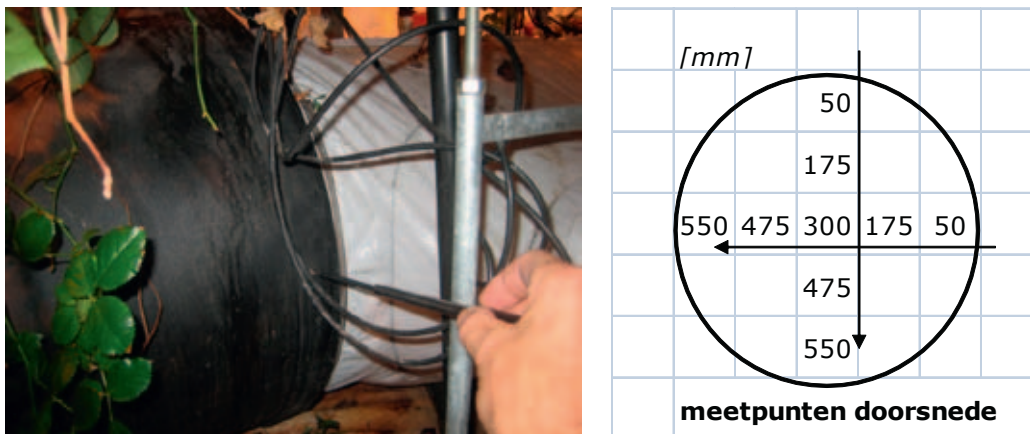


Figuur 2.5. Inkijk in de luchttrommel (links) en de hoofdverdeelslangen.

Luchtsnelheid in de hoofdverdeelslang

Om een goed beeld te kunnen vormen van het luchtsnelheidsprofiel over de doorsnede van de hoofdverdeelslangen zijn er gaatjes geboord in de kragen van de luchttrommel, een bovenop en een aan de zijkant.

Met de telescopspriet is door beide gaatjes op verschillende posities gemeten.



Figuur 2.6. Meting met telescopspriet (links) en meetpunten (rechts).

In het vervolg van dit rapport wordt Figuur 2.6. (rechts) gebruikt om de gemeten snelheid op de meetpunten weer te geven.

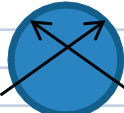
Luchtsnelheid in de geperforeerde slangen

De Ø8 mm perforaties waardoor lucht via de slangen onder de bedden wordt ingeblazen bevinden zich aan beide zijden van deze slangen en wel op 3:30 en op 8:30 uur.



Figuur 2.7. Perforaties in de inblaasslangen.

Om een goed beeld te vormen van het luchtsnelheidsprofiel over de doorsnede van de inblaasslangen, is er met de telescopspriet door de perforaties op 3 posities over de doorsnede van de slangen gemeten.

[mm]			
	links	slang nr.	rechts
50			50
175			175
300			300

Figuur 2.8. Meetpunten.

In het vervolg van dit rapport is bovenstaand plaatje (rechts) gebruikt om de gemeten snelheid op de meetpunten weer te geven. De slangen zijn genummerd van links naar rechts, dus van het middenpad naar de gevel kijkend: 1 - 2 - 3 - LB kast - 4 - 5 - 6.

Druk- en temperatuurmeting in de geperforeerde slangen

De spantpoten zijn bij Marjoland genummerd van 1 (middenpad) tot en met 21 (gevel).

Druk en temperatuur zijn gemeten over de lengte van de geperforeerde slangen en wel ter hoogte van de spantpoten 1, 5, 9, 13, 17, en aan de gevel.

2.2 Beproeving en meetresultaten

2.2.1 Beproeving

Om inzicht te krijgen in het functioneren van het LTO ventilatiesysteem en buitenluchtsystemen in het algemeen, is een serie proeven uitgevoerd.

Door middel van handmetingen is data verzameld van de prestaties van een van de LB kasten en het daarop aangesloten luchtverdeelsysteem en vervolgens is deze data verwerkt.

Het gaat om de volgende situaties:

Start beproevingen

Het LTO ventilatiesysteem was bij aanvang van de beproevingen al 2 jaar in bedrijf.

Een goede reden om eerst kritisch te kijken naar de onderhoudstoestand, hetgeen ook is gebeurd.

Ook is gekeken naar de toestand van de hoofdverdeelslangen aan de gevel en de geperforeerde slangen onder de 6 bedden.

Vervolgens is via buscommunicatie met de EC ventilatormotor het opgenomen elektrisch vermogen bij de verschillende snelheden bepaald.

Proef 1

Optisch bepalen hoe lucht via de slangen wordt verdeeld.

Bij 100% kaslucht is er met een generator rook in de recirculatiekoker geblazen en met camera's opgenomen hoe de rook zich in het gewas heeft verdeeld.

Proef 2

Bepaling gelijkmatigheid van de luchtverdeling in relatie tot de toegevoerde luchthoeveelheid bij temperatuurneutraal inblazen.

Bij de 100% buitenlucht, neutrale inblaasttemperatuur (= kasttemperatuur) en verschillende ventilatortoerentallen zijn de luchtsnelheden over de slangdoorsnede gemeten.

Ook is de statische druk ten opzichte van de kaslucht gemeten op zes posities verdeeld over de lengte van een slang.

Op basis van de gemiddelde luchtsnelheid gecombineerd met de slangdiameter zijn luchtdebieten door de slangen bepaald. De afwijking van de statische druk op de 6 posities over de lengte van de slang is omgerekend naar een procentuele afwijking van de inblaashoeveelheid ten opzichte van het gemiddelde.

Proef 3

Bepaling effect raamstanden en schermsluiting op de toegevoerde luchthoeveelheid.

Bij 100% buitenlucht, verschillende raamstanden en ventilatortoerentallen is de snelheid van de toegevoerde lucht over de doorsnede van de 2 middelste slangen gemeten.

Op basis van de gemiddelde luchtsnelheid gecombineerd met de slangdiameter zijn luchtdebieten door de slangen bepaald. Met behulp van de ventilatorgrafiek is een schatting gemaakt van de drukvariatie veroorzaakt door raamopening en schermsluiting.

Proef 4

Bepaling gelijkmatigheid van de warmteverdeling in relatie tot de toegevoerde luchthoeveelheid bij verwarmend inblazen. Bij 100% kaslucht en verschillende ventilatortoerentallen is de inblaaslucht-temperatuur op zes posities verdeeld over de lengte van de geperforeerde slang gemeten.

Deze metingen zijn herhaald bij verschillende temperaturen van de toegevoerde lucht.

Geluidmeting

Een LB kast staat op 8 meter van de gevel van een woning, het geluiddrukkniveau wordt gemeten voor en na plaatsing van een geluidscherm.

Bij 100% buitenlucht en verschillende ventilatortoerentallen wordt het geluiddrukkniveau gemeten op 1 en op 2 meter afstand voor en na plaatsing van een geluidscherm.

2.2.2 Meetresultaten

Start beproevingen

Onderhoudstoestand LB kast

Voor aanvang van de proeven is de LB kast in de kap 7 opengemaakt en vervolgens geconstateerd dat het verwarmingsblok behoorlijk vervuild was.

De laag vuil bestond voor het grootste deel uit organisch materiaal (zie foto) en voelde vooral nabij het buitenluchtrooster nat/kleverig aan.



Figuur 2.9. Vervuild verwarmingsblok.

Na het organiseren van hulpmateriaal is het vervuilde blok met borstel en stofzuiger schoongemaakt.

Nadere inspectie leidde tot de constatering dat de aluminium lamellen licht aangetast zijn (dunner en verbrost). Dat is vooral dicht bij het buitenluchtrooster het geval, dus daar waar de vervuiling vochtig en kleverig aanvoelde.



Figuur 2.10. Schoongemaakt verwarmingsblok.

Voor en direct na het schoonmaken is de luchtsnelheid in de middelste 2 slangen gemeten met de ventilator op 60% en 100% buitenlucht.

Tabel 2.1. Luchtsnelheid in de slangen, ventilator 60%.

slangen van links -> rechts:	vervuild blok		schoon blok	
	v [m/s]	qv [m ³ /h]	v [m/s]	qv [m ³ /h]
3 ^e	2,37	821	4,40	1.524
4 ^e	1,62	561	3,70	1.282
Gemiddeld	2,00	691	4,05	1.403

Na schoonmaak dus **2x zo veel lucht**.

Vervolgens is er gemeten met de ventilator op 80% (= nu maximaal) en 100% kaslucht (via koker), zie Tabel 2.2.

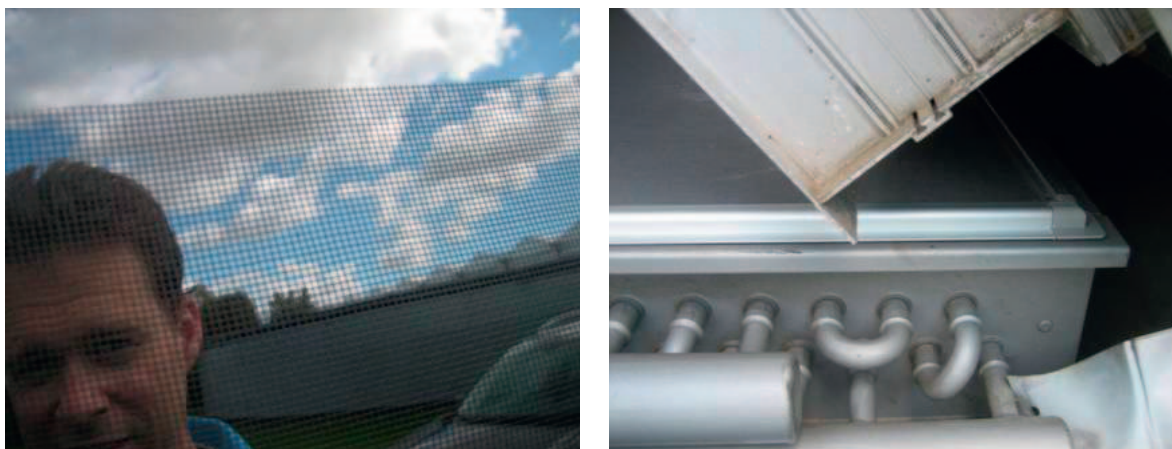
Tabel 2.2. Luchtsnelheid in de slangen, ventilator 80%.

slangen van links -> rechts:	Veloci-Calc	
	v [m/s]	qv [m ³ /h]
1e	5,00	1.732
2e	5,30	1.836
3e	5,50	1.905
4e	5,00	1.732
5e	5,20	1.801
6e	4,50	1.559
Totaal		10.564

Het maximum ontwerpdebiet is 2.000 m³/h per slang en 12.000 m³/h per LB kast, ofwel 10 m³/m²*h, met de ventilator op 80% wordt 8,8 m³/m²*h gehaald.

Gaas kan goed als grof filter worden gebruikt. Een nadeel van elk filter is dat het extra drukverliezen oplevert en vervolgens de ventilatoren ook meer elektrisch vermogen gaan opnemen.

Om te zien welk effect een grof gaasfilter heeft op het systeem bij Marjoland, is bij wijze van proef met doehetzelf materiaal (horrengaas) een filter gemaakt en op het verwarmingsblok van kap 7 aangebracht (zie Figuur 2.11.).



Figuur 2.11. Gaasfilter (links) opgelegd op het verwarmingsblok (rechts).

We hebben voor en na het plaatsen van het gaasfilter per slang de gemiddelde luchtsnelheid gemeten en omgerekend naar luchtdebiet (zie Tabel 2.3).

Tabel 2.3. Luchtsnelheid in de slangen, met gaasfilter.

	ventilator 60%		ventilator 80%	
	zonder-	met gaas	zonder-	met gaas
slangen van links -> rechts:	qv [m ³ /h]	qv [m ³ /h]	qv [m ³ /h]	qv [m ³ /h]
1e	1.342	1.290	1.559	1.585
2e	1.230	1.195	1.654	1.775
3e	1.403	1.394	1.801	1.801
4e	1.463	1.455	1.697	1.689
5e	1.108	1.100	1.611	1.611
6e	1.160	1.074	1.472	1.481
totaal	7.828	7.551	9.889	9.819

Het luchtdebiet daalde na plaatsing van het gaasfilter met resp. 4% bij 60% ventilatorsnelheid met 1% bij 80% ventilatorsnelheid. Als het gaas schoon is levert het aanbrengen ervan als filter nagenoeg geen afname in luchtdebiet op. Het voordeel van het plaatsen van een gaasfilter is dat het verwarmingsblok niet of nauwelijks meer bedekt wordt door agressief organisch materiaal.

Nader onderzocht moet worden of het vermijden van slijtage aan de aluminium lamellen genoeg opbrengt om een investering in filtergaas plus de kosten van het hogere elektriciteitsverbruik in de ventilatoren te rechtvaardigen.

Marjoland heeft na het constateren van de vervuiling de verwarmingsblokken van alle 58 luchtbehandlingskasten direct gereinigd en periodieke controle als onderdeel van de onderhoudsroutine opgenomen. De LB kasten bij Marjoland zijn voorzien van luiken en zijn daardoor van buitenaf zeer toegankelijk voor inspectie en onderhoud.

Onderhoudstoestand verdeelsysteem

Na 2 jaar hangen zowel de hoofdverdeelslangen alsook de geperforeerde inblaasslangen er niet 100% strak meer in, oorzaken zijn:

- Spantpoten en teeltsteunen die in de weg zitten.
- Concessies bij nieuwbouw.
- Reparaties.



Figuur 2.12. Niet strak hangende luchtslangen.

Slangen worden meestal door de kwekers zelf en hun personeel opgehangen.

Gebleden is dat er door niet strak hangen er behoorlijke verschillen in inblaasluchthoeveelheden kunnen ontstaan (zie verderop), dat is dus een punt van aandacht.

Opgenomen elektrisch vermogen ventilatormotoren

Van een EC ventilatormotor is het opgenomen elektrisch vermogen bepaald bij de verschillende ventilatorsnelheden. Deze waarden zijn via de bus opgehaald uit de motorcontroller.

Tabel 2.4. Opgenomen elektrisch vermogen ventilatormotoren.

toerental		stroom	spanning	vermogen
[min ⁻¹]		[Amp]	[V]	[W]
600	50%	0,81	541	440
720	60%	1,28	541	690
840	70%	1,94	541	1.050
960	80%	2,78	541	1.500
1.080	90%	3,88	541	2.050
1.200	100%	5,38	534	2.850

Vanaf 50% toerental vormen EC motoren een nagenoeg ohmse belasting op het net om die reden zijn er weinig verliezen in de bekabeling te verwachten, hooguit 1 á 2 procent.

Proef 1

Optisch bepalen hoe lucht via de slangen wordt verdeeld.

Bij 100% kaslucht is er met een generator rook in de recirculatiekamer geblazen en vervolgens is er met camera's opgenomen hoe de rook zich in het gewas heeft verdeeld.

Er zijn verschillende pogingen gedaan, het bleek moeilijk te zijn om rook voldoende zichtbaar in beeld te krijgen.



Figuur 2.13. Rook wordt via de slangen de kas ingeblazen.

Dit is zo'n beetje het beste screenshot uit het videofilmje van de eerste rookproef.

Wij hebben wel duidelijk waargenomen dat de rook richting buisrail werd geblazen en vervolgens met convectiestroming mee vanaf de verwarmingsbuis een versnelling verticaal omhoog kreeg door het looppad.

Het hoofddoel van buitenluchtventilatie is om de drogere en op temperatuur gebrachte buitenlucht in het gewas te brengen en liefst zo min mogelijk via het pad.

Bij het inblazen met de perforaties op 3:30u en 8:30u bleek er (te?) veel lucht via de looppaden op te stijgen tot boven het gewas en veel minder door het gewas.

Medewerkers van Marjoland hebben daarop in recordtijd de slangen in kap 7 omgedraaid en wel zo dat nu lucht door de perforaties van een rij recht omhoog het gewas in wordt geblazen en de andere rij schuin richting bodem dus op ongeveer 12 en 7 uur.

Vervolgens zijn 4 van de 6 slangen afgesloten en de middelste 2 slangen voor 50%, dat is gedaan om de luchtbeweging met een beperkte hoeveelheid rook toch goed zichtbaar te maken,

Met een plaat op de recirculatiekamer is vervolgens de luchthoeveelheid zo ingeregeld dat deze gelijk werd aan het maximum van $10 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$.

Om het resultaat van het draaien van de slangen zichtbaar te maken hebben wij zowel in kap 7 (gedraaid) als kap 8 (oude toestand) met rook gewerkt en gefilmd.



Figuur 2.14. Oude toestand in kap 8 (links) en gedraaid in kap 7 (rechts).

In Figuur 2.14. is duidelijk te zien dat het draaien van de slangen een veel betere doordringing in het gewas oplevert.

Wat verder opviel is dat er nabij de gevel relatief weinig rook omhoog komt, mogelijke oorzaken:

- kouval nabij de gevel;
- niet haaks uitblazen maar meer richting middenpad;
- venturiwerking.



Figuur 2.15. Lucht wordt recht omhoog het gewas ingeblazen.

Een punt van aandacht is echter de gewasreactie en wel daar waar lucht met gang in het gewas geblazen wordt.

Bij het vervangen van de slangen zijn perforaties op 11 en 1 uur zeker het overwegen waard. De snelheid wordt dan gebroken door de middelste 2 teeltgoten.

Waarneming: bij gedraaide slangen blijft rook langer in het gewas hangen en komt tevens ook homogener verdeeld omhoog. Punt van zorg is de gewasreactie boven de perforaties.

Het gewas in kap 7 moet daarom op dat punt kritisch gevolgd worden.

Proef 2

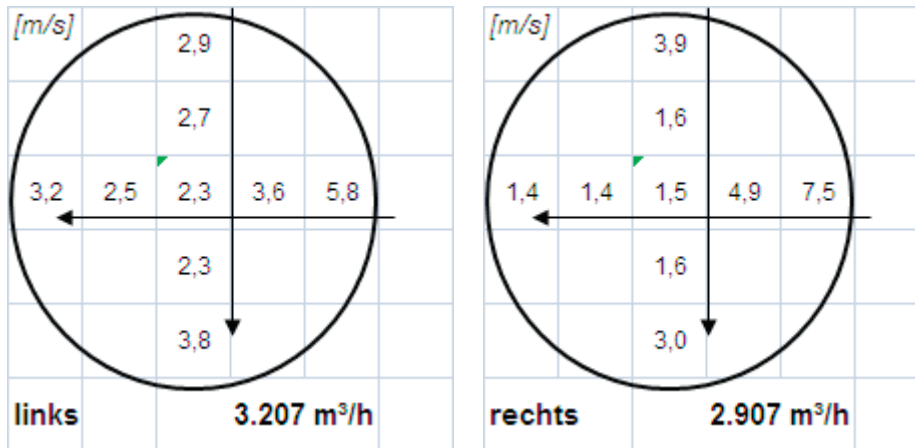
Bepaling gelijkmatigheid van de luchtverdeling in relatie tot de toegevoerde luchthoeveelheid bij temperatuurneutraal inblazen.

Bij 100% buitenlucht, neutrale inblaastemperatuur (= kasttemperatuur) en verschillende ventilatortoerentallen zijn de luchtsnelheden over de slangdoorsnede gemeten.

Ook is de statische druk ten opzichte van de kaslucht gemeten op zes posities verdeeld over de lengte van een slang.

Meting luchtsnelheden in de hoofdverdeelslangen

De eerste meting met de ventilator op 50% laat de volgende snelheidsverdeling zien:



Figuur 2.16. Meting luchtsnelheid.

Heel goed is te zien dat de luchtsnelheid aan de kaskant van de doorsnede veel hoger is.

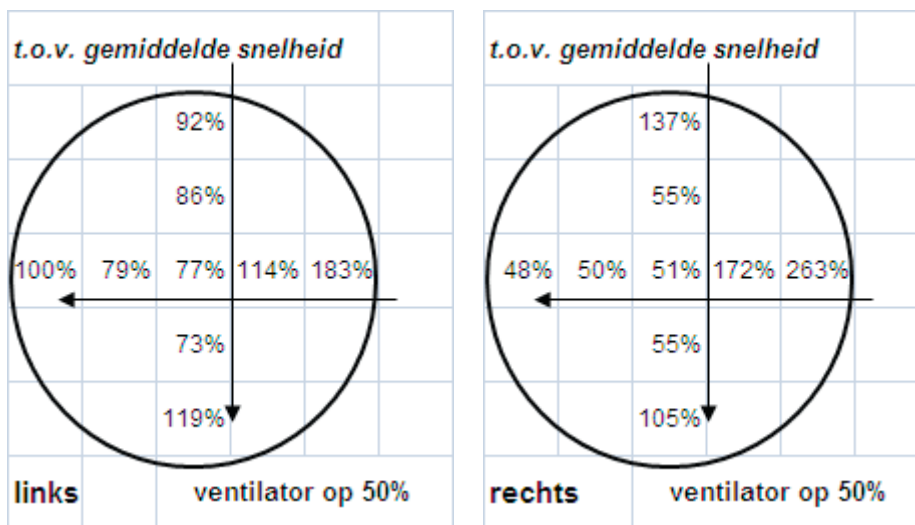
Voorals rechts zijn de verschillen erg groot. Vermoedelijk heeft het verschil in beeld links en rechts iets te maken met de draairichting van de ventilator.

Daarna is er in halverwege in de verdeeltrommel een gaaswerk geplaatst met als doel lucht beter te verdelen.

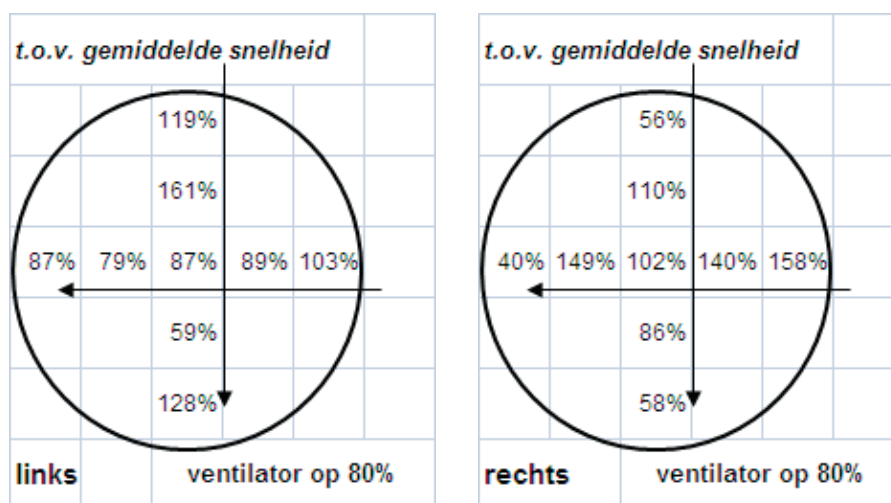


Figuur 2.17. Gaaswerk in de lunchtrommel.

Na het plaatsen van het gaaswerk zijn de luchtsnelheden in de trommelrand opnieuw gemeten. De 1^e meting was gedaan bij 50% en de 2^e meting bij 80% ventilatorsnelheid. Daarom vergelijken wij de procentuele afwijking ten opzichte van de gemiddelde snelheid met elkaar.



Figuur 2.18. Meting zonder gaaswerk.



Figuur 2.19. Meting na aanbrengen gaaswerk.

Het gaaswerk verbetert de luchtverdeling over de doorsnede opening behoorlijk. Verderop in deze rapportage zult u lezen dat ook de luchtverdeling over de 6 geperforeerde slangen beter wordt.

Meting luchtsnelheden en drukken in de geperforeerde slangen

Gelijktijdig met de snelheidsmetingen over beide doorsneden van de hoofdverdeelerslang zijn ook de luchtsnelheden over de doorsneden en druk op zes posities over de lengte van de zes aangesloten geperforeerde slangen gemeten.





Figuur 2.20. Geperforeerde slang 6 met (links) en zonder knik (rechts).

Tijdens het uitvoeren van de eerste serie metingen viel op dat de statische druk in slang 5 sterk daalde tussen het 1e en 2e meetpunt. Het viel ook op dat slang 5 en 6 in dat stuk niet mooi recht hingen, er zaten een paar flinke knikken in (zie Figuur 2.20.).

Om erachter te komen hoe belangrijk het is om een slang strak op te hangen, zijn knikken er provisorisch uitgehaald (zie Figuur 2.20.) en er is opnieuw gemeten aan slang 5 en 6.

Gemeten is bij 50% van het maximale ventilator toerental.

Tabel 2.4. Luchtsnelheidsmetingen, ventilator op 50%.

slang met knik:			slang na strak trekken:		
links	6	rechts	links	6	rechts
1,6		2,1	2,70		3,10
1,6		1,4	2,70		2,40
2,1		1,2	3,10		2,10
492 m ³ /h			797 m ³ /h		







De snelheid aan het begin van slang 5 is wel gemeten, echter daar was het effect op de snelheden aan het begin van de slang marginaal.

Tabel 2.5. Drukmetingen in de slangen, ventilator op 50%.

Statische druk in slang 5			Statische druk in slang 6		
poot	geknikt	strak	poot	geknikt	strak
21 = oevel	20.1	19.2	21 = oevel	9.4	16.0
17	10.2	10.8	17	8.4	12.4
13	8.6	9.3	13	7.7	11.9
9	8.1	8.9	9	7.2	11.4
5	8.2	8.8	5	7.1	11.3
1 = pad	8.4	8.8	1 = pad	7.4	11.2

Na het provisorisch straktrekken van de slangen en voor plaatsing van het gaaswerk is proef 2 uitgevoerd, er is gemeten met de ventilator op 50%, 60% en 80% van het maximale toerental.

Tabel 2.6. Luchtsnelheidsmeting links en rechts van de LB kast, ventilator op 50%

Links								
[m/s]			[m/s]			[m/s]		
links	1	rechts	links	2	rechts	links	3	rechts
2,9		3,3	3,8		3,6	4,4		3,0
2,9		2,7	3,5		3,5	3,2		3,2
3,4		3,4	3,6		3,8	2,8		4,4
915 m³/h			1.074 m³/h			1.039 m³/h		
Rechts								
[m/s]			[m/s]			[m/s]		
links	4	rechts	links	5	rechts	links	6	rechts
3,1		4,4	3,1		3,2	2,7		3,1
3,5		3,5	3,2		3,1	2,7		2,4
4,4		3,2	3,1		3,0	3,1		2,1
1.094 m³/h			925 m³/h			797 m³/h		

Het totaal debiet zoals gemeten en berekend door de doorsneden van beide trommeluiteinden (6.114 m³/h) lijkt redelijk globaal goed te kloppen met de som van de debieten per slang (5.844 m³/h). Opvallend is het lage debiet door de buitenste slang aan de rechterkant van de luchttrommel (LB kast).

De (statische) druk in elke slang is op 6 posities over de lengte gemeten.

Tabel 2.7. Drukmeting in de slangen op 6 posities.

Statische druk in slangen			gemiddelde druk:		16,3	Pa
slang:	1	2	3	4	5	6
poot:						
21 = qevel	20,0	26,5	20,0	27,8	19,2	16,0
17	11,7	23,0	18,3	25,9	10,8	12,4
13	10,3	22,0	16,8	23,9	9,3	11,9
9	9,8	21,5	16,3	23,5	8,9	11,4
5	9,9	21,4	16,2	23,6	8,8	11,3
1 = pad	10,1	22,0	16,4	24,0	8,8	11,2

Er zit een kwadratisch verband tussen de statische druk in de slangen en de hoeveelheid lucht die via de perforaties daar wordt ingeblazen. Gebaseerd op de gemiddelde druk over alle metingen is globaal berekend hoe de inblaasluchthoeveelheid afweek van het gemiddelde.







Tabel 2.8. Variatie inblaasdebiet, ventilator op 50%.

Variatie inblaasdebiet						
slang:	1	2	3	4	5	6
poot:						
21 = oevel	11%	28%	11%	31%	9%	-1%
17	-15%	19%	6%	26%	-19%	-13%
13	-20%	16%	2%	21%	-24%	-14%
9	-22%	15%	0%	20%	-26%	-16%
5	-22%	15%	0%	20%	-26%	-17%
1 = pad	-21%	16%	0%	21%	-26%	-17%

Hoe gelijkmatiger het drukverloop des te homogener buitenlucht wordt verdeeld.

Op dezelfde manier zijn snelheden en drukken gemeten met de ventilator op 60% en op 80%.







Tabel 2.9. Luchtsnelheidsmeting links en rechts van de LB kast, ventilator op 60%.

Links								
[m/s]			[m/s]			[m/s]		
links	1	rechts	links	2	rechts	links	3	rechts
2,8		3,1	4,2		3,8	4,1		3,6
2,9		2,7	3,5		3,5	3,4		4,1
3,1		2,7	3,7		4,0	3,6		4,4
	854 m³/h		1.118 m³/h				1.148 m³/h	
Rechts								
[m/s]			[m/s]			[m/s]		
links	4,0	rechts	links	5,0	rechts	links	6,0	rechts
3,0		5,0	3,8		3,4	2,2		3,3
4,0		3,7	3,8		3,6	2,8		2,7
5,1		3,6	3,7		3,7	3,3		2,2
	1.207 m³/h		1.089 m³/h				816 m³/h	

Tabel 2.10. Variatie inblaasdebiet, ventilator op 60%.

slang:	1	2	3	4	5	6
poot:						
21 = oevel	10%	26%	4%	19%	-2%	1%
17	-14%	20%	7%	27%	-16%	-15%
13	-19%	17%	3%	24%	-22%	-19%
9	-22%	16%	2%	22%	-22%	-19%
5	-21%	16%	2%	23%	-22%	-19%
1 = pad	-21%	17%	3%	23%	-22%	-18%

Tabel 2.11. Luchtsnelheidsmeting links en rechts van de LB kast, ventilator op 80%.

Links								
[m/s]			[m/s]			[m/s]		
links	1	rechts	links	2	rechts	links	3	rechts
3.7		4.2	5.6		5.2	5.6		4.6
4.1		4.4	4.7		4.7	4.6		4.4
4.2		3.7	5.0		5.5	4.6		5.6
1.202 m³/h			1.519 m³/h			1.455 m³/h		
Rechts								
[m/s]			[m/s]			[m/s]		
links	4	rechts	links	5	rechts	links	6	rechts
4.6		6.4	4.5		4.4	2.5		4.7
4.7		4.8	5.0		5.0	4.2		5.0
6.4		4.8	5.1		5.5	4.6		1.6
1.569 m³/h			1.460 m³/h			1.118 m³/h		







Tabel 2.12. Variatie inblaasdebiet, ventilator op 80%.

slang:	1	2	3	4	5	6
poot:						
21 = qevel	8%	18%	3%	18%	6%	-2%
17	-15%	18%	5%	26%	-12%	-14%
13	-19%	15%	3%	22%	-17%	-17%
9	-21%	14%	2%	22%	-18%	-18%
5	-20%	15%	3%	23%	-18%	-17%
1 = pad	-20%	15%	3%	24%	-17%	-18%

De meetresultaten op de 3 ventilatorsnelheden laten eenzelfde beeld zien.

Na het plaatsen van het gaaswerk zijn nog eens de luchtsnelheden in de zes slangen gemeten.

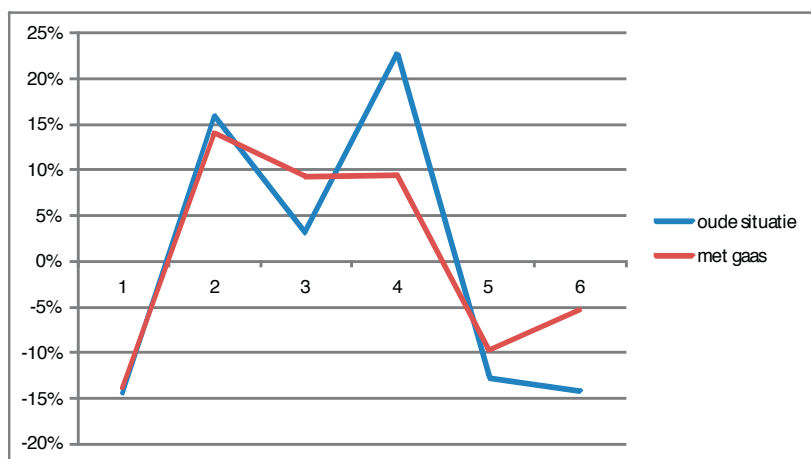
Tabel 2.13. Luchtsnelheidsmeting links en rechts van de LB kast, na plaatsing gaaswerk en ventilator op 80%.

Links								
[m/s]			[m/s]			[m/s]		
links	1	rechts	links	2	rechts	links	3	rechts
3.7		4.2	6.5		4.7	6.5		4.5
4.5		4.4	5.1		5.2	4.6		4.5
4.2		3.8	4.7		6.4	4.8		6.7
1.227 m³/h			1.613 m³/h			1.561 m³/h		
Rechts								
[m/s]			[m/s]			[m/s]		
links	4	rechts	links	5	rechts	links	6	rechts
5.2		4.7	5.5		5.5	2.2		4.1
5.4		5.7	6.0		5.7	6.0		5.3
4.9		5.8	5.5		5.0	5.2		3.8
1.569 m³/h			1.643 m³/h			1.316 m³/h		

Tabel 2.14. Variatie inblaasdebiet, na plaatsing gaaswerk en ventilator op 80%.

Variatie inblaasdebiet						
slang:						
poot:	1	2	3	4	5	6
21 = gevel	11%	20%	16%	14%	7%	1%
17	-14%	15%	11%	11%	-9%	-4%
13	-19%	12%	8%	9%	-14%	-7%
9	-21%	12%	7%	8%	-14%	-7%
5	-20%	12%	7%	8%	-14%	-7%
1 = pad	-21%	13%	7%	8%	-14%	-7%

Het gaaswerk verbetert de luchtverdeling over de zes slangen behoorlijk, vooral het verschil tussen slang 3 en 4 is groot.



Figuur 2.21. Variatie inblaasdebiet, met en zonder gaaswerk, ventilator op 80%.

Waarnemingen bij proef 2:

1. Zoals bekend uit de utiliteitsbouw treden er altijd verschillen op bij verdeling van lucht over grote oppervlakten, zeker als er niet ingeregeld kan worden.
Bij Marjoland waar 1.200 m² wordt bediend, dus ook. Bezien over de luchtverdeling per slang is dat $\pm 15\%$ en over het inblaasdebiet over de 36 meetposities ($\pm 20\%$).
De vraag is nu wat acceptabel is in kassen. Door natuurlijke stromen ontstaan er immers veel grotere verschillen in luchtconditie en luchtbeweging bij toevoer van drogere lucht via de luchtramen.
2. Lucht treedt niet homogeen uit de openingen van de intredetrommel voor de LB kast. Oplossingen zijn vergroting van de luchtintredetrommel of het aanbrengen van voorzieningen daarin zoals een gaaswerk.
3. Een proef met een gaaswerk in de luchtintredetrommel levert een behoorlijke verbetering op. Het totale luchtdebiet neemt niet af, lucht wordt beter verdeeld over de zes slangen en de verschillen in inblaasdebiet nemen af.
4. Een knik in de slang of in de aansluiting heeft een grote invloed op het luchtdebiet en op de luchtverdeling over de lengte van de slang. Het strak trekken van een knik in de aansluiting van de 6^e slang leverde een toename op van luchtdebiet op van 500 naar 800 m³/h bij 50% van het maximale ventilatoroerental.
5. De structureel lagere druk in slang 3 vergeleken met de druk in slang 2 en 4 is opvallend. Vermoedelijk heeft dat te maken met de draairichting van de ventilator in combinatie met de relatief kleine luchtintredetrommel. Na plaatsing van het gaaswerk was dat verschil nagenoeg verdwenen.
6. Slang 1 hangt tegen de spantpoten (zie Figuur 2.22.). Dat levert een behoorlijke vermindering op van het luchtdebiet door slang 1 ten opzichte van de andere 5 slangen. Voorts daalt de druk in slang 1 over de lengte veel meer dan in de druk in andere slangen.



Figuur 2.22. Slang 1 hangt tegen de spantpoot.

Proef 3

Bepaling effect raamstanden en schermsluiting op de toegevoerde luchthoeveelheid.

Omdat de 7 klimaatafdelingen van Marjoland IV niet van elkaar gescheiden worden door wanden zijn tijdens deze proef alle LB kasten, luchtramen en schermen van de 7 klimaatafdelingen ingezet.

Bij 100% buitenlucht, verschillende raamstanden en ventilatortoerentallen is de snelheid van de toegevoerde lucht over de doorsnede van de 2 middelste slangen in een proefvak gemeten.

Tabel 2.15. Snelheid van de toegevoerde lucht.

raamstand	ventilatoren								
	50%		60%		70%		80%		
leizijde	links	rechts	links	rechts	links	rechts	links	rechts	
	meetwaarden [m/s]:								
0%	2.80	2.35	3.40	2.95	4.05	3.55	4.55	4.35	
2%	2.85	2.70	3.55	3.70	4.05	4.05	4.70	4.95	
4%	2.90	2.85	3.55	3.65	4.15	4.10	4.80	4.95	
6%	2.95	2.90	3.60	3.50	4.05	4.25	4.80	5.05	
4%	lichtuitstootbeperkend scherm dicht:						4.80	5.00	

Tevens is op dezelfde positie (2 meter uit de gevel) de druk in de zes geperforeerde slangen gemeten.

Tabel 2.16. Druk in de slangen.

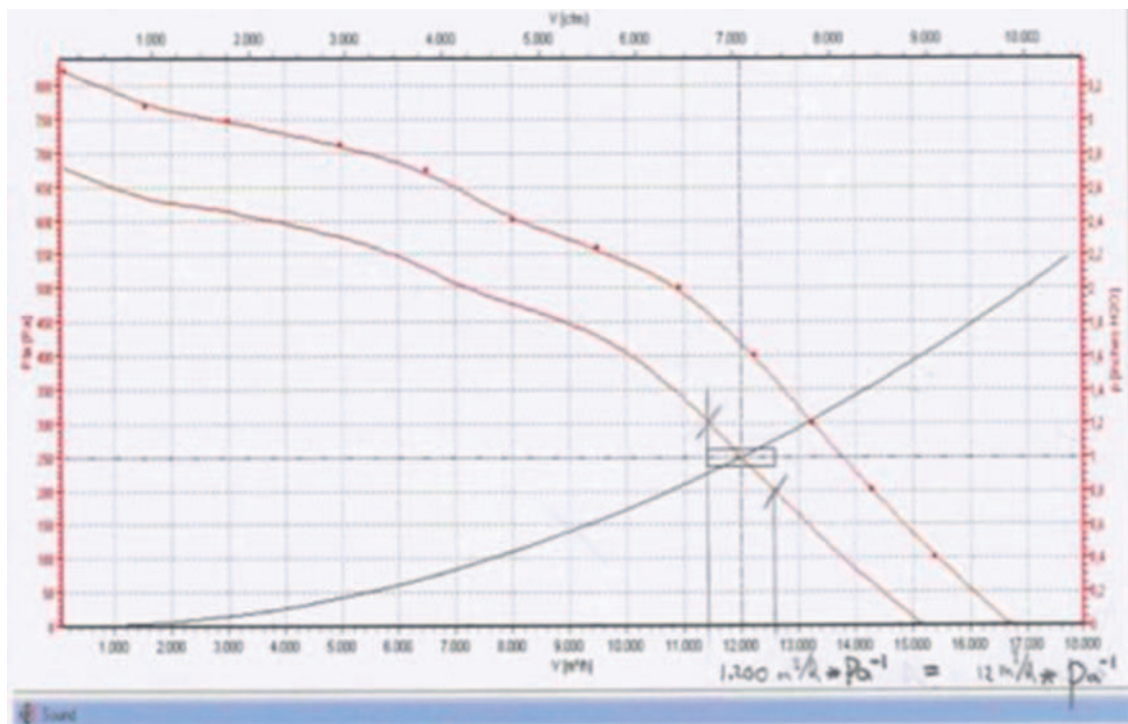
raamstand	ventilatoren								
	50%		60%		70%		80%		
leizijde	links	rechts	links	rechts	links	rechts	links	rechts	
	meetwaarden [Pa]:								
0%	19.6	15.8	29.7	25.4	40.0	37.5	54.3	51.1	
2%	22.7	21.0	31.5	31.3	43.7	45.0	58.9	56.0	
4%	22.7	23.2	34.7	34.1	47.7	47.1	62.8	62.1	
6%	23.8	23.8	34.4	34.6	47.6	47.1	62.8	63.0	
4%	lichtuitstootbeperkend scherm dicht:						62.8	62.1	

Vervolgens de luchtsnelheid omgerekend naar luchtdebiet per slang.

Tabel 2.17. Luchtdebiet per slang.

debiet raamstand leizijde	ventilatoren							
	50%		60%		70%		80%	
	links	rechts	links	rechts	links	rechts	links	rechts
uitkomsten [m³/h]:								
0%	970	814	1.178	1.022	1.403	1.230	1.576	1.507
2%	987	935	1.230	1.282	1.403	1.403	1.628	1.714
4%	1.004	987	1.230	1.264	1.437	1.420	1.663	1.714
6%	1.022	1.004	1.247	1.212	1.403	1.472	1.663	1.749
4%	lichtuitstootbeperkend scherm dicht:						1.663	1.732

Met behulp van de ventilatorgrafiek (zie hieronder) is een schatting gemaakt van de overdruk veroorzaakt door raam- respectievelijk schermsluiting.



Figuur 2.23. Ventilatorgrafiek.

Rond het werkgebied van de ventilator is de tangens van de hoek die de ventilatorkenlijn met de y-as maakt $(y/x) 100/1.200 = 0,0833 \text{ Pa}/(\text{m}^3/\text{h})$. Bij 80% ventilatoroerental is de gemiddelde snelheid over beide slangen bij gesloten ramen $1.541 \text{ m}^3/\text{h}$ en bij 6% geopende ramen $1.706 \text{ m}^3/\text{h}$. De debietvariatie door raamsluiting is dan $1.706 - 1.541 = 165 \text{ m}^3/\text{h}$. Daar hoort een externe druk verandering van $165 \cdot 0,083 = 13,710 \text{ Pa}$ bij.

Globaal staat er bij gesloten ramen en deuren 14 Pa over de gevels en deuren.

Het scherm levert bij een raamopening van 4% globaal een extra verhoging van de externe druk op van $9 \cdot 0,083 = 0,750 \text{ Pa}$.

Waarnemingen bij proef 3:

1. Volgens de metingen is een kleine raamopening al voldoende om druk op gevels en deuren te vermijden, bij 80% ventilatortoerental is dat ca. 6% raamopening voldoende.
2. Bij sluiting van de luchtramen is de drukverandering in de rechter slang 4 veel groter dan in de linker slang 3, dit moet nog verder worden onderzocht.
3. De overdruk van de lucht in de kas ten opzichte van buiten veroorzaakt door het buitenluchtventilatiesysteem op 80% en bij volledige sluiting van ramen, deuren en het scherm is globaal 15 Pa.
4. Schermsluiting alleen heeft zeer weinig effect op de buitenluchtventilatie, het lichtuitstoot beperkende scherm bij Marjoland is voldoende open voor de toegevoerde luchthoeveelheid.

Proef 4

Bepaling gelijkmatigheid van de warmteverdeling in relatie tot de toegevoerde luchthoeveelheid bij verwarmend inblazen.

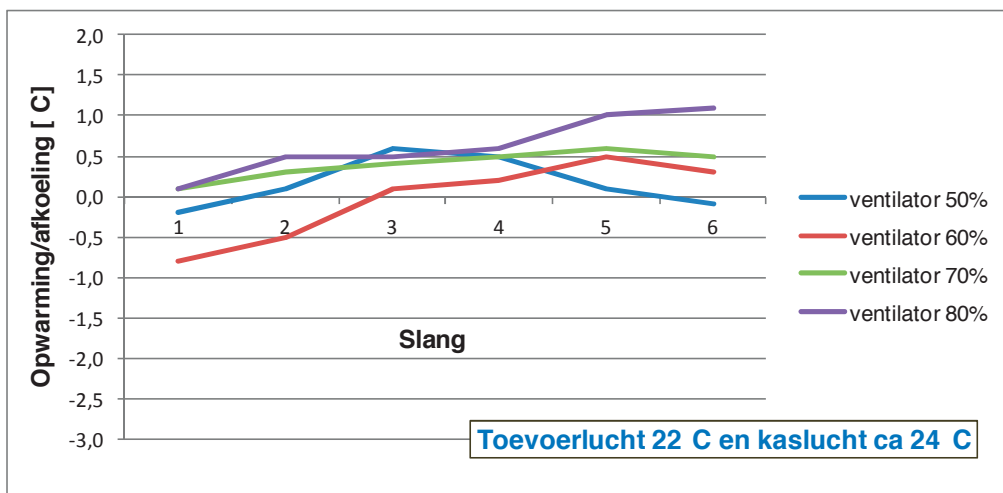
Bij 100% kaslucht en verschillende ventilatortoerentalen is de inblaaslucht-temperatuur op zes posities verdeeld over de lengte van de geperforeerde slang gemeten.

Deze metingen zijn herhaald bij verschillende temperaturen van de toegevoerde lucht.

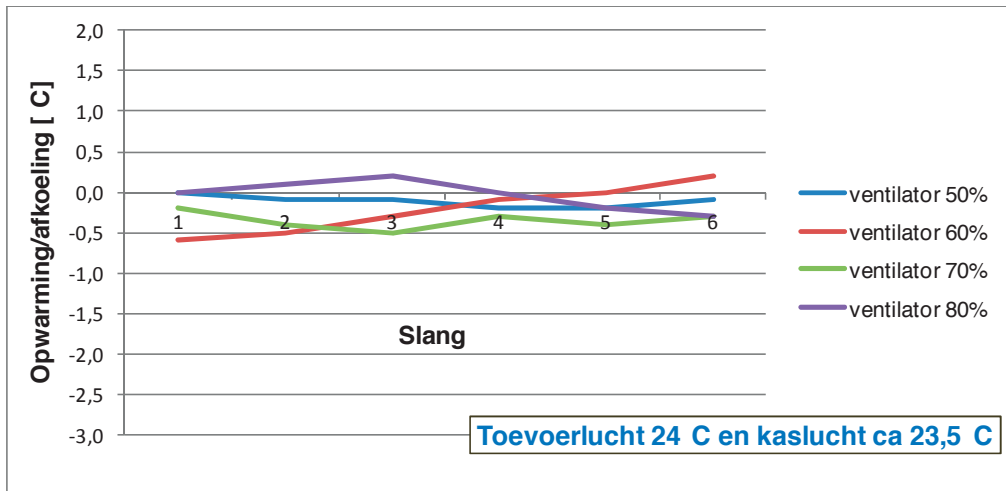
Tijdens deze proef is de toevoerluchttemperatuur respectievelijk op 22, 24 en 26 °C geregeld.

De waarden in onderstaande tabellen zijn de verschillen tussen de toegevoerde luchttemperatuur zoals gemeten in de LB kast en de luchttemperatuur in de slang op betreffende positie.

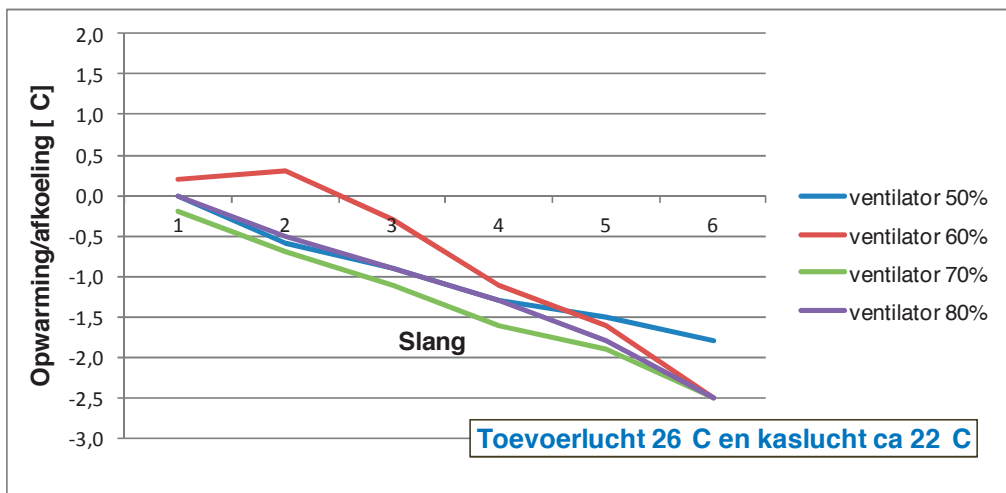
De belichting stond aan en de luchttemperatuur in de kas was bij aanvang vrij hoog maar koelde gedurende de meting af.



Figuur 2.24. Warmteverdeling per slang, toevoerlucht 22 °C en kaslucht 24 °C.



Figuur 2.25. Warmteverdeling per slang, toevoerlucht 24 °C en kaslucht 23.5 °C.



Figuur 2.26. Warmteverdeling per slang, toevoerlucht 26 °C en kaslucht 22 °C.

Waarnemingen bij proef 4:

1. De geperforeerde slang wisselt gemakkelijk warmte uit met de kas.
Van de over- of ondertemperatuur aan het begin van de slang is aan het einde nog ca. 50% over. Homogeen verwarmen (of koelen) is door dit verschijnsel niet goed mogelijk. Wel kan een deel van de kouval aan de gevel worden gecompenseerd door warmere lucht toe te voeren dan de kasluchttemperatuur.
2. Het ventilatoroerental heeft geen effect op de opwarming dan wel afkoeling, althans zo lijkt het. Dat kan komen doordat de overgangsweerstand lucht op slang dominant is en sterk varieert met de lichtsnelheid.
Met andere woorden: hoewel lucht langer in de slang verblijft, is de opwarming of afkoeling bij 50% nagenoeg hetzelfde als bij 80% ventilatorsnelheid omdat de warmteweerstand van de slang omgekeerd evenredig met de lichtsnelheid varieert.

Geluidmeting

Een LB kast staat op 8 meter van de gevel van een woning, het geluiddrukkniveau wordt gemeten voor en na plaatsing van een geluidscherm.

Bij 100% buitenlucht en verschillende ventilatortoerentallen wordt het geluidniveau gemeten op 1 en op 2 meter afstand, uitvoering vindt voor en na plaatsing van een geluidscherm plaats.

Aanleiding tot de geluidmetingen is de zorg van Marjoland voor overlast voor de bewoners waar een LB kast in de achtertuin staat. Voldaan moet worden aan eisen volgens besluit glastuinbouw.

Tabel 2.18. Geluidseisen glastuinbouw.

Besluit glastuinbouw, Paragraaf 1.1 Geluid			
	06.00–19.00 uur	19.00–22.00 uur	22.00–06.00 uur
$L_{Ar,LT}$ op de gevel van woningen	50 dB(A)	45 dB(A)	40 dB(A)
L_{amax} op de gevel van woningen	70 dB(A)	65 dB(A)	60 dB(A)



Figuur 2.27. LB-kast tijdens meetsessie (links) en tijdens definitieve uitvoering scherm (rechts).

Op 11 september 2009 is er gemeten aan een LB kast met en zonder geluidscherm.

Tabel 2.19. Geluidsmetingen LB-kast.

Percentage toerental (%)	Afstand tot bron (m)	Leq = Equivalente geluidsdruk niveau dB(A) (zonder akoestisch voorziening)	Leq = Equivalente geluidsdruk niveau dB(A) (met akoestisch voorziening)
Laag (50%)	2m	53,1	46,9
Middel (75%)	2m	61,9	51,5
hoog (85%)	2m	63,6	51,8
Laag (50%)	1m	56,4	45,2
Middel (75%)	1m	65,8	52,4
hoog (85%)	1m	67,1	52,8

Met behulp van de gemeten waarden is het geluidsdruk niveau berekend op de afstand van de dichtstbijzijnde gevel en wel op 8 meter afstand.

Getoetst is of de aldus gevonden waarden voldoen aan de eisen volgens besluit glastuinbouw.

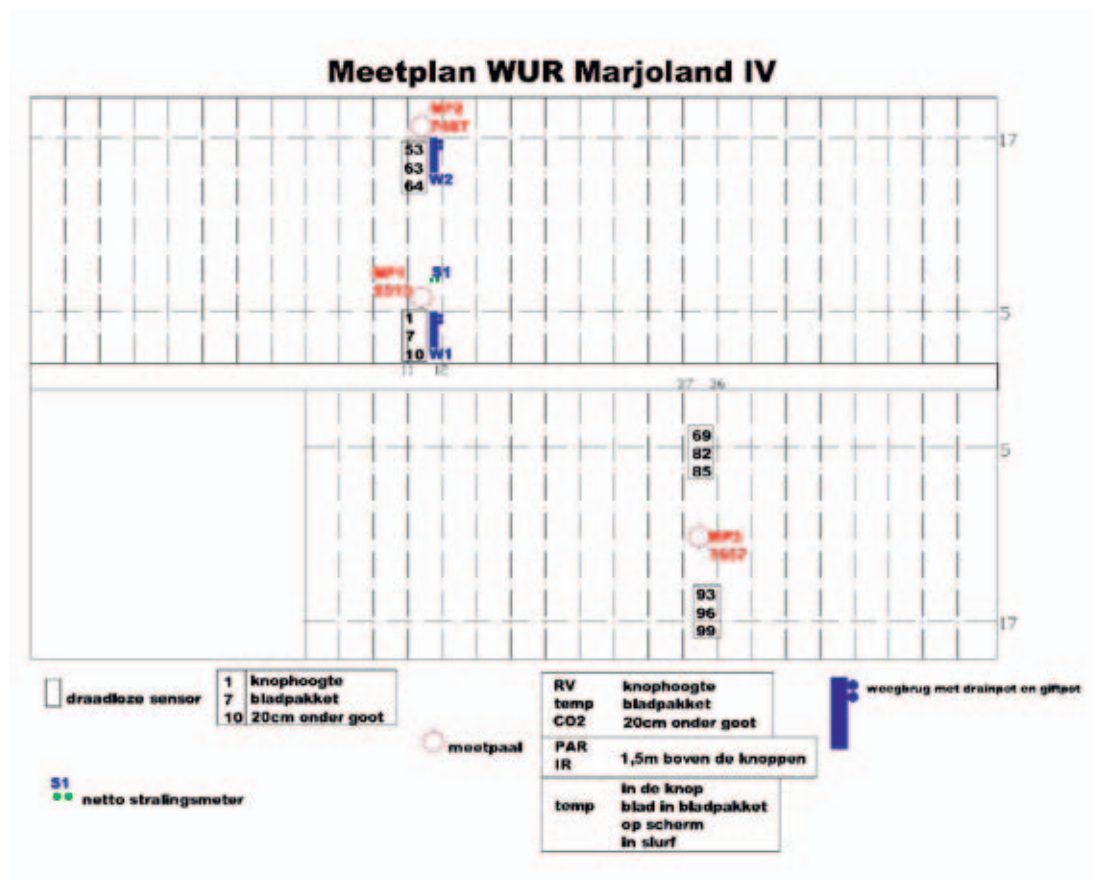
Tabel 2.19. Geluidsdruk niveau met en zonder geluidscherm.

Percentage toerental (%)	Zonder akoestische voorziening Geluidsdruk niveau dB(A)	Zonder akoestische voorziening Geluidsdruk niveau dB(A)	Toegestaan volgens norm?
Laag (50%)	56,4 dB(A) op 1m	38 dB(A) op 8m	voldoet dus 24uur/dag
Middel (75%)	65,8 dB(A) op 1m	48 (dB(A) op 8m	voldoet dus van 06.00 - 19.00 uur
Hoog (85%)	67,1 dB(A) op 1m	49 (dB(A) op 8m	voldoet dus van 06.00 - 19.00 uur
Meetgegevens zijn van 1 bron.			
Percentage toerental (%)	Met akoestische voorziening Geluidsdruk niveau dB(A)	Met akoestische voorziening Geluidsdruk niveau dB(A)	Toegestaan volgens norm?
Laag (50%)	45,2 dB(A) op 1m	27 dB(A) op 8m	voldoet dus 24uur/dag
Middel (75%)	52,4 dB(A) op 1m	34 (dB(A) op 8m	voldoet dus 24uur/dag
Hoog (85%)	52,8 dB(A) op 1m	35 (dB(A) op 8m	voldoet dus 24uur/dag
Meetgegevens zijn van 1 bron.			

3 Klimaatmetingen

3.1 Meetset

Voor het volgen van de invloed van het luchtsysteem op het klimaat in de kas en rondom het gewas zijn een groot aantal sensoren geplaatst. De set bestond uit geventileerde uit meetpalen met meetboxen op 3 hoogten op 3 posities in de kas om temperatuur en RV op knophoogte, tussen het bladpakket en onder de teeltgoot te kunnen vastleggen. Met ongeventileerde kleine Wysensis meetboxjes werd tussen het bladpakket temperatuur en RV gemeten. Boven het gewas werd met een PAR sensor en een IR camera het lichtniveau en de bladtemperatuur gemeten. Met thermokoppels werd de temperatuur van één blad, een knop, de uitblaastemperatuur en de luchttemperatuur onder het scherm gemeten. Op twee posities in één pad werd met behulp van een weeggoot de gewasgroei, de watergift, de drain en de verdamping gemeten. Met een verdraaibare lichtsensor van Kipp werd boven het gewas de straling in het zichtbare en het infrarode spectrum gemeten met sensoren die zowel naar boven als naar onderen gericht waren, waardoor de netto geabsorbeerde straling op het gewas berekend kon worden. Een overzicht van alle sensoren is te vinden in Figuur 3.1.



Figuur 3.1. Meetplan Marjoland IV.

De data van deze meetapparatuur werd draadloos naar een Letsgrow server verstuurd en omgezet in 5 minuten waarden.

3.1.1 De meting van temperatuur en RV

Door op twee posities in een pad en op drie hoogten te meten kon een beeld worden verkregen van de horizontale en verticale gelijkheid van temperatuur en RV. De meting in een andere afdeling diende ter controle van de gelijkheid over het hele bedrijf. Steeds is vergeleken met de meting van de geventileerde meetbox van Marjoland zelf die zich net boven de knop bij meetpaal 5313 bevond.

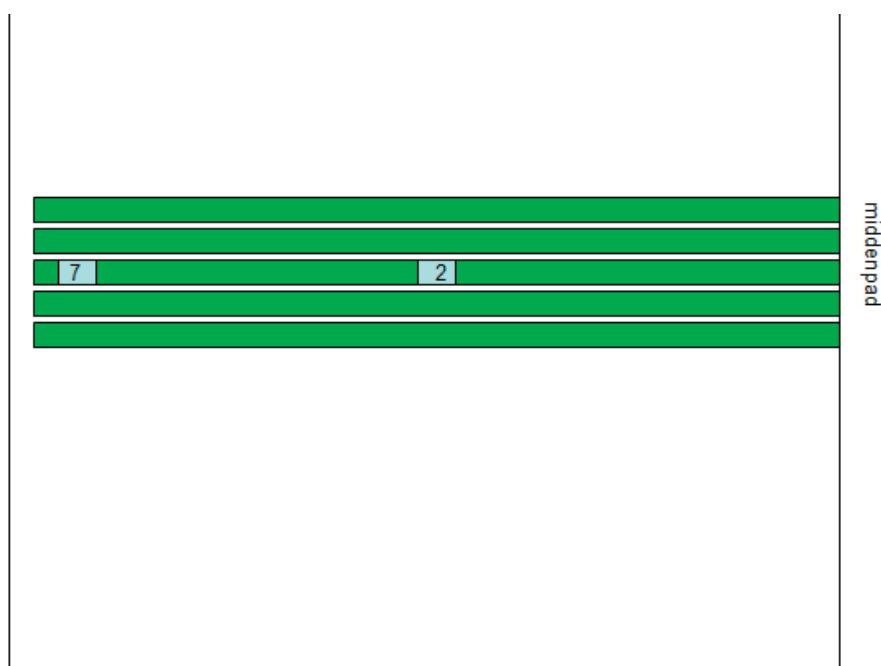
Omdat geventileerde meetboxen tussen het bladpakket door middel van hun luchtstroom zelf het klimaat kunnen beïnvloeden, zijn ter controle de ongeventileerde Wysensis boxjes geplaatst. Daarvan is bekend dat sterke instraling leidt tot meting van een te hoge temperatuur en een te lage RV. Daarom zijn ze zo goed als mogelijk onder bladafdekking geplaatst en worden de meetwaarden bij hoge instraling overdag niet meegenomen.



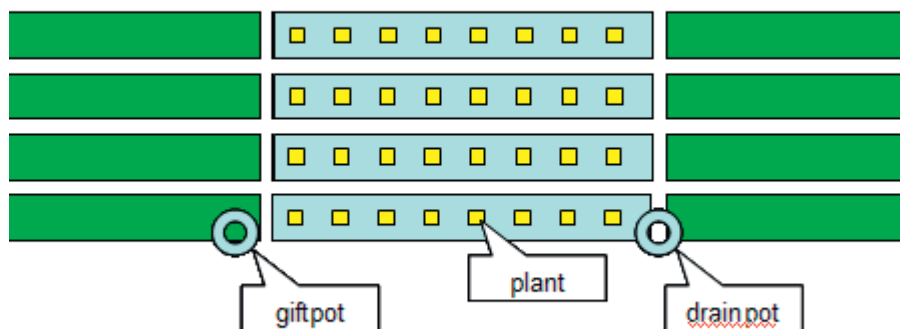
Figuur 3.2. Wysensis draadloze meetbox zonder ventilator.

3.1.2 De weeggoten

Het rozenteeltbedrijf Marjoland produceert in Marjoland IV de cultivar 'Passion' op steenwol. Er wordt geteeld op 4 goten per bed met 4 planten per strekkende meter goot. De plantdichtheid is uiteindelijk 8.7 per m² teeltoppervlak. Ten behoeve van het project zijn op 2 plaatsen in de kas - op 75 m van de gevel respectievelijk ca. 15 m vanaf de gevel (Figuur 3.3.) - de teeltgoten onderbroken/doorgezaagd, en zijn weegunits ingebouwd in december 2010.



Figuur 3.3. Overzicht van locatie van weegunits 2 (op 75 van de gevel) en 7 (ca. 15 m van gevel).



Figuur 3.4. Overzicht van weegunit en locatie van gift- en drainpot.

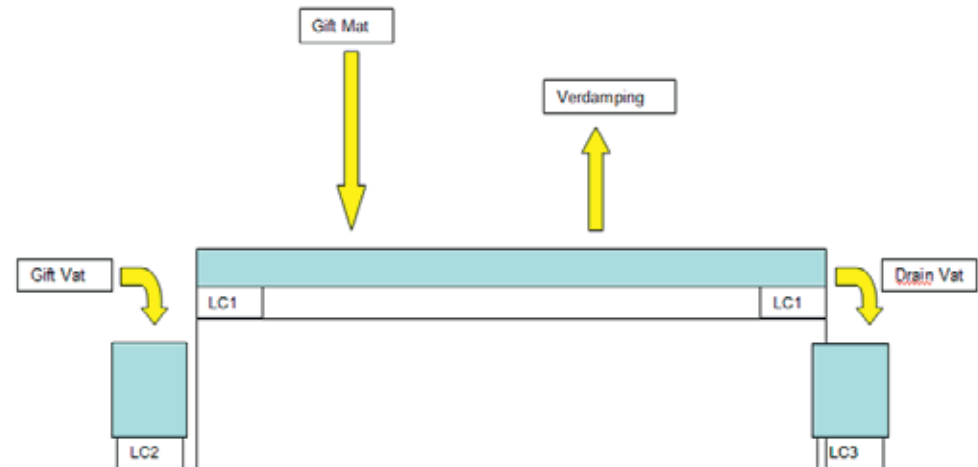
Een weegunit bestond uit een 2 m lang aluminium frame waarop de doorgezaagde goten met steenwol en gewas (totaal $4 \times 8 = 32$ planten) geplaatst waren (Figuur 3.4.). Tussen frame en goten waren vier loadcells (Stekon LC100) geplaatst. Van de loadcells werd per minuut de (gemiddelde) uitgangsspanning gelogd. Er werd zorg voor gedragen dat de druppelleiding zo min mogelijk invloed had op de weging van niet meegewogen werd.

De drain werd na een gift aan het einde van de goten opgevangen en geleid naar een drainvat (Figuur 3.5.). Het drainvat werd automatisch geleegd bij een vulling van 5 liter. Het drainvat werd ook per minuut gewogen met een loadcell. Eenzelfde vat als voor de drain werd gebruikt om de gift van 20 druppelaars te meten. Schematisch is de opstelling weergegeven in Figuur 3.6.

De temperatuur van de weegframes werd bepaald met thermokoppels aan beide zijden van het frame.



Figuur 3.5. Weegunit met frame waarop loadcells en goten die uitmonden in drainopvang.



Figuur 3.6. Schematische weergave van weegunit met loadcells en waterstromen.

Een uitgebreide beschrijving van de meetgoten is te vinden in hoofdstuk 5.

3.1.3 Netto stralingsmeter

Voor het bepalen van de stralingshuishouding in de kas is op 1m hoogte boven het gewas een netto stralingsmeter van het type CNR1 van Kipp en Zonen geplaatst. Deze bestaat uit 4 sensoren, twee naar beneden gericht en twee naar boven. Eén sensor bepaalt de straling in het zichtbare licht plus het nabij-infrarode spectrum (300-3000 nm), de andere in het infrarode spectrum (warmtestraling = 5000-42000nm). Met deze meter is het mogelijk om de uitstraling van het gewas naar een koude hemel te meten zodat gevaar op condens kan worden bepaald. Voor het berekenen van de verdamping is de netto straling die door het gewas geabsorbeerd wordt van belang. Deze is uit te rekenen door de som van de gereflecteerde (opwaartse) straling af te trekken van de som van de neerwaartse straling van lamp of zon. Daarnaast was er nog een PAR meter aanwezig op de meetpaal die er vlak naast stond.



Figuur 3.7. Kipp netto stralingsmeter.

3.1.4 Rookproeven

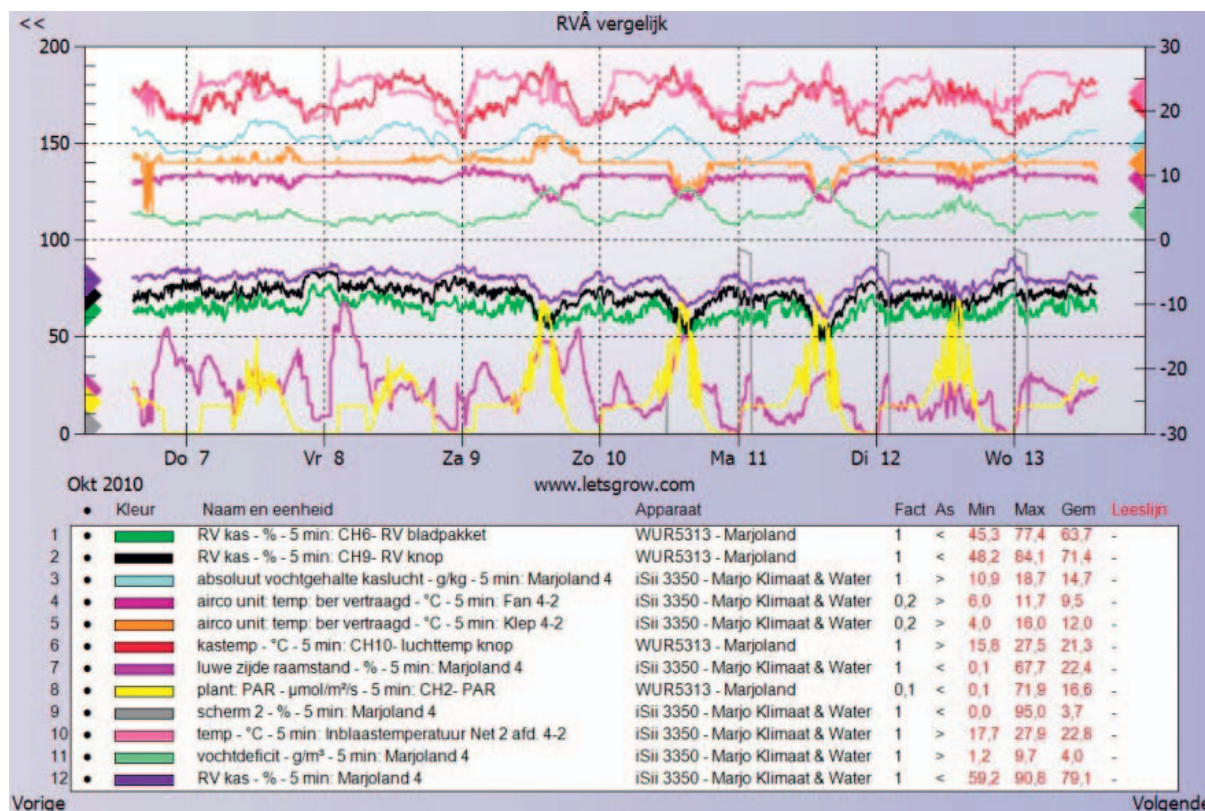
Omdat voor dit onderzoek inzicht nodig was in luchtstromen in de kas is gebruik gemaakt van een rookapparaat van het type Colt 4 met rookpatronen op basis van glycerine en water. Met dit apparaat kon in korte tijd een groot volume rook worden gemaakt dat minimaal 10 minuten zichtbaar bleef. De beelden zijn vastgelegd in HD kwaliteit met een Samsung NV24HD camera.

3.2 Resultaten metingen.

3.2.1 De invloed van het luchtblazen

De luchtinstallatie wordt geregeld op basis van een gemiddelde van de RV meting van 4 meetboxen van Marjoland, die zich net boven knophoogte bevinden. Vanwege geluidsoverlast is het toerental van de ventilator begrensd op 65%. De klep waarmee buitenlucht en kaslucht worden gemengd kent een begrenzing van 80% buitenlucht.

De eerste metingen gaven het volgende beeld.

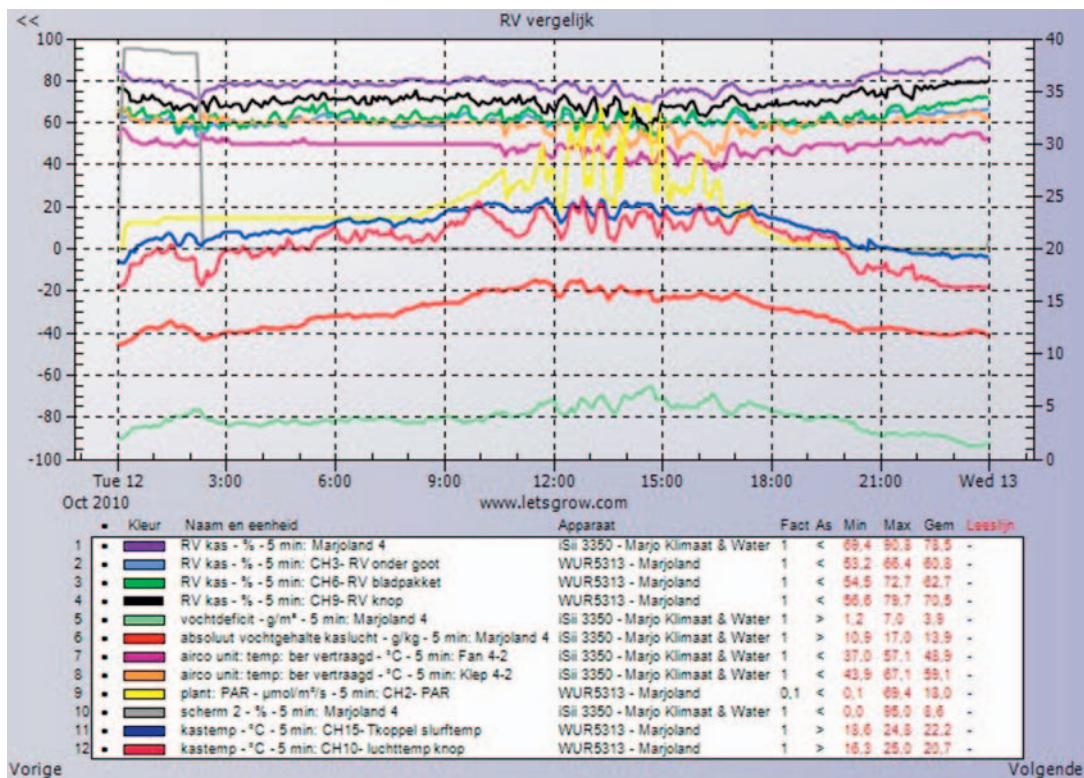


Figuur 3.8. Klimaat 7 t/m 13 oktober 2010.

Wat opvalt, is dat de meetbox van Marjoland een beduidend hogere RV waarde aangeeft op knophoogte dan de meetset. Dat betekent dat de luchtblaasinstallatie voor niets staat te ontvochtigen. Daar deze waarde een gemiddelde is van 4 sensoren die door de kas verdeeld zijn, valt op basis van deze waarneming nog niet te zeggen of deze specifieke meter geijkt moet worden. Het ligt echter voor de hand dat de regeling beter per meetbox sectie geregeld kan worden om energie te besparen. Uit ander onderzoek is al vaak gebleken dat vocht zeer lokaal te hoog kan zijn. Dat kan te maken hebben met verschil in temperatuur, maar ook in verschillen in verdamping, bijvoorbeeld bij roos plaatselijk meer bloemen. De ventilator staat in deze periode gemiddeld maar op een hele lage stand (9,5%) en er wordt maar 12% buitenlucht toegelaten. Desondanks is de RV bij de knop of tussen het bladpakket nooit echt hoog geweest.

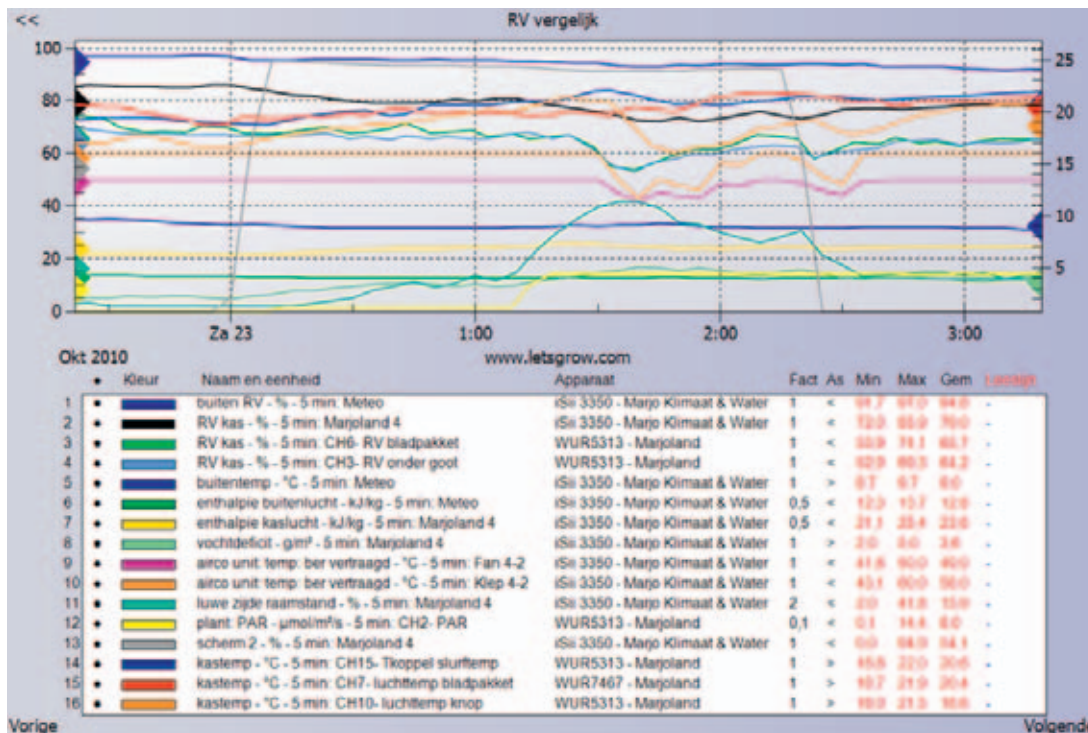
Dat heeft te maken met het feit dat de cultivar Passion vrij weinig verdampt. De uitblaastemperatuur van de luchtinstallatie is iets hoger dan de kasttemperatuur op knophoogte. Dat is bewust zo ingesteld om te proberen de lagere temperaturen langs de gevel wat te compenseren. Uit latere metingen blijkt overigens dat dit geen zin heeft. Dankzij de luchtblaasinstallatie is de RV onderin het gewas lager dan op knopniveau.

De grafiek van de periode daarna toont nog wat meer in detail het verschil tussen de RV metingen. Vanaf 10 oktober is begonnen met het sluiten van het schermdoek. De ventilator van de LBK heeft sinds die datum een minimum stand van 30 en de buitenluchtklep van 20. Het aanzetten van het licht op het moment dat het scherm dicht gaat is goed vast te stellen aan de hand van de PAR sensor. Vanaf dat moment gaan kasttemperatuur en absoluut vocht op knophoogte omhoog, maar daalt de RV omdat de kasttemperatuur harder stijgt dan het AV. De luchtblaasinstallatie reageert door iets terug te regelen omdat de RV in de meetbox daalt. Opvallend is wel dat in eerste instantie het vochtdeficit zakt en even later weer oploopt. Op het moment dat het scherm weer open loopt daalt de temperatuur en stijgt de RV. Tegen middernacht is het licht nog uit en zakt het VD naar een waarde van 1,2 g/m³. De luchtblaasinstallatie draait op dat moment op 55% ventilatorcapaciteit terwijl er 65% buitenlucht wordt aangezogen. Toch kan dit niet voorkomen dat de RV in de meetbox op 90,8% komt. De meetset geeft echter 79,7% aan en in het bladpakket zelfs lager. De conclusie is hier dat regelen op vochtdeficit of RV op één plek gemeten een zeer discutabele manier van meten en regelen is.



Figuur 3.9. Klimaat in detail.

Van belang is ook of de luchtblaasinstallatie goed samenwerkt met de luchtramen. In de volgende Figuur zijn de stand van de ramen en de buitencondities ook weergegeven.

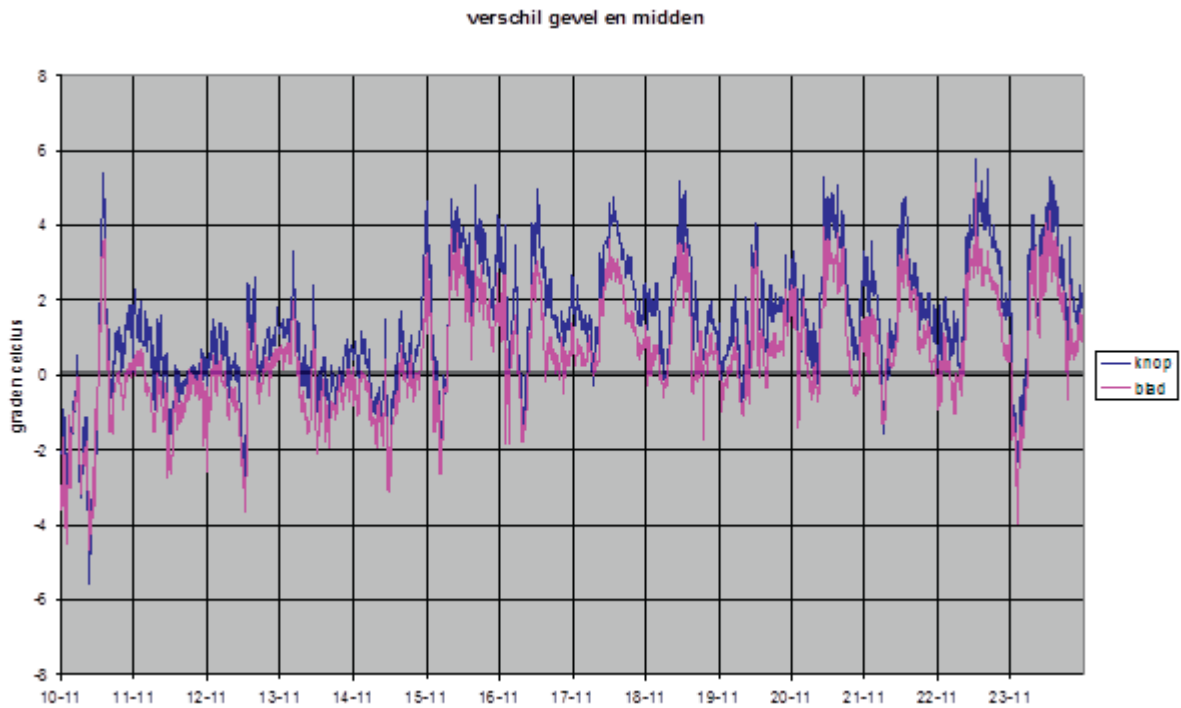


Figuur 3.10. Kasklimaat bij gesloten scherm met belichting.

Daarin valt op dat direct na het sluiten van het scherm de RV op knophoogte daalt en de kastemperatuur stijgt. Maar de installatie niet reageert. De ramen staan slechts 2% open. Het is vooral de verhoogde kastemperatuur die zorgt voor de daling van de RV. De kaslucht binnen het bladpakket stijgt minder hard, maar is toch 2 graden hoger dan bij de knop. De RV blijft daar nagenoeg gelijk. De temperatuur van de ingeblazen lucht is gelijk aan de temperatuur binnen het bladpakket, terwijl de RV iets lager is en vrij constant op 65% staat. Omdat de kastemperatuur op knophoogte verder oploopt gaan om 0.30 uur de ramen open. Alle temperaturen en RV's stabiliseren dan tot om 1.15 uur het licht op volle capaciteit gaat draaien. Omdat de knoptemperatuur dan stijgt, gaan de ramen verder open. Als ze 40% open staan gaan de luchttemperatuur en de RV op knophoogte drastisch omlaag, terwijl de situatie in het bladpakket nagenoeg gelijk blijft. De luchtblaasinstallatie wordt in capaciteit verminderd omdat op knophoogte immers de RV omlaag gaat. De conclusie is hier dat het vrij moeilijk is om zowel het klimaat op knophoogte als binnen het bladpakket gelijktijdig te besturen op basis van een meting op knophoogte. Deels komt dat omdat men er in deze situatie voor had gekozen om de inblaas temperatuur (slurftemp) iets hoger te kiezen dan de kastemperatuur om op die wijze een te lage kastemperatuur bij de gevel enigszins te compenseren. Daarnaast bleek uit rookproeven dat deze warmere lucht nauwelijks door het bed omhoog werd gestuwd, maar veel meer onderlangs de goten horizontaal ging stromen. De invloed van de droge luchtstroom op de meetbox is dus erg indirect. Een grotere verticale luchtstroom had de verticale verschillen in temperatuur waarschijnlijk wel kleiner gemaakt.

3.2.2 Horizontale en verticale temperatuurverschillen

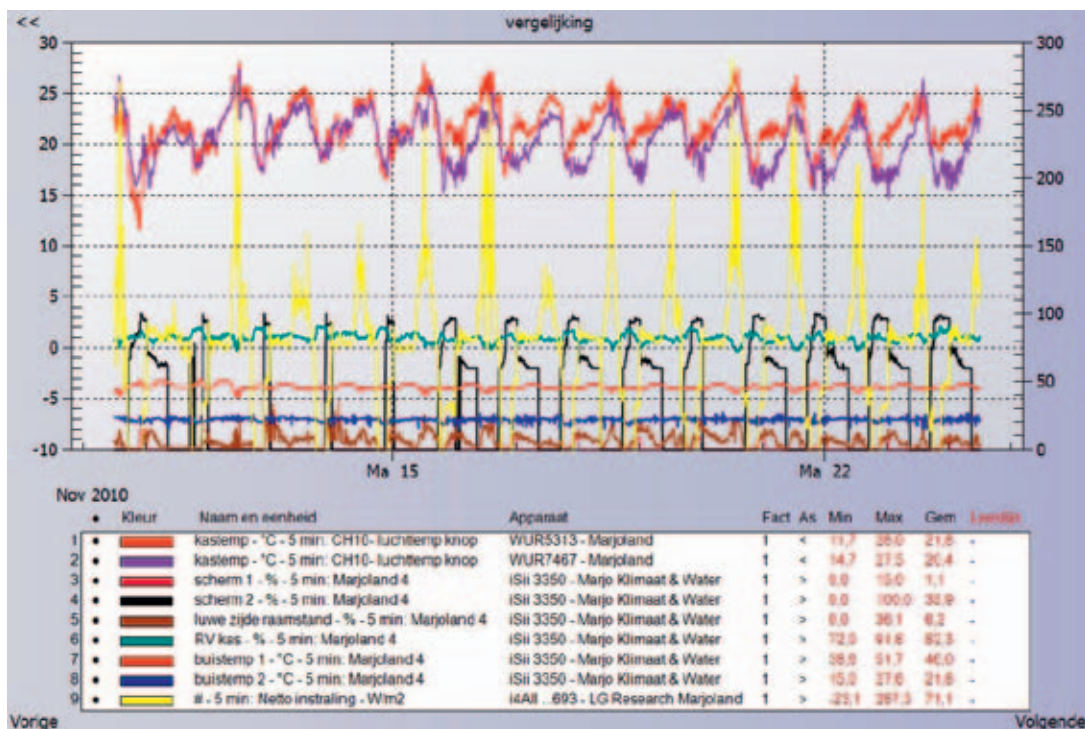
Zowel verticaal als horizontaal zijn temperatuurprofielen bepaald. Deze verschillen zijn in de volgende grafieken weergegeven.



Figuur 3.11. Temperatuurverschil tussen gevel en midden kas op knophoogte en in het bladpakket over de periode 10-11 t/m 24-11.

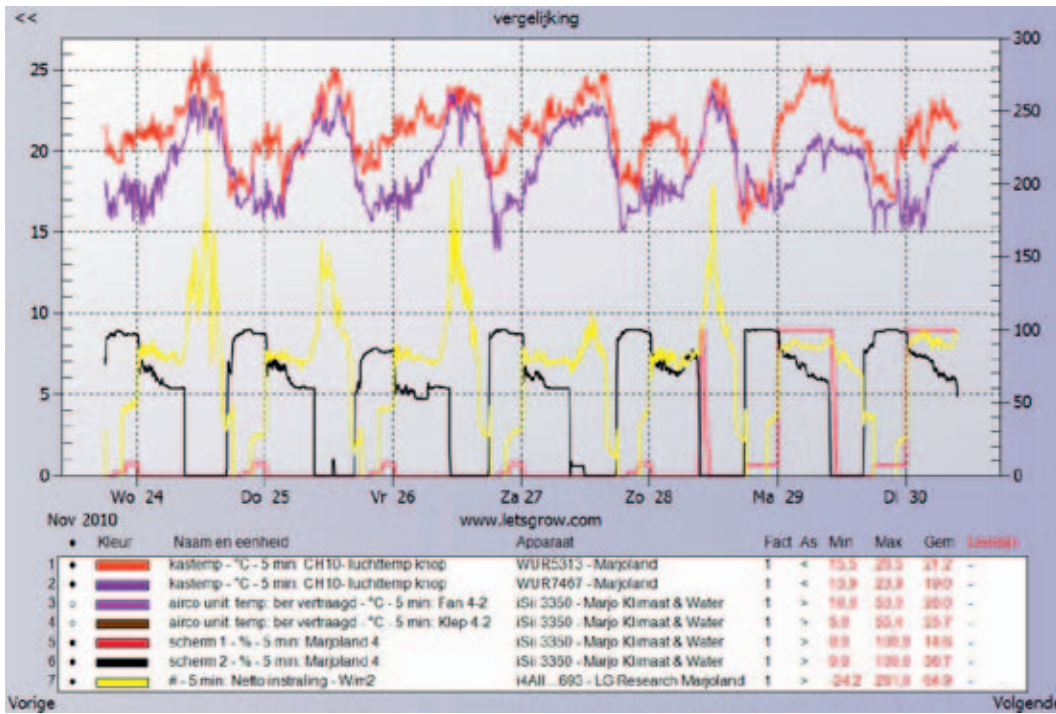
De verschillen zijn op knophoogte het grootst en bedragen tot 4 graden. De verticale strepen zijn 12.00 uur overdag. Wat opvalt, is dat de eerste 4 dagen het verschil veel kleiner was dan de rest van de dagen.

Kijken we naar het klimaat in die perioden, dan zien we het volgende beeld:



Figuur 3.12. Kasklimaat periode 10-24 november.

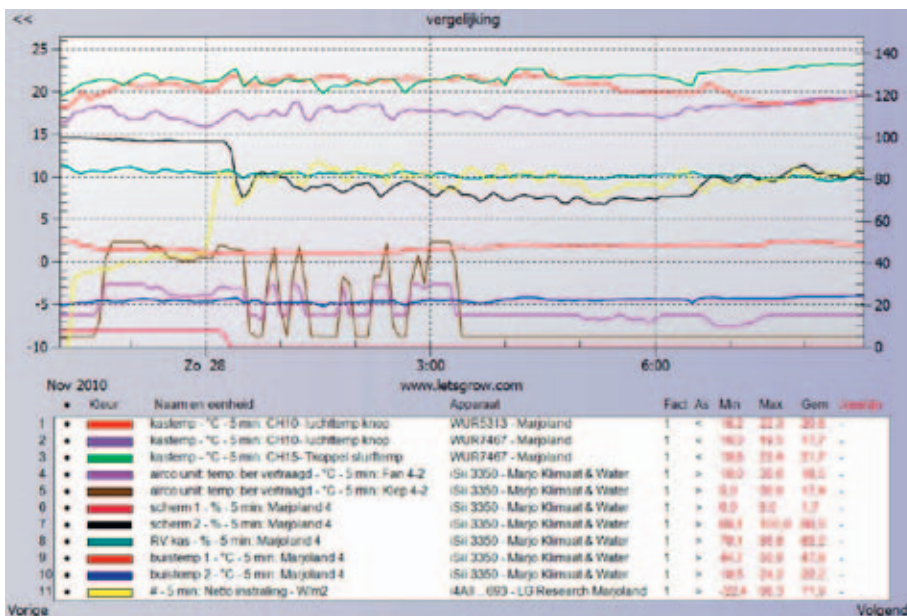
De enige factor waarmee een relatie lijkt te bestaan met de grootte van de temperatuurverschillen op knophoogte is het scherm 2. Als deze niet gesloten is zijn de temperatuurverschillen kleiner. Voor een goede analyse moeten we echter nog wat beter kijken. De volgende Figuur toont de relatie met licht en het schermgebruik.



Figuur 3.13. Temperatuurverschillen op knophoogte in relatie tot licht en schermdoek in de periode 24-30 november.

Ook in deze periode zijn de temperatuurverschillen groot. In de nacht van zondag op maandag, net voor middernacht is het schermdoek volledig gesloten en het licht uit. De temperatuurverschillen op knophoogte zijn dan minimaal. Iedere keer als het licht aan gaat nemen de verschillen toe. Opvallend is verder het grote verschil op maandag 29 november overdag. Er is dan bijna geen instraling, wel zijn de lampen aan. Als scherm 1 open gaat nemen de verschillen af.

De ochtend van zondag gebeurt er iets bijzonders. Dat valt te zien in de volgende figuur.

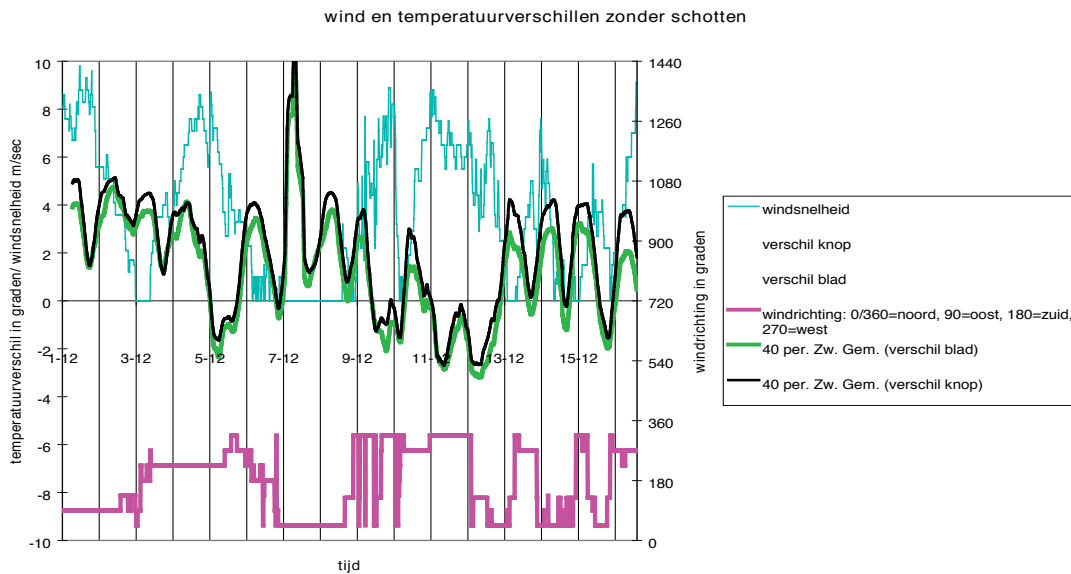


Figuur 3.14. Klimaat op zondag ochtend 28 november.

De hele nacht is er een verschil van 4 graden tussen de temperaturen op knophoogte. Om 7.00 uur verandert dit plotseling. De enige factor die op dat moment echt veranderd is het iets meer sluiten van scherm 2. De stand van de Airco-unit (LBK), licht of buistemperaturen verandert nauwelijks. Wat we hier waarnemen is mogelijk een verandering van de luchtstroming door en over het doek.

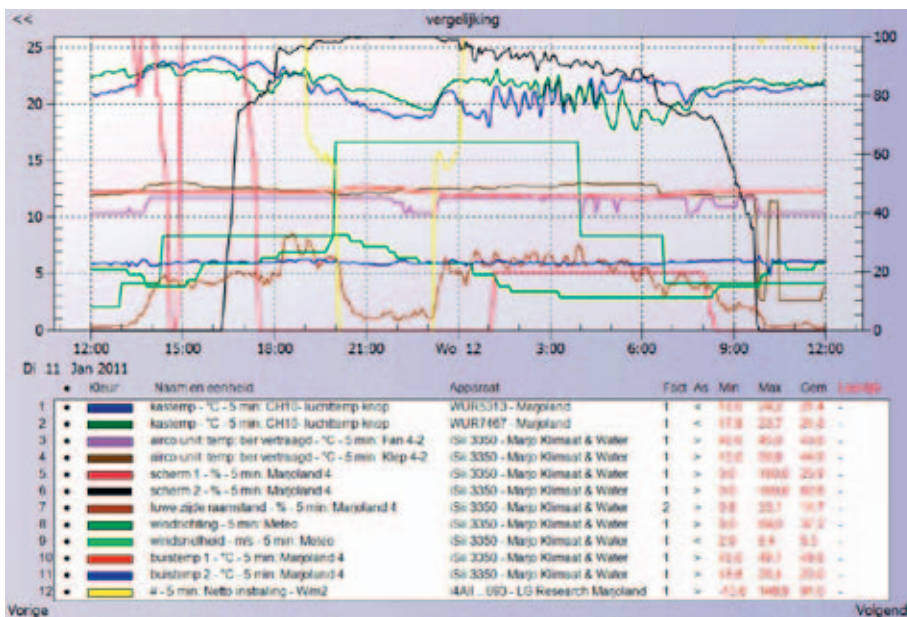
3.2.3 De invloed van wind op de temperatuurverschillen

Er is ook gekeken naar de mogelijke invloed van de windrichting en de windsterkte op de temperatuurverschillen en de interactie met de luchtblaasinstallatie.



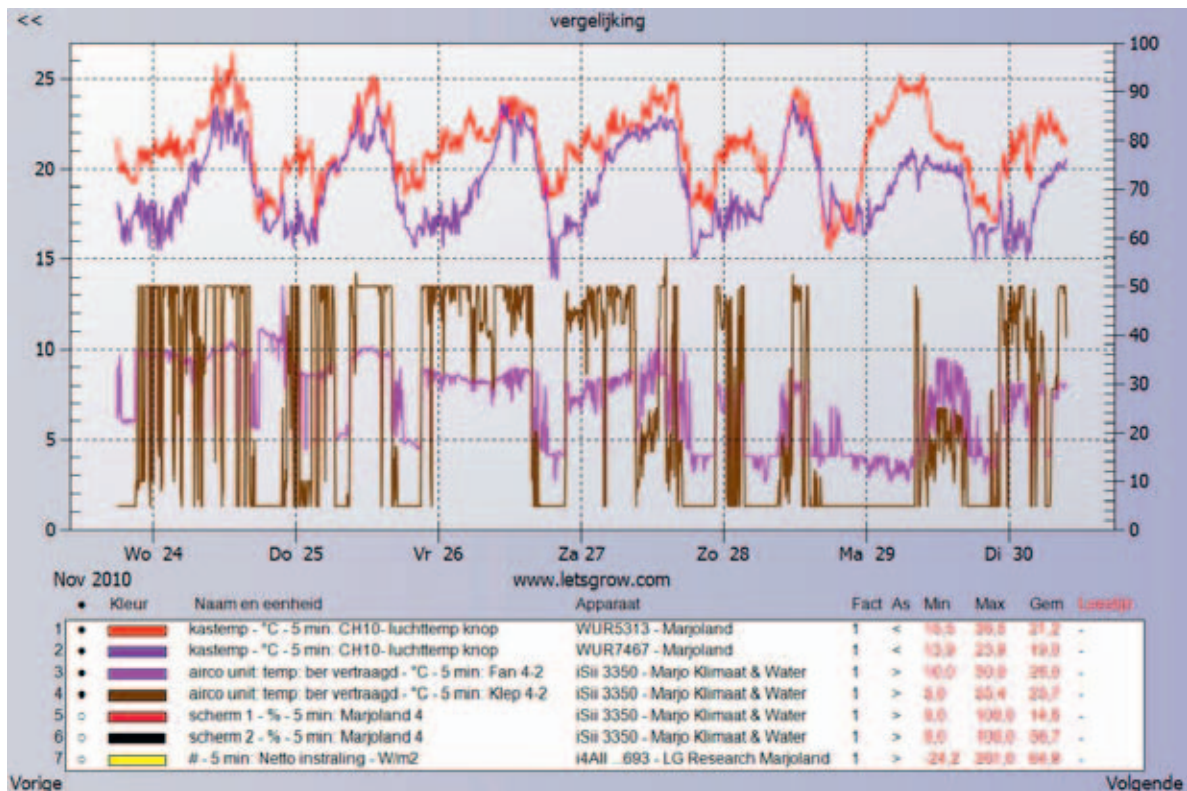
Figuur 3.15. Invloed windrichting en snelheid op temperatuurverschil op knophoogte en in het bladpakket op 10 m en 90 m van de gevel.

Er lijkt geen duidelijke relatie tussen de plek of de grootte van de temperatuurverschillen en wind. Het is toch vooral de combinatie van lampen aan en scherm op een kier die de verschillen veroorzaakt. Zo gauw als het scherm open gaat zijn de verschillen verdwenen of in ieder geval een stuk kleiner, zoals blijkt uit de volgende figuur.



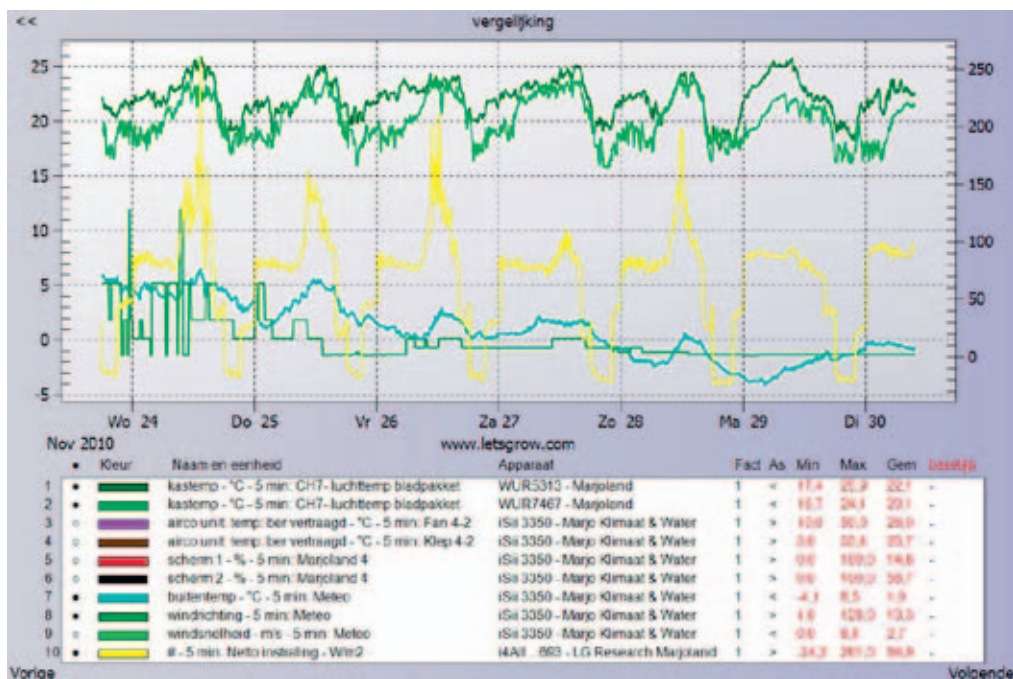
Figuur 3.16. Invloed schermstand op horizontale temperatuurverschillen op knophoogte.

Om 16.00 uur loopt het onderste scherm dicht en nemen de temperatuurverschillen op knophoogte toe. Als om 20.00 uur dit scherm 100% gesloten wordt nemen de verschillen af, om vanaf 23.30 uur weer sterk toe te nemen als er een kier wordt getrokken. Als om 1.00 uur het bovenste scherm 20% wordt gesloten, worden de verschillen kleiner. Onduidelijk is wat er om 4.00 uur gebeurt waardoor de temperatuurverschillen ineens weer toenemen. Dat zou wellicht de windrichting kunnen zijn. Die verandert van noordwest naar west, dus geen spectaculaire verandering. Als om 8.00 uur het bovenste doek volledig open gaat en het onderste ruim open staat zijn de horizontale verschillen verdwenen. Wat opvalt, is dat de horizontale verschillen bij het inschakelen van de helft van de belichting om 23 uur niet toeneemt. Pas een half uur later wanneer er een kier in het scherm getrokken wordt nemen de verschillen toe. Een aanwijzing dat het probleem primair wordt veroorzaakt door de kieren in het scherm.



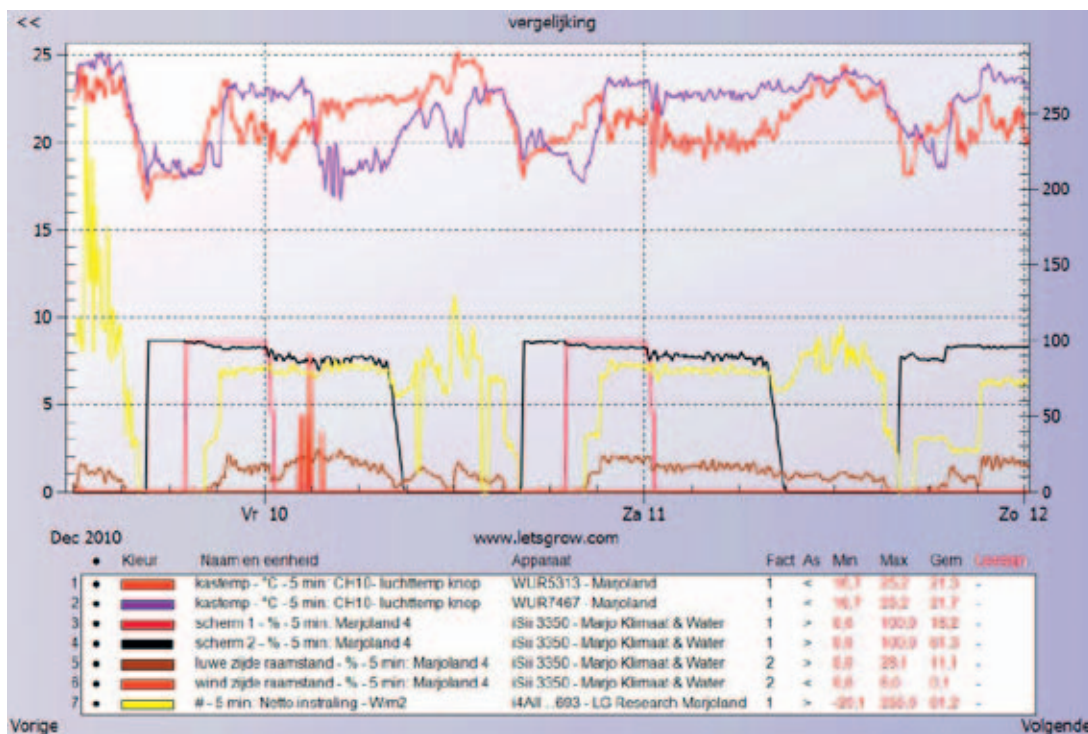
Figuur 3.17. Invloed van de LBK op de luchttemperatuur bij de knoppen.

Het hoog of laag staan van de ventilator of de buitenluchtklep heeft geen zichtbaar effect op de horizontale temperatuurverschillen. Zelfs niet bij sterke wisseling van capaciteit.



Figuur 3.18. Invloed van wind en buitentemperatuur op de luchttemperaturen in het bladpakket.

Ook hier is geen eenduidig verband te zien tussen de windsnelheid of de windrichting op de grootte van de verschillen. Hoewel het vrijwel constant aan de gevel kouder was dan in de rest van de kas traden er soms toch ook wisselingen op zoals in de nacht van 10 december. Om 2 uur draaide het temperatuurverschil ineens om. De belangrijkste verklaring die daarvoor gegeven kan worden is het feit dat de ramen aan de windzijde open gingen. Opvallend is wel dat ondanks dat de ramen weer dicht gingen het temperatuurverschil pas weer kleiner werd nadat het scherm helemaal open was gegaan. Uiteraard is ook gekeken of de verwarmingsbuizen, de windrichting of de windsnelheid van invloed was, maar die waren de nacht erop nagenoeg hetzelfde terwijl de koudste plek toen weer aan de gevel lag.



Figuur 3.19. Invloed van het openen van de ramen aan windzijde op de horizontale temperatuurverschillen op knophoogte.

Op basis van de gemeten temperaturen lijkt de conclusie gerechtvaardigd dat de belichting in combinatie met het schermgebruik dus de belangrijkste invloedsfactor is op de horizontale temperatuurverschillen. Zo gauw als de schermen met een kier gesloten worden nemen de verschillen toe. De wind heeft soms wel een invloed op het omdraaien van het temperatuurverschil, maar dat is dan alleen tijdelijk tijdens wisselingen van windrichting of windsnelheid. Zo gauw als het scherm open loopt verdwijnen de verschillen. De ervaring leert dat door het tijdelijk open laten lopen van het scherm de temperatuurverschillen voor langere tijd verdwijnen om daarna weer langzaam op te lopen. Het duurt enige tijd duurt voor de natuurlijke stroming boven het doek tot stand is gekomen.

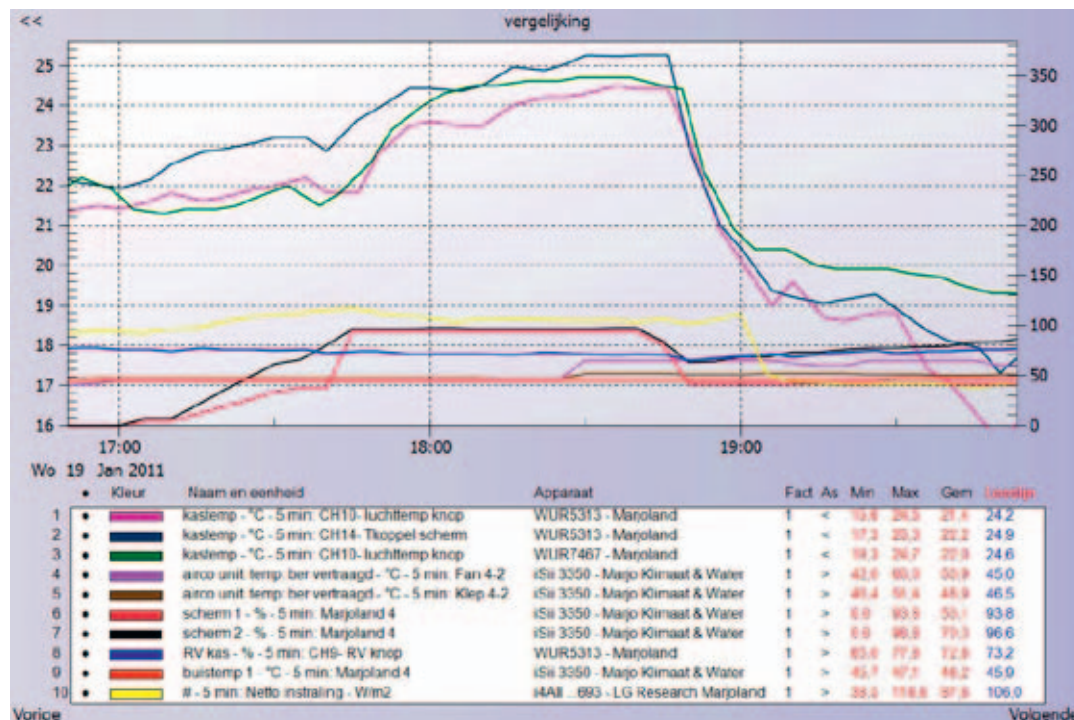
3.2.4 Effect van het volledig sluiten van het doek

Omdat de horizontale temperatuurverschillen een duidelijke relatie vertonen met de kier in het scherm is ook een keer geprobeerd om de schermen volledig gesloten te houden.

Op 19 januari hebben we daarom een rookproef uitgevoerd in de volgende situatie: 2 schermen volledig gesloten, lampen aan, buitenluchttoevoer eerst op 40%, later naar 65%.

Daaruit werd het volgende duidelijk:

1. De temperatuurverschillen binnen de kas waren binnen 1 graad.
2. De lucht in de kas stroomde nauwelijks nog, er was in het gewas sprake van stilstaande lucht.
3. Na opvoeren van de ventilator werd er alleen werveling zichtbaar onder de goten, rondom de slurf.
4. De temperatuur liep sterk op, de RV bleef gelijk.
5. Verwarmingsnet 1 werd niet terug geregeld in temperatuur.



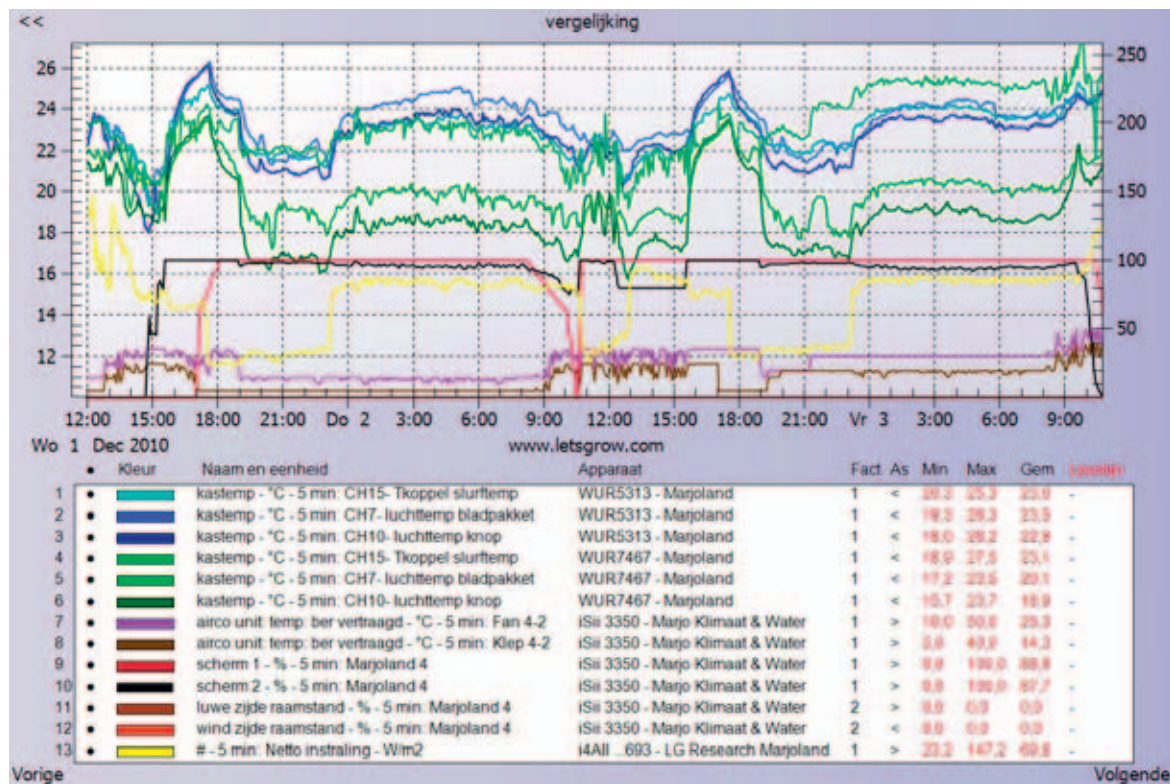
Figuur 3.20. Kasklimaat tijdens het geheel sluiten van 2 schermen. Om 19.00 uur werd de buitenlucht toevoer vergroot.

Het volledig gesloten houden van het scherm kan het probleem van de horizontale temperatuurverschillen dus oplossen.

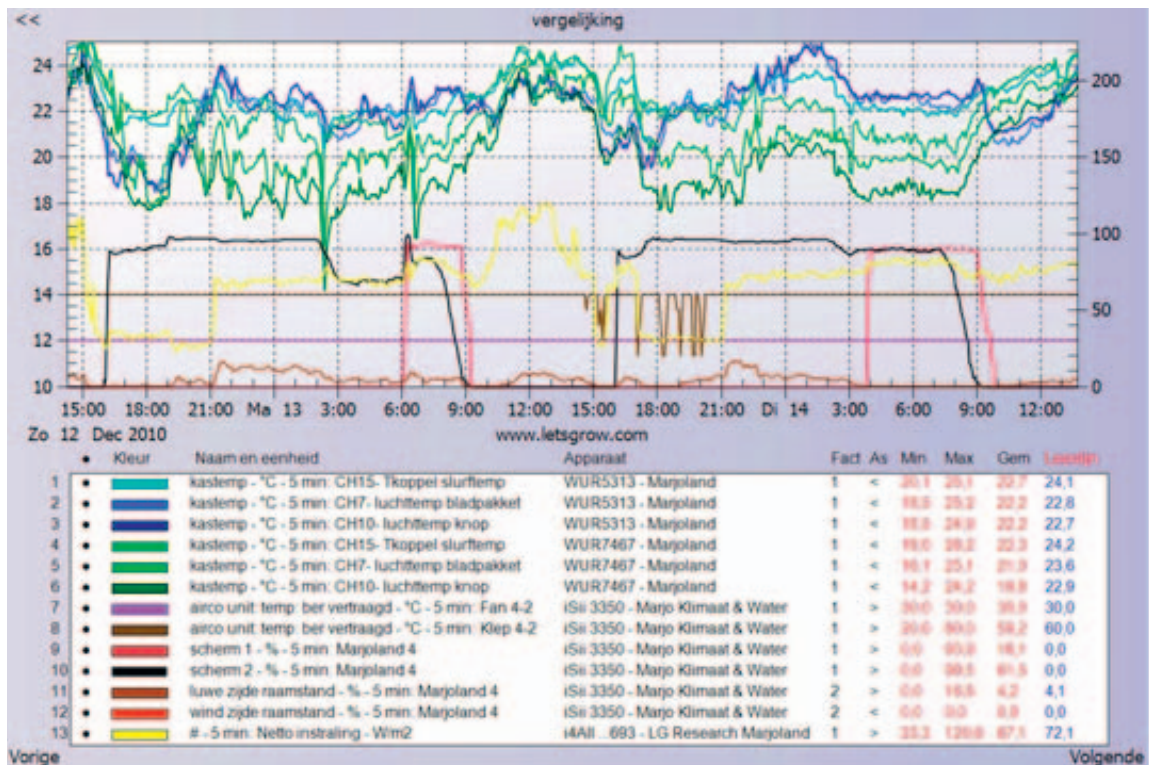
3.2.5 De invloed van de luchtblaasinstallatie op de temperatuurverschillen

Hoewel de temperatuurverschillen in de kas primair veroorzaakt lijken door het doek, is toch nog gezocht naar de invloed van de luchtslangen erop. Er is in deze periode omgeschakeld van kaslucht circulatie naar meer buitenlucht toevoer. Beide situaties zijn apart weergegeven in grafieken.

Wat opvalt, is dat de verticale verschillen bij de gevel in beide situaties veel groter zijn (groene lijnen) dan verderop in het bed. De verschillen in uitblaas temperatuur (slurftemp) zijn over de slurf gezien relatief klein, veel kleiner dan toen er nog extra werd verwarmd via de slurven om te proberen de lagere kastemperatuur langs de gevel te compenseren. Toch kan dat niet voorkomen dat de horizontale temperatuur verschillen in het bladpakket, dus dicht bij de gaatjes in de slurf, groot zijn (3,4 graden als er kaslucht wordt gecirculeerd). Bij het inblazen van buitenlucht wordt het verschil in het bladpakket beduidend kleiner (1 graad). De oorzaak wordt gezocht in het feit dat er nu een overdruksituatie is ontstaan. Maar wat er dan precies verandert is nog niet duidelijk. Feit is in ieder geval dat de naar binnen gevoerde lucht via ramen of andere openingen weer naar buiten moet en dat zal de stromingspatronen in de kas veranderen. Op knophoogte blijven de temperatuurverschillen hetzelfde als toen er kaslucht werd gecirculeerd. De conclusie blijft dus dat de slangen maar een beperkte invloed hebben en vooral positief werken als er buitenlucht wordt toegevoerd.



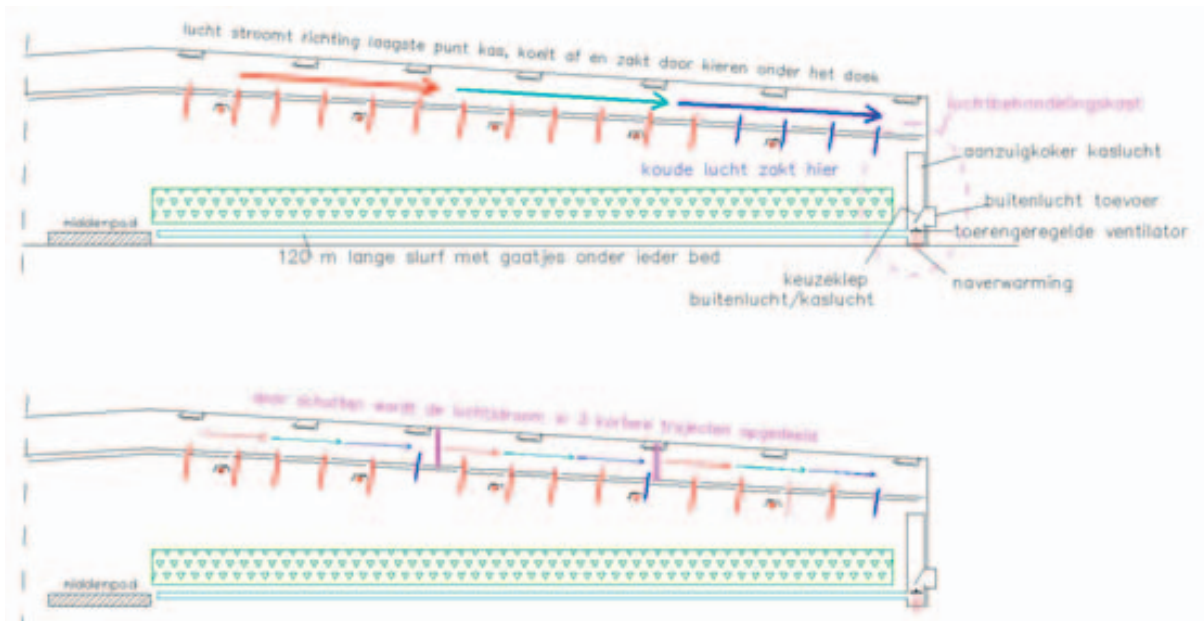
Figuur 3.21. Horizontale en verticale temperatuurverschillen bij circulatie van kaslucht, 7467 = 15 meter van de gevel, 5313 = 75 meter van de gevel.



Figuur 3.22. Horizontale en verticale temperatuurverschillen bij toevoer van buitenlucht, 7467 = 15 meter van de gevel, 5313 = 75 meter van de gevel.

3.2.6 Rookproeven om de bron van de temperatuurverschillen te vinden

Rookproeven lieten de oorzaak van die temperatuurverschillen zien. De kieren in het scherm veroorzaken een opgaande warme luchtstroom naar boven het doek. Daar koelt de lucht sterk af omdat het sluiten van het scherm het kasdek kouder heeft gemaakt. Omdat koude lucht zwaarder is dan warme lucht gaat hij zakken. De rookproef liet zien dat dit betekent dat de lucht over het doek gaat stromen naar het laagste punt van de kas en het doek, bij de gevel. Daar stroomt langs een 12m brede zone langs de gevel de inmiddels 6 graden koudere lucht door de kieren in het schermdoek omlaag. De stroming boven het doek is fors met snelheden van 0,5 tot 1 m/sec. Bij de gevel komt daardoor een grote hoeveelheid koude lucht naar beneden, die de aanzuigcapaciteit van de luchtblaasinstallatie drie tot vier keer overstijgt. Het is dus ook niet raar dat de luchtblaasinstallatie nauwelijks invloed vertoont op de temperatuurverschillen zelfs als er een paar graden warmer wordt ingeblazen dan de kasluchttemperatuur bij de meetbox die zich 60 meter verder bevindt. Om de luchtblaasinstallatie beter tot zijn recht te laten komen, moesten eerst de hoeveelheid lucht die door het scherm komt zakken en tegelijkertijd het temperatuurverschil door die luchtstroom boven het doek fors gereduceerd worden. De oplossing werd gevonden in het plaatsen van een verticaal schot boven het scherm om de 40m. Het resultaat was dat de horizontale temperatuurverschillen werden teruggebracht van 6 naar 2 graden. De verklaring is gelegen in het feit dat er weliswaar nog steeds een luchtstroom boven het doek is met lokale kouval bij ieder schotje, maar dat de weg die de lucht aflegt langs het kasdek veel korter is en daardoor tot minder afkoeling leidt. Globaal lijkt het erop dat de temperatuurverschillen evenredig afnemen met de weg die hij aflegt. Dus opdelen in 3 secties betekent een 1/3 temperatuurverschil. Nog meer schotten kunnen de temperatuurverschillen nog verder verkleinen, maar de kleinste temperatuurverschillen bestaan bij het volledig gesloten houden van het scherm.

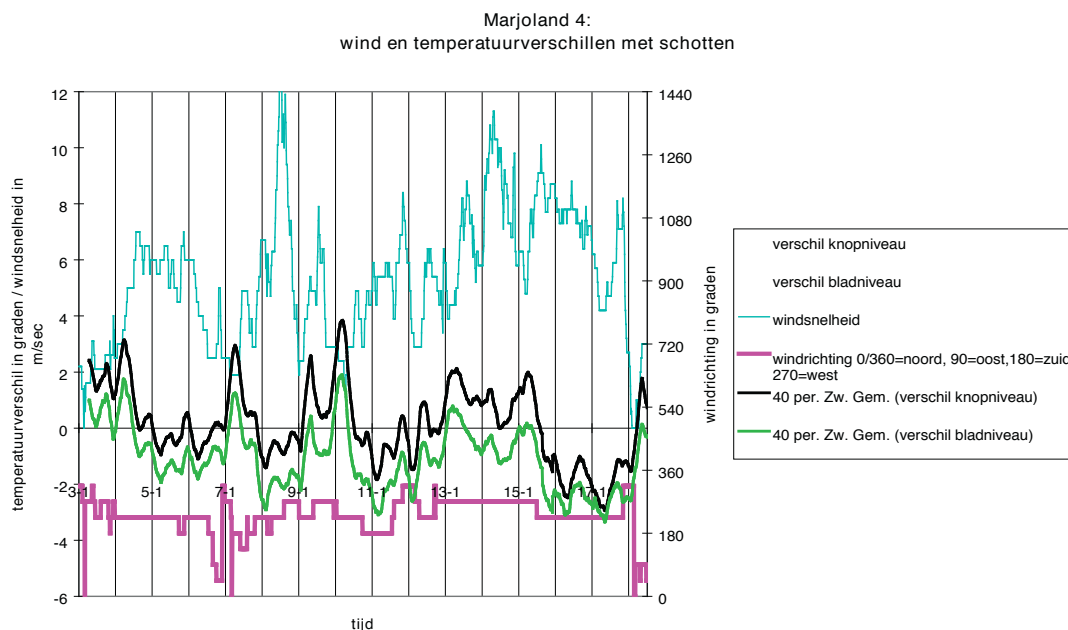


Figuur 3.23. Overzicht luchtblaasinstallatie en luchtstromen boven en door het doek voor en na het plaatsen van verticale schotten.



Figuur 3.24. Rook trekt boven scherm richting gevel en zakt dan door de kieren omlaag.

3.2.7 De invloed van wind na het aanbrengen van schotten

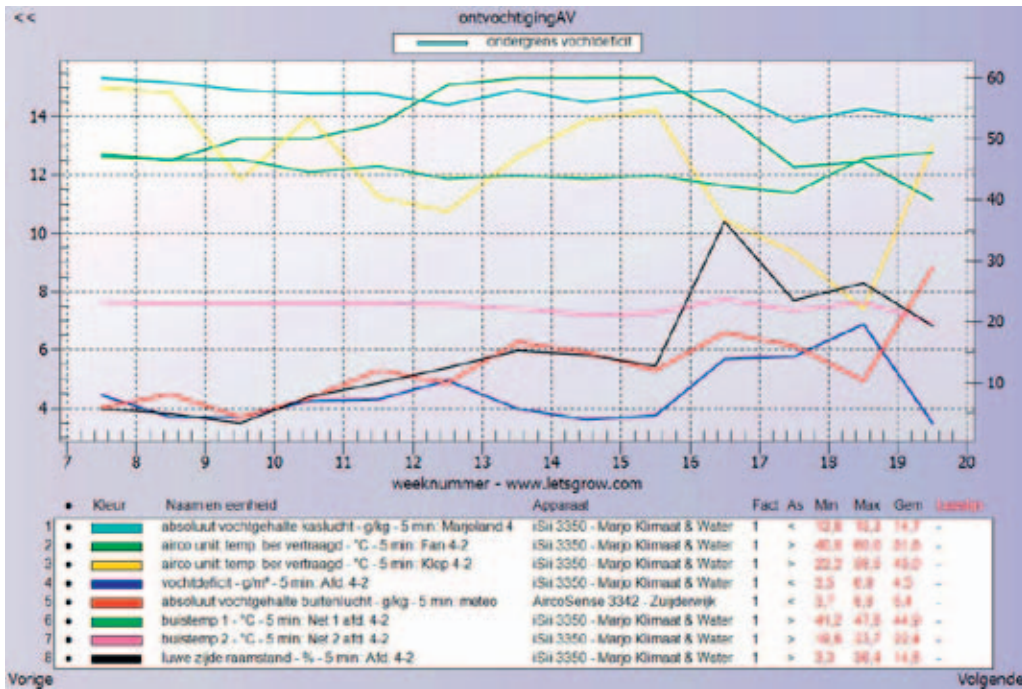


Figuur 3.25. Invloed windrichting en snelheid op temperatuurverschil op knophoogte en in het bladpakket op 15 m en 75 m van de gevel na het aanbrengen van schotten boven het scherm.

Ook na het aanbrengen van de verticale schotten is er geen duidelijk verband te vinden tussen de windrichting en windsnelheid op grootte en richting van het horizontale temperatuurverschil op zowel knophoogte als in het bladpakket. Wel zijn de verschillen kleiner geworden dankzij de schotten.

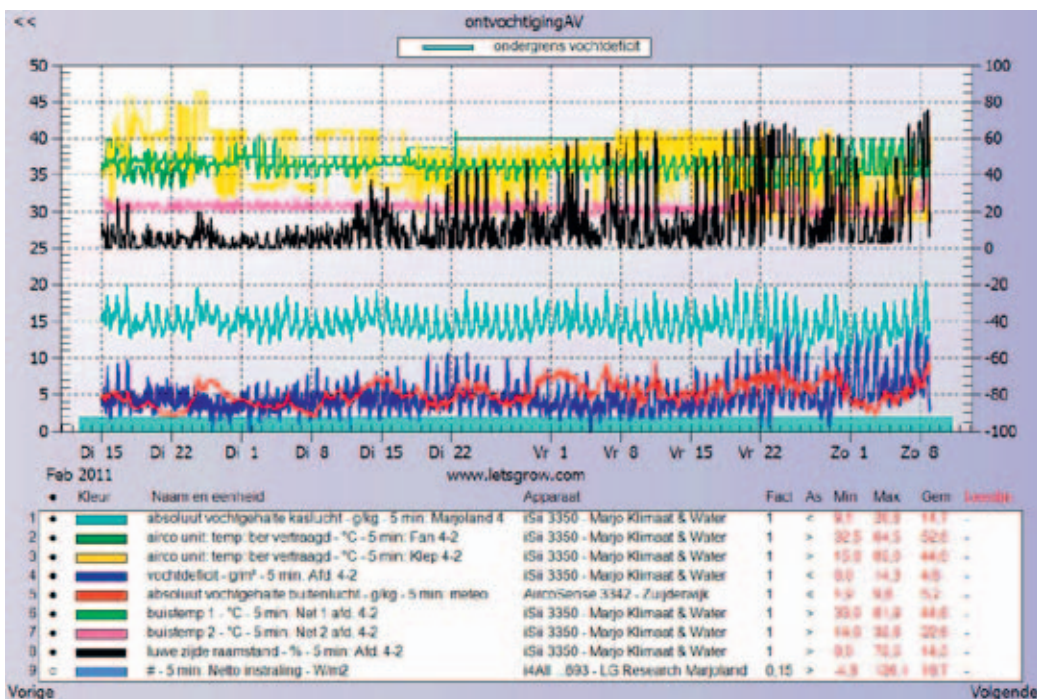
3.2.8 Invloed luchtblazen op het vochtdeficit

Tussen week 7 en week 20 in 2011 was de installatie zodanig ingesteld, dat er vooral veel buitenlucht werd toegevoerd. De weekgemiddelden van het vochtdeficit op basis van meetbox van Marjoland op knophoogte vertoonden het volgende beeld.



Figuur 3.26. Weekgemiddelden vochtbeheersing week 7 t/m 20 Marjoland 4.

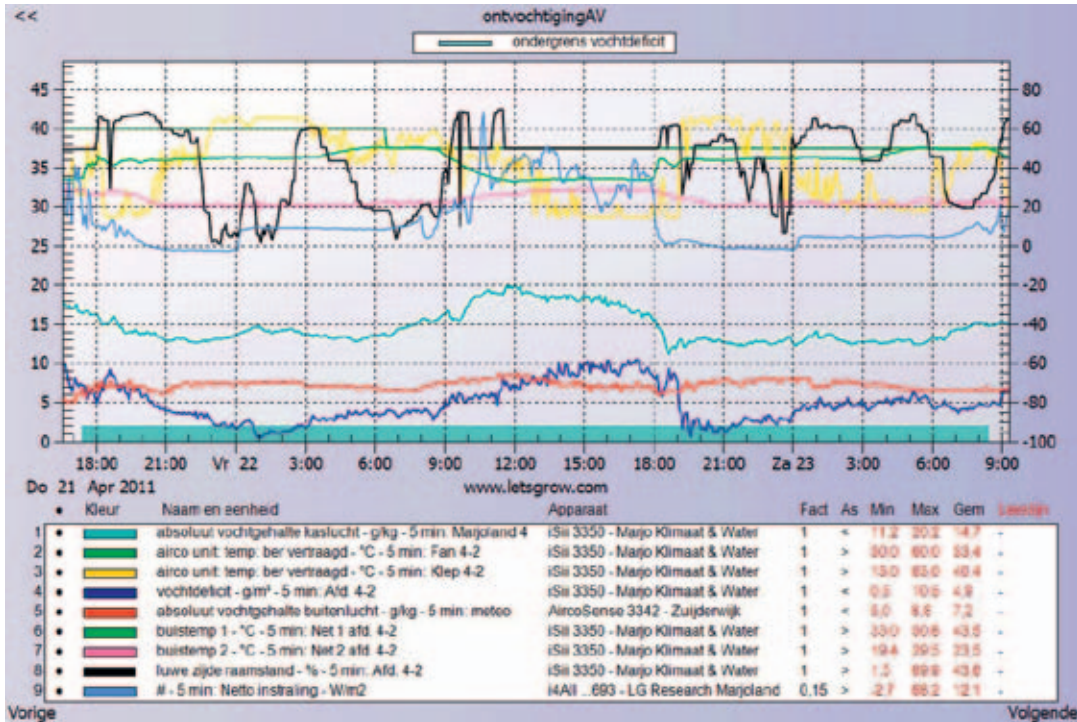
Afgaande op de weekgemiddelden lijkt het minimum VD van 2,0 steeds gehaald. De ventilator heeft vrijwel continu tegen de maximum grenswaarde van 60% aan gestaan en de buitenlucht klep heeft in de eerste periode gemiddeld 50% buitenlucht en daarna 30% toegelaten. Kijken we echter meer in detail, dan zien we dat er toch ook kritieke momenten zijn geweest.



Figuur 3.27. Verloop van vochtparameters Marjoland 4.

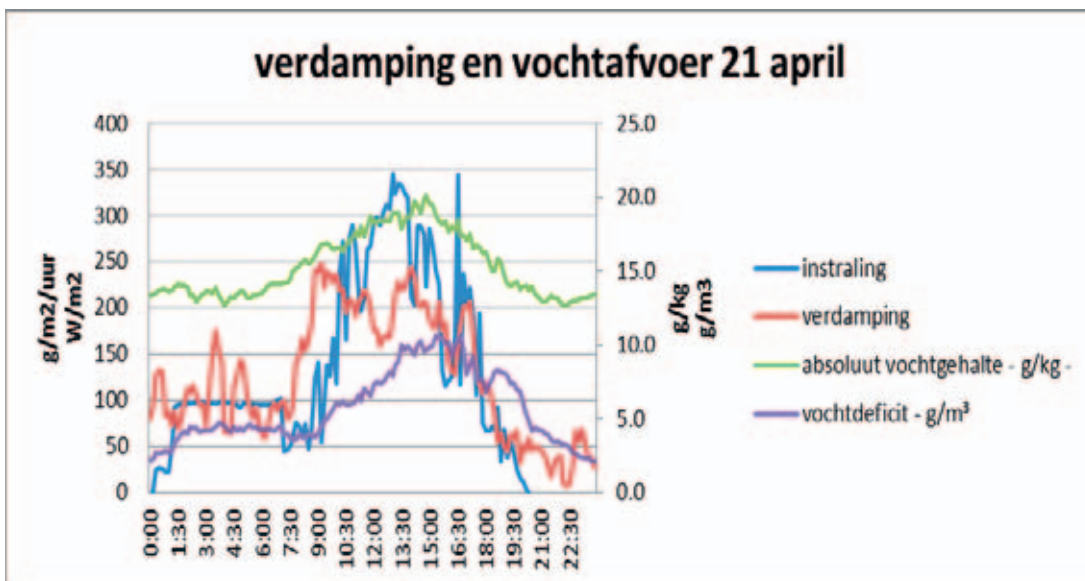
Zo is bijvoorbeeld op 22 april het VD onder de 2.0 gezakt.

Op 22 april zakt het VD om 1 uur naar 1,1 nadat het licht is aan gegaan. De ventilator staat op dat moment op 50% vermogen en 65% buitenluchttoevoer. Dat komt overeen met ongeveer 3,3 m³/m²/uur buitenlucht. Dat is duidelijk te weinig. In de avond gebeurt hetzelfde, alleen is dan het licht uit. De buisrail buizen staan op 50 graden en de ramen staan 's nachts op een kier, in de avond verder open.



Figuur 3.28. VD onder de kritische grens en de klimaatfactoren.

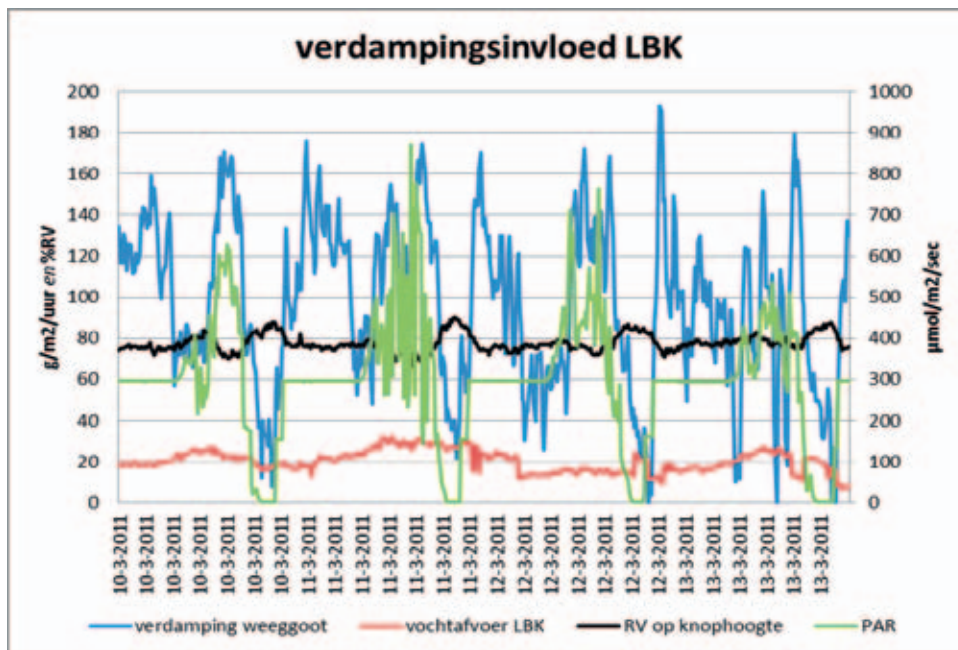
Gezien het grote verschil in absoluut vocht binnen en buiten de kas had een verhoging van de ventilatorstand gekoppeld aan meer buitenlucht toelaten dit probleem kunnen voorkomen.



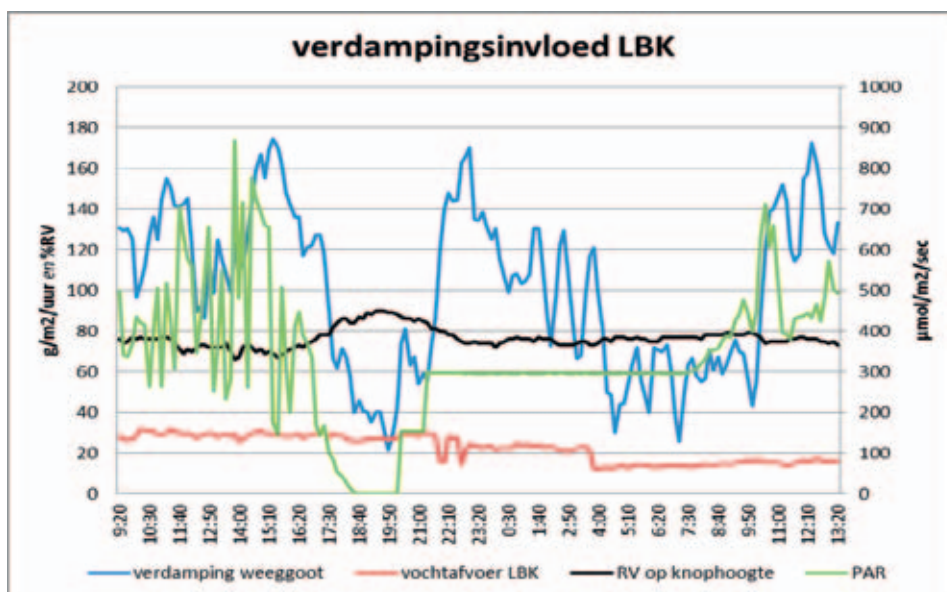
Figuur 3.29. Verdamping en vochtafvoer 21 april 2011.

In de nacht, tussen 1.00 en 2.00 uur was de verdamping ongeveer 100 gram/m²/uur, in de avond tussen 19.00 en 21.00 uur ongeveer 50 gram/m²/uur. Kijken we naar de eerste periode, dan zit er in de buitenlucht 7,5 gram/kg vocht en in de kaslucht 13,2 gram/kg. Als de verdamping van 100 gram moet worden afgevoerd moet er $100/(13,2-7,5)=17,5$ kg lucht per m² per uur worden uitgewisseld. Dat is ongeveer 14 m³/m²/uur. De installatie blaast ongeveer 10 m³ bij vollast en bij volledig geopende buitenlucht klep. Nu werd gedraaid bij 50% ventilator vermogen en slechts 65% geopende buitenluchtklep. Dat is dus op dat moment te weinig. Daarbij moet wel worden aangetekend dat de ramen uiteraard ook de nodige hoeveelheid vocht kunnen afvoeren. Dat is veel minder stuurbaar dan met de luchtblasininstallatie. Maar over het algemeen is de installatie samen met de ramen dus in staat om het VD op knophoogte boven 2,0 g/kg te houden. Tussen het bladpakket is het VD zelfs nog wat hoger.

De invloed van het toevoeren van buitenlucht op de totale verdamping was moeilijk vast te stellen omdat de afvoer via de ramen verreweg de grootste afvoerfactor was. Dat valt te zien in de volgende grafiek.



Figuur 3.30. Verloop van PAR, vochtafvoer via de LBK en de totale verdamping in maart 2011.

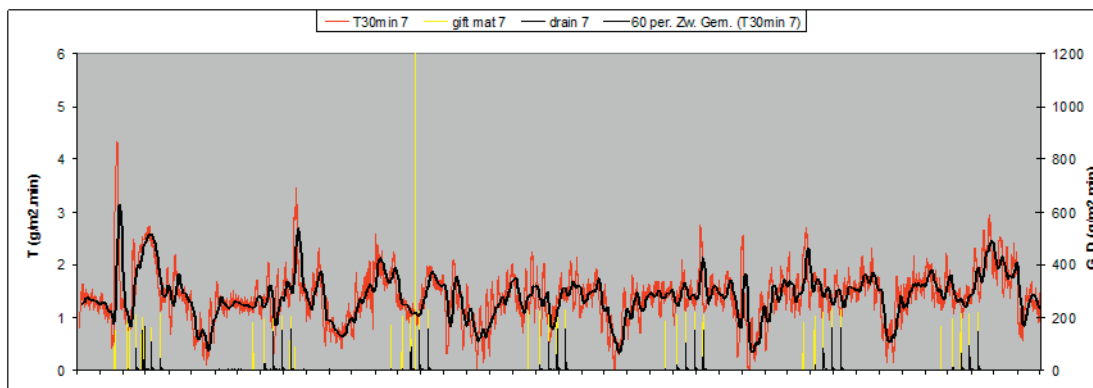


Figuur 3.31. Verloop van PAR, vochtafvoer via de LBK en de totale verdamping op 11 maart 2011.

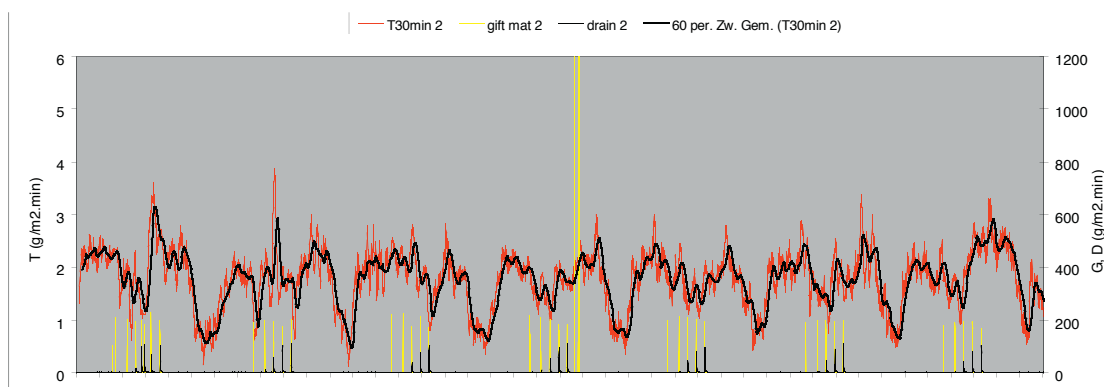
Alleen in de nacht, wanneer de lampen uit zijn is de vochtafvoer via de LBK gelijk aan de totale gemeten gewasverdamping. Dat zijn gelijktijdig wel de momenten dat de RV op knophoogte ook het hoogst zijn, namelijk zo'n 88%. Er is hier goed te zien dat na het uitgaan van het licht de RV snel stijgt en pas na enige tijd weer gaat dalen als gevolg van het blazen. In feite gaat hij dalen nadat verdamping en buitenluchttoevoer in evenwicht zijn. Op alle overige momenten is PAR de dominante verdampingsmotor. De RV is op die momenten redelijk stabiel op 75%. Verder valt op dat bij het ontbreken van zonlicht de verdamping eenzelfde cyclus lijkt te volgen als bij daglicht en bovendien behoorlijk hoge pieken van 150 g/m²/uur bereikt. Snel na het aan gaan van het licht stijgt de verdamping naar een hoge waarde om vervolgens in een zaagtandpatroon schoksgewijs af te nemen. Dat duidt op het openen en weer sluiten van de huidmondjes op het moment dat de watervoorraad in het blad op is. Daarentegen lijkt de verdamping bij hoge instraling juist weer aan de lage kant. De RV is op dat moment in de kas niet laag, wat niet echt duidt op een gebrek aan water, maar de meetbox bij de knop kan op dat punt een vertekend beeld geven.

3.2.9 De verdamping

De volgende 2 grafieken geven een beeld van de verdamping, de gift en de drain bij de gevel (weeggoot 7) en in het midden van het bed (weeggoot 2) in week 2 van 2011. De rode lijn is de gemeten gewichtsverandering, de zwarte vloeiende lijn is de berekende verdamping na filtering van verstoringen zoals oogsten en na aftrek van gift en drain. De gele lijnen geven de watergeefbeurten weer en de zwarte verticale lijnen de gemeten drain.



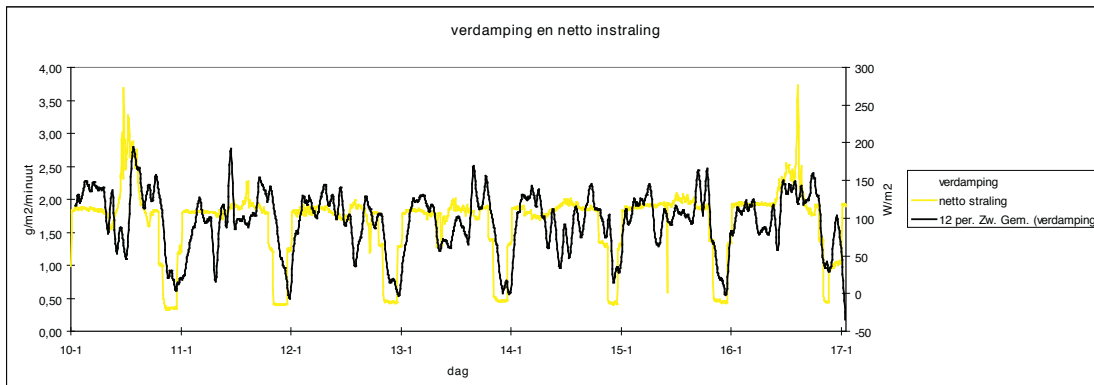
Figuur 3.32. Weeggoot 90 m van de gevel.



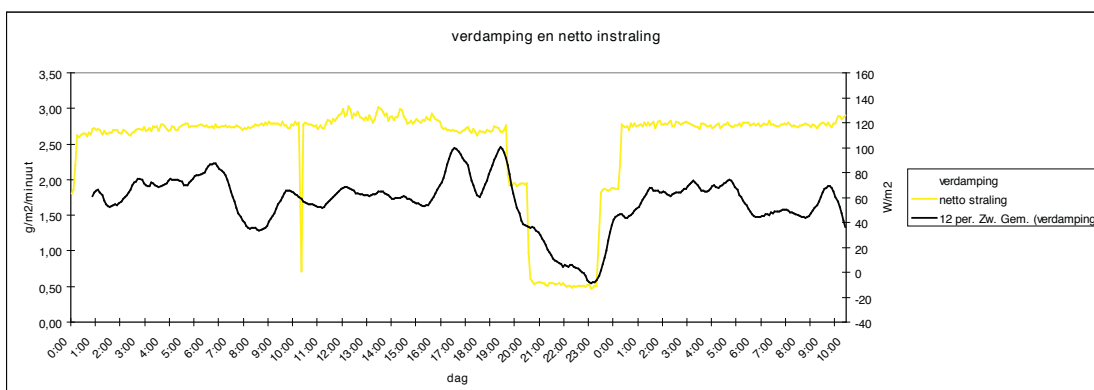
Figuur 3.33. Weeggoot bij de gevel (T30min)= gemeten verdamping per m² kas, (60per.Zw.Gem)= half uur gemiddelden verdamping per kasm².

Er zit ongeveer 30% verschil in verdamping tussen die twee posities. Verder is er uiteraard een sterke relatie met de netto straling op gewasniveau. In de nacht is er bij vol kunstlicht ongeveer 120 gram/m²/uur verdamping. In het donker is er altijd nog 30 gram verdamping.

De relatie met netto straling is zichtbaar in de volgende twee figuren. De laatste geeft het meeste detail. Daar is uit zichtbaar dat de verdamping soms de straling niet geheel volgt.

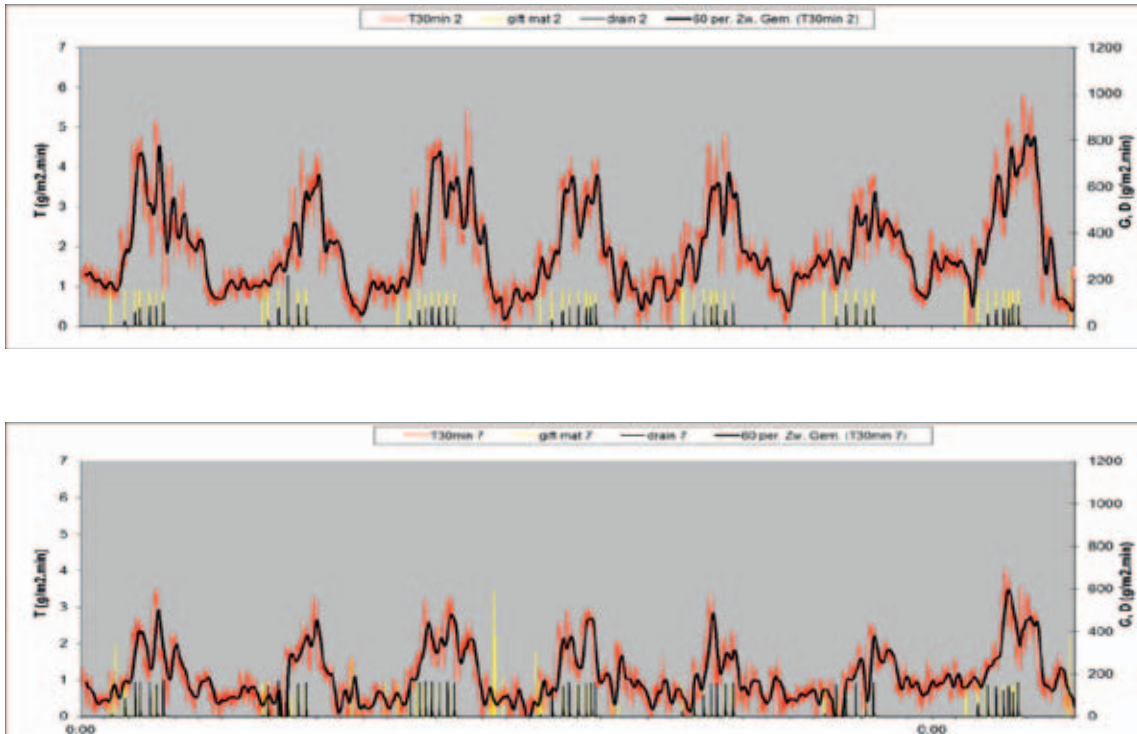


Figuur 3.34. Weeggoot 90 m van de gevel relatie tussen verdamping en netto instraling gedurende een week.



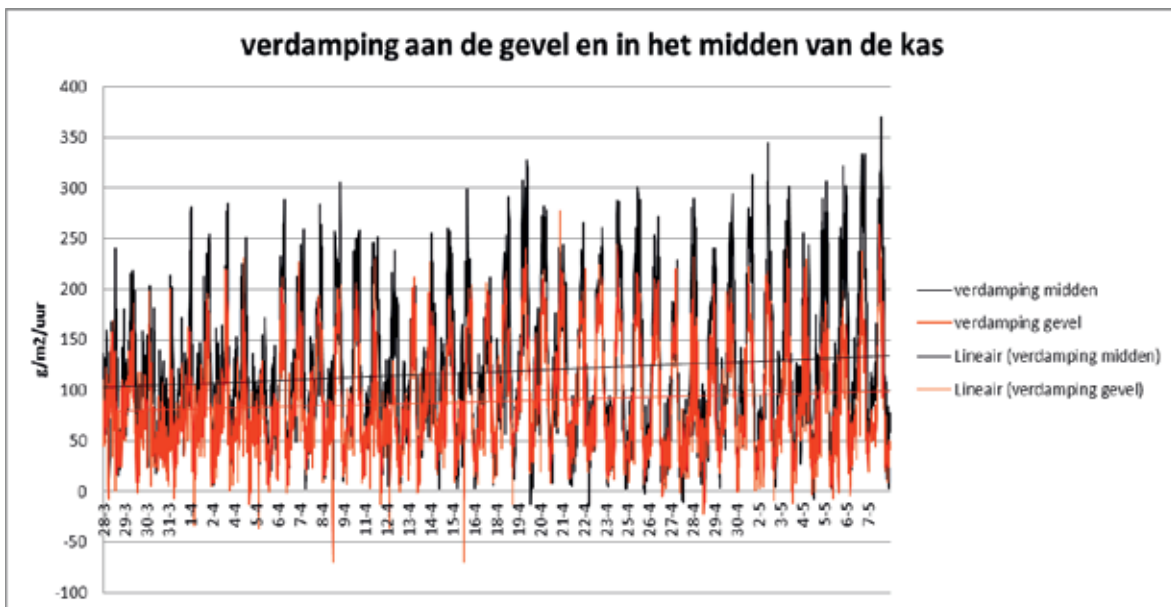
Figuur 3.35. Verdamping en straling gedurende een dag.

In week 30 ziet de verdamping er voor de beide weeggoten als volgt uit:



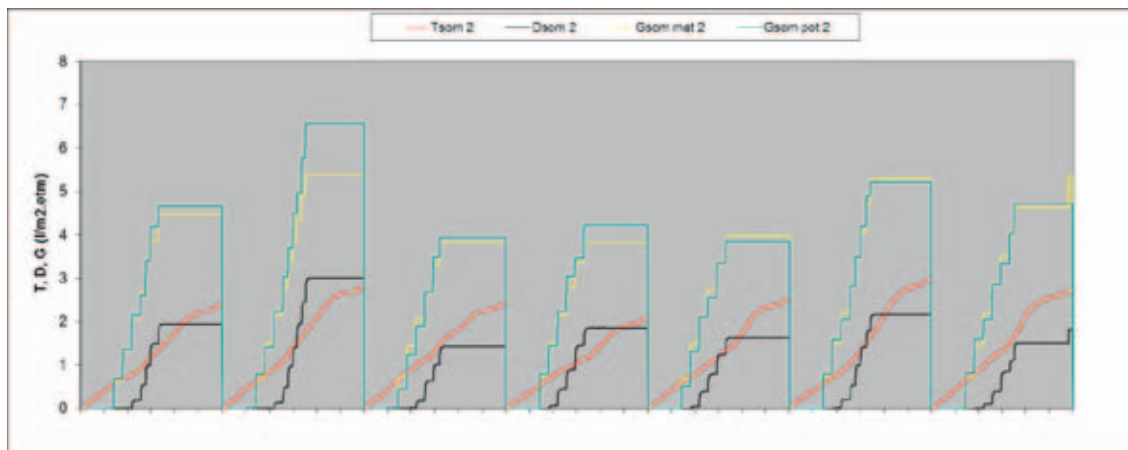
Figuur 3.36. Verdamping, gift en drain in het midden van de kas (2) en aan de gevel (7) in week 30 van 2011.

Uitgezet voor een langere periode blijkt dat het verschil in verdamping tussen de twee posities structureel is.

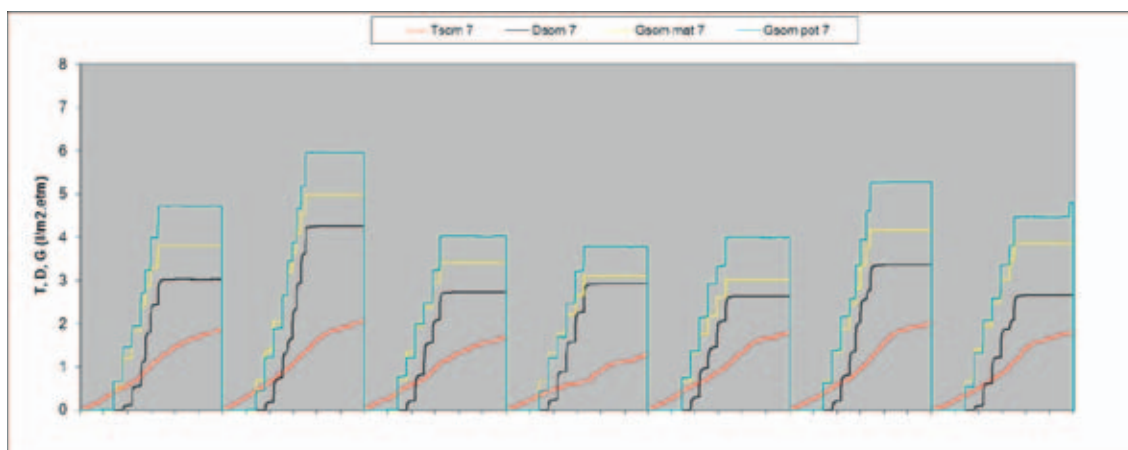


Figuur 3.37. Verdamping aan de gevel en in het midden van de kas.

De verdamping neemt gestaag toe. De verdamping aan de gevel is over de hele periode van 36 dagen 54 liter/m² en in het midden van de kap 71 liter/m². Dus structureel zo'n 24% verschil. Dat uit zich ook in de hoeveelheid drain omdat de gift hetzelfde is. Een voorbeeld is gegeven in de volgende grafieken voor week 13.

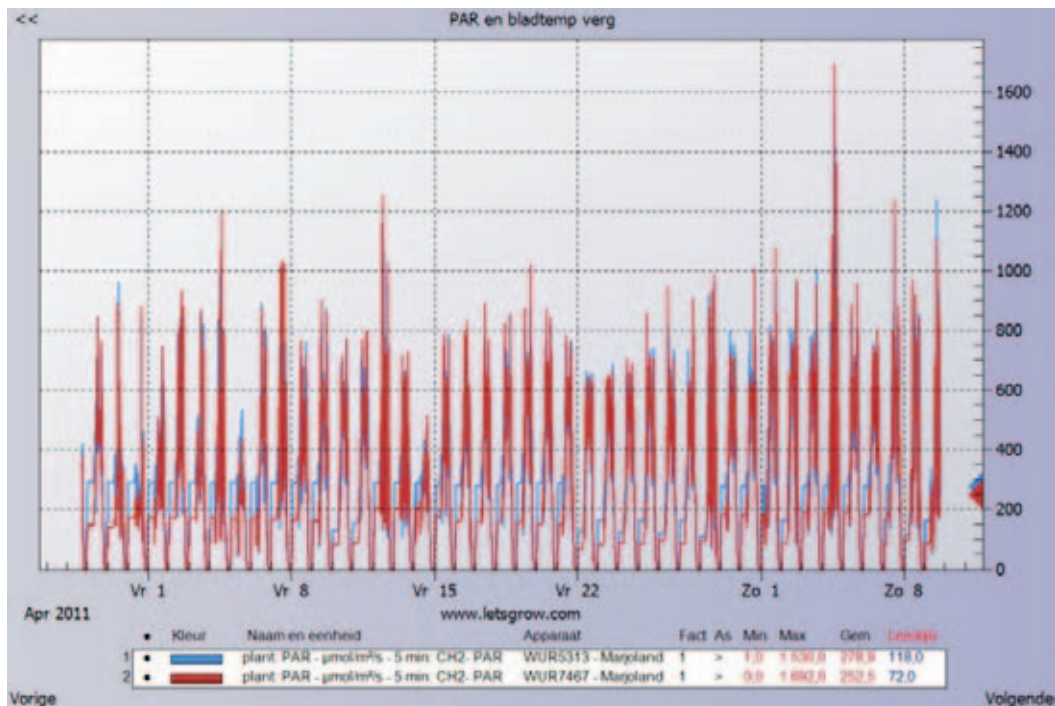


Figuur 3.38. Cumulatieve verdamping, gift (berekend = $G_{\text{som mat}}$ en gewogen = $G_{\text{som pot}}$) en drain in het midden (2) voor week 13, 2011.



Figuur 3.39. Cumulatieve verdamping, gift (berekend = $G_{\text{som mat}}$ en gewogen = $G_{\text{som pot}}$) en drain aan de gevel (7) voor week 13, 2011.

Wat opvalt, is dat de drain (zwarte lijn) bij de gevel inderdaad groter is. Daarnaast valt op dat de berekende gift op basis van de verandering in matgewicht soms niet overeenkomt met de gemeten gift op basis van de extra druppelaars die in een weegpot druppelen. Theoretisch zou de gift op beide posities hetzelfde moeten zijn omdat ze op dezelfde druppelleiding zitten. Voor de opgevangen gift geldt dat redelijk, hoewel er aan het einde van de druppelleiding structureel minder gift lijkt te zijn. Voor de berekende gift klopt dit beeld niet. De oorzaak is niet bekend, maar ligt waarschijnlijk toch aan verstopte druppelaars op de mat. Toch zou dan verwacht mogen worden dat de hoeveelheid drain op die plek dan juist lager zou moeten zijn. Dat betekent dat de vraag blijft wat het verschil in verdamping kan verklaren. Daarvoor zijn een aantal verbanden met externe klimaatfactoren uitgezet. De belangrijkste factor is normaal gesproken de instraling. In een grafiek ziet de instraling er als volgt uit voor beide posities:



Figuur 3.40. Netto instraling bij de gevel en in het midden.

Gemiddeld zit er voor deze periode (week) 26 $\mu\text{mol/m}^2\text{s}$ ofwel 9% verschil tussen. De luchttemperatuur binnen het bladpakket is voor beide posities nagenoeg gelijk, dus daar ligt geen potentiële oorzaak voor verschil.

De inblaastemperatuur van de slurven ligt op beide posities gemiddeld 1 graad hoger dan de lucht tussen het gewas, maar is wel voor beide posities gelijk.

3.2.9.1 Energiebalans

Er is getracht de theoretisch te verwachten verdamping te berekenen op basis van de hoeveelheid energie die aan het bladpakket wordt toegevoerd. Daarbij zijn er 3 verschillende modellen gebruikt. Ten eerste is er voor een ander rozenonderzoek met Avalanche een rekenmodel gebruikt dat gebaseerd is op een theoretisch model van C. Stanghellini. Daarbij wordt eerst de weerstand van de huidmondjes in het blad bepaald en vervolgens op basis van het gerealiseerde vochtdeficit, de verdamping E.

Dat model van Stanghellini [Stanghellini 1987, Bontsema e.a., 2007] ziet er als volgt uit:

$$E = \frac{2LAI}{(1 + \varepsilon)r_b + r_s} \left[\chi_a^* - \chi_a + \frac{\varepsilon r_b R_n}{2LAI L} \right], \text{ gm}^2\text{s}^{-1}$$

met:

LAI [—] Leaf area index van het gewas

ε [—] Ratio van de latente en sensible warmte inhoud van verzadigde lucht voor een verandering van 1 °C in temperatuur. $\varepsilon = 0.7584e^{0.05187T_a}$

[g m³]

χ_a Waterdamp concentratie van lucht. χ_a^* is de verzadigde damp concentratie en is een functie van de luchttemperatuur T_a , die voor temperaturen $T_a = 15$ tot 30 °C, benaderd kan worden door:
 $= 5.5638e^{0.0572T_a} \text{ gm}^{-3}$

Het verschil $\chi_a^* - \chi_a$ is het vocht deficiet concentratie van lucht air. Het verband tussen relatieve luchtvochtigheid RV en χ_a^* is: $\chi_a^* - \chi_a = \frac{100 - RV}{100} \chi_a^*$

L [J g⁻¹] Latente warmte van verdamping van, $L=2450$ voor $T_a = 20^\circ\text{C}$

r_b [s m⁻¹] Weerstand voor warmte transport van blad grenslaag

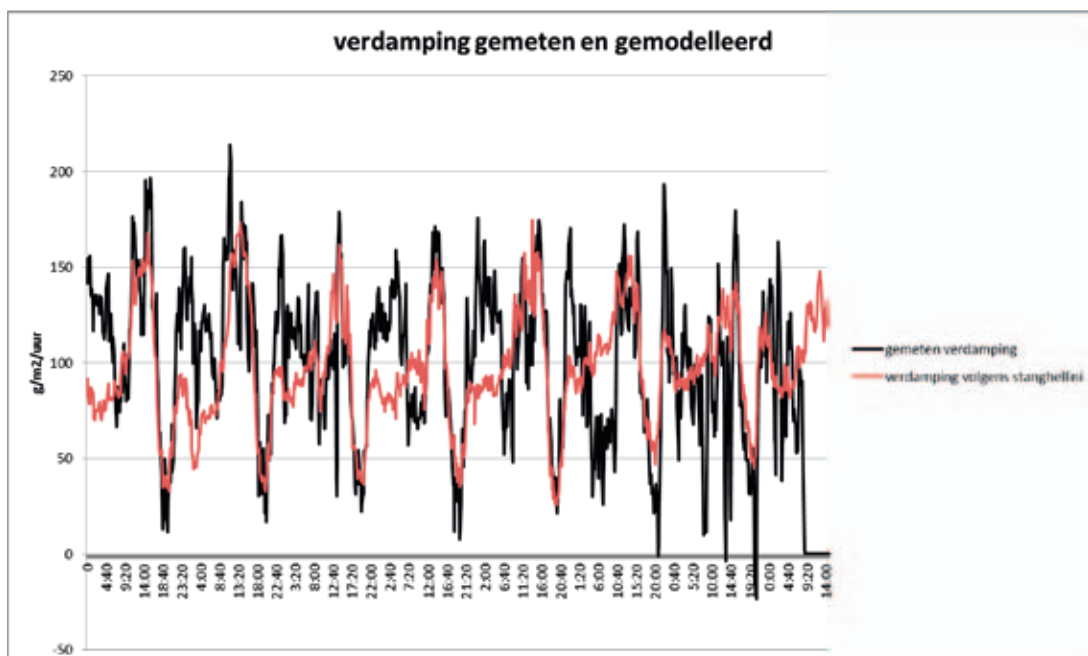
r_s [s m⁻¹] Stomatale weerstand (voor roos)

$$r_s = 82 + (82 \frac{4.30}{0.54} - 82) e^{-\gamma \frac{R_n}{LAI}} (1 + 0.023(T_{air} - 24.5)^2) \text{ s m}^{-1}$$

R_n [W m⁻²] Netto door het gewas onderschepte straling, $R_n = 0.86(1 - e^{-0.7LAI})I_{sun}$

Voor Avalanche geldt: $\gamma = 0.008$. Voor een slecht verdampende cultivar als Passion nemen we hier aan $\gamma = 0.002$

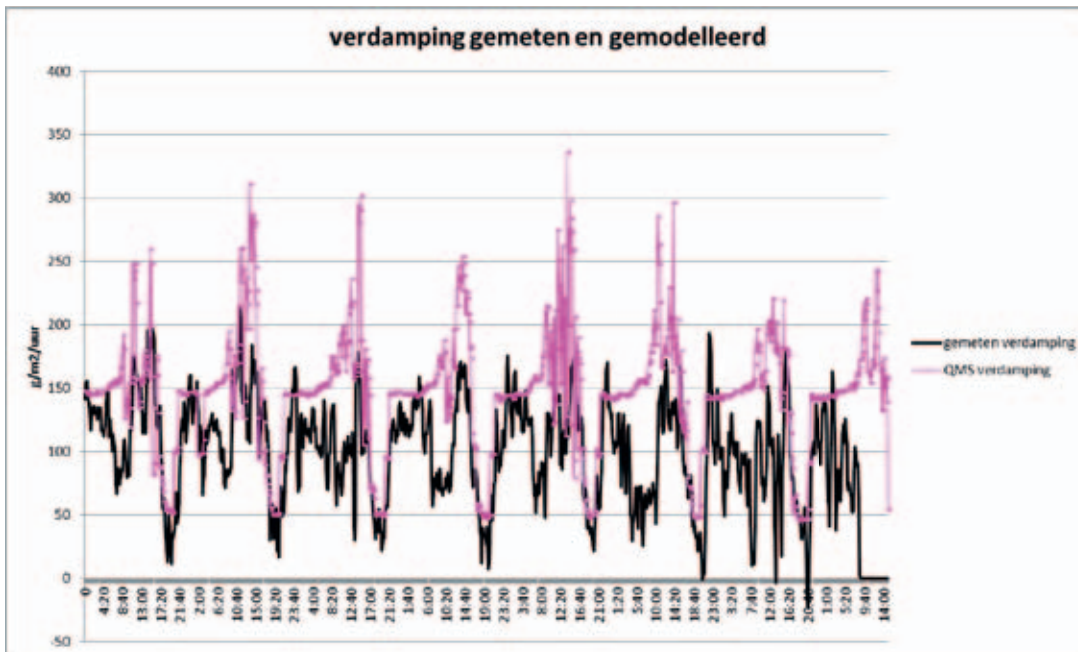
De uitkomst van dit model is voor week 10 vergeleken met de gemeten verdamping in het midden van de kap.



Figuur 3.41. Verdamping week 10 gemeten en gemodelleerd volgens Stanghellini.

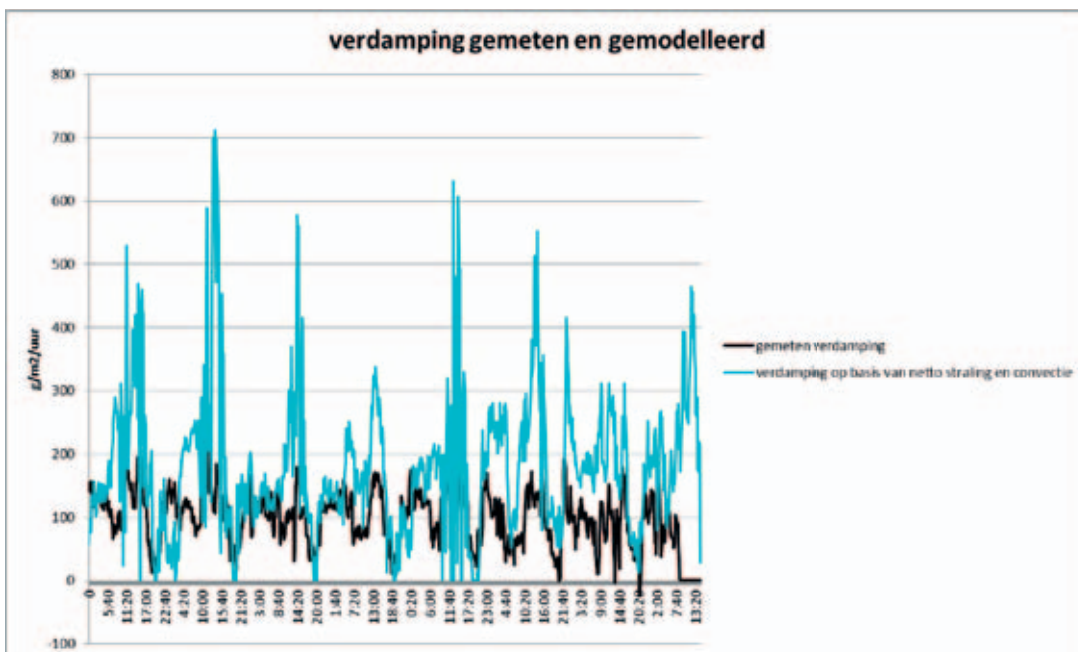
Met name voor de nacht schat het model de verdamping te laag in.

Dezelfde berekening is gemaakt op basis van het rekenmodel QMS van DLV. Die uitkomst ziet er dan zo uit:



Figuur 3.42. Berekende verdamping op basis van het QMS model van DLV.

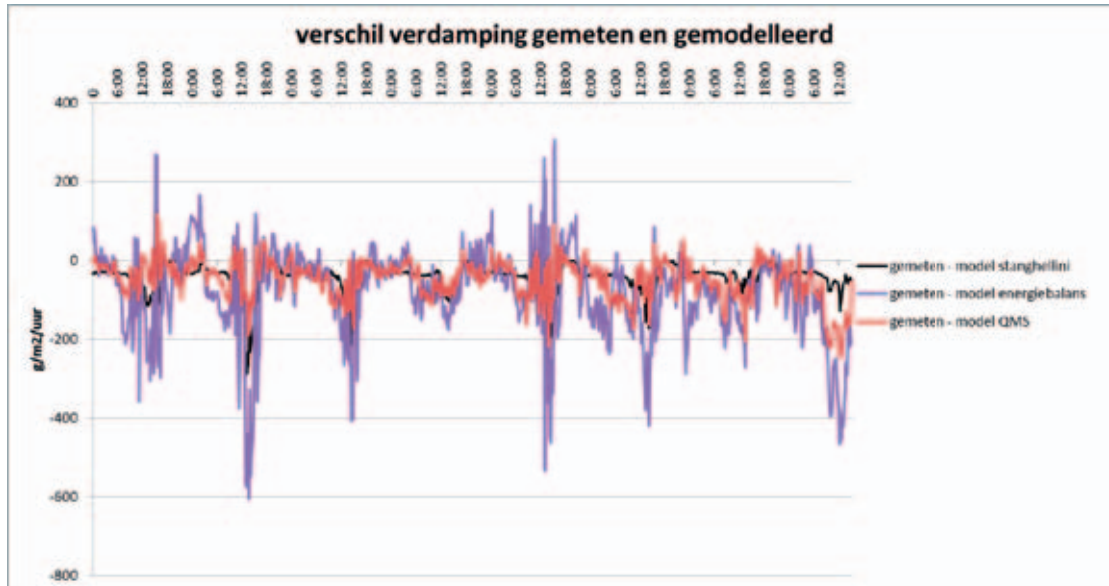
Ook hier is er een overschatting bij de hogere verdamping. Hier is vooral bij de hoge verdamping, dus overdag, een overschatting. Tot slot is er gemodelleerd op basis van de energiebalans. Deze zegt dat de som van alle energie die het blad bereikt gelijk moet zijn aan de energie die in de vorm van verdamping, convectie en uitstraling weer wordt afgegeven aan de omgeving. De energie die het bladpakket bereikt valt in 3 componenten uiteen: de netto stralingsenergie van bovenaf gemeten met de Kipp netto stralingsmeter en de convectie als gevolg van het temperatuurverschil tussen het blad en zijn omgeving. Is het blad kouder dan zijn omgeving, dan neemt het extra verdampingsenergie op, is het warmer dan zijn omgeving dan geeft het veel convectieve warmte af omdat er een groot bladoppervlak is dat warmte uitwisselt met de omgeving. Die warmteoverdracht wordt nog versterkt door de extra luchtbeweging in het bladpakket vanuit de luchttoevoerende slurven. In dit project was de bladtemperatuur soms hoger en soms lager dan de omringende kaslucht, dus beide situaties kwamen voor.



Figuur 3.43. Berekende verdamping op basis van de energiebalans.

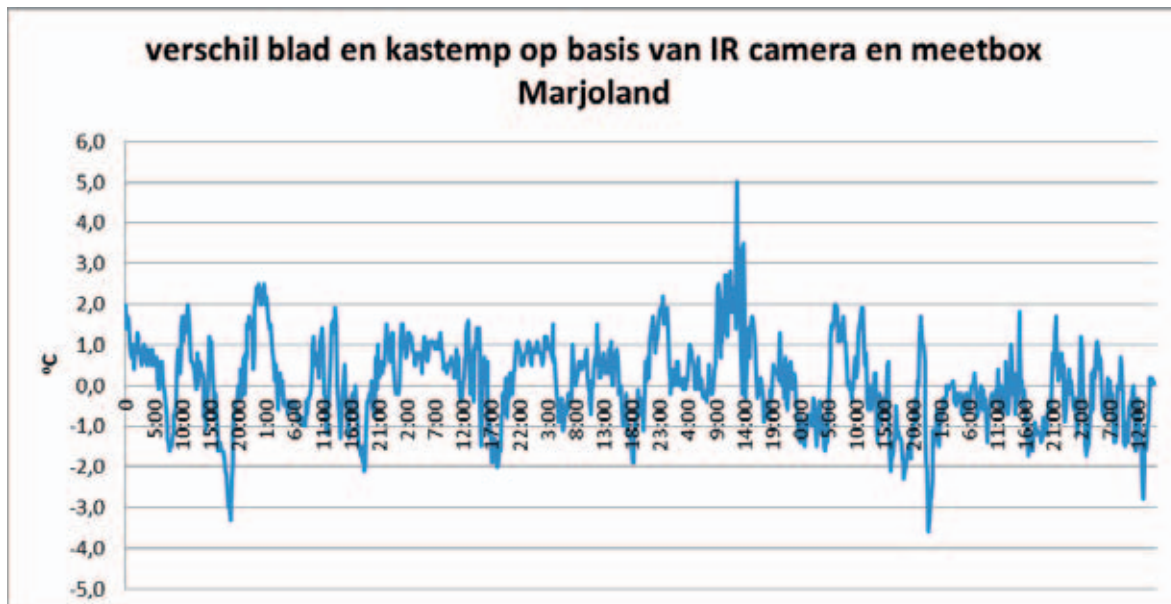
Hier valt op dat de pieken overdag net als bij het QMS model hoger zijn dan de werkelijke verdamping. Dat komt waarschijnlijk omdat de werkelijke verhouding bladtemperatuur en omgevende luchttemperatuur niet nauwkeurig te bepalen valt door de gelaagdheid van het dikke bladpakket en er juist bij veel instraling behoorlijk grote temperatuurverschillen voorkomen. Bij een laag verdampend gewas heeft de convectiecomponent een erg grote invloed.

Alles op een rij zien de verschillen tussen de gemeten en de gemodelleerde verdamping er als volgt uit:



Figuur 3.44. Verschil in uitkomsten tussen de berekende en de gemeten verdamping voor 3 modellen.

Eigenlijk valt in alle modellen op dat de werkelijke verdamping lager is dan berekend tussen 6.00 en 18.00 uur. Gezien de hele lage RV's en het feit dat de bladtemperatuur in die periode vaak boven de luchttemperatuur ligt kan de vraag worden gesteld of er niet teveel vocht wordt afgevoerd om het blad optimaal te laten verdampen en CO₂ op te nemen.



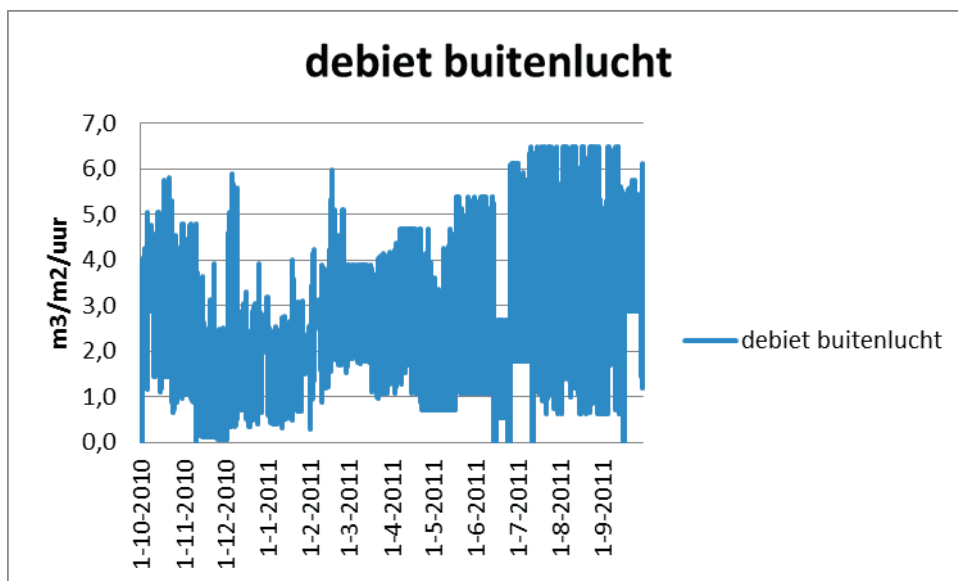
Figuur 3.45. Het verschil tussen bladtemperatuur en de kasluchttemperatuur voor week 10.

3.3 Invloed luchtblaas installatie op energiebesparing en op klimaat binnen het gewas.

Als alle invloedsfactoren in de kas meegewogen worden, wordt de verdamping voornamelijk bepaald door de grote hoeveelheid energie die steeds de kas in wordt gebracht in de vorm van licht. Het enthalpieverschil binnen-buiten is dan steeds zo groot dat een kleine opening van de ramen al volstaat om veel vocht af te voeren. De luchtblaasinstallatie heeft daar bovenop een extra bijdrage onderin het bladpakket. Dat blijkt ook uit de gerealiseerde RV's die onderin het gewas bijna nooit boven de 85% uitkomen. Alleen in de situatie dat het licht uit gaat waarbij de temperatuur snel daalt en de verdamping nog enige tijd doorgaat komt de situatie voor dat de installatie soms te weinig droge lucht kon toevoeren, maar dat had vooral te maken met de zelf opgelegde beperkingen in toerental van de ventilator om geluidsoverlast te voorkomen. In die situatie had er snel gereageerd moeten worden met grote hoeveelheden lucht van boven de $10 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{uur}$. Voor het voorkomen van verticale temperatuurverschillen is de installatie niet geschikt omdat het debiet daarvoor te laag is en de verticale doorstroming niet optimaal is omdat onder de hoge teeltgoot horizontale luchtstromen kunnen plaatsvinden. Bovendien koelt lucht die warmer de slurf in gaat dan de omringende kastemperatuur onderweg af, waardoor over de lengte van de slurf temperatuurverschillen gaan ontstaan. Om dezelfde reden kan de slurf ook niet worden gebruikt om horizontale temperatuurverschillen te verkleinen. Als de verwarmingsbuizen onderin het gewas niet meer gebruikt zouden worden ontstaat een nieuwe situatie die waarin de slurven de volgende rol kunnen spelen: scherm volledig sluiten, vochtafvoer moet dan via de slurven door alleen buitenlucht toe te voeren, bij gebruik van de huidige intensiteit belichting met een minimum debiet van $16 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{uur}$. De lampwarmte moet met ventilatoren omlaag worden gestuwd, tot onderin het gewas. De warmtewisselaar kan worden gevoed met de warmte van een rookgascondensor waardoor deze optimaal gaat functioneren. Met deze configuratie kan 20-30% op warmte-energie worden bespaard wanneer er geen eigen stroomopwekking is, terwijl er 99% lichtafscherming is. Voor de situatie met eigen stroomopwekking kan dankzij de inzet van de luchtblaas installatie de laatste trap van de rookgaskoeler van de WKK beter worden benut door deze warmte in de warmtewisselaar in de gevel te gebruiken.

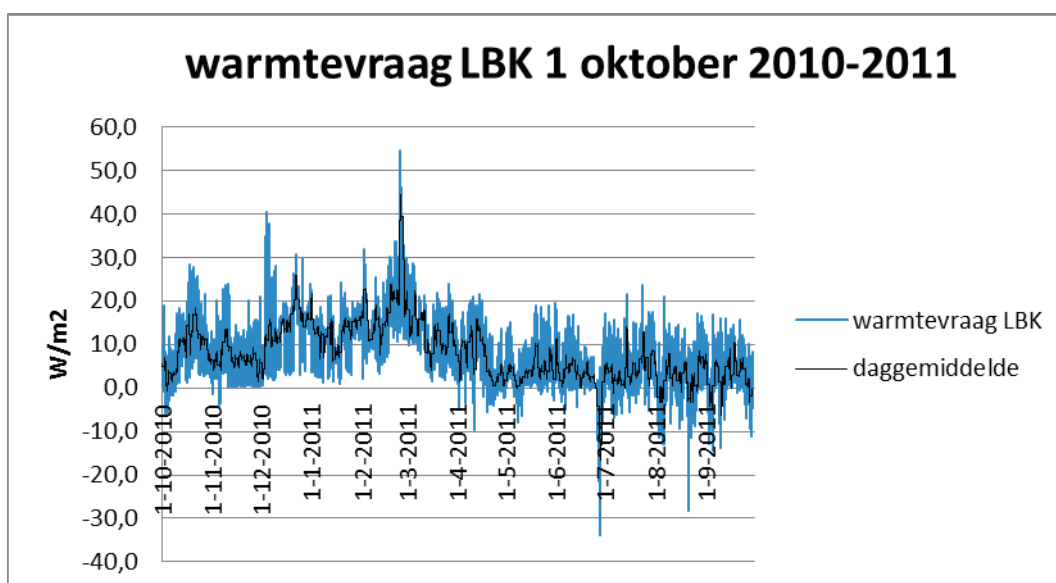
3.3.1 Energieverbruik ontvochtiging

De buitenlucht die via de installatie is binnengebracht moet worden opgewarmd. Aan de hand van het enthalpieverschil tussen buitenlucht en ingeblazen lucht kan worden berekend hoeveel energie daarvoor nodig is geweest. In Figuur 3.44. is te zien hoeveel buitenlucht er per m^2 kas per uur werd ingeblazen in de periode oktober 2010-2011. Daarin valt op dat in de loop van de winter minder buitenlucht is toegevoerd dan in de rest van het jaar. Het grotere volume in het najaar heeft twee oorzaken. In de eerste plaats is het buiten dan bijna net zo vochtig als binnen waardoor er extra lucht moet worden uitgewisseld om dezelfde verdamping af te voeren. In de tweede plaats zit hier het effect in dat men gaandeweg meer vertrouwen heeft gekregen in de installatie in de zin dat er altijd voldoende warme lucht uitkomt. Het maximum van $6,5 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{uur}$ is dus niet het maximum van de installatie, maar is door de gebruiker zelf zo aangehouden om gevaar op geluidsoverlast bij de gevel te voorkomen en omdat er altijd kaslucht mee wordt gecirculeerd om het risico op koude lucht bij de planten te vermijden.



Figuur 3.46. Verloop over een jaar van de hoeveelheid per uur toegevoerde buitenlucht per kas m^2

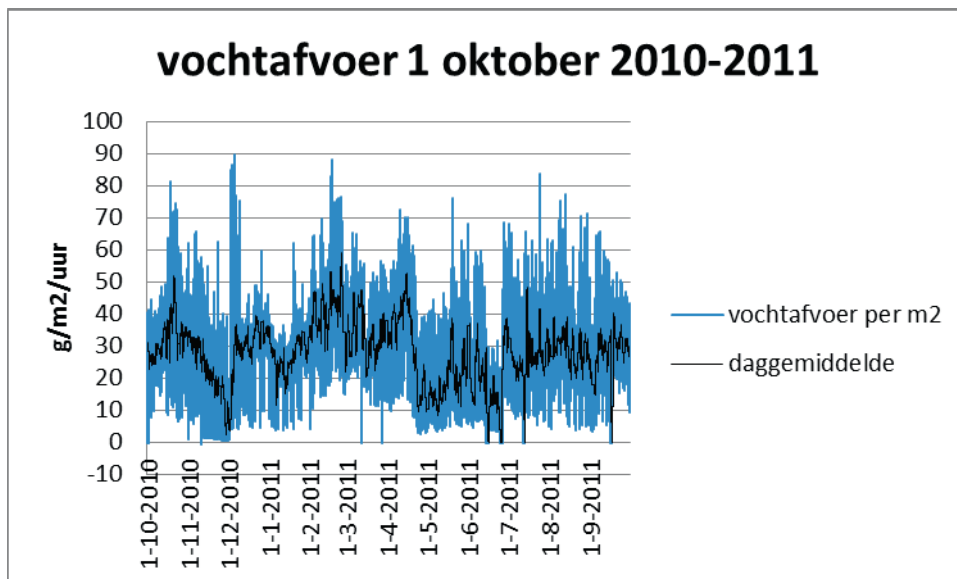
Deze hoeveelheid lucht moet aan de gevel op kastemperatuur worden gebracht. De hoeveelheid energie die daarvoor nodig is hangt af van het temperatuurverschil dat moet worden overbrugd en het absoluut vocht van de buitenlucht. Omdat deze gemeten zijn kon de hoeveelheid energie die via de luchtblasininstallatie is ingebracht worden uitgerekend. Voor de periode oktober 2010-2011 ziet die er als volgt uit:



Figuur 3.47. Hoeveelheid warmte die gedurende een jaar nodig was om de buitenlucht die per m^2 werd toegevoerd op te warmen tot kastemperatuur.

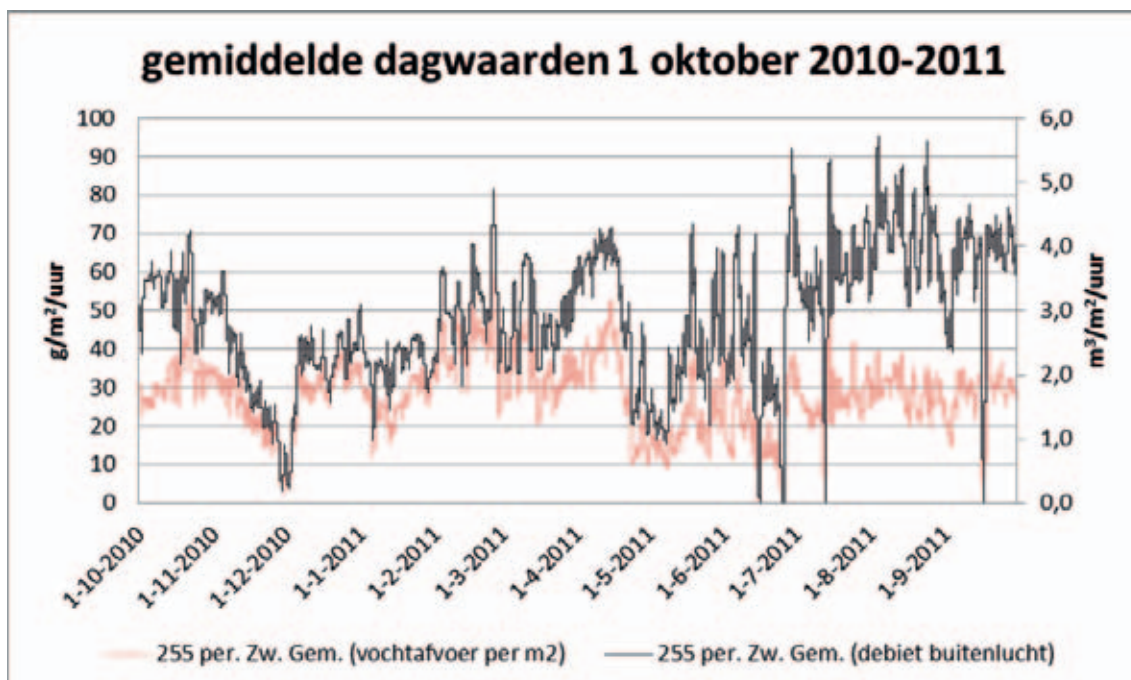
Duidelijk is te zien dat in het najaar weliswaar een groot volume buitenlucht moest worden toegevoerd, maar dat het energieverbruik dat hiermee gepaard ging relatief laag was. In relatie tot de totale energietoevoer in de kas (100 W/m^2 lampwarmte en $40\text{-}50 \text{ W/m}^2$ van een vrijwel permanente buis van $40\text{-}50$ graden). De piek rond 26 februari is te wijten aan een lage buitentemperatuur gecombineerd met een hoog absoluut vochtgehalte. Maar in de winterperiode is er gemiddeld toch maar 8 W/m^2 aan warmtetoevoer nodig om te kunnen ontvochtigen. De piekverbruiken liggen op ongeveer $20 \text{ W/m}^2/\text{uur}$. Als de installatie op volle capaciteit had kunnen blazen was het debiet ongeveer verdubbeld en was het energieverbruik ook verdubbeld.

In totaal is er via de slurven 70 kWh/m² aan warmte toegevoerd over een heel jaar. Dat is weinig in vergelijking met de minimum buis waarmee in dat jaar 395 kWh/m² werd toegevoerd. Deze buis was gemiddeld 8 graden lager dan in vergelijkbare afdelingen, dat komt op jaarbasis overeen met dezelfde 70 kWh/m² als nu in de ontvochtiging is gestopt. Dankzij de energietoevoer werd er actief vocht uit de kas afgevoerd. De gerealiseerde hoeveelheid is te zien in de volgende grafiek.



Figuur 3.48. Hoeveelheid vocht die per uur per kas² is afgevoerd door de luchtblaasinstallatie gedurende een jaar.

Afhankelijk van de buitenomstandigheden kon er tot 60 g/m²/uur extra vocht worden afgevoerd bovenop de luchtramen. Bij een gesloten schermdoek met licht aan op volle capaciteit is dat ongeveer de helft van de gerealiseerde verdamping. Als de luchttoevoer en de vochtafvoer als gemiddelde waarden over een dag in een grafiek over elkaar worden gezet ontstaat het volgende beeld:

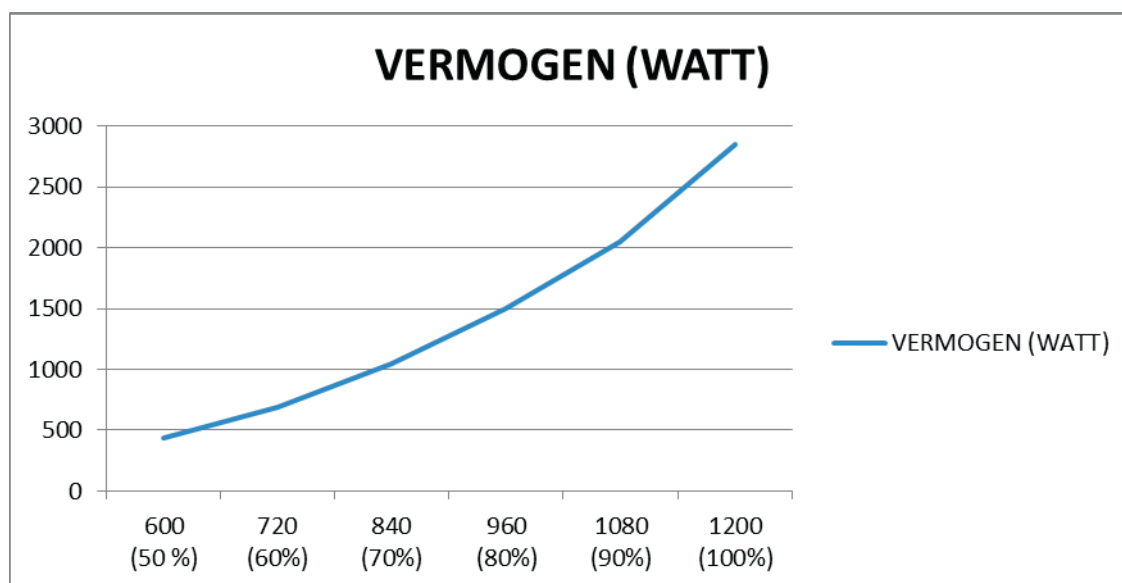


Figuur 3.49. Relatie tussen de luchttoevoer en de vochtafvoer via de luchtblaasinstallatie gedurende een jaar.

In winter, voorjaar en zomer kan met relatief weinig lucht worden ontvochtigd, in het najaar is een groter debiet noodzakelijk.

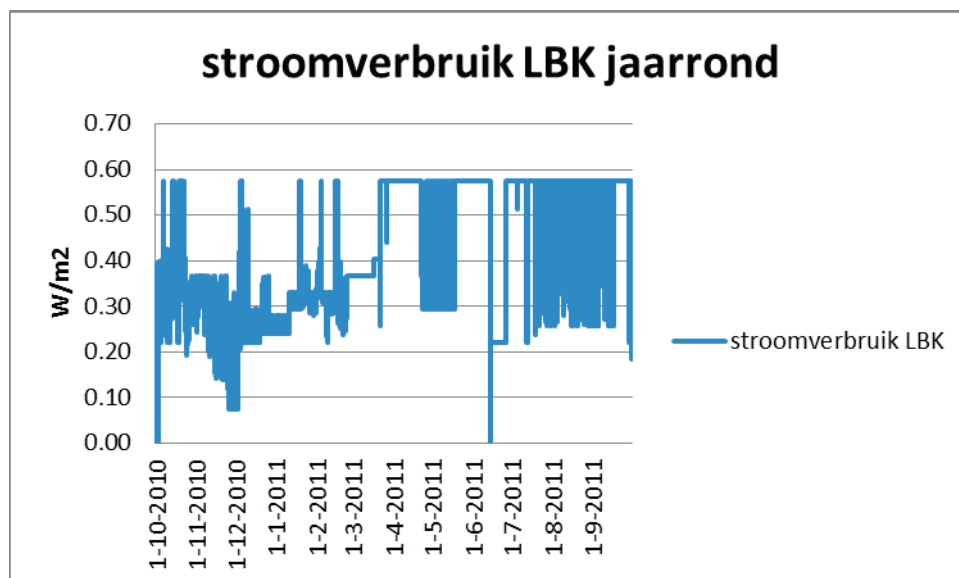
3.4 Stroomverbruik ventilator luchtbehandelingskast

De ventilator heeft vrijwel continu gedraaid, maar omdat er een toerenregeling op zat varieerde het opgenomen vermogen. Het werkelijke verbruik is gemeten en ziet er als volgt uit:



Figuur 3.50. Opgenomen vermogen van de ventilator in de luchtbehandelingskast. De percentages zijn gerelateerd aan het maximum toeren van 1200 toeren per minuut.

Deze ventilator verplaatst lucht voor 1200 m² kas. Op basis van de gemeten toerentallen ziet het opgenomen vermogen er op jaarbasis per m² kas als volgt uit.

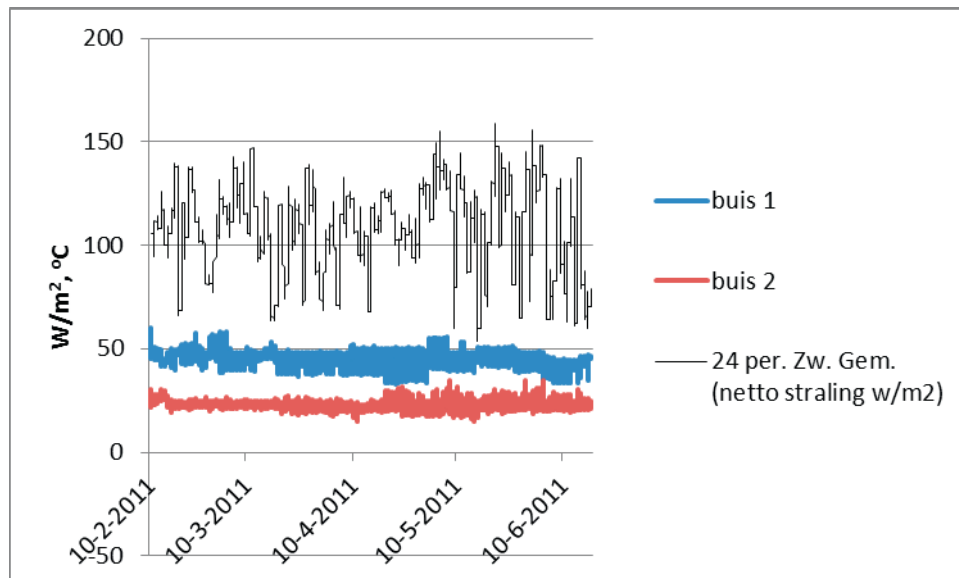


Figuur 3.51. Stroomverbruik door de ventilator in de periode oktober 2010-2011.

Op jaarbasis is 3,7 kWh/m² kas aan stroom verbruikt. Dat is relatief laag. Als de installatie niet op 60% maar op 90% had gedraaid was het stroomverbruik beduidend gestegen. De ventilator verbruikt bij 60% belasting 690 Watt, maar bij 90% belasting 2050 Watt ofwel omgerekend per m² kas, 10,5 kWh/m² in plaats van 3,7.

3.5 Welke invloed heeft de luchtblaas installatie op energiebesparing en op het klimaat binnen het gewas?

Als alle invloedsfactoren in de kas meegewogen worden, wordt de verdamping voornamelijk bepaald door de grote hoeveelheid energie die steeds de kas in wordt gebracht in de vorm van licht en een vrijwel permanent aan staande minimum buis (Figuur 3.5-1).



Figuur 3.52. Verloop van de buistemperaturen en de netto instraling op gewashoogte gedurende een periode van 4 maanden.

Het enthalpieverschil binnen-buiten is dan steeds zo groot dat een kleine opening van de ramen al volstaat om veel vocht af te voeren. De luchtblaasinstallatie heeft daar bovenop een extra bijdrage onderin het bladpakket. Dat blijkt ook uit de gerealiseerde RV's die onderin het gewas bijna nooit boven de 85% uitkomen. Alleen in de situatie dat het licht uit gaat, waarbij de temperatuur snel daalt en de verdamping nog enige tijd doorgaat, komt de situatie voor dat de installatie soms te weinig droge lucht kon toevoeren. Maar dat had vooral te maken met de zelf opgelegde beperkingen in toerental van de ventilator om geluidsoverlast te voorkomen. In die situatie had er snel gereageerd moeten worden met grote hoeveelheden lucht van boven de $10 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{uur}$. Voor het voorkomen van verticale temperatuurverschillen is de installatie niet geschikt omdat het debiet daarvoor te laag is en de verticale doorstroming niet optimaal is omdat onder de hoge teeltgoot horizontale luchtstromen kunnen plaatsvinden. Bij een debiet van $6 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{uur}$ en een schermhoogte van 6m wordt er per uur één keer de kasinhoud doorstroomt met lucht van een hogere temperatuur. Als er verder geen natuurlijke stromen in de kas zouden zijn levert dat een verticale luchtsnelheid op van 6 m/uur ofwel 1,7 mm/sec. Tijdens de rookproeven zijn verticale luchtsnelheden van ongeveer 50 mm/sec waargenomen. Die zijn het gevolg van de toevoer van energie door de lampen en de buizen en als gevolg van stroming van boven het schermdoek. In die verhouding mag nauwelijks effect van de luchtstroom uit de slurven op de temperatuurverdeling worden verwacht en die is dan ook niet gevonden. Bovendien koelt lucht die warmer de slurf in gaat dan de omringende kastemperatuur onderweg af, waardoor over de lengte van de slurf temperatuurverschillen gaan ontstaan. Om dezelfde reden kan de slurf ook niet worden gebruikt om horizontale temperatuurverschillen te verkleinen. Als het de bedoeling zou zijn om met hetelucht te verwarmen via de slurf, dan zou het debiet bij 50 W/m^2 gevraagde warmteafgifte ongeveer $30 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{uur}$ moeten zijn bij een uitblaas temperatuur die 5 graden hoger ligt dan de kastemperatuur. Buisrailverwarming moet ongeveer 50 graden zijn om hetzelfde af te geven. Omdat de buiswarmte vrijwel altijd is ingezet om de verticale temperatuurverschillen bij gebruik van belichting te compenseren, heeft de toevoeging van buitenluchttoevoer het warmteverbruik van de kas niet verminderd. Omdat de schermdoeken nooit volledig gesloten zijn, zijn de warmteverliezen via het kasdek ook niet verminderd. Voor de huidige gebruikstoestand bestaat de belangrijkste besparing uit het feit dat bij eigen stroomopwekking de dankzij de lage water aanvoer temperatuur in de warmtewisselaar van de luchtblaas installatie de laatste trap van de rookgaskoeler van de WKK beter wordt benut en zo 9% extra warmte uit de rookgassen haalt.

In een situatie dat er feitelijk al een warmteoverschot bestaat levert dat financieel niet veel op. Er is echter een trend dat er minder WKK capaciteit wordt geïnstalleerd en dan gaat dit voordeel opleveren. Nog een stap verder is dan dat geprobeerd gaat worden om op warmteverliezen te besparen door de minimum buis verder te verlagen en eventueel het schermdoek verder te sluiten. Als de verwarmingsbuizen onderin het gewas minder gebruikt zouden worden en het licht aan staat zullen de verticale temperatuurverschillen op een andere wijze gecompenseerd moeten worden. Verticale luchtbeweging is in staat om de lampwarmte omlaag te sturen het gewas in. Dat kan met verticale ventilatoren gerealiseerd worden. Dankzij het uit blijven van de buizen hoeft er ongeveer 50 W/m² minder warmte te worden afgevoerd via de kieren in het lichtscherm. Die kieren dienen normaal ook voor vochttafvoer, maar als de luchtblaasinstallatie een minimum debiet zou hebben van 16 m³/m²/uur, ontstaat de mogelijkheid om het schermdoek nog meer te sluiten. Met deze configuratie kan 20-30% op warmte-energie worden bespaard, terwijl er 99% lichtafscherming is, maar dus wel onder de voorwaarde dat er veel minder eigen stroomopwekking is.

3.6 Meting Buiten RV

Het meten van de buiten-RV, ook wel RV Meteo genoemd is in de praktijk niet eenvoudig. Een algemeen verschijnsel is dat de meting behoorlijk kan afwijken, en dat vooral na een regenbui of mistige periode de meting nog lange tijd op 100% kan blijven staan.

Uiteraard geeft dit een probleem als de buiten-RV wordt gebruikt in de regelstrategie om beslissingen te nemen over de effectieve inzet van geforceerde ventilatie.

In het onderstaande een korte uitleg over deze problematiek en mogelijke oplossingen.

3.6.1 Probleembeschrijving RV meting

Het nauwkeurig en betrouwbaar meten van RV is vanouds een lastige opgave in kassen. De kaslucht bevat doorgaans behoorlijk veel stof waaronder ook stof van organische herkomst en bovendien chemisch agressieve componenten zoals bijvoorbeeld zwavel.

Voor een RV meting gebaseerd op de droge - en natte bol methode, de psychrometer, heeft dit vooral tot gevolg dat het natte kousje snel vervuild en regelmatig gewisseld moet worden. Een vervuild kousje zal de watertoevoer belemmeren en een te hoge meting tot gevolg hebben.

Maar ook zal de stofilter van de meetbox regelmatig vernieuwd moet worden. Een te lage luchtsnelheid langs de natte bol geeft ook een te hoge meting. Als dit onderhoud inderdaad zo gebeurt, geeft de psychrometer een relatief betrouwbaar signaal af.

Het droge - natte bol principe heeft bovendien als voordeel dat de eventuele afwijking in het hoge bereik, dus tussen bijvoorbeeld 90% - 100% niet snel tot verkeerde conclusies kan leiden. Immers als er bijvoorbeeld door een lege waterfles of een vervuild kousje weinig of helemaal geen verschil meer is tussen de droge en natte bol temperatuur wordt altijd een hoge waarde in de richting van 100% aangegeven en zal er alarm worden gegeven.

De droge- natte bol methode is dus voor de glastuinbouw toepassing intrinsiek veilig. Daarnaast is de psychrometer een robuuste sensor die tevens relatief eenvoudig te ijken is.

Het nadeel van de psychrometer is dat er regelmatige controle en onderhoud nodig is. Vooral het bijvullen van het waterreservoir moet bij warm, droog weer frequent plaatsvinden. Daarom worden al sinds tientallen jaren elektronische sensoren voor RV meting toegepast in de kassen, vooral op moeilijk bereikbare plaatsen.

Elektronische RV sensoren hebben in principe minder onderhoud nodig, maar zijn tegelijk ook kwetsbaarder. De sensor kan namelijk aangetast raken door stof en chemische invloeden, vooral in combinatie met hoge RV. In kassen zijn de omgevingscondities daardoor veel agressiever dan in bijvoorbeeld een kantooromgeving. De allereerste sensoren die in kassen werden toegepast hadden dan ook meestal een korte levensduur.

Een algemeen nadeel van een elektronische sensor is dat een eventuele afwijking geen voorkeur heeft voor het gebied waarin gemeten wordt. Stel dat de sensor 3% te laag aangeeft en dat een RV van 80% weergegeven wordt als $80 - 3 = 77\%$. In dit bereik is dat niet zo dramatisch. Maar als de sensor 95% aangeeft terwijl de werkelijke RV in de kas 98% is, dan is dat veel ernstiger.

In de loop der jaren is de kwaliteit van elektronische RV sensoren sterk verbeterd, onder andere door toepassing van speciale coatings. Desondanks is het nodig om de sensor te beschermen tegen stof en chemicaliën door middel van filters.

Filters bestaan in allerlei soorten. Bekend zijn vooral: teflon filters, gaasfilters en sinterfilters. Toepassing van deze filters in oplopende mate van bescherming door een kleinere doorlaat (vaak uitgedrukt in microns) heeft altijd tot gevolg dat de sensor trager reageert op een verandering van de RV in de lucht.

Dit komt vooral tot uitdrukking als het filter zelf vochtig wordt. Dan zal als het ware een microklimaat rond de sensor ontstaan met een RV van 100% terwijl in de omringende lucht een lagere RV heerst. En dit effect zal des te sterker zijn als het filter meer vervuild is, want dit vuil kan een hygroscopisch effect hebben en zelfs vocht aantrekken.

Het mag duidelijk zijn dat vanwege bovenstaande oorzaken een onderhoudsvrije elektronische RV sensor, althans in de glastuinbouw, een illusie is. Voor een goede meting is regelmatige controle en schoonmaken van de filter noodzakelijk. Verder is er altijd het compromis tussen een meer of minder beschermend filter en de reactie snelheid van de meting. Omdat de RV meting buiten vaak op een moeilijk bereikbare plaats wordt geïnstalleerd (hoog bij de Meteomast) is het aantrekkelijk om hiervoor een elektronische sensor te kiezen vanwege het onderhoud. Daar de buitenlucht vaak minstens zo vervuilend en chemisch agressief is als de kaslucht wordt in principe voor de buiten RV sensor een goed beschermend filter gekozen.

Het mag duidelijk zijn dat deze combinatie in de praktijk dus leidt tot afwijkingen in de meting als gevolg van vervuiling van het filter en tevens tot lange na-ijltijden als de sensor of beter gezegd het filter is natgeworden door mist of regen.

3.6.2 Oplossingsrichtingen voor betere buiten RV meting

Als we de problematiek rond de buiten RV meting, vooral het lange na-ijlen van de meting bij mist of regen willen aanpakken liggen er verschillende richtingen open:

Er kan gekozen worden voor een minder beschermend filter, dat minder vaak volledig vochtig wordt en sneller opdroogt. Bijvoorbeeld een gaasfilter in plaats van een sinterfilter.

De consequentie zal echter zijn dat de sensor gemakkelijker aangetast wordt en wellicht sneller vervangen moet worden. En dat is een overwegend argument om te kiezen voor een goed beschermend filter en de nadelen voor lief te nemen.

Een alternatief is om een speciale buiten RV uitvoering toe te passen. De bekende fabrikanten leveren dergelijke sensoren inclusief bijpassende behuizing. Deze kan voorzien zijn van een ingebouwde ventilator en zelfs met een ingebouwde verwarming. Hierdoor zal het risico van een natte sensor of filter aanzienlijk lager worden en in elk geval zal deze sneller opdrogen.

Dit zal echter tegelijk een aanzienlijke prijsverhoging met zich meebrengen en dat is de belangrijkste reden dat deze optie weinig of niet wordt toegepast en door de tuinbouwcomputerleveranciers niet standaard wordt aangeboden.

Een derde optie is om een gangbare meetbox voor in de kas toe te passen. Deze heeft het voordeel van een ingebouwde ventilator en vertoont daardoor veel minder na-ijl effect na mist of regen.

Het nadeel blijft dat deze oplossing mogelijk minder duurzaam is dan de bovengenoemde; de gangbare meetbox is immers niet ontworpen voor buiten gebruik. Maar in een totale afweging van prijs/prestatie kan dit wel interessant blijken. Deze oplossing wordt overigens in beperkte mate in de praktijk toegepast.

Bij alle oplossingen moet gesteld worden dat er geen sprake kan zijn van "onderhoudsvrij" RV meten. Regelmatige controle, schoonmaken en vervangen blijft immers noodzakelijk.

4 Klimaatregeling

4.1 Doelstellingen klimaatregeling Roos

De klimaatregeling voor een rozenteelt wordt bepaald door een aantal doelstellingen ten aanzien van groei, ontwikkeling en kwaliteit van het eindproduct. Daarnaast zijn er diverse restricties met betrekking tot energiegebruik en licht en CO₂ emissie. Deels vloeien zij voort uit kosten overweging, deels uit regelgeving.

Als belangrijkste doelstellingen vallen te noemen:

(genoemde getallen zijn indicatief en cultivar afhankelijk)

Om jaarrond een voldoende productie en kwaliteitsniveau te handhaven is een minimale PAR som van ca. 17-20 Mol/m² per dag nodig. Bij een belichtingsintensiteit van ca. 200 micromol/m².s (ca. 16.000 lux) betekent dat een belichtingsduur van vrijwel 24 uur/dag. M.a.w. de kunstmatige belichtingsperiode kan alleen verkort worden als er een substantiële bijdrage is van het natuurlijk zonlicht. In de zomer is dat geen probleem, in de winter, met name in donkere perioden zal de kunstmatige belichting vrijwel continu moeten branden.

De productie en kwaliteit worden grotendeels bepaald door de verhouding lichtsom / temperatuur som. Vanaf een bepaald stadium is de uitgroeiduur namelijk gekoppeld aan de graaddagensom. De kwaliteit wordt bepaald door de hoeveelheid beschikbare assimilaten, die weer volgt uit de lichtsom. Het is dus feitelijk de kunst voor de kweker om een bepaalde beschikbare lichtsom om te zetten in product van de juiste kwaliteit. De prestatie van de kwekerij kan op die manier als het ware uitgedrukt worden in één kental: de lichtefficiëntie of lichtbenuttingscoëfficiënt.

Bij genoemd lichtniveau hoort een gemiddelde kastemperatuur van ca. 19 graden. Warmere perioden overdag kunnen in zekere mate worden gecompenseerd met koelere perioden in de nacht.

De verticale temperatuur gradiënt in de kas is belangrijk omdat er een goede balans moet zijn tussen de temperatuur in de wortelzone, de groeipuntzone en bij de knop. Deze hebben ieder voor zich invloed op ontwikkelingssnelheid en kwaliteit. Het temperatuurprofiel is bovendien bepalend voor de luchtbeweging en daarmee de afvoer van vocht uit het gewas en de kas.

Het vochniveau in de kas mag niet te hoog zijn in verband met o.a. Botrytis aantasting. Als grenswaarde geldt een RV van 90-95%. Daarnaast mag er geen condensatie optreden op koudere plantendelen. Met name door uitstraling naar een koud kasdek of een koud schermdoek in de onbelichte perioden kan er condensatie op de knoppen ontstaan.

Er moet rekening gehouden worden met regelgeving op gebied van lichtuittreding. Dit houdt in dat tussen 20.00 en 00.00 geen lichtuittreding mag plaatsvinden en dat in de rest van de nacht 95% of meer afgeschermd moet worden.

Deze regelgeving maakt dat het telen van rozen bij hogere kunstmatige lichtniveaus dan 16.000 lux vrijwel onmogelijk is omdat belichting tegelijk leidt tot hogere kastemperatuur.

Nu gelden overigens voor oudere kwekerijen nog overgangsregelingen maar dit wordt de komende periode steeds stringenter.

Mede afhankelijk van de cultivar worden piekniveaus in zonnestraling, bijvoorbeeld vanaf 600 - 800 W/m² afgeschermd om o.a. verbranding van de knoppen te voorkomen.

Hoewel de roos als gewas goed kan omgaan met een behoorlijke variatie in temperatuur en lichtniveau is voor de beheersing van het hele productieproces, constante kwaliteit, arbeidsplanning en uiteraard de afzet, wenselijk om grote variaties te vermijden en alles zo stabiel mogelijk te houden.

Bovenstaande punten vormen dus de handvatten voor de klimaatsturing, of anders gezegd de klippen waar de kweker tussendoor moet koersen.

Hoe meer en betere instrumenten hierbij ten dienste staan, hoe beter dit zou moeten lukken. Tegelijkertijd kan het inzetten van verschillende instrumenten de regeling ook zeer complex maken. In elk geval wordt van de kweker in toenemende mate een deskundig inzicht gevraagd in het natuurkundig proces dat in de kas plaatsvindt.

In de volgende paragraaf wordt kort ingegaan op de regeling van de geforceerde installatie op basis van de huidige situatie.

Vervolgens wordt een nadere analyse gewijd aan de energiebalans van de kas en het gewas. Door deze analyse wordt duidelijk hoe bijvoorbeeld lichtintensiteit samenhangt met temperatuur in de kas en wat de invloed is van de verschillende instrumenten hierop.

De inzichten die hieruit ontstaan bieden voor de kweker hopelijk handvatten voor het verder optimaliseren van de regeling.

4.2 Voorgestelde regeling geforceerde ventilatie

Na de installatie van het ventilatiesysteem was het de wens van de gebruiker om stapsgewijs te ontdekken wat de mogelijkheden en beperkingen van het systeem zouden zijn en welke effecten het zou geven op het kasklimaat en de ontwikkeling van het gewas.

Op hoofdlijnen kan dit leertraject als volgt worden samengevat;

Allereerst is begonnen met een periode van recirculeren van alleen kaslucht zonder bijmengen van buitenlucht met verschillende debieten en met verschillende inblaastemperaturen.

Vervolgens is buitenlucht bijgemengd in verschillende verhoudingen.

Hierbij zijn een aantal waarnemingen gedaan en conclusies getrokken:

- Vanwege het geluidsniveau en de geluidshinder voor een belendend woonhuis moet het debiet van de ventilatoren begrensd worden op ca. 80% van het nominale bereik.
- Vanwege de capaciteit van de warmtewisselaars is de hoeveelheid buitenlucht beperkt tot een bepaald percentage, afhankelijk van de buitentemperatuur, omdat anders de inblaastemperatuur niet gehaald wordt
- Inblazen met een hogere temperatuur dan de kastemperatuur leidt tot temperatuur verschillen over de lengte van het pad
- In een bepaalde periode is van dit in principe ongewenste effect toch nuttig gebruik gemaakt, namelijk om een te koude gevel zone (gevolg van kouval) nog enigszins te compenseren.
- Inblazen met een lagere temperatuur dan de kastemperatuur leidt eveneens tot temperatuur verschillen
- Het vereffenen van verticale temperatuur verschillen kan met dit systeem slechts beperkt bereikt worden. Inderdaad wordt warme lucht van boven in de kas (bij de lampen) aangezogen en onderin de kas uitgeblazen. Maar van het relatief geringe debiet van de installatie (ca. $10 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{uur}$) mogen in dit opzicht geen wonderen verwacht worden.
- Dit laatste betekent dat een (minimum) buistemperatuur onder het gewas nog steeds noodzakelijk is om het temperatuurverschil tussen onder en boven niet negatief te laten worden en zodoende voldoende opgaande luchtbeweging te handhaven.

Boven beschreven leertraject werd nog gecompliceerd door het optreden van ongewenste luchtstromingen in de kas, met name in de winterperiode die leiden tot grote temperatuur verschillen tussen het midden van de kas en de gevels door kouval. Aanvankelijk werd gedacht dat deze verschijnselen met het ventilatiesysteem zouden kunnen worden bestreden en gecompenseerd. Het verdere onderzoek naar deze ongewenste luchtstromingen en de uiteindelijke remedie worden elders in dit rapport beschreven.

Omdat het systeem de functies van luchtbeweging en ontvochtiging combineert kan de regeling als volgt worden opgebouwd:

In de periode dat alleen luchtbeweging in het gewas gewenst is en de RV tussen het gewas niet te hoog is kan worden volstaan met recirculeren. In principe hoeft de lucht dan niet verwarmd te worden, omdat deze immers al op kastemperatuur is. Het debiet kan dan op een vaste stand worden gezet, maar desgewenst op verschillende invloeden worden gecorrigeerd. Te denken valt aan: raamstand, doekstand, lampen aan/uit, RV, etc.

In situaties dat de installatie kan bijdragen aan de ontvochtiging is het bijmengen van buitenlucht gewenst. De klepstand van de buitenlucht en het debiet van de installatie kan hierbij ook weer op een vaste stand worden gezet als basis en worden gecorrigeerd met verschillende invloeden.

Het ligt voor de hand dat het verschil tussen heersende RV en gewenste RV in de kas hierbij overwegend zal zijn. Omdat RV in de praktijk nogal "onrustig" kan zijn moet met een niet te kleine P-band gewerkt worden.

Maar het is ook mogelijk om te regelen op verschil temperatuur binnen/buiten of zelfs verschil enthalpie binnen / buiten om een stabielere regeling te verkrijgen. Met deze laatste methoden wordt in feite een bepaalde vochtafvoer en energiebehoefte van de installatie nagestreefd.

Om temperatuur verschillen in de kas te voorkomen dient de uitblaastemperatuur van de lucht de gemeten kastemperatuur van dat moment te volgen.

In sommige gevallen, met name als de kastemperatuur zou moeten dalen, kan beter de gewenste kastemperatuur als uitgangspunt genomen worden voor de regeling.

Zoals in de doelstellingen is genoemd draagt het geforceerd ventileren bij aan verminderen van de lichtuitstoot als in de nachtelijke uren wordt belicht. Immers wordt het door de overdruk in de kas mogelijk om het schermdoek verder te sluiten, danwel om een minder poreus scherm toe te passen met minder lichtdoorlaat.

Een andere interessante toepassing van het systeem is echter om een beter en homogener kasklimaat te verkrijgen in perioden met lage buitentemperaturen en lage buiten RV. In deze perioden kan in feite volstaan worden met relatief lage ventilatie snelheden in $\text{kg/m}^2\cdot\text{uur}$. Het probleem is dat dergelijke lage ventilatiesnelheden met de normale luchtramen nauwelijks te realiseren zijn. De relatie tussen raamstand en ventilatiesnelheid is dermate ongedefinieerd door de natuurlijke fluctuaties van windrichting en windsnelheid dat vaak gemiddeld te veel wordt gelucht met onnodig verlies van warmte en CO_2 , maar ook ongelijke temperatuurverdeling tot gevolg. Doordat het inblazen van buitenlucht zorgt voor een overdruk in de kas wordt de regelkarakteristiek van de luchtramen beter en kan met zeer kleine raamstanden worden volstaan waardoor valwinden en temperatuurverschillen worden voorkomen.

4.3 Energiebalans kas en gewas

In de praktijk zijn veel klimaatregelstrategieën gebaseerd op ervaring en slechts weinig onderbouwd door kennis van het natuurkundig en plantkundig proces.

Dit is met name naar voren gekomen bij de introductie van gesloten en semi-gesloten kassen waarbij bleek dat planten in sommige situaties heel anders reageren dan verwacht.

Dit maakte een herijking van de kennis over klimaatregelen noodzakelijk en met name vanuit het Aircokas onderzoek bleek de energiebalans in samenhang met de waterbalans van de plant hierbij een heel geschikte benadering. Voor een analyse van het groeiproces kan de assimilatenbalans hieraan worden toegevoegd, en het aardige is dat in alle 3 deze balansen het huidmondje een rol speelt, en dit is een van de weinige, zo niet het enige regelorgaan waarmee de plant in staat zich aan te passen aan wisselende omstandigheden.

Het bekende voorbeeld is natuurlijk dat bij hoge instraling de plant last kan krijgen van uitdroging (waterstress), dat dan de huidmondjes neiging krijgen om te sluiten teneinde de verdamping te verminderen, maar dat tegelijk het fotosynthese proces belemmerd wordt door lagere opname van CO₂ uit de kaslucht. Dit kan voorkomen worden door de hoeveelheid licht te verminderen (door scherming) maar een alternatief is om de RV te verhogen. Hierdoor wordt namelijk ook de verdamping iets verminderd en kunnen de huidmondjes wel verder open blijven zodat de CO₂ opname niet wordt belemmerd.

Om het onderzoek bij Marjoland ook vanuit de energiebalans te kunnen benaderen en tegelijk te kunnen onderbouwen met metingen is op initiatief van LetsGrow.com en WUR Glastuinbouw een zogenaamde Nettostralingsmeter in de kas opgesteld.

In Figuur 4.1. is de opstelling weergegeven.



Figuur 4.1. Nettostralingsmeter.

De netto stralingsmeter bestaat uit 2 globale stralingssensoren CM up en down (Solarimeters) in het gebied van ca. 300 - 3000 nm golflengte en 2 sensoren CG up en down (Pyrgometers) in het gebied van het verre infrarood; 4500 - 45 000 nm golflengte.

De globale straling omvat UV + PAR + NIR (nabij infrarood)

4.3.1 De energiebalans onder kunstmatige belichting

In de situatie met kunstmatige belichting wordt de energiebalans van de kas en het gewas gedomineerd door de volgende componenten:

A - de energie die door de lampen wordt ingebracht. Deze bestaat uit:

- lichtstraling in het PAR gebied
- straling in het IR gebied
- warmteafgifte aan de kaslucht door convectie

B - de energie die door de gewasbuis/onderbuis wordt ingebracht. Deze bestaat uit:

- straling, door de lage buistemperatuur < 50 grd is dat minder dan 50%
- convectie

C - de energie die door de gewasverdamping wordt opgenomen

D - de energie afvoer door isolatieverliezen van het kasdek

E - de energie afvoer door uitstraling, zowel in het PAR gebied als in het verre (F) IR gebied

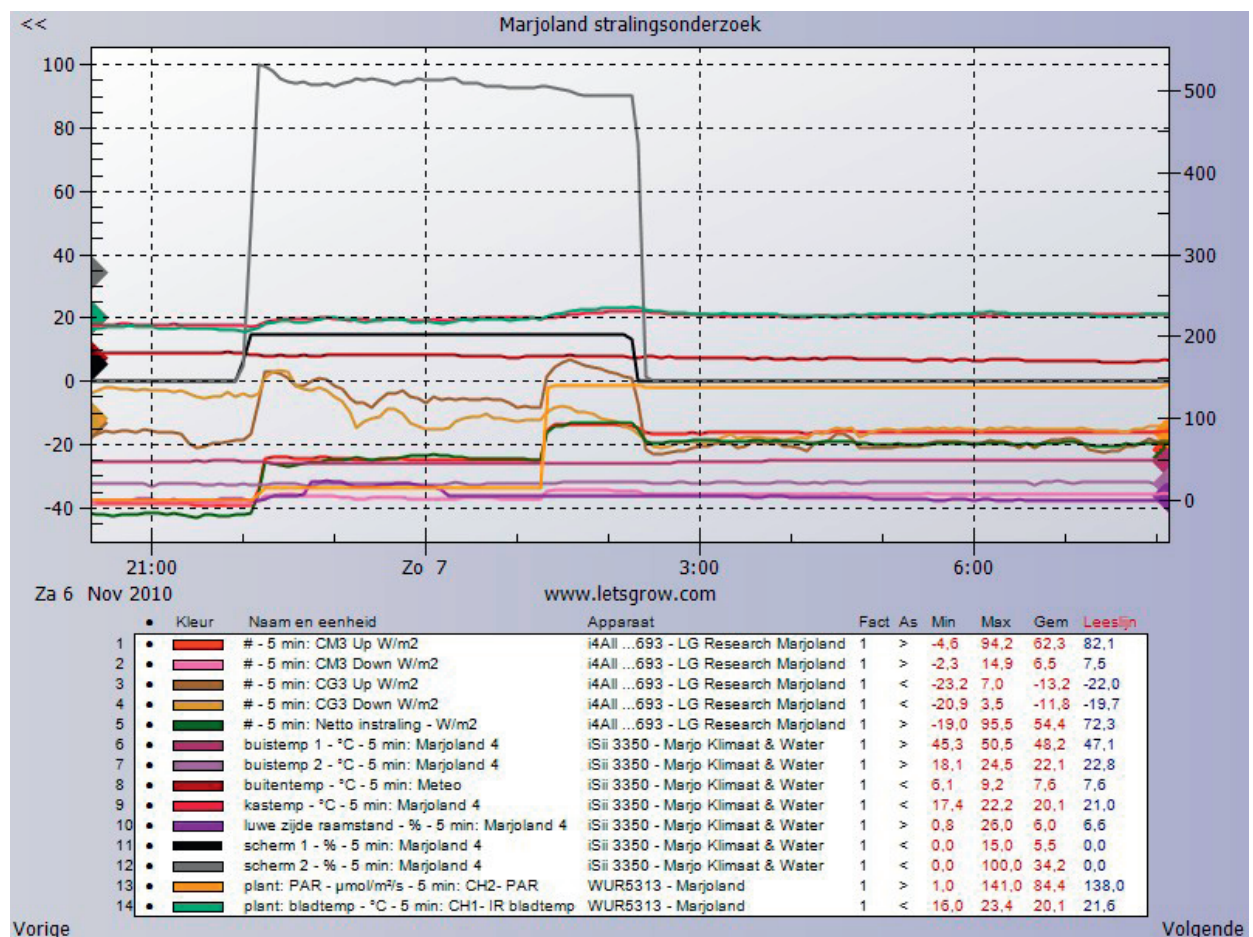
Als we alle stromen uitdrukken in W/m² dan moet dus voor een kloppende balans gelden:

$$A + B = C + D + E$$

Hieronder wordt het verloop van de energiestromen in verschillende situaties geanalyseerd.

4.3.2 Kwalitatieve beschrijving van de energiebalans

De eerste stap van de analyse is een kwalitatieve beschrijving van de balans. We doen dit aan de hand van Figuur 4.2.



Figuur 4.2. Energiegegevens van de kas.

's Avonds 6 november om 22.00 uur wordt de belichting voor de 1^e stap ingeschakeld. Om het licht binnen te houden wordt tegelijk het scherm gesloten, dat wil zeggen scherm 1 en scherm 2 die boven elkaar liggen, en een tegengestelde looprichting hebben worden zodanig gepositioneerd dat ze elkaar overlappen, maar dat er warmte en vocht kan ontsnappen door de tussenliggende ruimte. Zij vormen hierdoor een schermdoek met een verticale kier.

Om ca. 01.15 uur schakelt de belichting naar de 2^e trap = vol vermogen.

Om ca. 2.30 lopen de schermen open.

Gedurende deze periode is de buitentemperatuur tamelijk constant met ca. 8 graden en de kastemperatuur wordt door variatie van de netten en de ventilatie rond de 20 graden geregeld.

Kijken we nauwkeuriger naar de stralingscomponenten in de verschillende situaties:

Voor het inschakelen van de belichting en met de schermen open lezen we af:

CM up	CM down	CG up	CG down	Netto instraling
- 4,1	- 1,3	- 20,9	- 4,6	- 16,9

Er is dus een netto **uitstraling** van 16,9 W/m² vanwege het feit dat het kasdek kouder is dan de kas c.q. het gewas. De PAR meting geeft uiteraard ca. 00 aan en de gewastemperatuur ligt iets onder de kasluchttemperatuur. Dit duidt op een lage verdamping (natte bol effect).

Na het inschakelen van de 1^e trap belichting lezen we af:

CM up	CM down	CG up	CG down	Netto instraling
52,4	6,5	- 1,2	- 4,6	49,4

Er is een netto **instraling** van 49 W/m² vanwege de lampen.

De lampen leveren dus ruim 50 W/m² globale straling waarvan ruim 6 W/m², dus ruim 10% weer door het gewas gereflecteerd wordt. Door het gesloten scherm wordt de IR uitstraling naar buiten (CG up) nagenoeg afgestopt c.q. gecompenseerd door de warme lampen en het warme scherm. Er is een kleine IR straling naar het gewas toe (CG down) wat er op wijst dat de temperatuur boven in de kas hoger is dan de gewastemperatuur.

De PAR meting geeft ca. 15 micromol/m².s aan, en de gewastemperatuur stijgt tot ongeveer de kastemperatuur. Dit duidt erop dat de energie voor de verdamping nu grotendeels geleverd wordt door de lampen en nog zeer weinig door convectieve overdracht (natte bol effect).

Als we kijken naar de verhouding tussen de globale straling en de PAR straling, dan valt op dat er relatief weinig PAR is. Hoge druk natriumlampen zouden efficiënter moeten zijn dat natuurlijk zonlicht. Voor zonlicht geldt dat 1 W/m² globaal overeenkomt met $1 \times 0,45 \times 4,6 = 2,07$ micromol/m².s. Voor deze 1^e trap belichting is de PAR component echter slechts $15/50 = 0,3$

Dit kan mogelijk een gevolg zijn van de plaatsing van de PAR sensor ten opzichte van de lamparmaturen die in de 1^e trap worden ingeschakeld, waardoor de PAR sensor in feite te laag aangeeft.

Na het inschakelen van de 2^e trap belichting om 1.15 uur lezen we af:

CM up	CM down	CG up	CG down	Netto instraling
94,2	14,9	7,0	- 8,1	94,4

Er is een netto **instraling** van 94,4 W/m² vanwege de lampen.

De lampen leveren dus bijna 95 W/m² globale straling waarvan bijna 15 W/m², dus iets meer dan 15% weer door het gewas gereflecteerd wordt. Er is een netto FIR straling van ca. 15 W/m² naar het gewas toe (CG up - CG down) wat er op wijst dat de temperatuur boven in de kas (scherm opgewarmd door lampen) hoger is dan de gewastemperatuur.

De PAR meting geeft ca. 141 micromol/m².s aan, en de gewastemperatuur stijgt tot ongeveer 1 graad boven de kastemperatuur. Dit duidt erop dat de energie voor de verdamping nu volledig geleverd wordt door de lampen en dat bovendien nog een deel van deze energie door convectieve overdracht van het gewas wordt afgegeven aan de kaslucht.

Als we kijken naar de verhouding tussen de globale straling en de PAR straling, dan valt op dat nu het aandeel PAR veel hoger is dan eerder. Voor zonlicht geldt dat 1 W/m² globaal overeenkomt met $1 \times 0,45 \times 4,6 = 2,07$ micromol/m².s. Voor deze 2^e trap belichting is de PAR component $141 / 94,2 = 1,5$. Voor een Son-T lamp is dat echter nog steeds aan de lage kant. Dit kan nog steeds te maken hebben met de opstelling van de PAR sensor ten opzichte van de lampen.

NB: Uit de metingen blijkt dat ca. 15% van de globale straling wordt gereflecteerd, maar de eventueel gereflecteerde PAR wordt niet gemeten dus daar valt niets over te zeggen.

Na het openen van de schermen om 2.15 uur lezen we af:

CM up	CM down	CG up	CG down	Netto instraling
84	8,4	- 19,7	-17,4	73,3

Er is een netto **instraling** van 73,3 W/m² vanwege de lampen.

De PAR meting geeft ca. 139 micromol/m².s aan.

De situatie is door het openen van de schermen in verschillende opzichten anders geworden.

Ten eerste zien we dat de hoeveelheid PAR nagenoeg hetzelfde is gebleven, maar dat de globale instraling ca. 10 W/m² is gedaald. Dat betekent dat de straling die extra wordt toegevoerd van boven bij gesloten scherm, kennelijk reflectie van het scherm, dus voornamelijk in het NIR spectrum (warmte) zit en slechts weinig PAR bevat.

De reflectie van globale straling door het gewas is nu ook weer lager (ca. 10%) wat er ook op wijst dat deze gewasreflectie voornamelijk in het NIR spectrum valt.

De verre infrarood componenten CG up en CG down houden elkaar in evenwicht wat er op duidt dat er vanuit het gewas gezien geen netto uitstraling is naar het kasdek en dat het kasdek dus vrijwel op gewastemperatuur moet zijn. Omdat beide componenten negatief zijn is de temperatuur ter hoogte van de netto stralingsmeter (dicht bij de lampen) hoger dan de gewastemp en de kasdektemperatuur.

De gewastemperatuur ten opzichte van de kastemperatuur blijft nagenoeg het zelfde en wordt dus in dit geval weinig beïnvloed door het openen van het scherm. Dit zou wel gebeurd zijn als door het openen van het scherm de uitstraling sterk was toegenomen.

Als we kijken naar de verhouding tussen de globale straling en de PAR straling, dan valt op dat nu het aandeel PAR iets gestegen is. Voor zonlicht geldt dat 1 W/m² globaal overeenkomt met $1 \times 0,45 \times 4,6 = 2,07$ micromol/m².s. Voor deze 2^e trap belichting met open scherm is de PAR component $139 / 84 = 1,65$

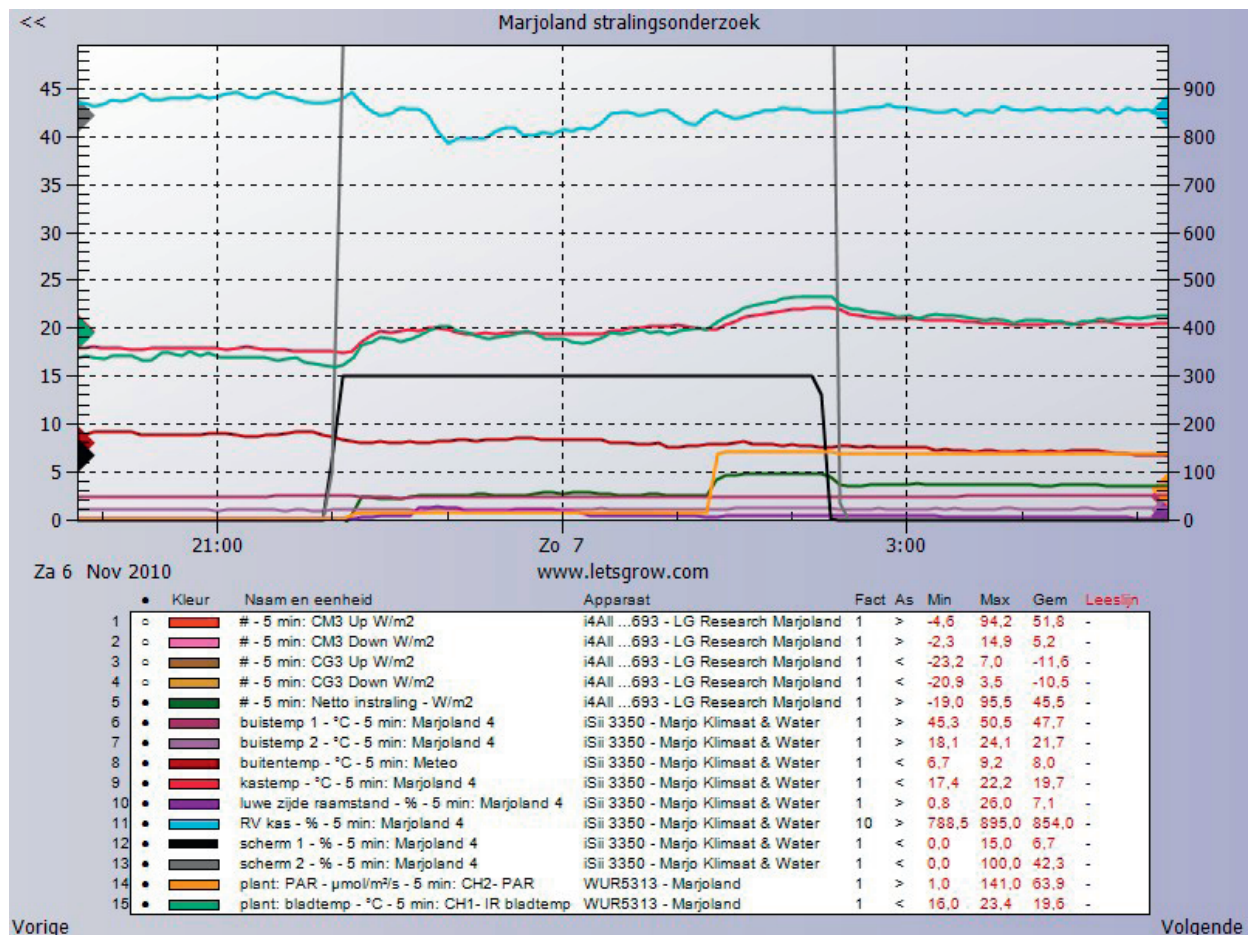
Echter boven hebben we gezien dat dit voornamelijk wordt veroorzaakt doordat er met geopend scherm minder NIR straling van boven komt.

4.3.3 De energie en vochtbalans

Hierboven hebben we voornamelijk gekeken naar de stralingscomponenten. Nu is er nog de totale energie en vocht balans van kas en gewas.

Hierbij gebruiken we de grafiek in Figuur 4.3.

In de grafiek is dezelfde periode weergegeven als in Figuur 4.2. met een iets aangepaste schaling en bovendien is de kas RV lijn toegevoegd.



Figuur 4.3. Energie- en vochtgegevens in de kas.

Wat betreft de energiebalans van het gewas en de verdamping is nu duidelijker te zien dat eerst de gewastemp lager ligt dan de kastemperatuur (natte bol effect), dat bij de 1^e trap belichting de gewastemperatuur stijgt tot vrijwel de kastemperatuur, en dat bij de 2^e trap de gewastemperatuur boven de ruimte temperatuur stijgt. Dit betekent dat de stralingswarmte van de lampen resp. ca. 50 W/m² (geheel) en 80 W/m² (grotendeels) wordt geabsorbeerd door de gewasverdamping. Als we dit ruwweg omrekenen zal de gewasverdamping bij de 1^e trap belichting ca. 50 x 3600 / 2500 = ca. 70 gram/m².uur bedragen, en bij de 2^e trap belichting iets minder dan 73 x 3600 / 2500 = 105 gram/m².uur omdat ook een deel convectief wordt afgevoerd.

PAR meting iets te laag?

Gezien het PAR niveau van 140 micromol zou de capaciteit van de belichting ca. 140 x 82 = 12000 lux zijn. Hierbij hoort een elektrisch vermogen van ca. 80W/m². Hetgeen niet heel goed overeenkomt met de gemeten stralingscomponent, die immers naar 100 W/m² neigt.

Hieruit zouden we eerder verwachten dat de belichtingscapaciteit in de orde van 16000 lux moet zijn. En dat betekent dat de PAR meting mogelijk te laag aangeeft, waarschijnlijk vanwege de plaatsing ten opzichte van de lampen.

4.3.4 Schatting warmteverliezen van de kas

In de situatie bij de 2^e trap belichting met gesloten scherm tussen 1.15 uur en 2.15 uur kunnen we iets afleiden over de warmteverliezen van de kas.

De kastemperatuur is hier rond 22 graden, de buitentemp rond 8 graden, dus een verschil van 14 graden. Hier boven is berekend dat de straling van de lampen voor ca. 75 Watt/m² wordt geabsorbeerd door de gewasverdamping, hoewel niet helemaal. Bovendien is er nog de warmte van de netten, die resp. op ca. 45 graden (net 1) en ca. 23 graden (net 2) liggen. De warmte afgifte van net 2 is dus heel laag omdat er weinig verschil is met de kastemperatuur.

Aangenomen dat buis 1 een buisrail is van 51 mm dan kunnen we de warmteafgifte bij 45 graden schatten op ca. 55 W/m. Bij 2 buizen per ca. 1,5 m (rij breedte) zou dat neerkomen op ca. $2 \times 55 / 1,5 = 73 \text{ W/m}^2$.

Alles bij elkaar betekent dit dat de effectieve K-waarde van de kas iets lager moet zijn dan $73 / 14 = 5 \text{ W/m}^2\text{.K}$ en dat klinkt met een brede (verticale) kier in het schermdoek aannemelijk. Bovendien staan de luchtramen boven het scherm op een kier vanaf ca. 6%.

Het verloop van de vochtbalans kunnen we aflezen uit het verloop van de RV. Deze is aanvankelijk tegen de 90% en stabiliseert later op ca. 85%. Tussen 23.00 uur en iets na 00.00 uur is de RV wat lager, en dat correspondeert met een hogere raamstand in die periode, die tot iets boven de 20% reikt.

Kennelijk heeft een hogere raamstand voornamelijk effect op de vochtafvoer, wat gezien de lage buitentemperatuur en de relatief lage vochtproductie (bij zonlicht overdag wordt de gewasverdamping al snel veel hoger) geen verwondering mag wekken. Zie echter ook verderop: invloed van het ventilatiesysteem.

Waarom loopt vanaf 2e trap belichting de kastemperatuur op?

Nadat de tweede trap belichting is ingeschakeld om 1.15 uur begint de kastemperatuur vanaf 20 graden geleidelijk op te lopen en ca. een uur later neigt de situatie naar een nieuw evenwicht rond 22 graden kastemperatuur. Kennelijk komt de extra toevoer van energie door de 2^e trap belichting, van netto 50 naar 94 W/m² overeen met een overschot van slechts ca. 10 W/m² op de energiebalans. Immers de effectieve K waarde van de kas in deze toestand hadden we geschat op ca. 5 W/m².K. Dit is langs de andere kant de bevestiging dat het overgrote deel van de lampenergie wordt geabsorbeerd door de gewasverdamping.

Waarom zakt de kastemperatuur slechts weinig na het openen van het scherm?

Als om ca. 2.15 uur de schermen open lopen zakt de kastemperatuur slechts weinig en stelt zich een evenwicht in bij ca. 20 graden kastemperatuur. Het verschil binnen buiten is dan rond 14 graden en neemt later zelfs nog iets toe.

Vanwege de isolerende eigenschappen van het scherm zouden we wellicht een forser effect hebben verwacht. Nu gaat immers een groter gedeelte van de lampenwarmte rechtstreeks verloren via het kasdek en de luchtramen.

Wat opvalt, is echter dat de FIR uitstraling nauwelijks toeneemt door het openen van het scherm. Dit zal het gevolg zijn van een toename in temperatuur van het kasdek en wellicht ook omdat de FIR reflectie van het kasdek iets hoger is dan van het scherm. Maar het kan ook zijn dat het schermdoek met opzet een lage FIR reflectie heeft om de warmte afvoer door uitstraling te bevorderen.

De eerste verklaring is natuurlijk dat het scherm niet werkelijk gesloten is, maar er een forse verticale kier in blijft staan. Het licht wordt effectief tegengehouden, maar warmte en vocht kunnen door de kier gemakkelijk ontsnappen. De conclusie zou dus kunnen zijn dat deze opzet inderdaad succes heeft. De vraag is echter welke invloed deze kier heeft op de horizontale temperatuurverdeling door ongewenste luchtstromingen in de kas, want dat is immers een van de problemen die in deze kas worden geconstateerd.

Een andere verklaring is nogmaals dat de gewasverdamping een sterk stabiliserende werking heeft op de energiebalans. Zowel een verhoging als een verlaging van de energieinput hebben bij een stabiele vochtbalans, weinig invloed op de kasttemperatuur.

Het is daarom heel interessant om de energiebalans van de kas en de gewasverdamping gemeten met de weegschalen naast elkaar te kunnen leggen.

4.3.5 Toekomst perspectief sturing op verdamping

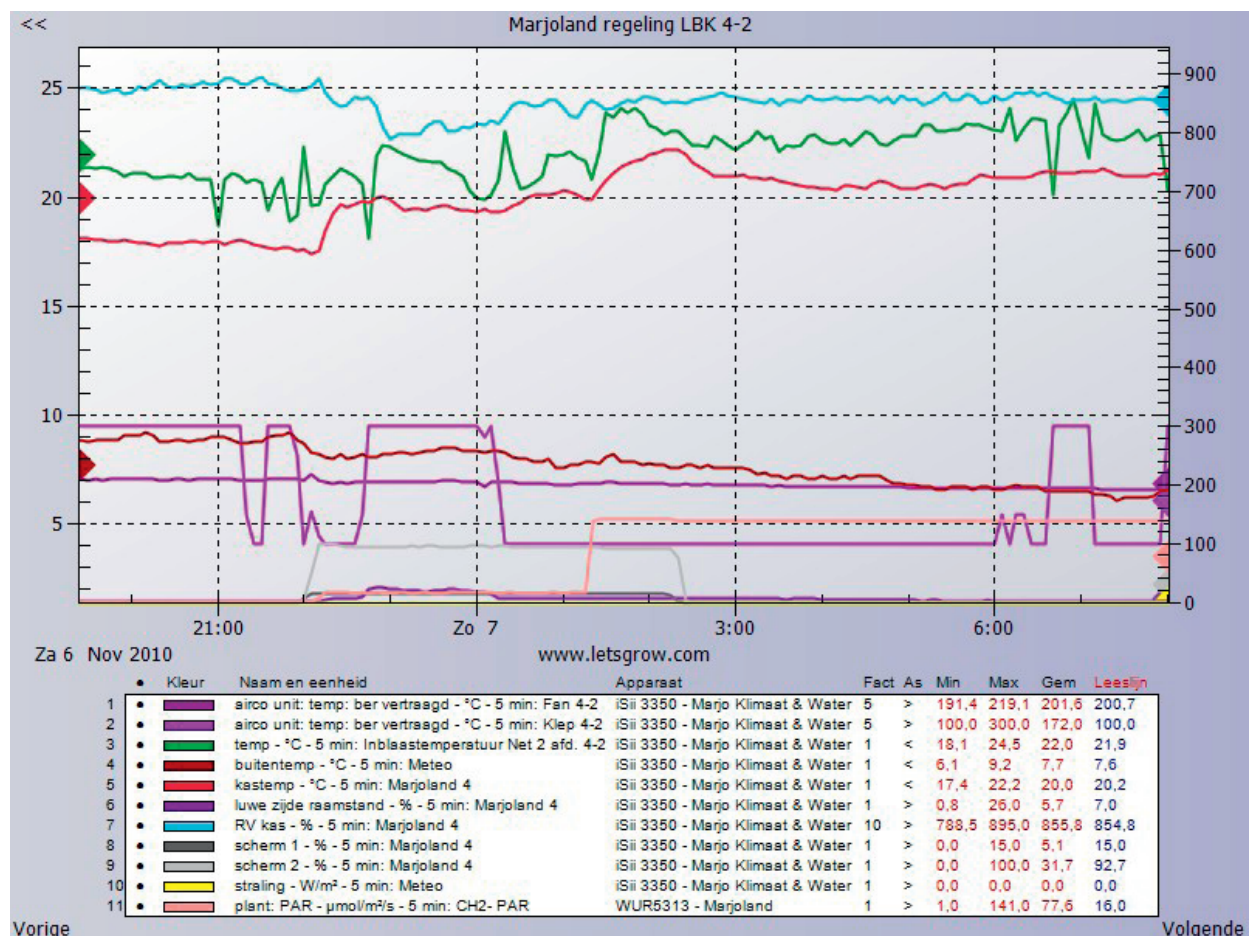
Vanuit de probleemstelling biedt deze analyse toekomstperspectief. Immers als het mogelijk zou blijken om door geforceerde afvoer van vocht de gewasverdamping te sturen, dan zou hiermee ook de kasttemperatuur bij gesloten schermdoek geregeld kunnen worden.

Bovendien wordt om het gewenste verticale temperatuurprofiel en voldoende gewasactiviteit te realiseren nu bijna net zo veel energie met de verwarming toegevoerd als met de lampen. Respectievelijk ca. 75 W/m² om ca. 100 W/m²

Als in plaats van de verwarming hiervoor de lampenwarmte benut zou kunnen worden, in feite dus het naar beneden brengen van de lampwarmte, dan zou dat een stuk schelen en zou het gesloten houden van lichtschermen veel minder temperatuurproblemen opleveren dan met de huidige werkwijze.

4.3.6 De invloed van het ventilatiesysteem op de vochtbalans

Interessant is nu om te zien wat de invloed is van het ventilatiesysteem gedurende de besproken periode. Dit doen we aan de hand van Figuur 4.4. Zowel de ventilatorstand als de klepstand zijn met een factor x5 weergegeven vanwege de afleesbaarheid.



Figuur 4.4. Klimaatgegevens m.b.t ventilatie.

Het ventilatiesysteem heeft vanaf 22.00 uur steeds aangestaan met een ventilator capaciteit van ca. 40%. Het systeem is ontworpen voor een maximaal debiet van ca. $10 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{uur}$. Bij een lineaire karakteristiek zou 40% neerkomen op ca. $4,0 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{uur}$ luchtverplaatsing. De buitenluchtklep varieert tussen 20% en 60%. In het laatste geval wordt er dan $4,0 \times 0,6 = 2,4 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{uur}$ buitenlucht ingeblazen.

Duidelijk is te zien dat de verhoogde buitenluchtklepstand correspondeert met de lagere RV. Wellicht is dat de reden dat de buitenluchtklepstand weer verlaagd is naar 20%.

Hierboven is berekend dat de gewasverdamping op basis van de energiebalans bij de 1^e trap belichting in de orde van $70 \text{ gram}/\text{m}^2\cdot\text{uur}$ zou bedragen.

Het drogend effect van de ingeblazen buitenlucht kunnen we schatten als volgt:

In de kas, 20 grd en 85% RV geeft een AV van ca. $12,5 \text{ gr}/\text{kg}$.

Buiten, 8 graden en 100% RV geeft een AV van ca. $6,5 \text{ gr}/\text{kg}$. Het verschil binnen/buiten is dus minimaal $6 \text{ gram}/\text{kg}$ en maximaal $12,5 \text{ gr}/\text{kg}$. Laten we zeggen dat het $8 \text{ gr}/\text{kg}$ was.

Bij een inblaascapaciteit van $2,4 \text{ m}^3 / \text{m}^2\cdot\text{uur}$ (klep op 60%) is het drogend effect dan ca.:

$$2,4 [\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{uur}] \times 1,2 [\text{kg} / \text{m}^3] \times 8 [\text{gr}/\text{kg}] = 23 \text{ gr} / \text{m}^2\cdot\text{uur}$$

Hieruit kunnen we dus concluderen dat slechts een beperkt deel ($1/3$) van de vochtproductie wordt afgevoerd door het inblaassysteem. Het grootste deel ($2/3$) moet worden afgevoerd door natuurlijke ventilatie.

Bij de klepstand van 20% is deze verhouding nog kleiner, en wordt maar ca. 10% van de vochtproductie geforceerd afgevoerd.

Ondanks het feit dat de geforceerde ventilatie slechts een klein deel van de vochtafvoer voor zijn rekening neemt wil dat niet zeggen dat het onbelangrijk is. We zien immers wel degelijk een effect van de verhoogde klepstand op de RV, al moeten we hier volledigheidshalve bij opmerken dat ook de raamstand tegelijkertijd verhoogd werd van ca. 6 naar ca. 20%. Het is dus lastig om beide effecten los van elkaar te beoordelen.

Het grote voordeel van geforceerde ventilatie is dat het systeem onafhankelijk wordt van natuurlijke uitwisseling, die sterk varieert als gevolg van temperatuur- en druk verschillen en windsnelheid en richting. Bovendien werkt de geforceerde afvoer ook bij gesloten vochtkieren in het scherm waardoor ongewenste temperatuurverschillen (kouval) wordt voorkomen.

Indien het systeem op 100% ventilatorstand en 100% buitenklepstand zou staan, dan zou er onder de zelfde condities ca. $10 \times 1,2 \times 8 = 96 \text{ gr}/\text{m}^2\cdot\text{uur}$ vocht geforceerd worden afgevoerd en dat is net iets lager dan de geschatte gewasverdamping bij 16.000 lux belichting.

4.4 Beschouwing over de knoptemperatuur op basis van energiebalans

4.4.1 Inleiding / probleemstelling

In de teelt van Roos is de knop temperatuur een belangrijke parameter. Enerzijds voor de snelheid waarmee de knop zich ontwikkelt en uitgroeit, anderzijds in verband met aantasting door o.a. Botrytis.

Bij het eerste, de ontwikkeling van de knop, geldt vooral dat de knop niet te warm mag worden. Dit is een van de belangrijke redenen dat bij hoge instraling geschermd wordt om te veel opwarming te voorkomen. Recente metingen met speciale thermografische apparatuur heeft aan het licht gebracht dat de temperatuur van de knop ondanks scherming hoog kan oplopen, tot waarden rond 40 graden.

Dit aspect komt later in deze paragraaf nog beperkt aan de orde.

Het tweede, aantasting van de knop, wordt hier meer uitgebreid behandeld. De oorzaak van aantasting moet in principe worden gezocht in het vochtig worden van de bloem, hetzij door condensatie, hetzij door guttatie. In beide gevallen kunnen de altijd aanwezige sporen van Botrytis ontkiemen. Dit leidt tot aantasting die soms in kas al zichtbaar is, maar veelal pas naar voren komt nadat de bloemen een nacht op het water in de schuur hebben gestaan of nog later in het verkoop traject.

Op dit punt is al veel onderzoek gedaan en uit de meeste analyses wordt een verband gevonden met de RV en kasttemperatuur, vaak ook in de laatste periode voor de oogst. Maar dit verband is meestal niet één op één. Soms is er met hoge RV geen aantasting, soms bij lagere RV toch ook aantasting. Dit zelfde beeld is naar voren gekomen bij het Parapluplan Gerbera.

Dit is de aanleiding geweest voor een nadere analyse van de energiebalans van de bloemknop, met als doel het zoeken van een aanvullende factor waarmee een beter oorzakelijk verband gelegd kan worden tussen kasklimaat en Botrytis aantasting.

Aan het eind van het hoofdstuk worden een aantal hypothesen geformuleerd die uitnodigen tot nader onderzoek.

4.4.2 De energiebalans van de bloemknop

De basissituatie is dat de bloemtemperatuur gelijk is aan die van de omringende lucht. Afhankelijk van de warmte capaciteit (massa) van de bloem zal de bloemtemperatuur na-ijlen op stijging en daling van de omgevingstemperatuur. Voor een kleine knop zal dit slechts gering zijn, misschien enkele minuten. Voor een grote, zware knop zal dit aanzienlijk meer kunnen zijn. Voor het condensatierisico bij opwarming is ook van belang hoe compact de knop is. Nemen we als voorbeeld een paprika, dan kan het binnenste van de vrucht een andere temperatuur hebben dan de buitenkant, maar de vraag of er wel of geen condensatie op de vrucht ontstaat, hangt alleen af van de temperatuur van de buitenkant.

De bloem /knop van een Roos steekt een stukje boven het gewas uit. Dat betekent dat de bloem, meer dan de rest van het gewas vatbaar is voor luchtbeweging en stralingsuitwisseling.

Het gevolg hiervan kan zijn dat de bloem gevoelig is voor afkoeling tot onder de ruimtetemperatuur en daarmee voor condensatie of voor guttatie omdat de verdamping stagneert.

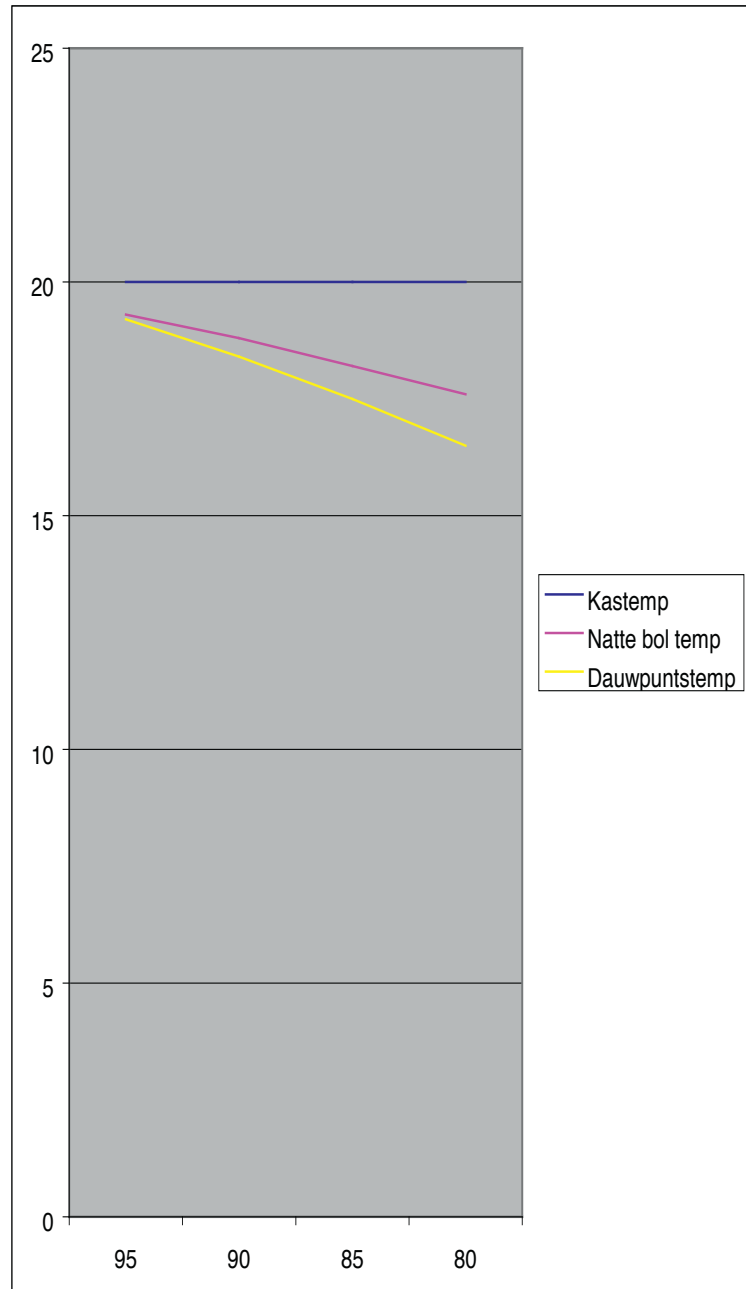
Hieronder wordt de energiebalans verder beschreven.

4.4.3 Afkoeling door het natte bol effect

De bloemtemperatuur kan dalen tot onder de ruimtetemperatuur door het natte bol effect, de mate waarin dat gebeurt, is rechtstreeks afhankelijk van de RV. Hoe lager de RV hoe verder de bloemtemperatuur kan dalen.

Hiernaast is dat in tabel en grafiek aangegeven voor een kasttemperatuur van 20 graden C.

Kas	Tnat	Tdauw	RV
20	19,3	19,2	95
20	18,8	18,4	90
20	18,2	17,5	85
20	17,6	16,5	80



Figuur 4.5. Natte bol- en dauwpuntstemperatuur als functie van de RV bij kasluchttemperatuur van 20 °C.

De nattebol temperatuur kan alleen bereikt worden als de bloem volledig verzadigd zou zijn van vocht, en bovendien de luchtsnelheid langs de bloem groter is dan ca. 2 m/s. En dat is niet de reële situatie. Afhankelijk van de RV en luchtbeweging is het echter wel denkbaar dat de bloemtemperatuur in de praktijk tot enkele graden onder de ruimtetemperatuur zakken. Uit de grafiek blijkt verder dat de bloemtemperatuur nooit onder het dauwpunt kan komen door verdamping c.q. het natte bol effect alleen. De natte bol temperatuur ligt namelijk altijd tussen de ruimtetemperatuur en het dauwpunt in.

4.4.4 Afkoeling door uitstraling

De bloemtemperatuur kan extra dalen door uitstraling van energie naar koudere oppervlakken in de omgeving. Deze uitstraling vindt plaats in de vorm van langgolvige straling die afhangt van de absolute temp tot de 4^e macht (Zie Bijlage)

Met behulp van de formule van Stefan Boltzmann krijgen we zicht op de orde van grootte van de stralingsenergie die uitgewisseld wordt in een kas.

$$E = C_b \times 5,67 \cdot 10^{-8} \times T_b^4 \text{ W/m}^2$$

Hierin is C_b de emissiefactor van een bloem, die ergens tussen 0,95 en 1 zal liggen, en een correctie is voor het feit dat de bloem niet egaal matzwart is. Mogelijk dat deze waarde ook afhangt van de bloemkleur. Voor de eenvoud nemen we de waarde 1 aan.

En T_b is de bloemtemperatuur in Kelvin. Dit is de zelfde schaal als Celsius, met dat verschil dat het nulpunt bij -273,15 C ligt. Gemakshalve hier afgerond naar - 273.

Zo komt 20 graden C dus overeen met $273 + 20 = 293$ K.

Hieruit volgt dat de bloem $E_b = 1 \times 5,67 \cdot 10^{-8} \times 293^4 = 418 \text{ W/m}^2$ uitstraalt. De omgeving straalt echter ook energie naar de bloem terug afhankelijk van de eigen temperatuur.

Stel dat de gemiddelde omgevingstemperatuur 15 graden C zou zijn: dan

$$E_{omg} = 1 \times 5,67 \cdot 10^{-8} \times 288^4 = 390 \text{ W/m}^2$$

Netto straalt de bloem dan uit: $418 - 390 = 28 \text{ W/m}^2$ en dat zorgt voor afkoeling.

Bij een omgevingstemperatuur van 10 graden is dat nog aanzienlijk meer:

$$E_{omg} = 1 \times 5,67 \cdot 10^{-8} \times 283^4 = 363 \text{ W/m}^2, \text{ dus de uitstraling is dan: } 418 - 363 = 55 \text{ W/m}^2$$

4.4.5 Opwarming door straling van de zon of een verwarming

Als de zon schijnt ontvangt de bloem rechtstreeks straling in de orde van 0 - 650 W/m². Deze straling zorgt voor verhoging van de temperatuur en voor enige verdamping. Bij hoge instraling zal de energieafvoer door convectie en uitstraling onvoldoende zijn en dan is de verdamping, die relatief erg veel energie kan absorberen, noodzakelijk om de bloemtemperatuur te begrenzen.

Hierbij moet wel bedacht worden dat ook reflectie en transmissie van de zonnestraling door de bloem belangrijk kan bijdragen aan temperatuur begrenzing.

De bloem kan zich echter ook in de nabijheid van een verwarmingsbuis bevinden. En dan moeten we die invloed uiteraard ook meenemen.

Het is lastig om die invloed precies te berekenen, maar we kunnen er wel een inschatting van maken door de situatie sterk te vereenvoudigen. Laten we het volgende aannemen:

- een warme buis gedraagt zich als een ideale straler, en alle warmte die naar boven wordt uitgestraald, en dat is de helft, wordt gelijkmatig over het kas oppervlak verdeeld, als we veronderstellen dat ook het scherm zich als een ideale reflector gedraagt. De andere helft verdwijnt in het gewas zonder effect op de bloemen.

Stel we hebben 1 groeibuis van 31 mm per 1.60 m kas, dat is 5 per tralie. Dan is het uitstralend oppervlak naar boven dus: $0,5 \times 0,031 \times \pi / 1.60 = 0,03 \text{ m}^2/\text{m}^2$

Op dezelfde manier als voor de uitstraling van de bloem naar het scherm en omgekeerd kunnen we nu de stralingsuitwisseling tussen de bloem en de buis berekenen:

Stel de bloem is weer 20 graden, en de buis is 40 graden C:

$$E_{\text{bloem-buis}} = 0,03 \times 1 \times 5,67 \cdot 10^{-8} \times 293^4 = 12,5 \text{ W/m}^2$$

$$E_{\text{buis-bloem}} = 0,03 \times 1 \times 5,67 \cdot 10^{-8} \times 313^4 = 16,3 \text{ W/m}^2$$

Netto ontvangt de "gemiddelde" bloem dus van de buis een straling in de orde grootte van $16,3 - 12,5 = 3,9 \text{ W/m}^2$

Ter vergelijking: als de buistemperatuur wordt verhoogd naar 60 graden:

$$E_{\text{buis-bloem}} = 0,03 \times 1 \times 5,67 \cdot 10^{-8} \times 333^4 = 20,9 \text{ W/m}^2 \text{ waardoor de netto ontvangen straling oploopt naar } 20,9 - 12,5 = 8,4 \text{ W/m}^2$$

Dit komt overeen met de ervaring dat de warme buis steeds meer stralingswarmte afgeeft bij toenemende temperatuur, maar dat dit gemiddeld niet zo veel is, omdat de buis slechts een klein deel van de gemiddelde omgevingstemperatuur bepaalt. De temperatuur is weliswaar een stuk hoger, maar het aandeel in het totale oppervlak is slechts gering, waarbij we dan nog de rest van de omgeving als een ideale spiegel opvatten om de straling van de buis naar de bloem te brengen.

4.4.6 Opwarming door straling van de lampen

Als de kunstmatige belichting ingeschakeld wordt krijgen we te maken met verschillende soorten straling, namelijk het PAR licht, waar het om begonnen is, en de warmtestraling, ook wel Infra rood genoemd, als gevolg van de zeer warme armaturen.

Uit de metingen van de stralingsmeter lezen we af bij volle capaciteit de volgende waarden (zie boven)

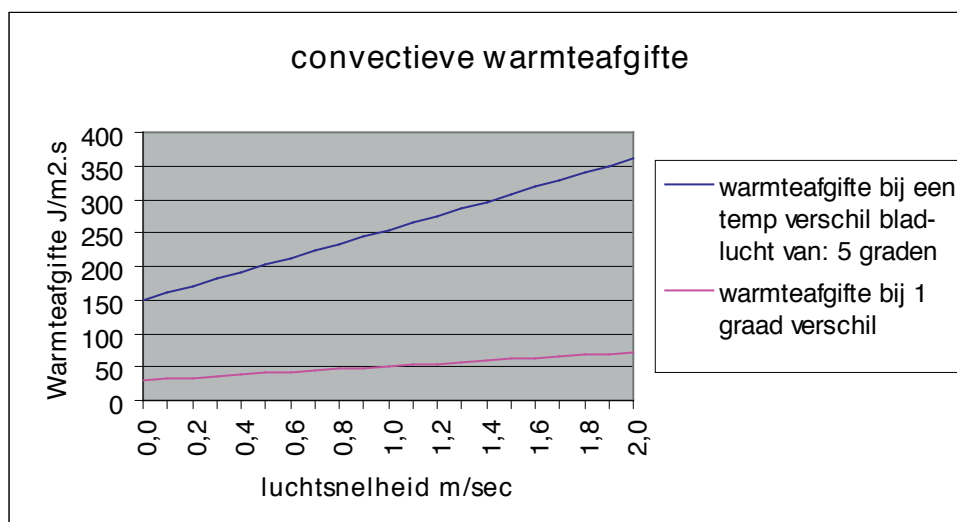
- Het globale deel (CM up) = 94 W/m^2
- Het IR deel (CG up) = 7 W/m^2

Dat betekent dus dat de straling van de lampen in staat is om 's nachts onder het gesloten scherm een forse compensatie voor de uitstraling te leveren.

4.4.7 Opwarming en afkoeling door convectie

Opwarming en afkoeling door convectie is een gevolg van een temperatuurverschil tussen bloem en de lucht. Als de bloem kouder is wordt er warmte toegevoerd, als de bloem warmer is wordt er warmte afgevoerd.

We mogen aannemen dat de warmteoverdrachtcoëfficiënt afhankelijk is van de luchtbeweging en dat deze in de orde is van 10 - 30 W/m².K voor een dubbelzijdig oppervlak in stilstaande lucht. Bij een temperatuur verschil tussen bloem en lucht van 1 graad C zal er dus 10-30 W/m² worden afgevoerd of toegevoerd.



Figuur 4.6. Warmteoverdracht tweezijdig blad als functie van de luchtsnelheid.

Bovenstaande grafiek geeft de warmteoverdracht van een tweezijdig blad oppervlak als functie van de luchtsnelheid. De warmteoverdracht is echter sterk afhankelijk van de vorm en de structuur van het oppervlak dus voor een Roos bloem kunnen andere waarden gelden.

4.4.8 De energiebalans onder het gesloten schermdoek

Bovengenoemde beschrijving met getallen voorbeelden voor de verschillende componenten van de energiebalans maken wel duidelijk dat er kritische situaties kunnen optreden onder een gesloten scherm.

Zeker als de belichting niet ingeschakeld kan met een koud kasdek of een koud schermoppervlak boven de bloem, de bloemtemperatuur zeker wel tot onder het dauwpunt zakken vanwege het feit dat de uitstraling een groter effect heeft dan de convectieve warmte overdracht en de toevoer van stralingswarmte van de buis. Voor dit laatste geldt natuurlijk bovendien dat bloemen in de directe omgeving van de buis wel meer warmte opvangen dan bloemen die verder weg staan.

Laten we een concrete situatie analyseren aan de hand van onderstaande situatie.

- kastemperatuur = ca. 17 graden
- de gewastemperatuur = ca. 16,5 graden
- de RV = ca. 90%
- de belichting is uit
- temperatuur boven scherm ca. 8 graden

Van belang is vooral de temperatuur van het schermdoek. Deze wordt meestal niet gemeten, maar we kunnen schatten dat deze ongeveer het gemiddelde is van de kastemperatuur en de temperatuur boven het scherm. Dan komen we uit op ca. 12 graden.

Met deze gegevens kunnen we nu de energie balans voor de bloem benaderen:

Basis temperatuur = ruimtetemperatuur = 17 graden

Netto uitstraling naar het schermdoek:

$$E \text{ bloem-scherm} = 1 \times 5,67 \cdot 10^{-8} \times (273 + 17)^4 = 401 \text{ W/m}^2$$

$$E \text{ scherm-bloem} = 1 \times 5,67 \cdot 10^{-8} \times (273 + 12)^4 = 374 \text{ W/m}^2$$

$$\text{Netto straalt de bloem dan uit: } 401 - 374 = 27 \text{ W/m}^2$$

Eventueel is er nog een bijdrage van een groeibuis, maar zoals we hebben gezien is de invloed slechts gering.

Door de resulterende uitstraling van 27 W/m^2 zal de bloem dus afkoelen tot onder de ruimtetemperatuur. Hierdoor zal er een convectieve warmtestroom op gang komen die uiteindelijk zorgt voor een thermisch evenwicht. Als we aannemen dat de warmteoverdrachts coëfficiënt ca. $20 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ is, dan volgt hieruit een temperatuur verschil van ca. 1,35 graden onder de ruimtetemperatuur. Als de warmteoverdrachtscoëfficiënt lager is, bijvoorbeeld $10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, dan zou het verschil oplopen tot 2,7 graden.

Volgens het Psychrodiagram geldt dat bij 17 graden en 90% RV:

- de dauwpuntstemperatuur = 15,3 graden

Met andere woorden: deze globale berekening toont aan dat de bloemtemperatuur waarschijnlijk zeer dicht op het dauwpunt ligt en dat de belangrijkste oorzaak is: de uitstraling naar het koude schermdoek. Het natte bol effect zal nauwelijks meer bijdragen aan de verlaging van de bloemtemperatuur omdat de drijvende kracht hiervoor vrijwel verdwenen is. Immers de RV die de bloem in de grenslaag met de omringende lucht ervaart is vrijwel 100%.

Dit betekent wel dat als er enige worteldruk is dit gemakkelijk tot guttatie kan leiden omdat er nauwelijks meer sprake is van droging.

Nu is het probleem dat we de bloemtemperatuur en de RV direct daaromheen niet echt kennen. Maar in de bovenstaande situatie mogen twee dingen worden aangenomen:

1. de temperatuur is lager dan van de omringende lucht
2. de RV rondom de blaadjes is hoger dan van de omringende lucht, bij weinig of geen luchtbeweging kan de RV direct in de grenslaag zelfs oplopen tot 100%.

Stel dat de luchttemperatuur 17 graden is, dan kan uit het Psychrodiagram de volgende staat worden opgemaakt voor het dauwpunt bij verschillende RV's rondom het blad:

	RV rondom het bloemblad in %					
	95	96	97	98	99	100
Dauwpunt in graden	16,2	16,4	16,5	16,6	16,8	17

Uit deze tabel blijkt dus hoe subtiel het evenwicht is tussen wel of niet condens bij dit soort kascondities.

Uit bovenstaande volgt ook dat luchtbeweging rond de bloem op zichzelf altijd gunstig is als er veel uitstraling is, omdat de convectie overdracht wordt bevorderd die de uitstraling kan compenseren en dat bovendien de RV rondom de bloem wordt verlaagd door het afvoeren van vocht.

Wat is de invloed van minimum buis op de energiebalans?

Een interessante vraag is nu: wat is de invloed van minimum buis? Immers de praktijk toont aan dat kwekers die “voldoende” minimum buis inzetten minder last hebben van o.a. Botrytis en dergelijke.

De beschouwingen en rekenvoorbeelden laten zien dat het positieve effect waarschijnlijk niet te danken is aan de bijdrage van de straling van buis naar bloem. Deze is immers zeer bescheiden. Ook is de bijdrage niet per se een verlaging van de RV in de kas. Meestal wordt die niet lager en soms zelfs nog hoger.

Hoogst waarschijnlijk is de bijdrage van de minimum buis vooral te danken aan het (indirecte) effect dat de temperatuur van het schermdoek verhoogd wordt en daardoor de uitstraling wordt beperkt.

Dit gebeurt waarschijnlijk in twee stappen:

1. door het inzetten van de minimum buis ontstaat er opstijgende warme lucht waardoor het schermdoek aan de onderzijde wordt opgewarmd tot dicht bij de kastemperatuur
2. indien door de minimumbuis in de kas de RV te hoog oploopt wordt een kier in het schermdoek gezet, waardoor de ruimte boven het doek wordt verwarmd en ook daardoor de temperatuur van het schermdoek verhoogd wordt.

Wat is de invloed van de buitentemperatuur?

Volgens de bovenstaande analyse mag duidelijk zijn dat de invloed van de buitentemp zeer belangrijk is. Deze bepaalt immers mede de temperatuur van het energiescherm, en dus de uitstraling, en daarmee de bloemtemperatuur.

NB: Dit komt overeen met de praktijk ervaring dat aantastingsproblemen altijd meer optreden in perioden van lagere buitentemperatuur.

Wat is de invloed van de kastemperatuur en de kas RV?

Als we ruwweg aannemen dat de bloemtemperatuur ongeveer gelijk is aan de kastemperatuur en dat de temperatuur van het schermdoek tussen de buitentemp en de kastemperatuur in zit, dan volgt hieruit dat het temperatuur verschil tussen bloem en scherm toeneemt naarmate de kastemperatuur hoger wordt.

Dit is echter een veel minder sterk effect dan van de kas RV.

Uit de tabel en grafiek die hierboven besproken is komt naar voren dat een lagere RV zorgt voor een grotere marge tussen kastemperatuur en het dauwpunt. Een verschil van 5% in RV vergroot de marge met bijna 1 graad C. Bij hoge waarden van de RV tussen 90% en 100% is het dus vooral zaak om de uitstraling tot het minimum te beperken.

Wat is de invloed van een tweede scherm?

Het effect van een tweede scherm is vooral dat de invloed van de buitentemp op de uitstraling sterk wordt verminderd. Tenminste als de isolatie tussen beide schermen zodanig goed is (door een spouw van stilstaande lucht) dat de temperatuur van het onderste scherm grotendeels door de kastemperatuur wordt bepaald. Hiermee wordt dan namelijk de uitstraling van de bloem nagenoeg nul en zal er geen condensatie meer kunnen optreden. Hierdoor wordt het dus in principe mogelijk om de RV tot zeer hoge waarden te laten oplopen.

Wat is de invloed van belichting?

Het effect van belichting heeft 2 aspecten:

- de directe straling naar de bloem waardoor de bloemtemperatuur toeneemt
- de opwarming van het scherm doordat de warmte bovenin blijft hangen. Dit maakt ook de temperatuurdaling van de bloem t.g.v. de uitstraling dus minder.

Wat is de invloed van luchtbeweging?

Uit voorgaande beschouwing blijkt dat de invloed van luchtbeweging op de energiebalans van de bloem meerledig en dus complex kan zijn:

- als de bloemtemperatuur onder de ruimtetemp komt door uitstraling, dan zal een hogere luchtbeweging zorgen voor een meer convectieve warmtetoevoer. Dit is dus positief.
- Hierbij maakt het in principe niet uit of de luchttemperatuur wat lager wordt, zolang de lucht voldoende gemengd wordt.
 - o Als er een sterk verticaal temperatuur profiel aanwezig is tussen gewas en scherm, dan dreigt er risico van condensatie op de bloem, omdat die boven het gewas uitsteekt. Luchtbeweging, en vermindering van temperatuur verschillen is dan gunstig.
 - o Als de temperatuur van het (enkele) scherm laag is, vanwege de koude lucht daarboven, dan kan luchtbeweging langs het scherm er voor zorgen dat de schermtemperatuur hoger wordt en dicht bij de ruimte temp komt. Weliswaar gaat dit ten koste van meer energieverlies, maar het vermindert wel de uitstraling van de bloem en werkt dus gunstig.
 - o Als er sprake is van een goede luchtspouw tussen het bovenste en onderste scherm dan kan de temperatuur van het onderste scherm relatief dicht bij de kastemperatuur liggen. Luchtbeweging langs het onderste (doorlatende) scherm die de luchtspouw daarboven verstoort, behoeft dan niet per se een positief effect te hebben, maar kan ook negatief werken.

Wat is de invloed van de cultivar / bloemkleur?

In de praktijk blijkt het optreden van bloemaantasting in meer of mindere mate cultivar afhankelijk. Deels kan dit te maken hebben met de resistentie van de soort, maar ook wordt er wel een verband gelegd met de bloemkleur.

Het idee is dat een donkere bloemkleur meer invloed van in- en uitstraling ondervindt dan een lichtere bloemkleur.

Het is een feit dat er een relatie is tussen kleur en de emissie coëfficiënt in de formule van Stefan Boltzmann. Hierbij moet echter een onderscheid worden gemaakt naar het soort straling. De kleur die wij zien heeft te maken met meer of mindere emissie of reflectie van straling in het zichtbare spectrum. Een donkere kleur duidt op een hogere absorptie van straling met een korte golflengte = hogere energie inhoud. Een lichte kleur duidt op een hogere absorptie van straling met een lange golflengte = lagere energie inhoud. Het gevolg is dat donker gekleurde voorwerpen in de zon meer opwarmen dan lichtgekleurde.

Deze redenering wordt ook vaak gebruikt om te stellen dat donkergekleurde voorwerpen meer uitstraling vertonen, maar dat is op z'n minst twijfelachtig. Uitstraling heeft immers betrekking op het (F) IR gebied, en het is zeer de vraag welke "kleur" een voorwerp heeft in het IR spectrum.

Dit is dus een interessant aspect voor nader onderzoek en nauwkeurige meting van de bloemtemperatuur om het eventueel kleureffect van een cultivar in het IR gebied duidelijk te krijgen.

4.4.9 Te hoge bloemknop temperatuur bij instraling

De bloemknop temperatuur is een belangrijke parameter bij het telen van Roos. In het algemeen wordt een lage knoptemperatuur gerelateerd aan grote, dikke knoppen en dat is een belangrijk kwaliteitsaspect.

Om die reden vinden de meeste kwekers het bijvoorbeeld niet nodig om uitstraling tegen een koud kasdek of een koud schermdoek te voorkomen. In tegendeel, het wordt gezien als een welkome maatregel om de knoptemperatuur te verlagen en zodoende te werken aan een betere kwaliteit.

In het bovenstaande is wel aangevoerd dat dit echter ook risico's kan inhouden, in die situaties dat de bloemknop zou kunnen afkoelen tot onder de dauwpuntstemperatuur.

De andere kant is dat bij instraling van de zon de knoptemperatuur niet te hoog mag worden. En hierbij is de praktijk ervaring inderdaad dat donkere bloemkleuren sneller opwarmen dan lichte kleuren. Dat klopt dus met de theorie.

Maatregelen die genomen worden zijn krijten en schermen. Beide hebben als gevolg dat de instraling wordt afgetopt en dat de bloemknop temperatuur beneden de kritische grens blijft van met name verbranding.

Maar hoe hoog wordt de knoptemperatuur in de praktijk? Hierover is helaas niet veel data beschikbaar. In een oriënterend onderzoek is de bloemknop temperatuur gemeten met speciale thermografische apparatuur. Hierbij is gebleken dat de temperatuur, zelfs onder een schermdoek kan oplopen tot ca. 40 graden bij een kasluchttemperatuur van ca. 25 graden. Dit is behoorlijk hoger dan algemeen gedacht.

Een eenvoudig rekenvoorbeeld geeft hierin wellicht wat verheldering. Stel dat de instraling in de kas ca. 500 W/m^2 bedraagt, en stel dat de opgevangen energie uitsluitend door convectie moet worden afgevoerd. Het is bekend dat de verdamping van een bloem zeer beperkt is. We moeten hierbij nog rekening houden met een bepaalde vormfactor. Bij directe instraling heeft de bloem namelijk een zonzijde en een schaduwzijde. Als we aannemen dat slechts de helft van het knoppoppervlak wordt beschenen door de zon, en het gehele knoppoppervlak bij draagt aan de convectieve afkoeling zou de vormfactor dus 2 zijn. Als we bovendien een convectie coëfficiënt aannemen van ca. $10 - 20 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ volgt er:

E-straling = $500 / 2 = 250 \text{ W/m}^2$, dit moet gelijk zijn aan:

E-convectie = $20 \times (T_{\text{bloem}} - T_{\text{kas}})$ dus $T_{\text{bloem}} - T_{\text{kas}} = 250 / 20 = 12,5$ graden.

Hieruit blijkt dus de "algemene verwachting" wellicht te optimistisch was en dat een gemeten bloem temperatuur tussen 30 en 40 graden heel aannemelijk is.

Ook moet opgemerkt worden dat deze metingen zijn gedaan onder diffuus glas. Hierbij is de verwachting dat diffuus glas zou bijdragen aan een lagere knoptemperatuur. Dit is overigens maar de vraag. Bij diffuse straling is de intensiteit aan de zonzijde iets lager, maar aan de schaduwzijde wellicht aanzienlijk hoger. De hierboven ingevoerde vormfactor van 2 is dan misschien wel lager. Het is dus denkbaar dat de resulterende straling onder diffuus glas niet minder of zelfs hoger is dan onder normaal glas.

Bovenstaande is enerzijds alarmerend, anderzijds biedt het ook kansen voor verbetering. Omdat de ontwikkeling van een bloemknop gerelateerd is aan de gemiddelde temperatuur, zal een begrenzing van de knoptemperatuur overdag al snel een behoorlijk aantal graaduren opleveren en dus een aanzienlijke daling van de gemiddelde temperatuur over het etmaal.

Eén van de mogelijkheden om de knoptemperatuur te verlagen is het forceren van luchtbeweging. In een eveneens oriënterend experiment is gevonden dat de knoptemperatuur sterk verlaagd kan worden door een luchtsnelheid van 1 m/s . Dit komt uiteraard overeen met het verloop van convectieve warmteafvoer als functie van de luchtsnelheid in eerder getoonde grafiek.

4.4.10 Toetsing van hypothesen over de knoptemperatuur

Volgens de bovenstaande analyse van de energiebalans en de resulterende bloemknop temperatuur zijn op dit moment de belangrijkste hypothesen, verdeeld in twee groepen.

Ten aanzien van bloemaantasting door o.a. Botrytis:

- 1) De realisatie van een energiezuinig microklimaat onder een gesloten energiescherm wordt in de donkerperiode ernstig bemoeilijkt doordat de uitstraling van met name de bloemen naar het koude oppervlak van het schermdeuk risico van condensatie oplevert.
- 2) In de gangbare praktijk wordt gewerkt met minimum buis en het voornaamste positieve effect hiervan is dat door het inzetten van een schermkier (noodzakelijk om overtollige warmte en vocht af te voeren) de temperatuur van het scherm hoog blijft waardoor de uitstraling beperkt blijft.
- 3) Om dit probleem op te lossen dient vooral gekeken te worden naar nieuwe vormen van schermen, waarbij de temperatuur van de onderzijde van het scherm onder alle omstandigheden nagenoeg gelijk is aan de kasttemperatuur, zonder dat hiervoor extra gestookt hoeft te worden.

Ten aanzien van kwaliteitsproblemen door hoge bloemknop temperatuur

- 4) De recent gemeten bloemknoptemperaturen (met thermografische apparatuur) zijn veel hoger dan algemeen werd gedacht. Dit blijkt echter wel te kloppen met een berekening van de energiebalans met geschatte parameters.
- 5) Het idee is dat de bloemknop temperatuur onder diffuus glas lager blijft dan onder normaal glas. Dit is echter zeer de vraag; door de kleinere vormfactor zou dat zelfs tegenovergesteld kunnen zijn.
- 6) Luchtbeweging kan een belangrijke rol spelen bij het verlagen van de bloemknop temperatuur bij instraling en vormt dus een nuttig instrument om de bloemknop kwaliteit te verhogen.

Om verder te komen met deze analyse en hypothesen moet het energiemodel en de rekenvoorbeelden worden getoetst aan de realiteit.

Metingen ter plaatse aan de verschillende aspecten van de energiebalans, met name de bloemtemperatuur, de schermtemperatuur en de invloed van de genoemde factoren zoals direct licht / diffuus licht en luchtbeweging hierop dient kwalitatief en kwantitatief in kaart gebracht te worden. Mogelijk dat naar aanleiding hiervan de ontwikkelde inzichten nog moeten worden bijgesteld c.q. nieuwe inzichten ontstaan.

Ook de cultivar afhankelijkheid is een interessant aspect van onderzoek.

5 Meting verdamping bij Marjoland

5.1 Inleiding en doel

In het kader van een WUR project naar ruimtelijke verschillen in klimaat bij Marjoland is de doelstelling om de gewasverdamping van roos op twee plekken in de kas in beeld te brengen. Hiertoe wordt door de WUR een opstelling gemaakt en in de afdeling geplaatst.

De oorspronkelijke werkzaamheden van FytoFocus waren binnen dit project als volgt geformuleerd:

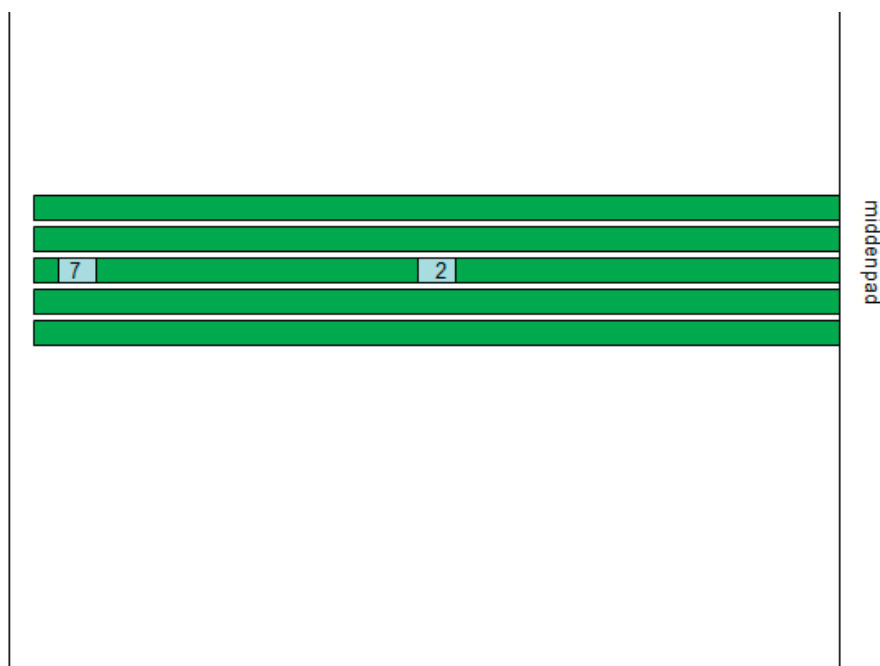
- Overleg over de configuratie en het gebruik van het weegstelsel om de verdamping te kunnen berekenen.
- Testen van weegstelsel en ontwerp filter voor ruwe data om ruis en verstoringen van buitenaf (watergift, drain, gewashandelingen, temperatuurinvloed) in kaart te brengen en te corrigeren.
- Advies voor gebruik en data-analyse weegstelsel gedurende de opstartfase (1 maand na installatie) bij Marjoland.
- Rapportage waarin resultaten en conclusies m.b.t. testfase en ontwerp filter.
- oplevering Excel-bestand waarmee geëxporteerde ruwe data uit Letsgrow bewerkt worden met correctiefilter(s) en waarmee gewasverdamping op 5-minuutbasis en op etmaalbasis berekend worden.

De werkzaamheden zouden in de periode mei tot september 2010 moeten plaats vinden.

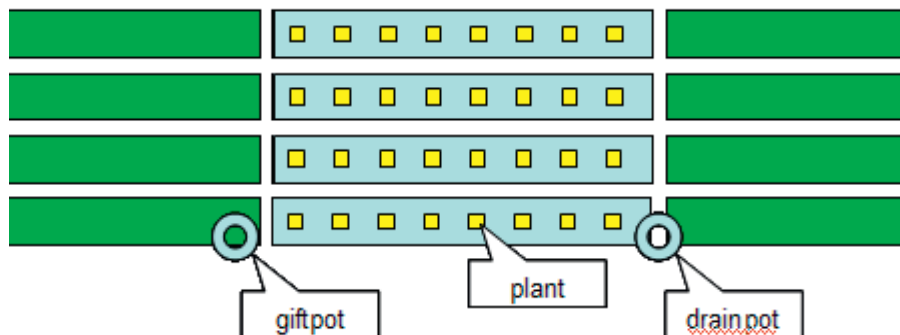
5.2 Uitvoering

Het rozenteeltbedrijf Marjoland (ca. 20 ha) produceert de cultivar 'Passion' op steenwol. Er wordt geteeld op 4 goten per bed met 4 planten per strekkende meter goot. De plantdichtheid is uiteindelijk 8.7 per m² teeltoppervlak. Het klimaat wordt deels geconditioneerd door middel van inblazen van lucht onder de teeltgoten.

Ten behoeve van het project van de WUR Glastuinbouw zijn op 2 plaatsen in de kas - halverwege de teeltgoot ca. 50 m van de gevel respectievelijk ca. 5 m vanaf de gevel (Figuur 5.1.) - de teeltgoten onderbroken/doorgezaagd, en zijn weegunits ingebouwd in december 2010.



Figuur 5.1. Overzicht van locatie van weegunits 2 (halverwege bed) en 7 (ca. 5 m van gevel).



Figuur 5.2. Overzicht van weegunit en locatie van gift- en drainpot.

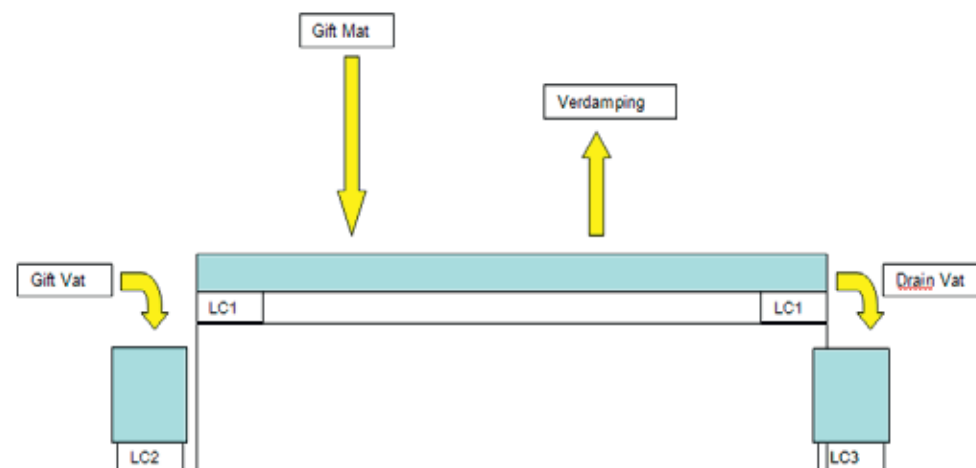
Een weegunit bestond uit een 2 m lang aluminium frame waarop de doorgezaagde goten met steenwol en gewas (totaal $4 \times 8 = 32$ planten) geplaatst waren (Figuur 5.2.). Tussen frame en goten waren vier loadcells (Stekon LC100) geplaatst. Van de loadcells werd per minuut de (gemiddelde) uitgangsspanning gelogd. Er werd zorg voor gedragen dat de druppelleiding zo min mogelijk invloed had op de weging van niet meegewogen werd.

De drain werd na een gift aan het einde van de goten opgevangen en geleid naar een drainvat (Figuur 5.3.). Het drainvat werd automatisch geleegd werd bij een vulling van 5 liter. Het drainvat werd ook per minuut gewogen met een loadcell. Eenzelfde vat als voor de drain werd gebruikt om de gift van 20 druppelaars te meten. Schematisch is de opstelling weergegeven in Figuur 5.4.

De temperatuur van de weegframes werd bepaald met thermokoppels aan beide zijden van het frame.



Figuur 5.3. Weegunit met frame waarop loadcells en goten die uitmonden in drainopvang.



Figuur 5.4. Schematische weegunit met loadcells en waterstromen.

Calibratie

Door middel van het plaatsen en verwijderen van gewichten van resp. 5 kg op de matten en 1 kg op de gift- en drainpotten is een omrekeningsfactor vastgesteld voor de loadcells LC 1, 2 en 3 uit Figuur 5.3. Dit is zowel gebeurd voor weegoot 2 als voor weegoot 7. In Tabel 5.1. staan de omrekeningfactoren zoals deze half januari 2011 bepaald zijn.

Tabel 5.1. Loadcell conversiefactoren zoals gebruikt voor de berekeningen in verwerking_Marjoland.xls

	LC1 Goot	LC ₂ Giftvat	LC3 Drainvat
	kg/mA	kg/mA	kg/mA
Weegunit 2	24.8	2.75	1.89
Weegunit 7	23.3	3.12	1.85

In het Excel bestand verwerking_Marjoland_leeg.xls kunnen de data van de dataloggers zoals deze op weekbasis uitgelezen werden ingelezen worden op de volgende manier:

1	Open bestand verwerkingMarjoland.xls
2	Open bestand logger2w11.xls (of ander weekbestand)
3	Controleer of bestand niet corrupt is
4	Verwijder tekstregels 1-3
5	Selecteer hele kolom A (deze moet vervolgens gescheiden worden in datumkolom en tijd kolom)
6	In Excel: kies Gegevens, tekst naar kolommen, volgende, spatie aanvinken, volgende, voltooiën (kolom moet nu gescheiden zijn)
7	Selecteer kolommen A-J (dus niet laatste 2 kolommen)
8	Kopieer (b.v. Ctrl C)
9	Ga naar verwerkingMarjoland.xls (b.v. met Alt-Tabel en ga in cel A9 staan van relevante tabblad (data_7 of data_2)
10	Plakken van data logger (b.v. met Ctrl V)
11	Herhaal stappen 2-10 voor logger7
12	Open vervolgens tabblad 'figuren' en kijk in grafieken van etmaalsommen en verdamping (2 ^e en 3 ^e vanaf boven); bij grote plotselinge verschillen is er meestal een storing in de dataverzameling geweest; zoek deze op en repareer deze, (b.v. door ontbrekende waarden in te vullen)
13	Ga naar tabblad kruistabel

14	Ga in kruistabel weeggoot 7 staan, rechtermuisknop en kies 'vernieuwen'; herhaal dit voor de andere kruistabel weeggoot 2
15	Kopieer gegevens kruistabel naar tabel rechts in tabblad om gift-drain en drain% te berekenen
16	Sla het bestand op onder het relevante weeknummer b.v. verdamping_Marjoland_w11
17	De gegevens uit de kruistabellen kunnen eventueel gekopieerd worden in het bestand etmaalverdamping_Marjoland om het verdampingverloop over langere tijd te volgen.

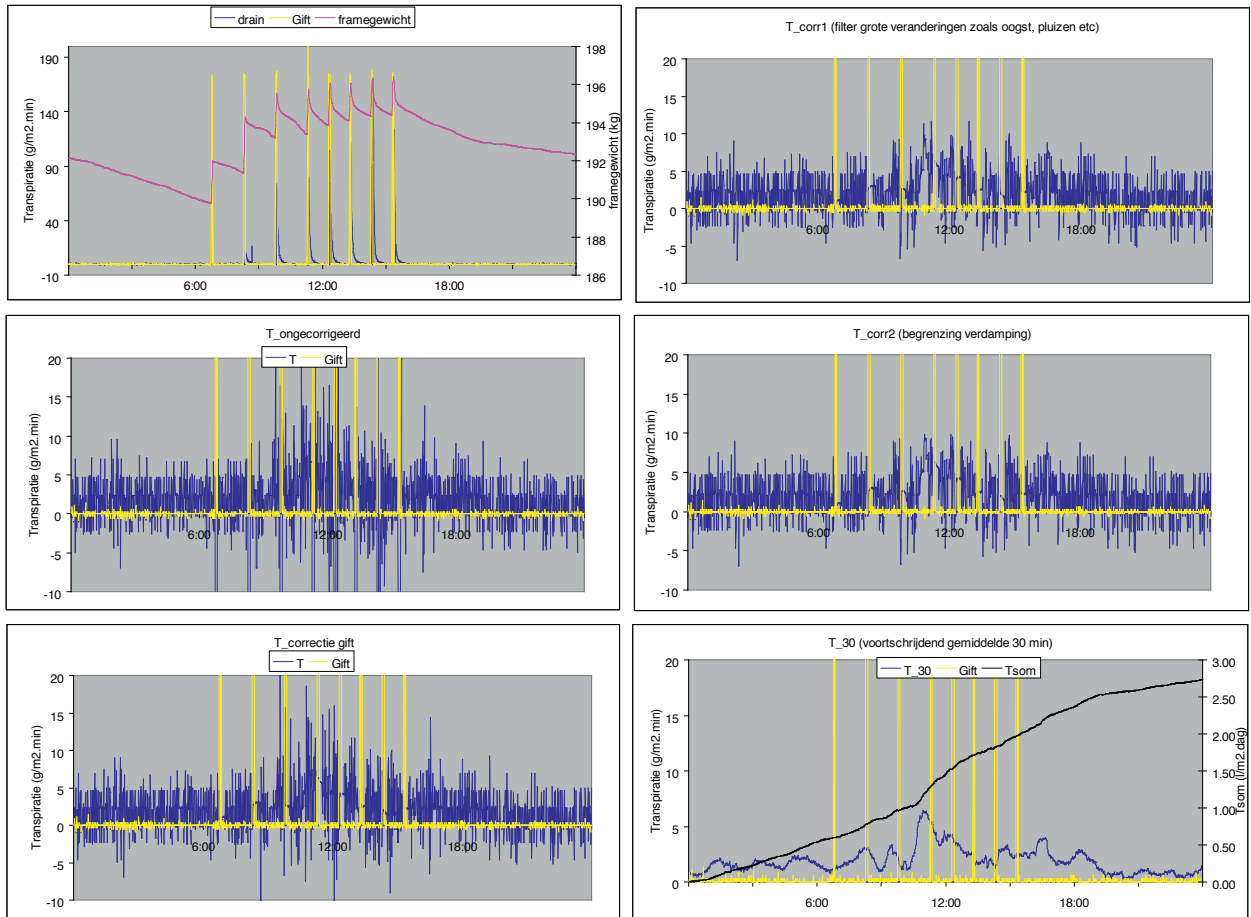
In het Excelbestand worden in eerste instantie de loadcelldata van de loggers geconverteerd van mA naar kg m.b.v. Tabel 5.1. in kolommen K-M (Figuur 5.5.).

Vervolgens worden de gewichtsveranderingen berekend van drainvat (kolom K) en giftvat (L) en weegunit (M). Gift berekend via de weegunit wordt ook berekend. De berekeningen worden zowel per minuut en per m² teeltoppervlak (uitgaande van 8.7 planten/m²; kolom N, O, Q, S) als gesommeerd per etmaal (kolom P, R, T, Y) berekend.

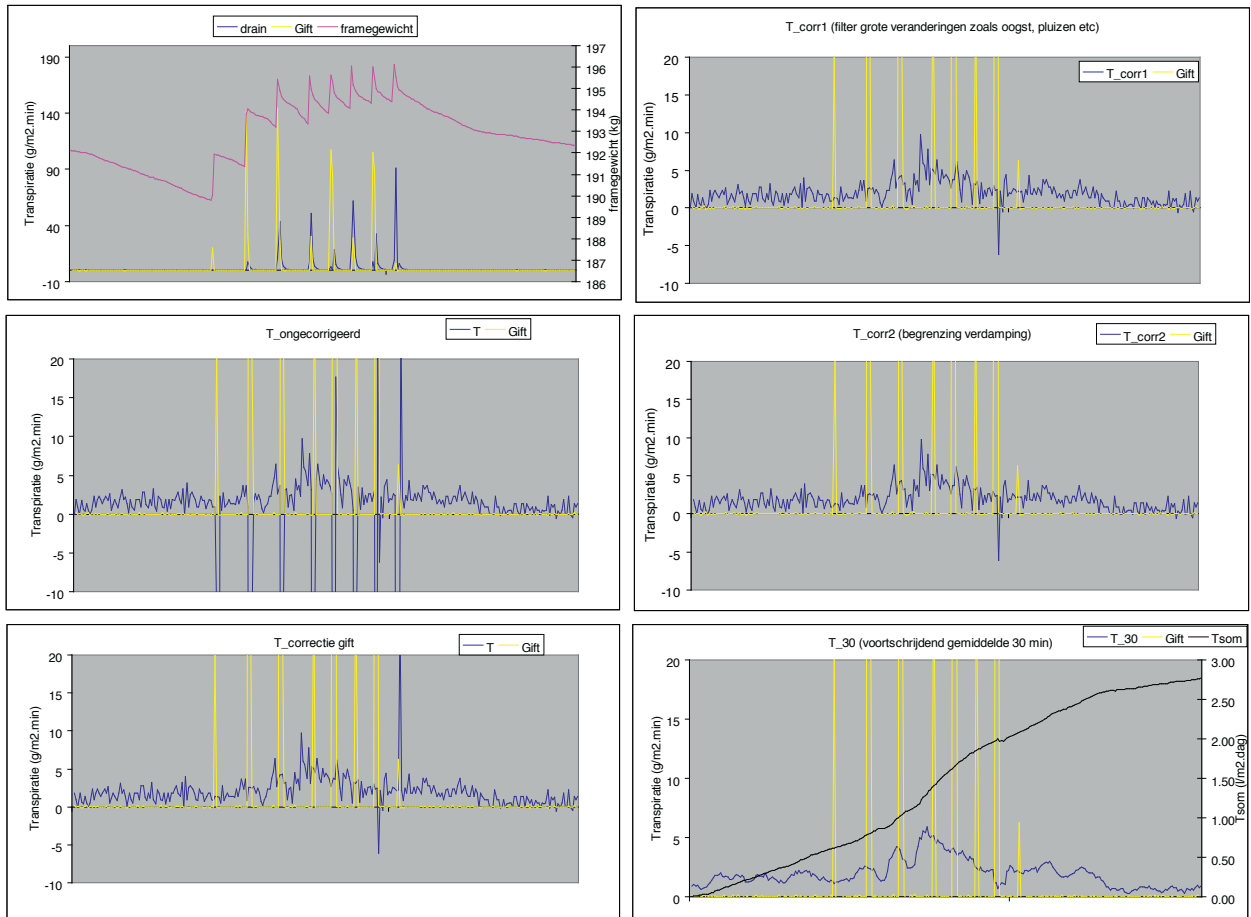
Voor de berekeningen zijn een aantal filters ingebouwd (Figuur 5.4.) om grote negatieve waarden te filteren, voor grote plotselinge veranderingen in verdamping, en voor grote absolute waarden in minuutverdamping. Ten slotte wordt een 30 minuten lopend gemiddelde berekend. Het effect van deze filterbewerkingen is te zien in Figuur 5.6. met name het voortschrijdend gemiddelde vermindert de grote minuutvariatie die grotendeels het gevolg is van ruis. Door een groter interval te nemen dan 1 minuut zou deze toevallige fout gereduceerd kunnen worden. In Figuur 5.7. zijn de data gereduceerd tot 5-minuut waarden. De ruis op de berekende minuutverdamping is dan sterk gereduceerd. Opvallend is echter dat de Drain (Dsom) en Gift (Gsom) beduidend lager waren. Dit is het gevolg van het legen van de drain- en giftpotten wanneer deze gevuld zijn tot een niveau van ca. 5 liter. Het geledigde gewicht in de periode tussen twee logtijdstippen wordt dan niet geregistreerd, waardoor er een veel grotere onderschatting is het geval is bij 1 minuut loggerwaarden.

K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y
calibratiefactor (kg/mA)	calibratiefactor (kg/mA)	calibratiefactor (kg/mA)		Filter 1		Filter 2		Filter 3			Filter 4	Filter 5		
drainpot	giftpot	weegframe									10	10		
2.750	1.895	24.800		-50		1		1			-10	-10		
TK			per m2 teeltopp.											
kg	kg	kg	g/m2 min	g/m2 min	l/m2/dag	g/m2 min	l/m2/dag	g/m2 min	l/m2/dag	g/m2 min	g/m2 min	g/m2 min	g/m2 min	l/m2/dag
Draingewicht (2m2)	Giftgewicht (20 druppelaars)	weegframegewicht 4*2m (2m2)	gewichtsverandering weegframe	Gift via weegframe	Gsom weegframe	Gift via pot	Gsom pot	Drain via pot	Dsom	Transpiratie	Transpiratie_corr_1	Transpiratie_corr_2	T_30min	Tsom

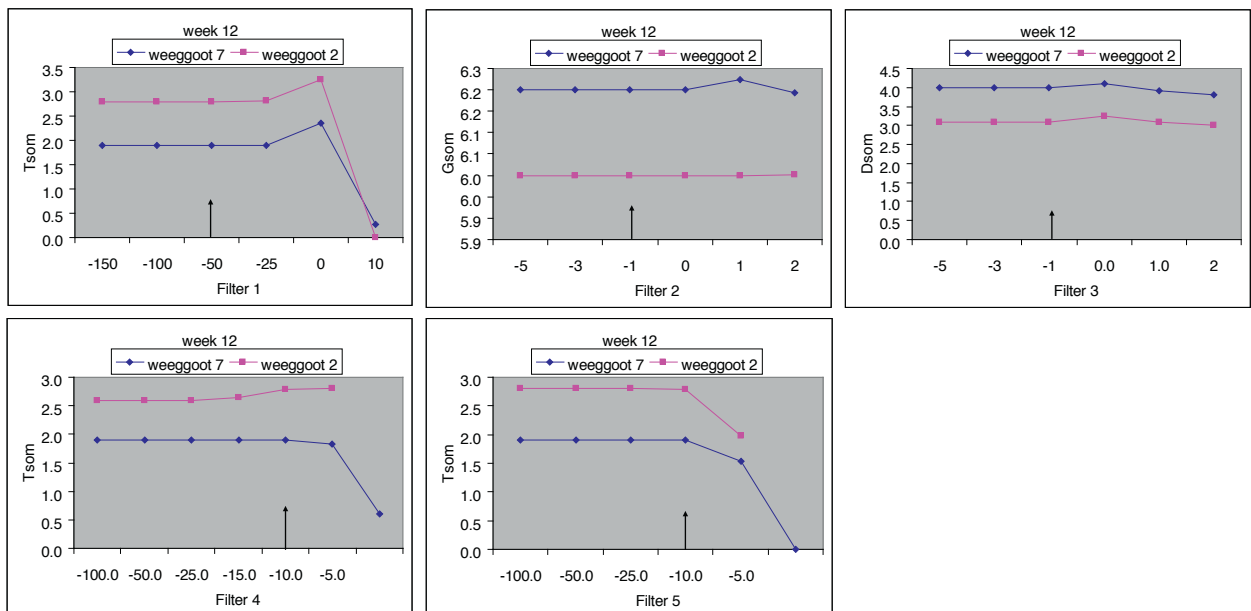
Figuur 5.5. Screenshot van berekende variabelen in verwerking_Marjoland_leeg.xls. In groene cellen de calibratiefactoren (Tabel 5.1.) en filterwaarden.



Figuur 5.6. Voorbeeld van bewerkingen van 1-minuut data etmaal (25-3) van weeggoet 2. Uit framegewicht en gewichten drain en gift (linksboven) wordt minuutverdamping ongecorrigeerd berekend (links midden). Vervolgens wordt gecorrigeerd voor gift om grote negatieve waarden te filteren zoals watergiften (Filter 1, links onder), voor grote plotselinge positieve veranderingen in verdamping zoals oogsten (Filter 4; Figuur rechts boven), en worden maxima en minima waarden voor de minuutverdamping gehanteerd (Filter 5; rechts midden), waarna een lopend gemiddelde berekend wordt (rechts onder). Tenslotte wordt de cumulatieve verdamping berekend (rechts onder). Cumulatieve waarden voor dit etmaal: $T_{som} = 2.7$; $G_{som} = 6$; $D_{som} = 3.1 \text{ l/m}^2 \cdot \text{dag}$.



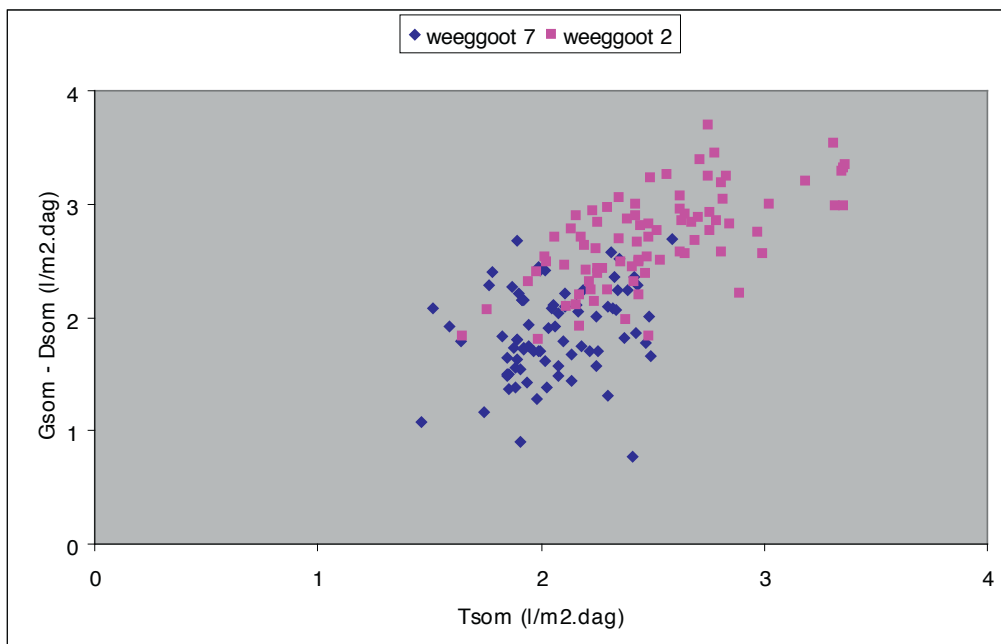
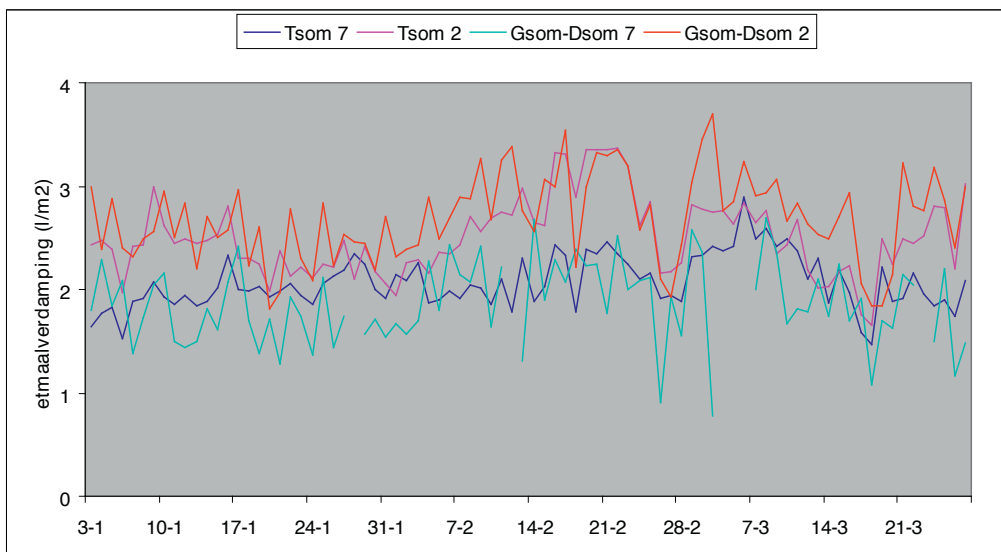
Figuur 5.7. Als Figuur 5.6. maar op basis van 5-minuutdata etmaal 25-3. $T_{som} = 2.8$; $G_{som} = 4.1$; $D_{som} = 2.4 \text{ l/m}^2 \cdot \text{dag}$.



Figuur 5.8. Resultaten gevoeligheidsanalyse filterwaarden op cumulatieve waarden van 25-3. Met pijlen is 'defaultwaarde' in verwerking_Marjoland_leeg weergegeven.

In Figuur 5.8. is de invloed van variatie in de filterwaarde op het uiteindelijke resultaat weergegeven. De uiteindelijke effecten van de filters op de cumulatieve waarden kunnen beperkt zijn, maar kunnen op minuutbasis wel grote effecten hebben (Figuur 5.6. en 5.7).

In de bestaande configuratie is er nog een ruwe controle mogelijkheid of de berekende transpiratiesom T_{som} op basis van minuutwaarden correct is, door deze te vergelijken met het verschil van de onafhankelijke bepaalde G_{som} en D_{som} . Hierbij wordt er dan vanuit gegaan dat het vochtgehalte binnen de mat niet veranderd is. In Figuur 5.9. is de etmaalverdamping gedurende de periode 3-1 tot 27-3 weergegeven op beide manieren. Opvallend is dat de dagelijkse variatie zoals berekend uit Gift-Drain duidelijk groter is. Het verband bij weeggoet 7 is verder duidelijk minder dan bij weeggoet 2. De gemiddelde waarden verschillen echter minder dan 10% (2.5 en 2.7 l/m².dag voor weeggoet 2 en 2.1 en 1.9 l/m².dag voor weeggoet 7). Dit duidt erop dat de gehanteerde methode waarschijnlijk een betrouwbare indicatie geeft van de gerealiseerde verdamping.



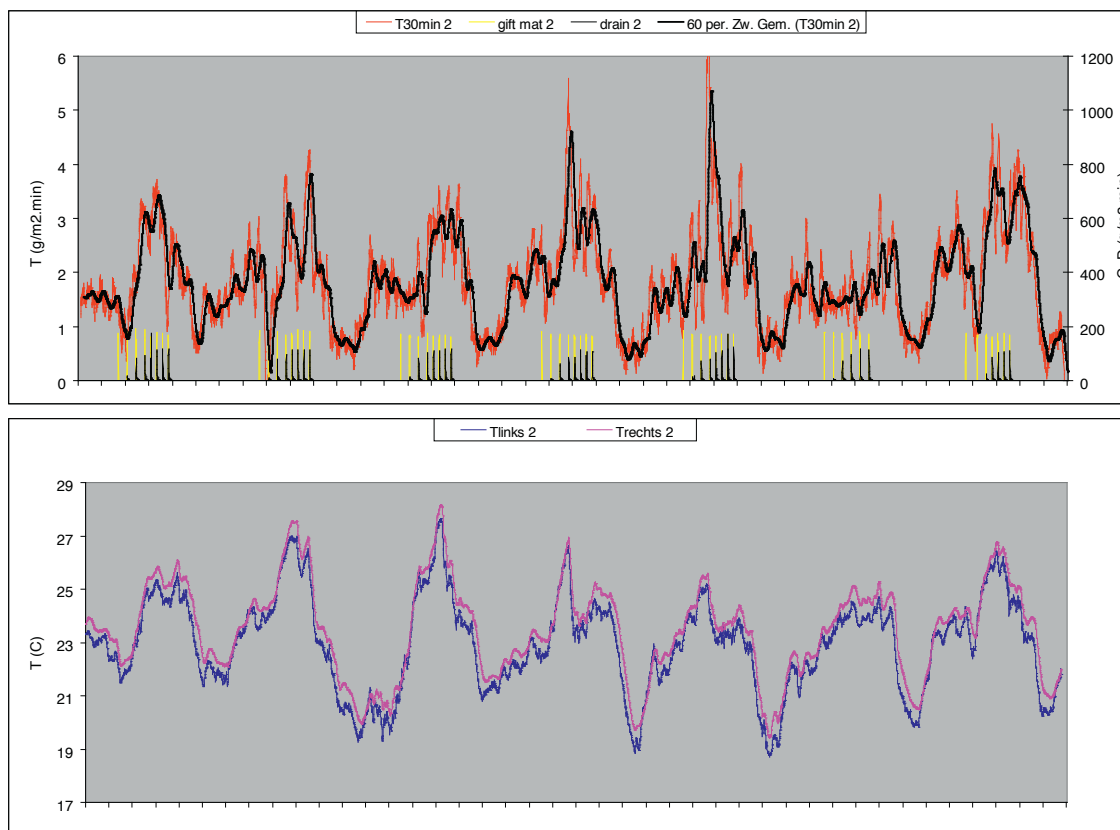
Figuur 5.9. Etmaalverdamping zoals berekend uit weegunit (T_{som}) en zoals berekend uit data gift- en drainpotten (Gift - Drain) in de tijd (boven) en gecorreleerd (onder).

5.3 Evaluatie

De totstandkoming van de weeggoten heeft veel langer geduurd dan oorspronkelijk de bedoeling was o.a. door personele problemen bij de TD van de WUR. De geplande testen van het systeem zonder planten zijn ook niet uitgevoerd waardoor de calibratie van het systeem slechts in een dynamische situatie met verdamping te bepalen was. Dit is uitgevoerd door het plaatsen en verwijderen van gewichten op weegframe en gift- en drainvaten.

Correlaties tussen temperatuur van de weeggoot enerzijds en verdamping anderzijds zoals deze zichtbaar zijn (Figuur 5.10.) kunnen een directe invloed van temperatuur op de weegresultaten niet geheel uitsluiten.

Omdat verder geen data van instraling en VPD beschikbaar waren (en buiten het doel van dit project vielen) zijn geen - te verwachten - relaties tussen verdamping en deze klimaatparameters bepaald. Vooral bij hogere instraling en VPD zal dit verband zich duidelijk moeten manifesteren zoals eerder gevonden is bij roos en andere gewassen. Mogelijk dat de filterwaarde 5 in het voor dit project ontworpen Excelbestand verwerking_Marjoland.xls dan ook verhoogd moet worden (de defaultwaarde is 10 g/m².min) om hoge minuutverdamping toe te laten.



Figuur 5.10. Berekende minuutverdamping en gelijktijdige temperatuur van de weeggoot 2 in week 12.

De loggerwaarden op minuutbasis blijken voor de berekeningen van Drain en Gift noodzakelijk omdat anders in de tussenliggende periode de weggepompte voeding - zoals dit bij het overschrijden van ca. 5 liter automatisch plaats vindt - een onderschatting geeft (Figuur 5.7. in vergelijking met Figuur 5.6.). In week 12 was dit leegpompen 2-4x per etmaal. Dit is bij een interval van 1 minuut uiteraard ook het geval, maar de invloed hiervan zal uiteraard geringer zijn.

Voor de data van het weegframe zou wel een lagere meetfrequentie gebruikt kunnen worden, waardoor de ruis in minuutverdamping verminderd zou worden (Figuur 5.6.). Voor het uiteindelijke voortschrijdend gemiddelde maakt een langere intervaltijd van 5 min echter nauwelijks verschil. Het verschil tussen berekende Tsom enerzijds en Gsom-Dsom anderzijds (Figuur 5.8.) behoeft nog wel verder onderzoek. Dit zou -deels- te maken kunnen hebben met een verschil in vochtgehalte van de steenwol (berging), welke bij de Gsom-Dsom verwaarloosd wordt. Andere oorzaken zouden te maken hebben met de grotere gevoeligheid van de loadcells van de gift- en drainvaten, en mogelijk (met name bij weeggoot 7) met een onnauwkeurige weging. Het verdient daarom aanbeveling regelmatig (1x/maand?) met gewichten de betrouwbaarheid van de weegsystemen te toetsen.

6 Conclusies

6.1 Technische prestatie luchtsysteem

6.1.1 Algemeen

De installatie bij Marjoland is een van de eerste in zijn soort. De uit de utiliteit afkomstige techniek is aangepast aan kasomstandigheden. Rookproeven in het eerste jaar na oplevering zien er goed uit. Maar hoe goed is goed? Na 2 jaar gebruik is uitgebreid gemeten aan de luchtverdeling. Gebleken is nu dat regelmatig onderhoud noodzakelijk is. Ook blijkt uit deze metingen dat buitenlucht ventilatiesystemen voor kassen anders ontworpen moeten worden. Kassen verschillen te veel van gebouwen, zodat aanpassingen aan bestaande (ontwerp-) luchttechniek nodig zijn. Vooral de lengte van de teeltrijen en de relatief geringe ruimte aan de gevels maken het vaak lastig.

6.1.2 Onderhoudstoestand

Een grof (gaaswerk-) filter moet worden overwogen om op langere termijn aantasting aan de warmtewisselaar te vermijden. Een grof filter met een maasgrootte ongeveer 50% van de spleet tussen de afstand aluminium lamellen voldoet. Het schoonmaakinterval is afhankelijk van de omgeving van de LB kast, eens per half jaar lijkt een goede vuistregel.

6.1.3 Proeven

Het inblazen van lucht richting buisrailbuizen maakt dat lucht, mede door invloed van de buisverwarming, bij voorkeur door de paden in plaats van door het gewas omhoog komt.

Voor een goede doordringing en verdeling in het gewas moeten de perforaties lucht richting de onderkant van de teeltgoten blazen. Er is echter nog niet goed onderzocht in hoeverre er gewasreacties optreden. In de relatief korte tijd dat er bij Marjoland recht omhoog in het gewas is ingeblazen, zijn er geen nadelige effecten gezien.

Lucht treedt met hoge snelheid uit de ventilatorruimte. De draairichting van de ventilator en de hoge snelheidsdruk veroorzaken een voorkeursrichting van de uittreedende luchtstroom.

Verder ontstaan er grote verschillen in luchtsnelheid over de beide doorsnedeopeningen in de luchtintredetrommel. Bij luchtinstallaties in gebouwen anders dan kassen, worden er om dezelfde reden plenumboxen voor de inblaasroosters geplaatst. Een goede manier om de luchtverdeling te verbeteren, is door het creëren van een luchtkamer met een zo groot mogelijk volume tussen de ventilatorbox en de aangesloten luchtverdeling (slangen, buizen of kanalen). In die luchtkamer wordt de snelheidsdruk omgezet in statische druk en weer andersom. Vaak is er aan de kasgevel echter (te) weinig ruimte. In dat geval kan ook nog gekozen worden voor een oplossing zoals het gaaswerk dat bij Marjoland is beproefd. In het algemeen geldt dat aansluiten van geperforeerde slangen kort op de ventilatorbox een minder goede verdeling oplevert.

Knikken in luchtverdeelslangen veroorzaken relatief grote verschillen in de luchttoevoer per slang en ook de luchtverdeling over de lengte van slangen wordt door knikken nadelig beïnvloed.

De hoofdverdeling aan de gevel dient daarom bij voorkeur uit stijf, hard en glad materiaal te bestaan. De geperforeerde luchtslangen moeten vrij kunnen bewegen bij het starten en stoppen en moeten echt vrijhangen. De ophanging moet daarop zijn aangepast en onder de teeltrijen voldoende ruimte voor de slangen gehouden worden. Bij installaties zoals het onderzochte systeem bij Marjoland moeten de textiele hoofdverdeelslangen regelmatig nagelopen worden op knikken etc.

Bij de geperforeerde slangen van Marjoland (100 meter) met vaste perforatie afstand zit het verschil in inblaasluchthoeveelheid tussen de 6% en 9%.

De vraag is nu wat acceptabel is in kassen. Door natuurlijke stromen ontstaan er immers veel grotere verschillen in luchtconditie en luchtbeweging bij toevoer van drogere lucht via de luchtramen.

Het aanhouden van twee of meer secties met verschillende perforatie afstanden is aan te bevelen.

Ideaal is een slang waarvan de perforatie afstand vanaf de gevel (niet lineair!) blijft verlopen (kleiner worden) tot de laatste perforatie aan het middenpad.

Bij volledige sluiting van de ramen en scherm ontstaat een overdruk van 15 Pa in de kas. De door kieren ontwijkende kaslucht veroorzaakt buiten fluittonen, drukt deuren naar buiten en veroorzaakt aldus overlast.

Een raamopening van 4% bij 80% ventilatortoerental is al voldoende om genoemde overlast te vermijden. Bij lagere ventilatorsnelheden voldoet een kleinere kier, bij 50% ventilatortoerental is 2% kier al voldoende.

Het verduisteringsscherm alleen heeft qua luchtweerstand weinig effect op buitenluchtventilatie.

In gesloten toestand is 0,75 Pa overdruk bij 80% ventilatortoerental al ruim voldoende om het ingeblazen luchtvolume door het scherm te krijgen.

De geperforeerde slangen wisselen gemakkelijk energie (warmte) uit met de kas.

Van de over- of ondertemperatuur aan het begin van de slang is aan het einde nog ca. 50% over.

Verwarmen of koelen leidt in meer of mindere mate tot horizontale temperatuurverschillen.

Het systeem voldoet na het plaatsen een geluidscherm rond een LB kast op 8 meter van een woning aan de (streng) eisen volgens besluit glastuinbouw.

Toch moet rekening gehouden worden met de psychische kant, het verdient aanbeveling om omwonenden langzaam te laten wennen aan een toename van omgevingsgeluid.

6.2 Zijn de doelstellingen gehaald?

Terugkijkend op de vragen zoals geformuleerd in paragraaf 1.3 kunnen de volgende antwoorden worden gegeven.

6.2.1 Invloed op het klimaat

Nadat in december verticale schotten boven het schermdoek waren geplaatst namen de horizontale temperatuurverschillen zodanig af dat de luchtblaasinstallatie kon worden ingezet voor het doel waarvoor hij eigenlijk bedoeld is: de RV verlagen in het bladpakket. De slurf heeft met name in het bladpakket invloed gehad. Daar is het mogelijk gebleken om met een 8 °C lagere buistemperatuur dan gebruikelijk een goed klimaat te realiseren in de zin van een goede bladtemperatuur, luchttemperatuur en RV. De besturing daarvan was gebaseerd op een meting van de RV op knophoogte. Uit de metingen is gebleken dat de installatie op knophoogte vrijwel altijd in staat was om het VD boven de gewenste waarde van 2,0 g/kg te houden. In het bladpakket was het VD zelfs altijd wat hoger. Er zijn wel wat momenten geweest dat het VD bij de knop en in het blad te laag was, vooral net na het uitschakelen van de belichting als de verdamping nog wat doorgaat en de temperatuur snel daalt. De installatie had theoretisch voldoende capaciteit (100 g/m²/uur) om ook op die momenten het VD voldoende te verhogen, maar om geluidsoverlast voor de burens te voorkomen is het toerental van de ventilatoren nooit hoger gekozen dan 60% van de maximum waarde. Bovendien is ook de stand van de buitenluchtklep beperkt om zeker te zijn dat er niet te koude lucht onder het gewas zou worden geblazen. Beide maatregelen samen hebben het debiet aan buitenlucht daardoor wel beperkt tot ongeveer 6,5m³/m²/uur.

Een verhoogde verdamping is niet waargenomen, maar dat wordt verklaard door de lagere buistemperatuur. De installatie heeft gemiddeld over een etmaal 30 gram/m²/uur vocht afgevoerd, met pieken tot ongeveer 60 gram/m²/uur. Overigens hebben de ramen en de grote schermkier een grotere invloed op de verdamping dan de slurven. De totale verdamping was gemiddeld tussen de 40 en 150 gram/m²/uur. Alleen bij donker en met gesloten scherm is de gewasverdamping gelijk aan de vochtafvoer door de slurven. Het hele jaar was het buiten droger dan binnen en was er maximaal 14 m³/m²/uur nodig geweest om het VD altijd boven de 2 g/kg te houden op knophoogte. De theoretisch maximale capaciteit van de installatie bedraagt 10 m³/m²/uur lucht dus zal niet altijd alleen met de buitenluchtoevoer volstaan kunnen worden, maar op dat beperkt aantal momenten per jaar kan de traditionele vochtregeling op basis van een verhoogde buistemperatuur en meer luchten bijspringen. De theoretisch maximale vochtafvoer capaciteit bij 100% ventilator toerental is ongeveer 100 gram/m²/uur. Dat is voldoende om een deel van het jaar bij belichting met lichtafscherming de meeste verdamping af te voeren. Daarbij moet wel worden aangetekend dat er voor andere cultivars een hogere capaciteit nodig zou zijn omdat deze een grotere verdamping kennen bij belichting dan de 120 g/m²/uur bij 240 μmol/m²/sec die er bij Passion was.

De gewenste inblaastemperatuur is altijd gerealiseerd. Bij rookproeven viel op dat er maar weinig lucht via het bladpakket omhoog komt. De lucht uit de slurven stroomt weliswaar horizontaal, maar de verwachting was toch wel dat de warme buis van 50 graden luchtbeweging door het gewas zou veroorzaken. De grote ruimte onder de goten en de vrij open paden als gevolg van het langsrijden van oogstkarren zorgen voor een geringe luchtweerstand onder de goot en in het looppad. Daardoor stroomde de lucht vooral richting looppad om vervolgens in de lengterichting daarvan richting middenpad te gaan stromen. Daar werd het te warm. De droge lucht had het gewas te weinig doorstroomd. Dat kan verbeterd worden door niet horizontaal, maar verticaal uit te blazen en op één of andere wijze te voorkomen dat de warme lucht onder de goten richting middenpad gaat stromen. Het feit dat er bij de meetbox op knophoogte toch een lage RV werd gemeten is dus het gevolg van een indirecte stroming bovenlangs het gewas.

6.2.2 Invloed op de ruimtelijke verdeling

Er waren bij aanvang van de proef op gewashoogte grote ruimtelijke verschillen in temperatuur en RV. Langs de hele gevelzone was het 6 °C tot 8 °C kouder. In vergelijking met een andere afdeling zonder slurven waren die verschillen niet kleiner ondanks het feit dat geprobeerd werd om door iets warmer in te blazen die koude te compenseren. Nadat de oorzaak van die koude was opgespoord en deels was weggenomen door het plaatsen van verticale schotten boven het scherm werd de temperatuur verdeling veel gelijkmatiger. De verschillen werden teruggebracht naar 2 °C waardoor ook de verschillen in vochtdeficit veel kleiner werden. Dat had een grote verbetering van de productkwaliteit langs de gevel tot gevolg. Wel werd opgemerkt dat onder de schotten een lagere temperatuur heerste wat leidde tot meer meeldauw onder die schotten. Alleen door het volledig sluiten van het scherm konden de horizontale temperatuurverschillen worden opgelost, maar dat leidde tot een onacceptabel oplopen van het zowel de temperatuur als het vocht. De vochtafvoer capaciteit van de slurven is bij een ventilatorstand van 60% te klein om het vochtprobleem op te lossen. En het inblazen van koude lucht via de slurven is geen goede optie omdat de lucht in de slurf zal opwarmen en leiden tot horizontale temperatuurverschillen. Bovendien wordt het gevaar op condens bij de uitblaaspunten veel te groot, waarop gereageerd zal worden met een hogere buistemperatuur onder het gewas waardoor een vicieuze cirkel ontstaat.

Omdat de luchtblaasinstallatie weinig zichtbare invloed had op de omstandigheden bij de knop is het regelen daarvan op basis van een meetbox op knophoogte ter discussie gesteld. Maar een hoger vochtdeficit op knophoogte heeft wel degelijk ook een hoger vochtdeficit in het bladpakket tot gevolg en daarmee is deze methode toch goed bruikbaar, zolang de uitgeblazen lucht maar wel dezelfde temperatuur heeft als bij de knoppen.

6.2.3 Invloed op het energieverbruik

Het opwarmen van de toegevoerde buitenlucht aan de gevel kostte 70 kWh/m² over een heel jaar. Daar staat een 8 graden lagere minimum buis tegenover waarmee over dit jaar 395 kWh/m² werd toegevoerd, waar anders 465 kWh/m² werd verbruikt. In die zin is de energiebesparing nu nihil, zeker als daar het stoomverbruik van de ventilatoren bij wordt meegenomen. Pas als de schermen daadwerkelijk gesloten zouden zijn is sprake van een netto besparing omdat dan de uitstraling en de kouval sterk gereduceerd worden. Wat dat waard is in combinatie met een WKK is natuurlijk de vraag, maar bij een beperktere capaciteit van de WKK kan de besparing op warmteenergie wel tot 30% oplopen. Het stroomverbruik voor de ventilatoren lag voor een heel jaar op 3,7 kWh/m² kas. Dat is relatief laag. Dat is vooral te danken aan de lage toerentallen waarmee gewerkt is. Het aantal draaiuren was namelijk erg hoog omdat er continu is geblazen. Het is de vraag of dat noodzakelijk is. Als afgezien wordt van kaslucht circulatie kan het verbruik nog sterk omlaag. Anderzijds zijn er momenten geweest waarop de installatie wat harder had moeten draaien en bij hogere toerentallen neemt het stroomverbruik van de ventilator sterk toe.

Een indirecte energiebesparing zit in het feit dat zowel de luchtbehandelingsinstallatie als de verwarmingsbuizen met een lage watertemperatuur van maximaal 40 °C gevoed kunnen worden waardoor een rookgascondensor beter inzetbaar is.

6.2.4 Aanzuigen van insecten en schadelijke gassen

Deze punten zijn niet nader onderzocht. Het ontbreken van insectengaas in de aanzuigopening is zeker een risicofactor waaraan meer aandacht moet worden gegeven. Het onderzoeken van de risico's op extra aanzuigen van potentieel schadelijke gassen zoals ethyleen bleek te complex en te kostbaar in het kader van dit onderzoek, maar is wel onderwerp van studie in een breder verband.

6.2.5 Gewasreacties

De kwaliteit en de productie was volgens de ondernemer heel goed te noemen en vooral na het aanbrengen van de schotten boven het scherm in de gevelzone sterk verbeterd. Dat valt niet direct toe te wijzen aan de luchtbehandelingsinstallatie, maar is het gecombineerde effect van wegnemen van kouval door de schotten, het iets meer sluiten van de schermen, een 8 °C lagere buistemperatuur en het blazen van droge lucht door het bladpakket. Door minder meeldauw en botrytis waren minder chemische bestrijdingen nodig dan voor het aanbrengen van de schotten.

6.3 Discussie en aanbevelingen

6.3.1 Overdruk

Wanneer er buitenlucht in de kas wordt gebracht via de slurven ontstaat er een overdruk in de kas. Het doek bleek te poreus om lucht tegen te houden, dus bepalen de positie en de grootte van gaten in de kasomhulling welke tegendruk er ontstaat, dus hoeveel lucht er effectief kan worden binnengebracht en welke weg de ingebrachte lucht zal gaan volgen. Als de ramen dicht stonden was het vooral de deur naar de werkruimte die de lucht afvoerde. Op dat moment was er een luchtstroom richting middenpad. De lucht die uit de slurven kwam werd opgewarmd door de minimum buis en stroomde via de vrij open paden tussen de bedden richting middenpad. De warmte hoopte zich dan bij het middenpad op. Bij geopende ramen kon de lucht makkelijker weg, dus nam ook het debiet toe. Maar nog steeds stroomde de lucht vooral via de open paden tussen de bedden. Te overwegen valt of het niet beter is om de gaten in de slurven omhoog te richten en aanvullend zelfs de randen van de bedden af te zetten met een strook folie om de droge lucht meer door het gewas te dwingen. Daarnaast zal ook de stroming boven het gewas sterke invloed uitoefenen op de weg die de droge lucht zal gaan volgen. Naarmate het scherm meer gesloten is en meer isoleert zullen die stromingen kleiner zijn en kan de luchtstroming tussen het gewas steeds meer zelf gestuurd worden.

6.3.2 Horizontale temperatuurverschillen verder verkleinen

Na het aanbrengen van verticale schotten waren de temperatuurverschillen met een zelfde factor verminderd als het aantal schotten: bij 3 schotten werd het temperatuurverschil van 6 graden opgedeeld in 3 koude luchtstromen van 2 graden. Dat laatste is nog te veel, het veroorzaakt bijvoorbeeld meeldauw. Het meest effectieve middel om de verschillen verder te verkleinen is het volledig gesloten houden van het scherm. Dat vergt echter aanpassingen in de kas om overtollig vocht en warmte af te gaan voeren zoals verderop besproken zal worden. Een tussenweg is door Marjoland zelf ontdekt: als je ervoor zorgt dat het schotje niet precies boven de schermkier zit en je twee schermen hebt, kun je ervoor zorgen dat de koude lucht eerst via een luchtsluis tussen de twee schermen stroomt en daar alvast wat wordt opgewarmd.

6.3.3 Minimum buis volledig uitbannen

De minimum buis wordt nu gebruikt om ervoor te zorgen dat het onderste bladpakket niet de koudste plek in de kas wordt bij belichting. Zodoende wordt condensatie vermeden. Condensatie kan ook worden vermeden door de RV te verlagen. Dan kan het gewas kouder worden zonder kans op condensatie. Met behulp van de luchtblaas installatie werd drogere buitenlucht onderin het gewas gebracht. Theoretisch had daarmee de minimum buis een heel stuk minder warm gestookt kunnen worden, tenzij een hogere bladtemperatuur onderin gewenst zou zijn. Maar omdat in die bladzone minder fotosynthese zal plaatsvinden dan bovenin en er dus ook minder assimilaten omgezet hoeven te worden is het niet aannemelijk dat het blad daar niet wat kouder mag zijn. De grote hoeveelheid "verouderd" blad onderin het bladpakket wijst daar ook op. Is daarentegen gewenst dat de temperatuur onderin ook hoog moet zijn, dan is er in principe binnen de kas meer dan voldoende warmte aanwezig bij gebruik van belichting omdat deze zo'n 100 W/m² aan warmte binnenbrengt terwijl dankzij de lichtafscherming er maar ongeveer 50 W/m² warmteverlies naar buiten zou zijn. De vraag is dan hoe we de lampwarmte onderin het gewas brengen. Het antwoord daarop is: luchtbeweging. Als we aannemen dat de kier in het schermdoek blijft zoals hij was, en hiermee 50 W/m² aan koude lucht onderin het gewas zakt, moet deze luchtbeweging erg groot zijn. Stel dat de lucht bovenin de kas 2 graden warmer is dan de lucht onderin (gemeten). Om 50 W/m² warmte te vervoeren bij een temperatuurverschil van 2 graden moet dan per uur $(50 \cdot 3600) / (1 \cdot 1,18 \cdot 2 \cdot 1000) = 76 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{uur}$ lucht worden verplaatst. Dat kan niet met slurven of met verticale ventilatoren. Maar als het schermdoek volledig gesloten wordt nemen de verliezen door het schermdoek sterk af en zal het onder het doek warmer worden terwijl tegelijkertijd de afkoeling onderin het gewas beduidend afneemt omdat er geen koude lucht meer naar beneden zakt en het blad ook geen koude "hemel" meer boven zich heeft. Daarmee zakt het benodigde debiet aan lucht om de lampwarmte ook onderin het gewas te krijgen aanzienlijk. Stel dat 50% van de lampwarmte uit directe straling bestaat, dan moet voor een betere warmteverdeling de helft ofwel 25 W/m² naar beneden gestuwd worden. Bij een temperatuurverschil van 4 graden net onder het scherm moet dan $(25 \cdot 3600) / (1 \cdot 1,18 \cdot 4 \cdot 1000) = 19 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{uur}$ worden gecirculeerd. Dat kan heel goed met een verticale ventilator omdat deze dan de warmte heel lokaal verticaal verdeelt. Zoals we op dit bedrijf met hoge goten al gezien hebben veroorzaakt de warme buis geen luchtstroming door het bladpakket, dus daarvoor is hij niet nodig. Vochtafvoer uit het bladpakket is wel nodig, maar omdat de buiswarmte is verdwenen neemt de verdamping af. Die afname is evenredig met het stralingsdeel van de buizen dat nu ongeveer 25 W/m² bedraagt. Dus als de lampen plus buizen 125 W/m² stralingswarmte kenden zal dat nu 100 W/m² ofwel 20% lager zijn. En omdat de temperatuurverschillen onder het dichte scherm met verticale luchtbeweging erg klein zullen zijn, mag een hogere RV getolereerd worden zonder dat de kans op condensatie toeneemt. Vanaf dat moment zal de vraag beantwoord moeten worden hoe groot de verdamping van het gewas minimaal moet zijn om een optimale kwaliteit te krijgen. Zolang we dat niet weten valt er ook nog een andere optie te overwegen, namelijk het zeer gedoseerd toelaten van koude lucht van boven het scherm. Daarmee worden twee doelen tegelijk bereikt: extra vocht afvoeren en de temperatuur onder het doek verlagen. Een dergelijk systeem wordt beproefd bij Phalaenopsis. Daar wordt met slurven boven het doek buitenlucht via "brievenbussen" in het scherm net boven een verticale ventilator naar binnen geblazen en door de ventilator gemengd met warme kaslucht en door de ruimte verdeeld. Zonder ventilator werkt dit systeem niet omdat de koude lucht anders net als bij een gewone schermkier naar beneden valt tussen het gewas.

6.3.4 Minimum buis uitbannen met alleen een luchtblaasinstallatie

Wat hierboven beschreven is zou mogelijk ook kunnen met alleen een slurvensysteem. Door verhoging van de circulatiecapaciteit en het zorgvuldig richten van de luchtstroom door het bladpakket heen zou stilstaande lucht vermeden kunnen worden en zo voor voldoende egalisering van temperatuur kunnen zorgen, terwijl gelijktijdig vocht wordt afgevoerd. Van belang lijkt om dan ook de uitstraling naar een koude kasbodem te voorkomen door deze te isoleren. In de teelt van aardbei is al positieve ervaring opgedaan met 4cm dikke "roofmate" bodemplaten. Normaal voorkomt de overdag opgewarmde bodem de gewenste afkoeling van de kas in de nacht, met bodemisolatie was dat probleem volledig verdwenen en kon zonder aanvullende koeling de kas op 10 graden worden gehouden. Bij roos zou het omgekeerde effect kunnen optreden, een geïsoleerde bodem zorgt ervoor dat de lampwarmte ook snel onderin komt.

6.3.5 Regeling van de installatie

Er werd door de tuinder relatief veel veranderd aan de instellingen van toerental ventilator, hoeveelheid buitenlucht en inblaastemperatuur. Daarbij speelden een angst voor te lage uitblaastemperatuur bij de planten, het niet goed kunnen inschatten van de benodigde ontvochtigingscapaciteit en geluidsoverlast allemaal een rol. Rozentuinders zijn gewend om te sturen op de klimaattoestand bij de knop. Zeker gezien de onzekere luchtstroming door het gewas en erboven heeft de luchtblaasinstallatie geen voorspelbaar effect op de meting bij de knop zodat sturen op basis van die meting ook moeilijk is. Daarnaast probeerde men ook nog door de inblaastemperatuur te verhogen een koude zone langs de gevel te vermijden, echter met weinig succes. Het lijkt beter om de luchtblaasinstallatie puur te gebruiken om droge lucht tussen het gewas te brengen. In essentie komt het dan qua regeling neer op het meten van de vochtproductie en vervolgens zoveel buitenlucht toevoeren als bij de heersende buitenomstandigheden nodig is om die productie af te voeren. In een zeer goed afgesloten ruimte, zoals een kas met een volkomen gesloten en dampdicht dubbel scherm zou dat een zeer beheersbare regeling opleveren. Als binnen die ruimte de lucht goed gemengd blijft met ventilatoren zou één meting in de ruimte voldoende inzicht geven in de vochtbalans. Naarmate er meer vocht wordt afgevoerd via condensatie of afluchten wordt de invloed van de luchtblaasinstallatie geringer en is het nog meer zaak om de droge luchtstroom uit de slurven heel gericht door de bladlaag heen te sturen. Dan is het ook zaak om zo goed mogelijk binnen het bladpakket te meten voor de aansturing van de slurven. Omdat de droge lucht op zijn weg omhoog vocht opneemt zal deze de RV meting op knophoogte verhogen en zal het lijken alsof er tussen het bladpakket niets is veranderd. Als er een weeggoot aanwezig is kan echter gemeten worden dat er wel degelijk invloed is op de verdamping. Alleen niet zo direct als wellicht gehoopt was. Het verhogen van de luchttoevoer heeft niet direct eenzelfde extra verdamping tot gevolg, maar wel als je op een wat langere tijdschaal kijkt. Dat pleit voor een integrerende regeling, niet de momentane verdamping maar de verdamping over een bepaalde periode is dan maatgevend voor de aansturing. Dat maakt de regeling van de luchttoevoer op zich weer eenvoudiger omdat een installatie dan langere tijd op een vast toerental kan draaien totdat de gewenste som aan vochtafvoer is gerealiseerd. De besturing van de schermkier of de ramen kan apart daarvan dan nog steeds worden uitgevoerd op basis van de meetbox bij de knop. De invloed daarvan is dan terug te vinden op de meting tussen het bladpakket. Verder blijken de moeilijke momenten qua vocht toch vooral te liggen rondom plotselinge veranderingen in energietoevoer zoals bijvoorbeeld het uitschakelen van de lampen waarna de verdamping nog enige tijd doorgaat terwijl de temperaturen juist heel snel zakken. Als pas op dat moment de installatie zou gaan ontvochtigen komt het effect veel te laat. Er wordt immers maar 1-2 keer per uur de kasinhoud verversd via de luchtslurven. Dat pleit ervoor om voorafgaand aan het uitschakelen van het licht de vochtinhoud van de kas te verlagen om zo meer bufferruimte voor vocht te krijgen.

7 Referenties

Stanghellini, C., 1987.

Transpiration of greenhouse crops: an aid to climate management. PhD-thesis Wageningen University. 150 pp.

Bontsema, J., Hemming, J., Stanghellini, C., Visser, P. de, Henten, E.J. van, Budding, J., Rieswijk, T. & Nieboer, SD., 2007.

On-line monitoring van transpiratie en fotosyntheseactiviteit. Wageningen UR Glastuinbouw nota 451.

Bijlage I Stefan - Boltzmann law

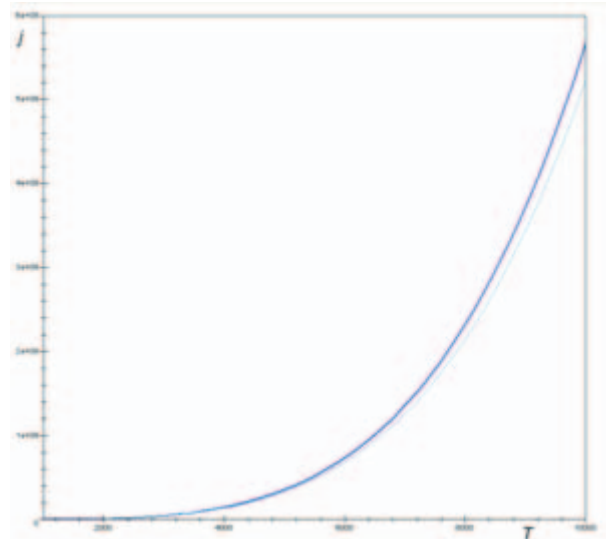
Bron: Wikipedia, the free encyclopedia

The **Stefan-Boltzmann law**, also known as **Stefan's law**, states that the total energy radiated per unit surface area of a black body in unit time (known variously as the black-body irradiance, **energy flux density**, **radiant flux**, or the **emissive power**), j^* , is directly proportional to the fourth power of the black body's thermodynamic temperature T (also called **absolute temperature**):

$$j^* = \sigma T^4.$$

A more general case is of a grey body, the one that doesn't absorb or emit the full amount of radiative flux. Instead, it radiates a portion of it, characterized by its emissivity, ϵ :

$$j^* = \epsilon \sigma T^4.$$



Graph of a function of total emitted energy of a black body j^* proportional to its thermodynamic temperature T . In turquoise colour is a total energy according to the Wien approximation,

$$j_W^* = j^* / \zeta(4) \approx 0.924 \sigma T^4$$

☞ The irradiance j^* has dimensions of energy flux (energy per time per area), and the SI units of measure are joules per second per square meter, or equivalently, watts per square meter. The SI unit for absolute temperature T is the kelvin. ϵ is the emissivity of the grey body; if it is a perfect blackbody, $\epsilon = 1$. Still in more general (and realistic) case, the emissivity depends on the wavelength, $\epsilon = \epsilon(\lambda)$.

To find the total absolute power of energy radiated for an object we have to take into account the surface area, A (in m^2):

$$P = A j^* = A \epsilon \sigma T^4.$$

The constant of proportionality σ , called the Stefan-Boltzmann constant or **Stefan's constant**, is non-fundamental in the sense that it derives from other known constants of nature. The value of the constant is

$$\sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3} = 5.670400 \times 10^{-8} \text{ J s}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ K}^{-4}$$

where k is the Boltzmann constant, h is Planck's constant, and c is the speed of light in a vacuum. Thus at 100 K the energy flux density is 5.67 W/m², at 1000 K 56,700 W/m², etc.

The law was deduced by Jožef Stefan (1835-1893) in 1879 on the basis of experimental measurements made by John Tyndall and was derived from theoretical considerations, using thermodynamics, by Ludwig Boltzmann (1844-1906) in 1884. Boltzmann treated a certain ideal heat engine with the light as a working matter instead of the gas. The law is valid only for ideal black objects, the perfect radiators, called black bodies. Stefan published this law in the article Über die Beziehung zwischen der Wärmestrahlung und der Temperatur (On the relationship between thermal radiation and temperature) in the Bulletins from the sessions of the Vienna Academy of Sciences.

Fors kleiner temperatuurverschil door schotten boven het scherm

Effect buitenluchttoevoer gaat teniet bij grote temperatuurverschillen

LUCHTBEHANDELING
ENERGIEBESPARING



Bedrijfsleider Arend Rook (links) en teker Jaap van den Broekland: "Ondanks de luchtstruven was in de winter de temperatuur bij de gevels tot wel zeven graden lager. Gelukkig is dat probleem nu opgelost."

In een belichte kas met het scherm dicht kunnen de temperatuurverschillen enorm oplopen. Wageningen UR Glastuinbouw deed metingen in de modernste kas met luchtstruven van Marjoland in Waddinxveen en vond in eerste instantie weinig effect van het blazen van droge lucht op het microklimaat. Daarvoor is een gelijk klimaat onantbeerlijk. Hoe los je zo'n probleem op?

TEKST: PIETRAAL BOUWMAN VAN VELDEN

BEELD: HENK BOUWMAN

De jongste afdeling van rozenbedrijf Marjoland in Waddinxveen heeft luchtbehandelingskasten en luchtstruven van installateur Lek/Habo. Het belangrijkste motief voor die investering is verbetering

van het klimaat door luchtbeweging en lucht drogen in deze afdeling. Bijkomend voordeel is eventuele energiebesparing door minder lichten en het inzetten van de warmte uit een extra rookgaskoeler

op de WKK. De kunst van het klimaat regelen met buitenluchtaanruiging verschilt enorm van sturen met uitsluitend buisverwarming. Zo moest bedrijfsleider Arend Rook ontzettend wennen aan het

→
Verenig en
pagina 6

Effect buitenluchttoevoer gaat teniet bij grote



systeem zelf. Bijvoorbeeld wanneer hij de lamellenkleppen in moet zetten en bij welke ventilatorstand. "Inmiddels ben ik daar wel uit", vertelt hij. "De ventilatoren zet ik op één stand en ik regel bij met de lamellen. Ik streef zoveel mogelijk naar een rustige regeling." Ook het circuleren van binnenlucht in combinatie met luchten was aanvankelijk een kwestie van uitproberen en leren.

Zeven graden temperatuurverschil

Al vrij snel constateerde de bedrijfsleider dat onder bepaalde omstandigheden in de winter, als de assimilatiebelichting volop in werking is, temperatuurverschillen konden optlopen tot 7°C. Het werd ook zichtbaar aan de gevels, waar het gewas lager bleef en de bloemknoppen niet goed open kwamen. Op zich is dat geen nieuw fenomeen, want dat gebeurt ook in de afdelingen met traditionele verwarming, maar de verwachting was dat het minder zou zijn in een kas met luchtslurven. Toen Peter van Weel van Wageningen UR Glastuinbouw vroeg of hij metingen kon doen in de kas met buitenluchtaanzui-

ging greep de familie Van den Nouweland die kans met beide handen aan. Van Weel plaatste meetpalen aan het begin, in het midden en aan einde van de kappen en deed gedurende enkele maanden temperatuurmetingen van ruimte en blad. Ook deed hij rookproeven om luchtverplaatsing zichtbaar te maken. Die verplaatsing was enorm, zo bleek uit de beelden.

Stroming lucht

Op het moment dat de lampen volop branden en het scherm 's nachts dicht ligt vanwege beperking van lichtuittoot, ontstaat onder het scherm een warme laag. Om ervoor te zorgen dat de onderkant van het gewas niet veel kouder wordt dan de bovenkant, wordt tijdens het belichten ook een warme buis van 40 tot 50°C onder het gewas aangehouden. Die twee maatregelen geven zo veel warmte af (100 W/m² lampwarmte en 50 W/m² buiswarmte) dat het scherm niet geheel gesloten kan liggen. Op dat moment komt er een warme luchtstroom op gang die boven het scherm terecht komt. Daar koelt de lucht af. Doordat

koude lucht zwaarder is dan warme lucht stroomt deze naar het laagste punt in de lengterichting van de kappen. Bij de gevel rakt de sterk afgekoelde lucht weer door de kieren van het scherm naar beneden tussen het gewas.

Alternatief bedenken

Naar verwachting zou een kas met luchtslurven die kouval gunstig moeten beïnvloeden, maar dat blijkt niet het geval te zijn, Van Weel: "Het totale volume warme lucht in de slurven is maar een kwart van de koude lucht die daar naar beneden komt. We hebben dus voor deze afdeling een alternatief moeten bedenken."

Op zijn aanraden zijn er op gelijke afstand van elkaar twee plastic schotten in de kap, boven het scherm geplaatst. Die barrières zorgen er voor dat de lucht niet van voren naar achteren kan trekken als het scherm gesloten is. "Dat blijkt ook in de metingen die ik daarna heb gedaan", legt Van Weel uit. "Door de verdeling zijn er nu drie stromingen op gang gekomen. Het temperatuurverschil is daarmee terug gegaan naar twee graden.

Nu de temperatuurverschillen zijn teruggebracht wordt het ook mogelijk om wat energie te besparen. Je moet tenslotte voldoende stoken om ook het gewas aan de koude gevel te laten groeien. "Pas als de warmteverdeling goed is, kan de buistemperatuur naar beneden", meent Krook. "Daar verwacht ik een stukje energiebesparing te pakken."

Verticale verdeling

De volgende opgave is om de warmte meer verticaal door het gewas te laten stromen. Marjoland heeft in de jongste afdelingen de teeltgoot hoog liggen, aangepast aan het oogststelsel. Het bladpakket komt daardoor ver van het ondernet te liggen, waardoor de invloed daarvan afneemt en een dood klimaat ontstaat. Daarnaast is geconstateerd dat de warme lucht onder de goten meer in die ruimte beweegt en minder door het gewas gaat stromen. Dat leidt er bijvoorbeeld ook toe dat de kant van het betonpad warmer is geworden, omdat de warme lucht daar onder de goten vandaan komt. Naarmate het bladpakket in het pad dichterbij wordt dat effect nog sterker.

De luchtslurven hebben nu uitblaasope-



Vanwege het oogststelsel ligt de teeltgoot hoog, dat maakt een goede verwarming van het bladpakket niet eenvoudig.

temperatuurverschillen



De duurzame 100



Boven het scherm zijn over de lengte van de kap op gelijke afstand van elkaar twee plastic afdekkingen gemonteerd om de luchtstroom te stoppen.

ningen in de stand 'kwart voor drie'. Van Weel verwacht dat het drogend effect van de slurven beter is als die stand naar 'tien voor twee' of 'vijf voor één' gaat, dus meer in het bladpakket blazend. Dan kan de buis ook nog iets omlaag. Verwarmen met de slurf ziet hij alleen zitten wanneer de slurf zelf dubbelwandig zou zijn, om afkoeling onderweg te voorkomen. Maar verwarmen met een buis gaat eigenlijk prima en de buizen liggen er toch voor het transport.

Actief meedoen

Rozenteler Joop van den Nouweland noemt nog een motief om de luchtslurven uit te testen naast puur energiebesparing. "We willen graag actief meedoen met nieuwe ontwikkelingen. Die staan te veel stil naar mijn zin. Pas als je zelf mee doet en er van leert, dan kun je weer nieuwe stappen nemen." Hij heeft namelijk geen al te grote verwachtingen van nieuwe systemen op zich. "Het gaat niet om de verbetering zelf, maar de manier waarop je ermee

omgaat en de aandacht die je het geeft." Rook heeft al ondervonden dat het telen met slurven een kwaliteitsverbetering in zich kan hebben. "Het gewas lijkt groener en vitaler", vindt hij. Het luchtige klimaat bevat hem en heeft een gunstige uitwerking op meeltauw, die hij minder hoeft te bestrijden.

In een kas met rozen met buitenluchtinzug en luchtslurven komen temperatuurverschillen en luchtstroming onder een dicht scherm en assimilatiebelichting net zo goed voor als in een kas met een traditioneel verwarmingssysteem. Dit probleem is bijna alleen op te lossen door boven het scherm schotten onder het dek te plaatsen. Pas als die verschillen zijn weggewerkt, kun je de voordelen van buitenluchttoevoer echt gaan benutten.

SAMENVATTING

Wij zijn aan het opdrogen en nagenieten van de Horti Fair. Het was weer een prachtige week in Amsterdam. De beurs was weliswaar wat minder groot dan een vijftal jaar geleden, maar in onze ogen gezellig compact, beter beleefbaar en volgens ons precies groot genoeg.

Wat wij signaleerden was veel nieuw elan en nieuwe initiatieven. Het gaat tegenwoordig verder dan alleen je nieuwe kas, nieuwe lampen of rookgascondensator showen. Informatie en kennisuitwisseling zijn steeds belangrijker. Er waren veel seminars - die nog wel beter moeten worden georganiseerd - maar beslist moeten blijven en waar we zeker ook veel positieve reacties over hebben gehoord.

Wij hebben heel wat buitenlandse bezoekers gesproken die een of twee dagen langer zijn gekomen omdat ze de Technical Trials hebben bezocht en aan seminars hebben deelgenomen. De nieuwe koers die de Horti Fair in Ingelsteden helpt bestelst Nederland als tuinbouwland nummer 1 en als greenport op de kaart te zetten.

Wat deze Horti Fair duidelijk ademde was dat hoogwaardige glastuinbouw in belangrijke mate bij kan dragen aan het duurzaam oplossen van de wereld voedselproblematiek, die volgens kenners voor de deur staat. Heel veel innovaties hadden te maken met efficiënter gebruik van energie, water, licht en meststoffen. En om in de toekomst de wereld te voeden zal deze techniek hard nodig zijn om de steeds schaarser wordende grondstoffen zo goed mogelijk te benutten. Wij zijn een groene industrie en worden steeds groener en duurzamer.

Als sector zijn we dus op het goede pad en hebben een goede toekomst. Wat wel opvallend is dat ondanks al deze groene energie er nog heel weinig ondernemers uit onze sector in de duurzame 100 van Trouw te vinden zijn. De duurzame 100 is een ranking voor ondernemers, wetenschappers en beleidsmakers waarin hun invloed op de verduurzaming gewaardeerd wordt. We vinden hier bestelst een aantal goede bekenden, zoals: Meiny Prins, Ruud Koorstra, Willem & Drees en ook Volkert Engelsman is present. Maar dit zijn allemaal handelaren en dienstverleners, die zeker hun plek verdienen. Maar er staat geen enkele teler in deze duurzame lijst, terwijl wij er van overtuigd zijn dat een aantal vakgenoten zeker in aanmerking komt voor een dergelijke notering.

Daarom de vraag waarin de glastuinbouw een tandje bij moeten zetten? In het verder vergroenen van onze bedrijfsvoering of in de communicatie met de buitenwereld? Vermoedelijk zijn beide zaken noodzakelijk.

Peter Klapwijk, teeltadviseur (peter@greeng.nl) en Marit Klapwijk, marketingadviseur (maritklapwijk@freshretail.nl)

