



Praktijkproef Mechanische vochtafvoer

Resultaten van het najaarsexperiment 2007 en voorjaarsexperiment 2008

J.B. Campen
F.L.K. Kempkes



**landbouw, natuur en
voedselkwaliteit**



© 2008 Wageningen, Wageningen UR Glastuinbouw

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Wageningen UR Glastuinbouw.

Exemplaren van dit rapport kunnen bij de (eerste) auteur worden besteld. Bij toezending wordt een factuur toegevoegd; de kosten (incl. verzend- en administratiekosten) bedragen € 50 per exemplaar.

Wageningen UR Glastuinbouw

Adres : Bornsesteeg 65, Wageningen
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen
Tel. : 0317 - 47 70 00
Fax : 0317 - 41 80 94
E-mail : glastuinbouw@wur.nl
Internet : www.glastuinbouw.wur.nl

Inhoudsopgave

	pagina
1 Inleiding	3
2 Materialen en Methoden	5
2.1 Selectie proces tuinder	5
2.2 Economisch perspectief	5
2.3 Dimensionering van het systeem	6
2.3.1 Kaspro berekeningen	6
2.3.2 Regeling in klimaatcomputer	10
2.4 Klimaatmetingen	10
2.4.1 Klimaat metingen met meetboxen	10
2.4.2 Draadloze meetnetwerk	10
3 Beschrijving van het systeem	13
4 Resultaten	15
4.1 Klimaat	15
4.2 Energiegebruik	19
4.3 Ruimtelijke verdeling met en zonder geforceerde vochtafvoer	21
4.4 Klimaatverschillen ten gevolge van het systeem	23
5 Conclusies en discussie	25
6 Aanbevelingen	26
7 Literatuur	27
Bijlage 1. Bedrijfsgegevens	28
Bijlage 2. Kalibratie draadloze sensoren	30
Bijlage 3. Ventilatoren	34
Bijlage 4. Uitvoering luchtslang	35
Bijlage 5. Klimaatgegevens meetdagen	37
Bijlage 6. Werking van het systeem op het moment dat de energieschermen open zijn	39
Bijlage 7. Temperatuurverdeling tijdens schermen	44
Bijlage 8. Partners in het project	48

Tuinders' samenvatting

Resultaten van een praktijkexperiment

Vocht onder controle bij het gebruik van energieschermen

Wageningen UR Glastuinbouw heeft het praktijkexperiment 'Mechanische vochtafvoer bij schermen' uitgevoerd. Het systeem, waarbij met ventilatoren een beperkte hoeveelheid buitenlucht onder het scherm wordt geblazen ten behoeve van de vochtafvoer, blijkt goed te werken.

Het gebruik van energieschermen in de glastuinbouw neemt nog steeds toe. Het gebruik leidt tot een grote energiebesparing (tot 17% per jaar bij tomaat).

Door het schermen kan de luchtvochtigheid onder het scherm echter te hoog oplopen waardoor de kans op ziektes toeneemt. Daarom trekken telers het energiescherm een beetje open waarmee het vochtoverschot wordt afgevoerd, de zogenoemde vochtkierregeling. Nadeel van deze regeling is dat er horizontale temperatuurverschillen kunnen ontstaan en dat de vochtafvoer moeilijk regelbaar is. Dit beperkt het gebruik van het energiescherm. Dit zorgt voor een onnodig hoog energieverbruik.

Gecontroleerde vochtafvoer

Een gecontroleerde vochtafvoer onder het scherm zou het aantal schermuren fors kunnen vergroten en is daarom vanuit het oogpunt van energiebesparing wenselijk. Dit gecontroleerd afvoeren van vocht is te realiseren door geforceerde luchtbeweging waarbij koude droge lucht van buiten door een ventilator in de kas onder het scherm wordt gebracht. De warme vochtige kaslucht wordt via het scherm en kleine openingen in het dek naar buiten afgevoerd.

Deze aanpak is al theoretisch bestudeerd in het project 'Gecontroleerde vochtafvoer bij schermen door kaspoventilatie'. Uit dit onderzoek kwam naar voren dat het systeem economisch en technisch perspectiefvol is. De in dit rapport beschreven praktijkproef heeft inmiddels aangetoond dat met mechanische vochtafvoer de luchtvochtigheid onder een energiescherm voldoende laag blijft en dat de klimaatverschillen kleiner zijn dan bij de conventionele manier door middel van het aanbrengen van kieren in het scherm. Beide projecten zijn gefinancierd door het ministerie van LNV en het Productschap Tuinbouw.

Principe mechanische vochtafvoer

Op het moment dat een teler zijn energiescherm gebruikt, is de buitentemperatuur laag. Koude lucht bevat minder vocht dan warme lucht. Zelfs als het buiten mistig is (en de relatieve luchtvochtigheid daardoor hoog) is de hoeveelheid vocht in de koude buitenlucht lager dan in de warmere kaslucht. Door droge lucht onder het scherm in te blazen, wordt de vochtige lucht onder het energiescherm via het scherm afgevoerd.

De structuur van een energiescherm, bestaande uit bandjes, is open genoeg om de lucht er doorheen te laten stromen. Het systeem zorgt voor een geringe overdruk in de kas. Daardoor stroomt de lucht via kleine openingen, die er altijd zijn in een kasdek, naar buiten.

De hoeveelheid onder het scherm ingeblazen buitenlucht hangt af van het vochtdeficit tussen de kaslucht en de buitenlucht en de hoeveelheid vocht die het gewas in de kas produceert. Uit de theoretische studie kwam naar voren dat een teler maximaal 5 m³ lucht per uur per m² kas moet inbrengen om de luchtvochtigheid goed te kunnen controleren. De lucht die wordt ingebracht is koud maar omdat de totale hoeveelheid lucht die wordt ingebracht gering is en de lucht in de richting van de verwarmingsbuizen wordt geblazen zijn er geen temperatuurverschillen ten gevolge van het systeem waarneembaar bij de plant.

Praktijkproef

Het systeem is getest bij een tomatenteler met een kas van 3 ha, bestaande uit twee door een glazen wand gescheiden compartimenten. In het compartiment van 1,2 ha is het systeem voor de afvoer van vocht geïnstalleerd. Het andere compartiment dient als referentie afdeling.

In totaal zijn 18 frequentieregelde gevelventilatoren geplaatst met ieder een capaciteit van 3.300 m³/uur. De buitenlucht wordt verdeeld via luchtslangen met een diameter van 45 cm. Hierin zijn om de 80 cm gaten met een diameter van 25 mm aangebracht. Hierbij wordt de lucht homogeen in de kas verdeeld.

De relatieve luchtvochtigheid liep in de najaarsperiode voordat de proef startte regelmatig op tot boven de 98%. In de referentieafdeling is gedurende de najaarsperiode van 2007 niet op vocht geregeld. Gedurende het voorjaar van 2008 is wel op vocht geregeld in deze afdeling door middel van vochtkieren.

De invloed van het systeem op het klimaat is gemeten met 60 draadloze sensoren, die zowel de temperatuur als de relatieve luchtvochtigheid meten. Deze sensoren zijn in de hele kas geplaatst nabij de kop van het gewas.

De sensoren meten elke twee minuten en sturen de data naar de computer. Het horizontale klimaat in beide compartimenten wordt daarmee continu zichtbaar gemaakt.

Resultaten en conclusies

De capaciteit blijkt voldoende vochtafvoer te kunnen realiseren wanneer de teler het energiescherm gebruikt. Een groot deel van de tijd (60%) draait het systeem op de laagste stand. Ook als het energiescherm niet is gesloten, kan de teler voldoende vocht afvoeren. In dat geval is de buitentemperatuur echter hoog en daarmee het vochtdeficit klein. Daardoor moet de ventilator harder draaien. Het scherm en het kasdek met gesloten ramen blijken voldoende open om de ingeblazen lucht af te voeren.

In de referentiekas waar in het voorjaar van 2008 werd gekierd om vocht af te voeren werden temperatuurverschillen tot 4 graden gemeten. Op het zelfde moment waren de temperatuurverschillen in de experimentele kas minder dan 1 graad. Ten gevolge van het kieren ontstaat een luchtstroom in de kas waarbij de lucht nabij de gevels van boven het scherm naar beneden komt en de lucht beweegt zich nabij het pad weer omhoog door de kieren in het scherm. Het systeem zorgt niet voor lokale klimaatverschillen aangezien de hoeveelheid lucht die wordt ingeblazen gering is en deze bovendien in de richting van de verwarming wordt geblazen waardoor deze direct opwarmt.

Het gasverbruik voor de aangepaste afdelingen in het experiment verschilt niet van dat in de overige afdelingen als gevolg van het inblazen van koude buitenlucht. Dit ondanks het feit dat in de overige afdelingen minder op vocht wordt geregeld. De hoeveelheid ingeblazen buitenlucht is dusdanig klein dat het effect op het energiegebruik verwaarloosbaar is. Dit is eerder vastgesteld in de theoretische studie. Als door het systeem zoals verwacht meer kan worden geschermd wordt wel extra energie bespaard. Het extra elektriciteitsgebruik van de ventilatoren is gering, ongeveer 0.25 kWh per m² per jaar.

Potentie van het systeem voor de sector

Het praktijkexperiment heeft aangetoond dat met het systeem vocht onder het energiescherm onder controle kan blijven. Dit stelt de teler in staat het scherm vaker te gebruiken. Het systeem kan ook worden gebruikt indien een dubbel scherm is geïnstalleerd waarmee de energiebesparing nog hoger kan worden. Deze praktijkproef heeft ook aangetoond dat het systeem in een bestaande kas in te bouwen is. De benodigde investering voor dit experiment kwam op 3.5 EURO/m² inclusief de installatie van het systeem. Deze investering is door langer te schermen en minder energieverlies binnen drie jaar terug te verdienen. Het systeem is ook getest in een ander project op kleinere schaal voor de biologische teelt. De vochtproductie is in deze teelt groter dan bij substraatteelt en ook hier waren de resultaten positief. Het systeem kan verder worden uitgebreid door naast de benodigde hoeveelheid buitenlucht ook een deel kaslucht te recirculeren. Hiermee zorgt het systeem voor meer luchtbeweging in de kas wat de noodzaak voor de inzet van een minimumbuis beperkt en zorgt voor een homogener klimaat. Kortom dit systeem past bij een energiezuinige teeltstrategie.

Samenvatting

In een praktijkproef op een commercieel bedrijf is in een afdeling van 1.2 ha een systeem getest om mechanisch vocht af te voeren. Hierbij wordt buitenlucht, die minder vocht bevat dan kaslucht, met ventilatoren en luchtslangen onder het scherm ingeblazen. Deze methode is goed controleerbaar en verkleint klimaatverschillen. De luchtvochtigheid bleek goed te regelen met het geïnstalleerde systeem.

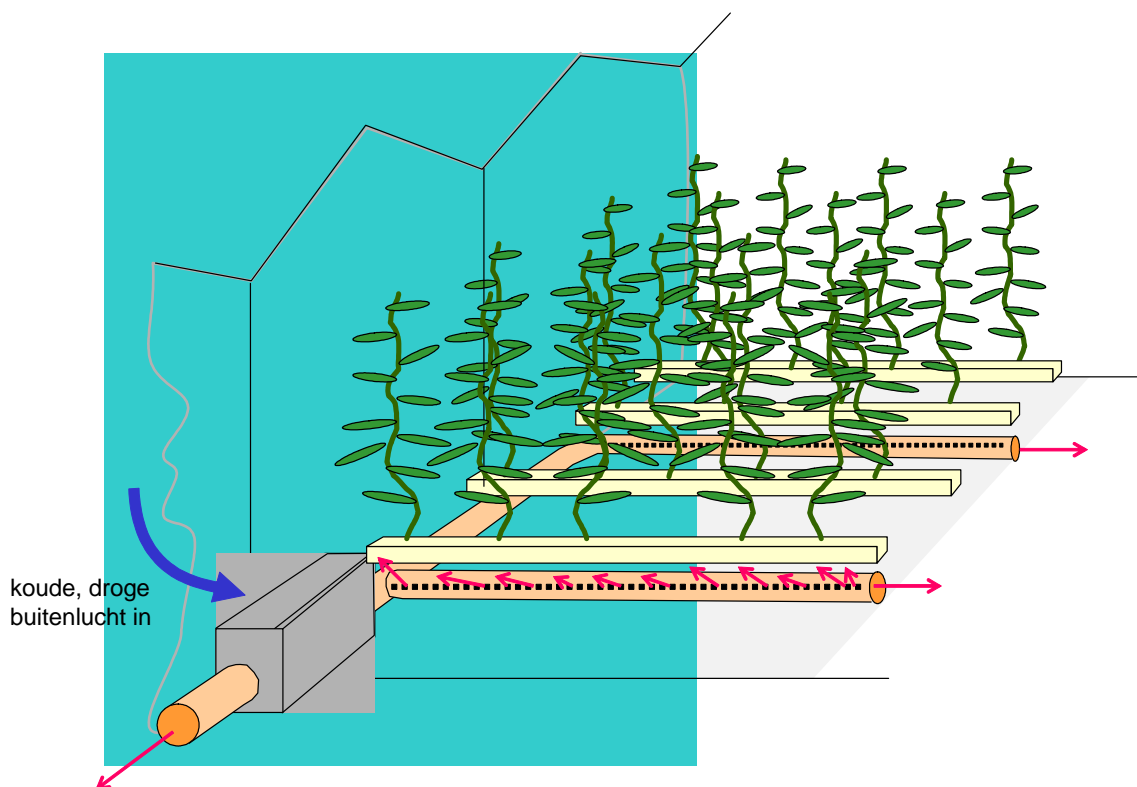
1 Inleiding

Het gebruik van energieschermen in de glastuinbouw neemt nog steeds toe. Het gebruik leidt tot een grote energiebesparing (tot 17% per jaar bij tomaat, (Ruijs, 2005). Echter ten gevolge van het scherm kan de luchtvochtigheid onder het scherm te hoog oplopen waarmee de kans op ziektes toeneemt. Door het energiescherm een beetje open te trekken wordt het vochtoverschot in de praktijk verwijderd. Echter deze methode zorgt voor zowel extra energiegebruik als klimaatverschillen onder het scherm en is moeilijk regelbaar. Daarom blijft het aantal schermuren beperkt.

Een gecontroleerde vochtafvoer onder het scherm zou het aantal schermuren fors kunnen vergroten en is daarom vanuit energiebesparingsoogpunt wenselijk. Dit kan worden gedaan door geforceerde luchtbeweging waarbij koude droge lucht van buiten door een ventilator in de kas wordt gebracht. Deze aanpak is al theoretisch bestudeerd in het project "Gecontroleerde vochtafvoer bij schermen door kaspoetventilatie" PT 12417. Uit dit onderzoek kwam naar voren dat het systeem economisch en technisch perspectiefvol is.

De praktijkproef moet aantonen dat met mechanische vochtafvoer de luchtvochtigheid onder een energiescherm voldoende laag blijft en dat de klimaatverschillen kleiner zijn dan bij de conventionele manier door middel van kieren zoals naar voren kwam in het genoemde rapport. (Campen, 2006b) Deze zekerheid en het beter kunnen regelen van de vochtafvoer zorgt ervoor dat tuinders de energieschermen vaker zullen installeren en meer uren per jaar kunnen gebruiken.

Onderstaande figuur laat een schets zien van het systeem in de kas.



Figuur 1 Schematische weergave van het systeem in de kas.

Het project omvat de volgende doelstelling

Technische doelstellingen

- Aantonen van de werking van het systeem. De capaciteit van het systeem moet voldoende zijn om het vochniveau onder het scherm laag genoeg te houden. De luchtverdeling moet gelijkmatig zijn om horizontale verschillen te voorkomen.
- Vaststellen meerwaarde van het systeem ten opzichte van het conventionele systeem van vochtafvoer.
- Beschrijving van de regeling voor het systeem.
- Economische haalbaarheid van het systeem aantonen. Bij het project worden de toeleveranciers betrokken zodat de kosten van het systeem helder worden gemaakt.

Energiedoelstellingen

Uit het project "Gecontroleerde vochtafvoer bij schermen" kwam naar voren dat het systeem zorgt voor een stabiel klimaat onder het scherm. Kijkend naar de resultaten van experimenten met een nieuwe kierregeling (Kempkes, 2000) kan gesteld worden dat een stabiel klimaat leidt tot meer schermuren en een grote energiebesparing. Met de nieuwe kierregeling werd een extra energiebesparing van 8% tijdens schermen (2 à 3 % op jaarbasis) gemeten door een stabiel klimaat. Het scherm langer gesloten houden geeft een extra energie besparing van 3% (Dieleman, 2005).

Maar de grootste energiebesparing zal worden gehaald als tuinders die een scherm installeren voldoende vertrouwen in hun installatie hebben dat er voldoende vochtafvoer is. Pas dan zal het scherm veelvuldiger ingezet gaan worden.

2 Materialen en Methoden

De eerste fase van het project bestaat uit de selectie van een geschikt bedrijf. Vervolgens kan voor dit bedrijf het systeem worden gedimensioneerd.

2.1 Selectie proces tuinder

Voor de praktijkproef is via verschillende wegen (relaties WUR, klimaatcomputerleveranciers en LTO groeiservice) gezocht naar een geschikt bedrijf. Bij de keuze van de locatie spelen de volgende factoren:

- In de eerste plaats moet de tuinder niet huiverig zijn dat het experiment op zijn bedrijf wordt uitgevoerd. De vochtregeling op de klimaatcomputer wordt aangepast, er komt een nieuwe installatie in zijn kas waarbij een deel van de gevel wordt opengemaakt en er komt een meetsysteem dat temperatuurverschillen in de kas registreert.
- Gezocht wordt naar een tomatenkweker met een energiescherm die, wanneer een afdeling met het voorgestelde systeem zou zijn uitgerust, meer gaat schermen. Liefst heeft deze tuinder al eens uitgesproken dat hij nu weinig schermuren maakt omdat hij zich zorgen maakt over de temperatuurverschillen die de kierregeling oplevert.
- Uiteraard is het een pre als twee niet al te grote afdelingen gebruikt kunnen worden, waarbij in één op de gebruikelijke wijze gewerkt wordt en in de andere gebruik wordt gemaakt van de innovatieve methode voor vochtafvoer. Compartimenten kunnen worden gemaakt door folies tussen verschillende regelafdelingen te plaatsen.
- De tuinder moet een internet verbinding hebben zodat de actuele situatie op afstand kan worden bekeken.
- Tenslotte hebben we het liefst een tuinder in het oosten of zuiden van het land i.v.m. reistijd tijdens de proef.

Vijf verschillende bedrijven bleken voor de proef in aanmerking te komen. De internet verbinding was bij alle bedrijven geen probleem.

Overweging	Bedrijf 1	Bedrijf 2	Bedrijf 3	Bedrijf 4	Bedrijf 5
Compartiment grootte	0	0	0	+	-
Reisafstand	-	-	-	+	+
Scheiding compartimenten	-	-	-	0	+
Interactie andere proeven	+	-	+	-	+
Schermtypen (wel (-) of geen (+) open bandjes)	-	-	-	+	+
Bereidwilligheid	+	0	+	0	+

Uit bovenstaande tabel waarin de overwegingen voor de keuze van een geschikt bedrijf zijn gekwantificeerd, valt op te maken dat bedrijf 4 en 5 het meest geschikt zijn voor de proef. Bedrijf 5 heeft alleen als nadeel dat het compartiment te groot is namelijk 12000 m² t.o.v. 1000 m² bij bedrijf 4. Dit kan ook als een voordeel gezien worden omdat het karakter van een praktijkproef hierdoor meer naar voren komt. Op de overige punten scoort bedrijf 5 goed. Bij bedrijf 5 is namelijk het compartiment waar de proef wordt uitgevoerd gescheiden middels een glazen wand van de rest van de kas die als referentiekas kan dienen. Aangezien het systeem zorgt voor een overdruk in de kas is het zeer wenselijk een goede scheiding te maken tussen beide afdelingen. Verder worden op dit bedrijf geen andere proeven gedaan die deze proef kunnen beïnvloeden. En tenslotte is het enthousiasme van de tuinder van bedrijf 5 vanaf het eerste contact zeer groot. Hij gaf direct aan de minimumbuis minder te willen gaan gebruiken als het vochniveau beter onder controle te houden is.

2.2 Economisch perspectief

Tijdens de aanbesteding van het project bleek dat het systeem duurder werd dan aanvankelijk gedacht. Dit heeft een aantal oorzaken:

- De prijs van de ventilatoren blijft hoger dan iedereen aanvankelijk heeft gedacht namelijk 1225 EURO per stuk. Dit komt omdat de ventilatoren een redelijk druk moeten produceren voor een goede verdeling en er is een kleppenregister nodig zodat het geheel kan worden afgesloten op het moment dat de ventilatoren niet draaien anders komt er koude lucht in de kas terwijl deze niet gevraagd wordt. Overigens is de inschatting van de ventilator fabrikanten dat de prijs aanzienlijk kan dalen (-30%) als er meer ventilatoren worden besteld. Daarnaast is het bij deze tuinder niet mogelijk met één ventilator meerdere slangen te bedienen. Indien dit wel zo is neemt de prijs per m² voor de ventilator af.
- Het systeem vereist een nieuwe regeling. Deze regeling moet worden ingebouwd in de klimaatcomputer die op basis van de luchtvochtigheid de ventilatoren aanstuurt. Het systeem kan van invloed zijn op het gewas dat anders reageert als wanneer er vocht wordt afgevoerd met een minimumbuis en een

schermkierregeling. Een meetpaal levert extra informatie over de bladtemperatuur en de temperatuur boven het scherm.

- Het betreft hier een praktijkproef op een relatief klein oppervlak op een bestaand bedrijf met een nieuwe techniek. Deze factoren zorgen ervoor dat de kosten zoals die naar voren komen uit deze proef hoger liggen dan welke te verwachten valt als het systeem standaard in een groot (nieuw te bouwen) bedrijf wordt toegepast.

Op basis van de offertes en de prijsontwikkeling van het systeem die wordt verwacht door de leveranciers bij grotere afname van het systeem is het systeem economische haalbaar. Hierbij gaan we uit van de onderstaande getallen. De economische haalbaarheid is aanwezig bij een prijs van 3.00 EURO/m² in de praktijk (dit komt neer op een besparing van 6% welke voortkomt uit langer schermen en minder gebruik van de minimumbuis met een terugverdientijd van 5 jaar.) Dit is realistisch als het systeem op een groter oppervlak wordt geïnstalleerd (>3 Ha). De prijs van de ventilatoren zal dan dalen naar maximaal 1.50 EURO/m². De overige 1.50 EURO/m² is voldoende voor de regeling en de verdere installatie.

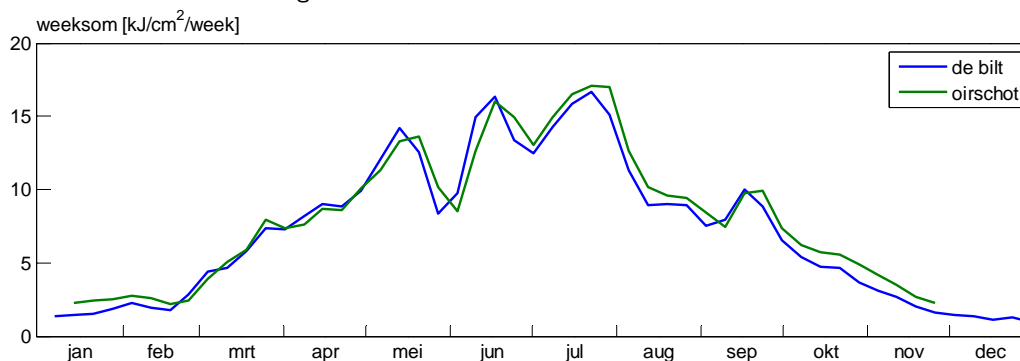
2.3 Dimensionering van het systeem

Voor de geselecteerde tuinder is het systeem gedimensioneerd. De exacte gegevens van dit bedrijf zijn terug te vinden in bijlage 1. De dimensionering van het systeem vindt plaats op basis van Kaspro berekeningen waaruit de benodigde capaciteit van het systeem voor dit bedrijf kan worden ontleend. De capaciteit en de afmetingen van de kas bepalen tenslotte de afmetingen van de slangen met gaatjes.

2.3.1 Kaspro berekeningen

Aan de hand van de informatie van een interview voor het project "Temperatuurverlaging in de ochtend" (Buwalda, 2007)(zie bijlage 1) en een excel-sheet met weekgemiddelde waarden van een aantal setpoints als bijvoorbeeld dag, voornacht en nachttemperatuur, is dit bedrijf met de, voor zover, bekende setpoints in het kasklimaatmodel Kaspro ingevoerd. Hieronder, wordt aan de hand van een aantal figuren verduidelijkt hoe het klimaat van dit bedrijf met het kasklimaatmodel kan worden nagebootst.

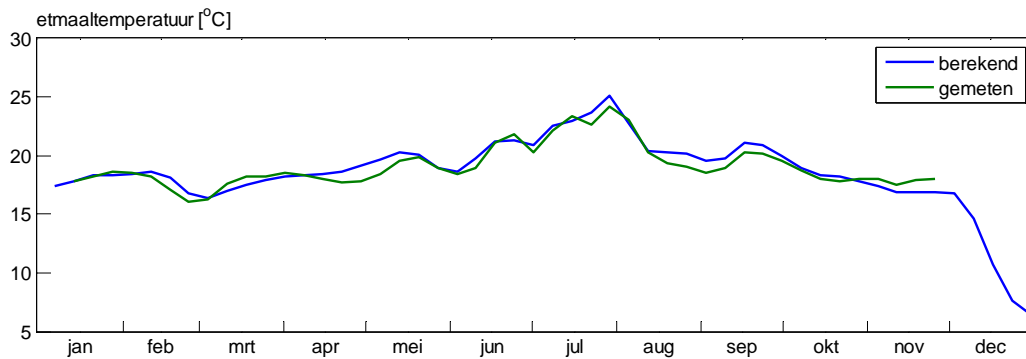
Voor goede berekeningen is het buitenklimaat van groot belang. Omdat er geen buitenklimaat van de directe omgeving van Oirschot bekend is, is de klimaatfile van 2006 van het KNMI voor de Bilt gebruikt. Op langere termijn zullen hier voor wat betreft lichtsom vrijwel gelijke waarden moeten voorkomen. Voor wat betreft de temperatuur, is het de verwachting dat er in de winter een kleine overschatting van de buitentemperatuur is. In Oirschot zal het in de winter iets kouder zijn dan in de Bilt en in de zomer zal het er juist iets warmer worden. In Figuur 2 is de wekelijkse lichtsom van de Bilt en Oirschot weergegeven.



Figuur 2 Lichtsom van de Bilt en Oirschot, weergegeven als een voorschrijdend gemiddelde over 2 weken voor 2006.

Er lijkt een groot deel van de tijd in Oirschot wat meer licht te zijn geweest dan in de Bilt. Dit kan ook nog het gevolg van een afwijking van de meting in Oirschot zijn. De trend komt echter goed overeen hoewel het er op lijkt dat pieken en dalen in Oirschot wat later liggen. Dat zou het gevolg kunnen zijn van een verschuiving van de dagen waarmee de weekgemiddelden zijn gemaakt. Op grond van deze gegevens is het niet te verwachten dat er grote verschillen in het klimaat (licht) tussen Oirschot en de Bilt zijn voorgekomen in 2006. De buitentemperatuur heeft een grote invloed op het "winter" klimaat en daarmee ook het energiegebruik, echter daar zijn geen gegevens van bekend zodat daar ook geen vergelijk van te geven is.

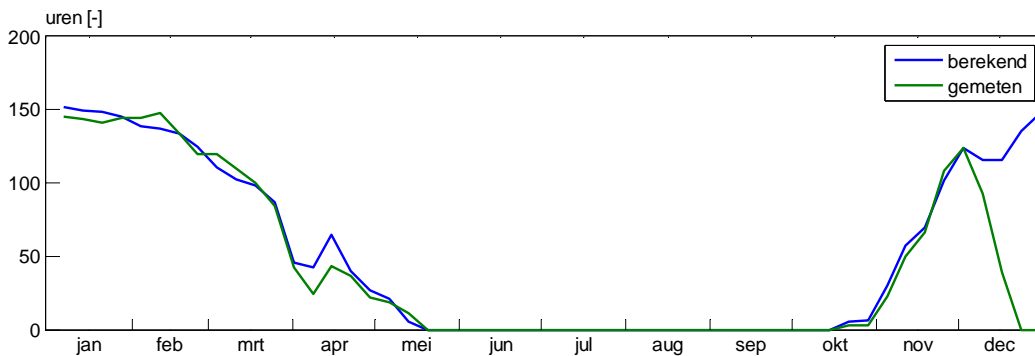
Voor het gerealiseerde klimaat is de bereikte etmaaltemperatuur een goede indicator. In onderstaande figuur zijn de berekende en gemeten etmaaltemperaturen van de kaslucht weergegeven.



Figuur 3 *Berekende en gemeten etmaaltemperatuur van de kaslucht, weergegeven als een voorschrijdend gemiddelde over 2 weken*

Over het algemeen komen de berekende en gemeten etmaaltemperaturen goed met elkaar overeen. Momentane afwijkingen kunnen het gevolg zijn van verschillen in klimatologische omstandigheden, maar zeker ook in de toegepaste setpoints. Uit de gesprekken en data, is naar voren gekomen dat er met 3 dagdelen gewerkt wordt voor wat betreft de setpointtemperatuur voor het verwarmen. In de berekeningen is er vanuit gegaan dat deze dagdelen jaarrond lopen van 1 uur na zonsondergang tot 3 uur voor zonsopkomst (voornacht), van 3 uur voor zonsopkomst tot 11 uur (nacht) en van 11 uur tot 1 uur na zonsondergang (dag).

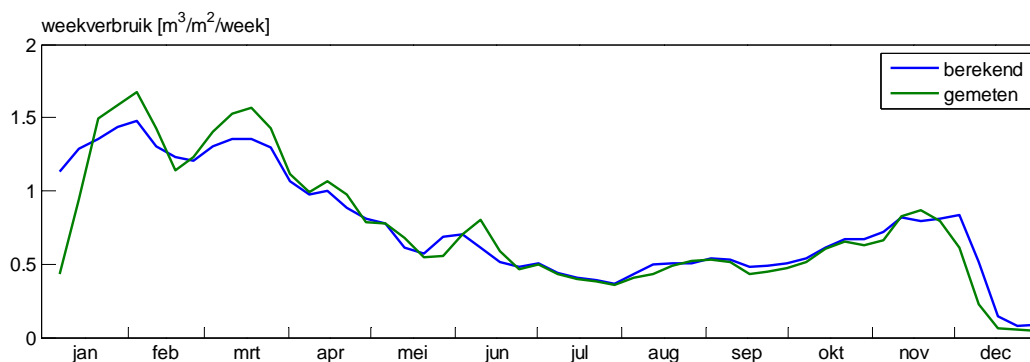
Een goede indicator voor de juistheid van de setpoints is bijvoorbeeld het schermgebruik. In onderstaande figuur is de weeksom aan schermuren weergegeven.



Figuur 4 *Berekende en gemeten schermuren per week, weergegeven als een voorschrijdend gemiddelde over 2 weken*

Het schermgebruik wordt goed nagebootst. Tijdens de teeltwisseling wordt het scherm in het model gesloten, waar deze op het bedrijf geopend blijft. Dit zal ook samenhangen met het installeren van het vaste folie op het bedrijf. Wordt de teeltwisseling niet meegeteld, dan wordt er volgens de modelberekeningen 2154 uur en is er in de praktijk 2090 uur geschermd.

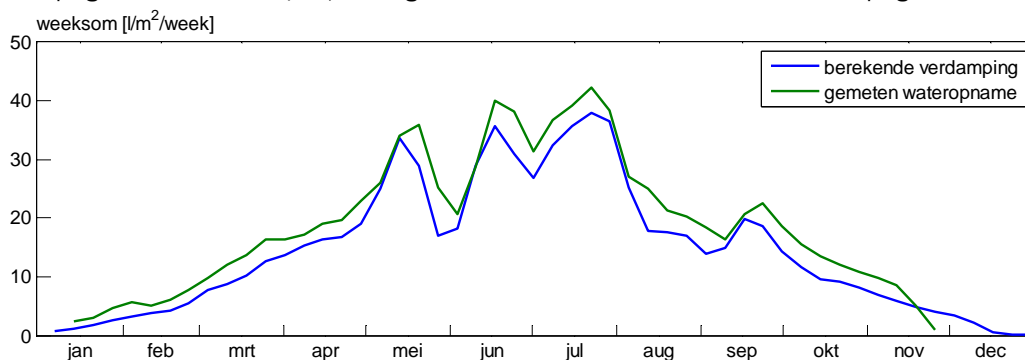
Het gerealiseerde energiegebruik komt dan ook goed overeen zoals uit onderstaande figuur is op te maken.



Figuur 5 *Berekende en gemeten gasgebruik per week, weergegeven als een voorschrijdend gemiddelde over 2 weken*

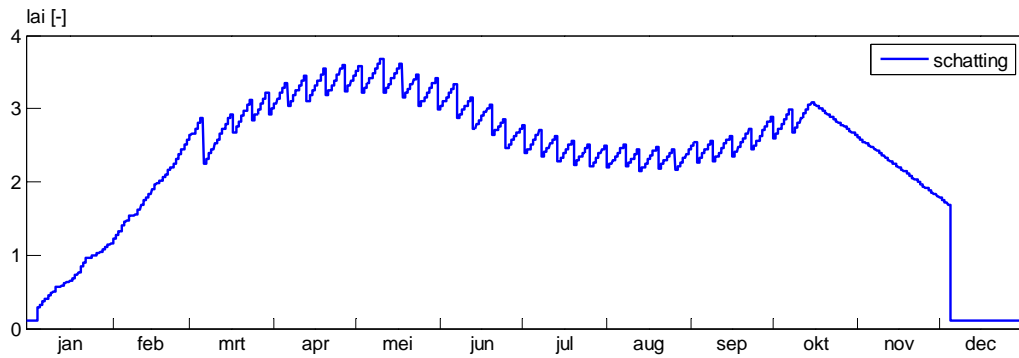
De grootste verschillen komen eind januari en medio maart voor. Op grond van de gerealiseerde etmaaltemperaturen is het verschil van medio maart nog enigszins te verklaren, echter die van eind januari niet. Zonder verdergaande analyse en meer nauwgezette informatie rondom de setpoints in deze periode, is dit niet te verklaren. Op jaarbasis is het gasgebruik op het bedrijf $38.8 \text{ m}^3/\text{m}^2$ waar volgens de berekeningen dit $38.6 \text{ m}^3/\text{m}^2$ zou zijn.

Voor het gerealiseerde klimaat en daarmee ook het energiegebruik, is de verdamping van het gewas een belangrijke indicator. De verdamping is op dit bedrijf niet gemeten. Wel is de watergift en drain waargenomen. Het verschil is de som van de gewasverdamping en de fixatie van water in het gewas. Het gewas zal op jaarbasis ca. 10% van de opname aan water fixeren in de vruchten, stengels, bladeren en wortels. In Figuur 6 zijn de berekende verdamping en de gemeten wateropname van het gewas per week gegeven. De jaarsom aan berekende verdamping is $756 \text{ l}/\text{m}^2$. De opname van het gewas is gemeten op $883 \text{ l}/\text{m}^2$. Rekening houdend met een fixatie van ca $80 \text{ l}/\text{m}^2$ blijft er en netto verdamping over van ca. $800 \text{ l}/\text{m}^2$, welke goed overeenkomt met de berekende verdamping.



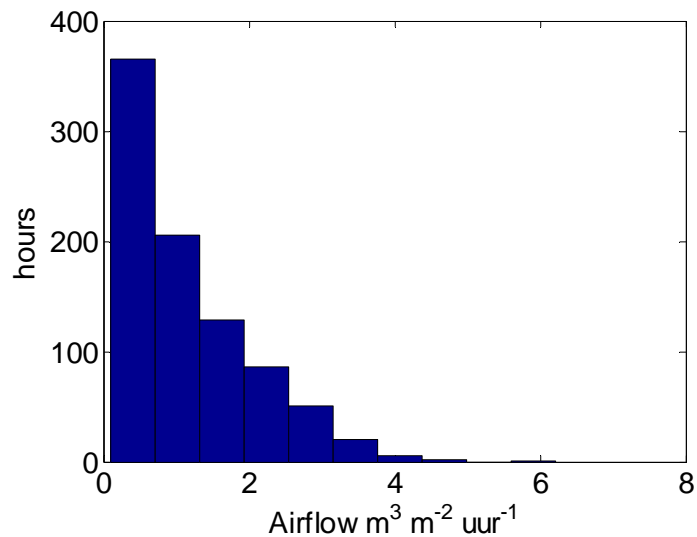
Figuur 6 *Berekende verdamping en de gemeten wateropname van het gewas per week, weergegeven als een voorschrijdend gemiddelde over 2 weken. (De wateropname is niet gecorrigeerd voor de fixatie in het gewas)*

De verdamping is sterk afhankelijk van de LAI. Omdat deze niet gemeten is, is er voor de berekeningen een LAI geschat, welke in Figuur 7 is weergegeven.



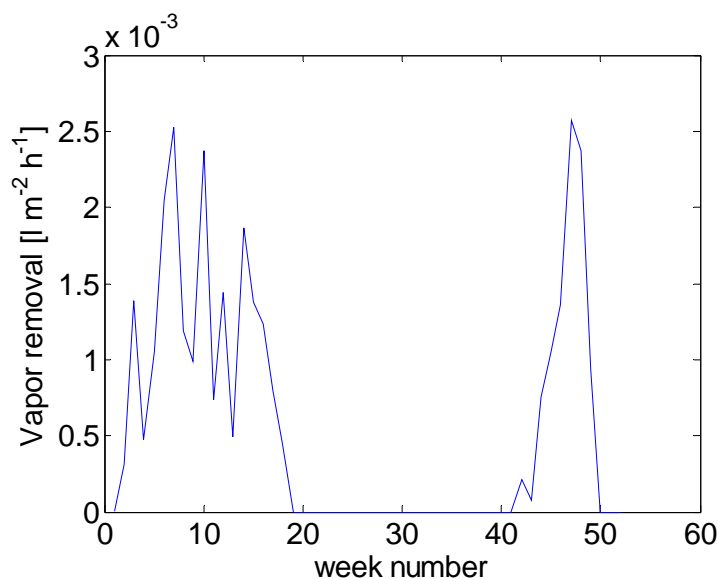
Figuur 7 Voor de modelberekeningen geschatte LAI ontwikkeling van het gewas.

Bovenstaande figuren laten zien dat het met Kaspro goed mogelijk is het klimaat op dit praktijkbedrijf te beschrijven. Op basis van deze berekeningen is bepaald welke capaciteit het systeem voor de mechanische vochtafvoer op dit bedrijf moet hebben. Hiertoe is in KASPRO het systeem gemodelleerd waarbij er buitenlucht in de kas wordt ingebracht.



Figuur 8 Aantal uren per jaar dat een specifiek luchtdebiet nodig is in $m^3 m^{-2} \text{uur}^{-1}$.

Bovenstaande figuur laat het benodigde luchtdebiet zien over een geheel jaar. Maximaal is er rond de $5 m^3/m^2 \text{uur}$ nodig. Elke luchtslang moet ongeveer $450 m^2$ bedienen en daarmee komt het maximaal benodigde luchtdebiet uit op iets meer dan $3000 m^3/\text{uur}$ per ventilator. De berekeningen van de afmetingen van de bijbehorende luchtslang zijn te vinden in Bijlage 4.



Figuur 9 Aantal uren per jaar dat een specifiek luchtdebiet nodig is in $m^3 m^{-2} uur^{-1}$.

Bovenstaande figuur laat weekgemiddelde van de vochtafvoer per uur per vierkante meter kas zien als functie van de week. Het systeem zal actief zijn in het voorjaar en het najaar voor de teeltwisseling.

2.3.2 Regeling in klimaatcomputer

Op het praktijkbedrijf wordt gebruik gemaakt van een Hoogendoorn klimaatcomputer. Ten behoeve van dit experiment is de zogenaamde Aircomatic regeling op de klimaatcomputer geïnstalleerd. Het bleek niet mogelijk de regeling van de ventilatoren te koppelen aan de stand van het schermdoek waardoor het systeem ook in werking treedt op het moment dat het scherm niet gesloten is. De ventilatoren kunnen geregeld worden tussen 20% en 100% van hun capaciteit. De ventilatoren treden in werking op het moment dat de relatieve luchtvochtigheid boven de 89% komt. Bij een relatieve luchtvochtigheid van 95% draait het systeem op vol vermogen. Het vochniveau wordt dus vrij hoog aangehouden wat door de ondernemer in deze fase van de teelt (najaar 2007) bij dit ras geen bezwaar is. In het voorjaar van 2008 werd het systeem operationeel op 30 januari 2008. Vanwege de angst voor virussen had de tuinder besloten de luchtslang te vervangen met een nieuwe. Door de levertijd kon het systeem pas vanaf deze datum operationeel worden. De ventilatoren werden overdag gebruikt op het moment dat de relatieve luchtvochtigheid boven de 82% kwam. Het systeem draaide op 50 Hz op het moment dat de luchtvochtigheid boven de 88% kwam. In de nachtperiode ging het systeem aan op het moment dat de relatieve luchtvochtigheid boven de 86% kwam en draaide op 30 Hz bij 92%. Onzekerheid over de hoeveelheid kou die gedurende de nacht door het systeem wordt ingebracht heeft de tuinder doen besluiten het maximale vermogen op 30Hz i.p.v. 50 Hz in te stellen. Dit heeft er voor gezorgd dat de relatieve luchtvochtigheid een beperkt aantal uren (51 van de 520 uur) dat het systeem operationeel was en de energieschermen dicht boven de 92% komt.

2.4 Klimaatmetingen

2.4.1 Klimaat metingen met meetboxen

De kas waar het experiment wordt uitgevoerd bestaat uit 4 afdelingen. Voor elk van deze afdelingen wordt het klimaat geregistreerd middels een meetbox welke centraal in de afdeling hangt. Als extra meting is een meetpaal geïnstalleerd die de volgende parameters meet:

- Temperatuur ter hoogte van de bestaande meetbox
- Temperatuur boven het scherm
- De bladtemperatuur middels een infrarood camera
- De hoeveelheid PAR licht boven het gewas

De meetbox nabij de bestaande meetbox is in eerste instantie op deze locatie gehangen ter vergelijking met de bestaande meetbox en een draadloze sensor. Gedurende de proef in het najaar is deze meetbox niet meer verplaatst. In het voorjaar wordt deze meetbox gebruikt om de verticale temperatuurverdeling in de kas vast te stellen.

2.4.2 Draadloze meetnetwerk

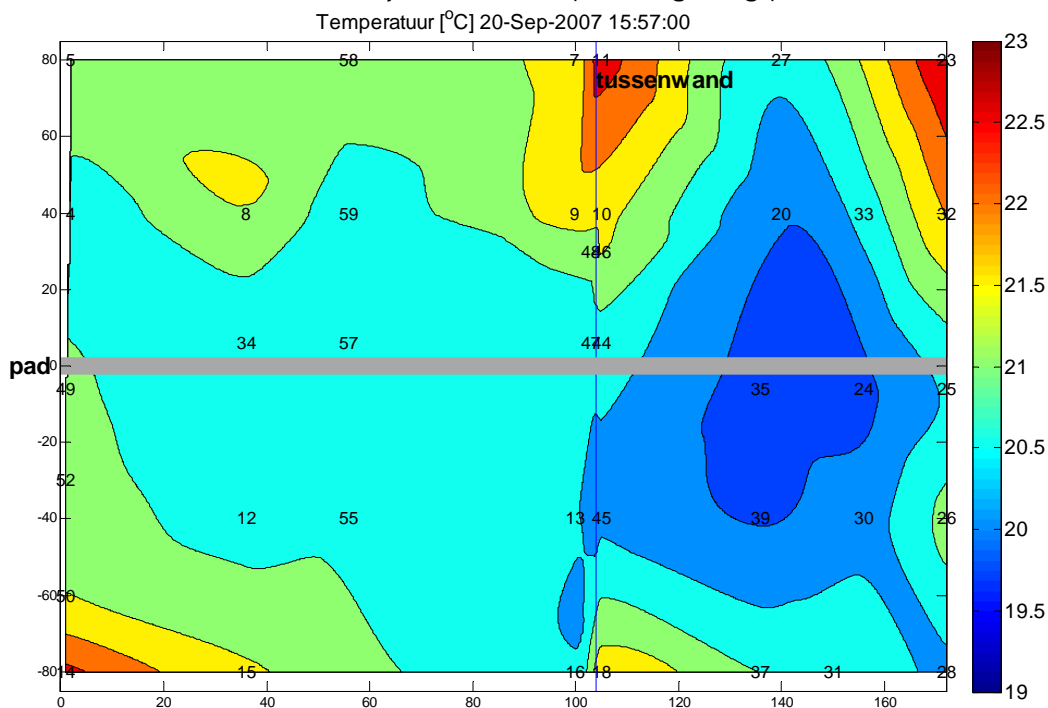
Een belangrijke doelstelling van het systeem is de realisatie van een homogeen klimaat tijdens het schermen. Deze doelstelling wordt getoetst door het horizontale klimaat te meten in de kasafdelingen waar het systeem is

geïnstalleerd en gelijktijdig het klimaat te meten in de kasafdelingen waar de oorspronkelijk vochtregeling wordt gebruikt. Om het klimaat te meten is een draadloos meetnetwerk bestaande uit 60 sensoren aangeschaft. Onderstaande foto laat deze sensor zien.



Figuur 10 Draadloze geventileerde temperatuur en vochtsensor

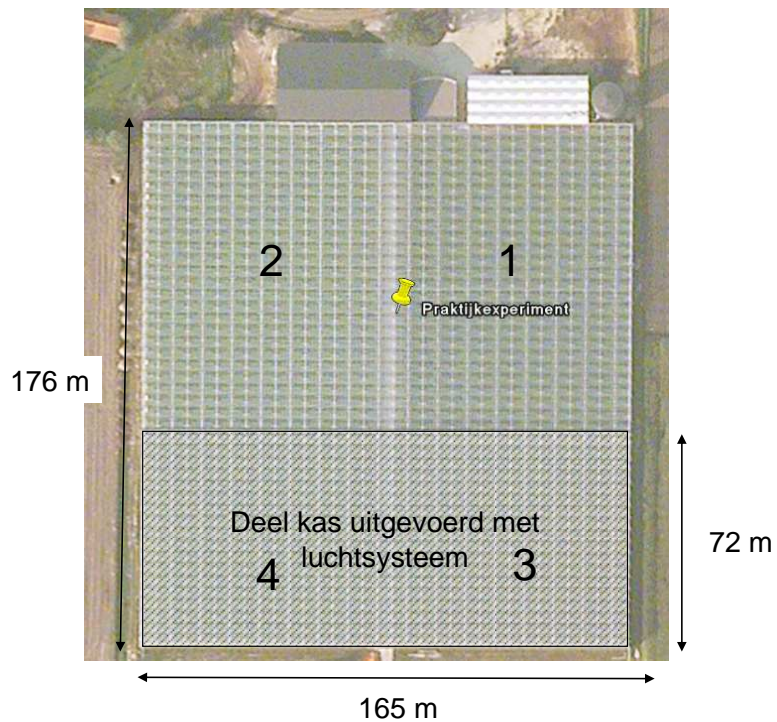
De sensor meet de temperatuur en relatieve luchtvochtigheid welke vervolgens naar het basisstation wordt verzonden. De sensor wordt geventileerd. De sensoren zijn onderling vergeleken in een klimaatcel waarbij de verschillen onderling minder dan 0.4K en 3% RV-punten waren. De sensoren zijn in het experiment met de meetbox vergeleken. Tijdens de proef zenden de sensoren elke 2 minuten de temperatuur en relatieve luchtvochtigheid ter plaatse van de meetbox door. De sensoren zijn net boven de kop van het gewas geplaatst.



Figuur 11 Momentane temperatuurmeting op basis van de verschillende draadloze meetsensoren, waarvan de locatie in de kas in de figuur met cijfers zijn weergegeven

Bovenstaande figuur laat ter illustratie van het sensornetwerk een momentane temperatuurverdeling in de kas zien. De cijfers in de figuur zijn de nummers van de sensoren en geven ook de locatie in de kas aan. De in de figuur weergegeven temperaturen zijn allen gemeten op een hoogte van ca. 2.5 meter. De layout van de kas is in het volgende hoofdstuk beschreven.

3 Beschrijving van het systeem



Figuur 12 Overzicht van het kascomplex waar het experiment is uitgevoerd waarbij de getallen de afdelingen weergeven. (bron: Google Earth)

Bovenstaande luchtfoto laat het kascomplex zien waar het praktijkexperiment is uitgevoerd. De kas bestaat uit twee delen, een van 1.7 ha. (afdeling 1 en 2) en een van 1.2 ha. (afdeling 3 en 4), gescheiden door een glazen wand. Afdeling 3 en 4 liggen aan de zuidzijde van de kas deze afdelingen zijn hebben een goothoogte van 6 meter terwijl de andere twee afdelingen een goothoogte van 5 meter hebben. Aan de noordzijde van afdeling 2 bevindt zich een schuur waardoor de warmteverlizen hier minder groot zijn. De proef is uitgevoerd in afdeling 3 en 4 van de kas zoals in de foto aangegeven. Het klimaat is overigens wel gemeten in de andere afdelingen aangezien deze afdelingen als referentie dienen.



Figuur 13 Ventilator in gevel

In de zijgevels van afdeling 3 en 4 zijn in totaal 18 ventilatoren geplaatst. Bovenstaande foto laat de situatie zien op het moment dat er één ventilator is geplaatst. Om de 8 meter is een ventilator geplaatst. De ventilatoren werken op 400 V en kunnen zonder tegendruk 5500 m³/uur verplaatsen bij een vermogen van 500 W. Bij een tegendruk door de slangen is het mogelijk 3300 m³/uur in de kas te blazen. De exacte gegevens van de ventilatoren zijn gegeven in Bijlage 3. De gevelventilatoren zijn ook uitgevoerd met een kleppenregister (duidelijk te zien op de foto) om te voorkomen dat er luchtuitwisseling kan plaatsvinden op het moment dat de ventilatoren niet worden gebruikt.

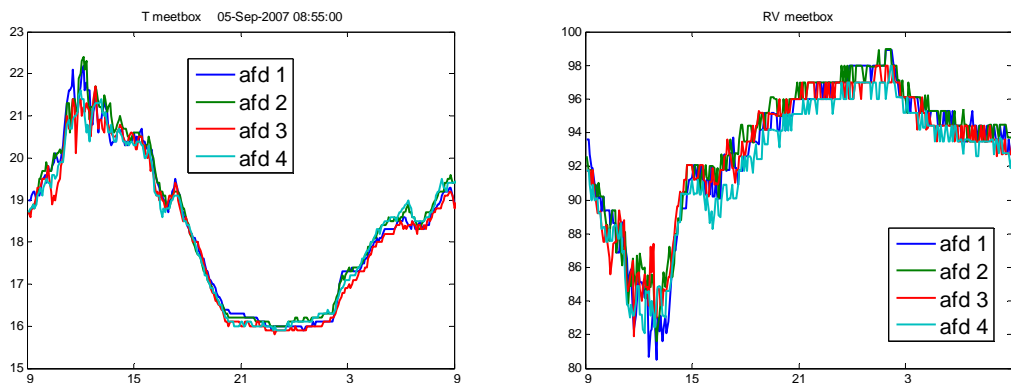


Figuur 14 Luchtslang onder de goot

Aan de gevelventilatoren worden luchtslangen bevestigd met gaten met een diameter van 2.5 cm en een onderlinge afstand van 80 cm. De lucht uit de gaten worden richting de verwarmingsbuizen geblazen zodat deze gelijk wordt opgewarmd. Het voorkomt ook dat de mat extra wordt afgekoeld. De lengte van de luchtslangen is 80 meter en de diameter is 44.6 cm. De berekening waarop deze afmetingen van de slang zijn gebaseerd is terug te vinden in Bijlage 4. Het is van belang dat de lucht homogeen uitstroomt over de gehele lengte van de slang bij elke stand van de ventilator.

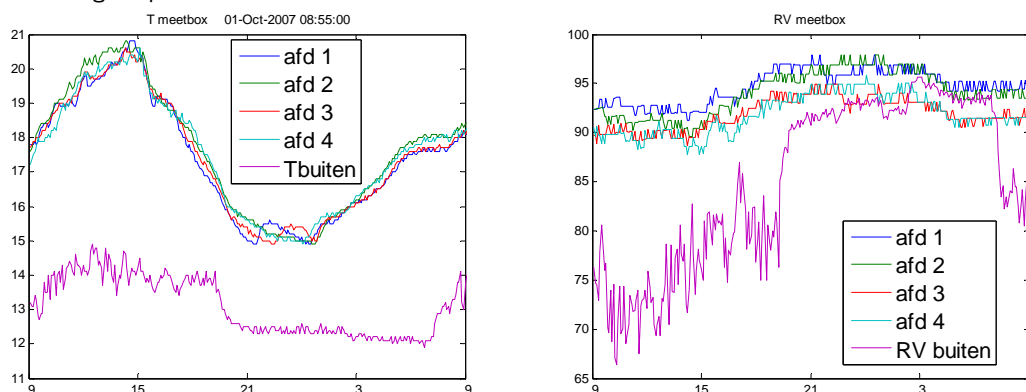
4 Resultaten

4.1 Klimaat

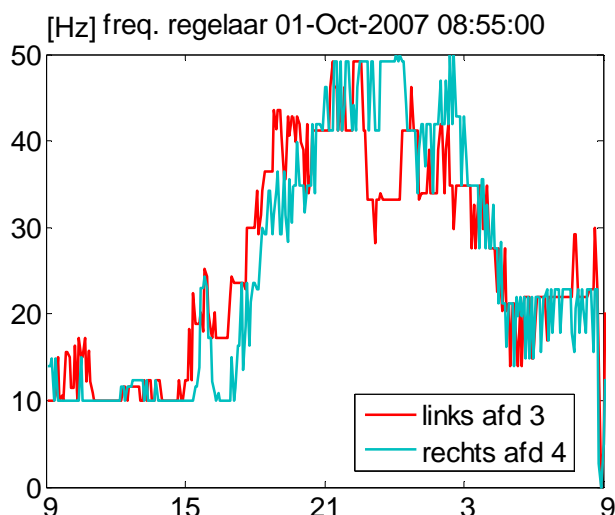


Figuur 15 *Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid gemeten van 5 september 2007 om 9:00 tot 6 september 2007 9:00 door de meetbox in de verschillende afdelingen op het moment dat het systeem nog niet operationeel is*

Figuur 15 met het klimaat in de vier afdelingen (referentieafdelingen 1 en 2 en testafdelingen 3 en 4). laat zien dat deze vrijwel gelijk waren op het moment (5 september 2007) dat het systeem nog niet operationeel was. Opvallend is de hoge relatieve luchtvochtigheid. Aangezien de tuinder nauwelijks problemen had met botrytis waren hoge vochniveaus geen probleem.

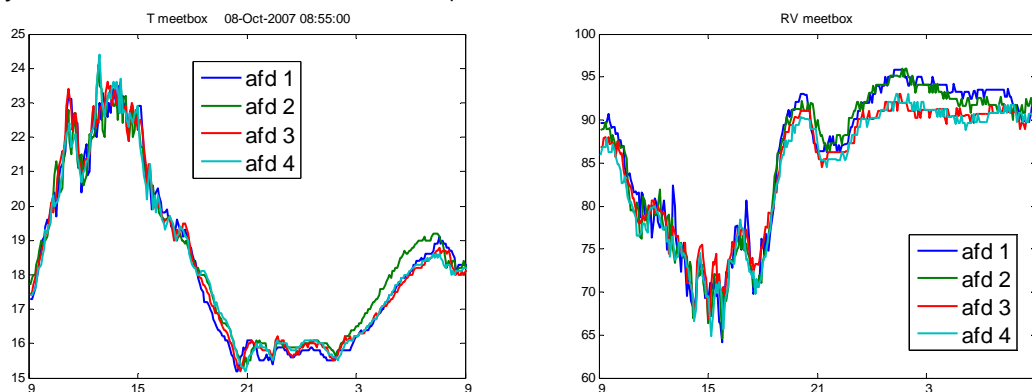


Figuur 16 *Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid gemeten door de meetbox in de verschillende afdelingen op het moment dat het systeem operationeel is bij een open scherm*

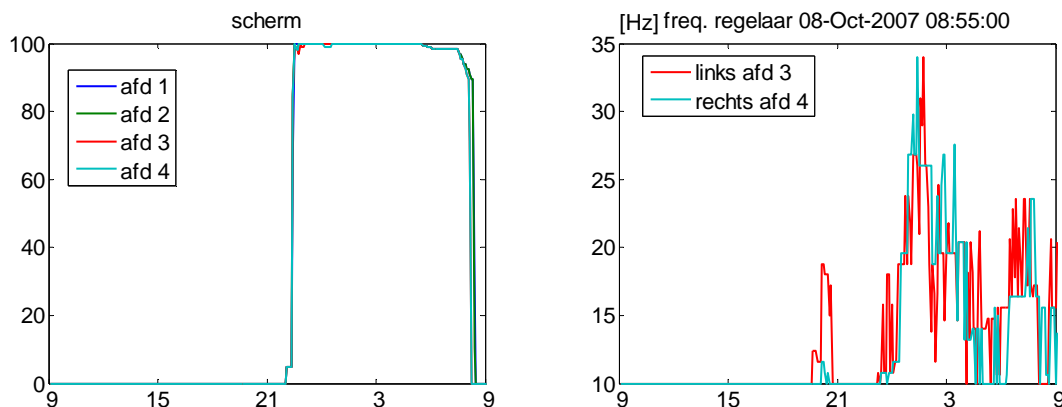


Figuur 17 Frequentie van de gevelventilatoren

Figuren 16 en 17 laten het klimaat zien in de verschillende afdelingen op het moment dat het systeem operationeel is. Duidelijk is te zien dat in testafdelingen 3 en 4 de relatieve luchtvochtigheid lager is dan in de referentieafdelingen 1 en 2. Het systeem draait zoals te zien is in Figuur 17 gedurende een bepaalde periode (20:30 tot 24:00) op vol vermogen. Dit komt door het relatief kleine temperatuurverschil tussen de kaslucht en buiten waardoor het vochtdeficit ook gering is. Het systeem is niet ontworpen om ook gedurende periodes dat het scherm niet gesloten is te functioneren omdat in deze periodes de ramen beter gebruikt kunnen worden om het vocht af te voeren. Met de huidige programmatuur in de tuinderscomputer was het nog niet mogelijk deze voorwaarde op te nemen waardoor het systeem toch functioneerde als het scherm open was.

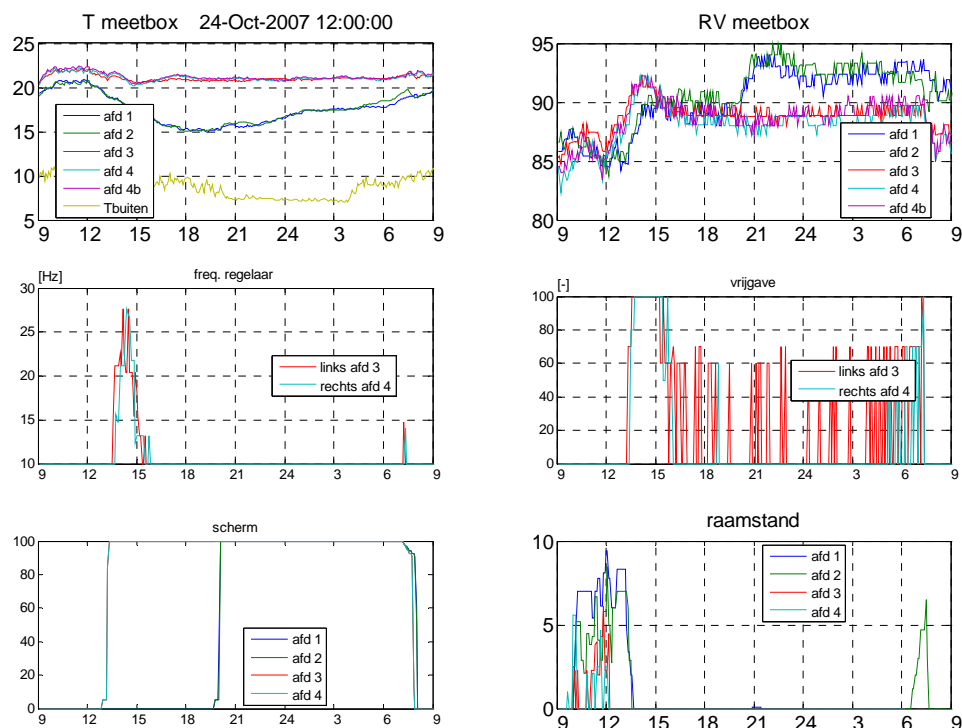


Figuur 18 Klimaat op het moment dat het energiescherm wordt gebruikt.



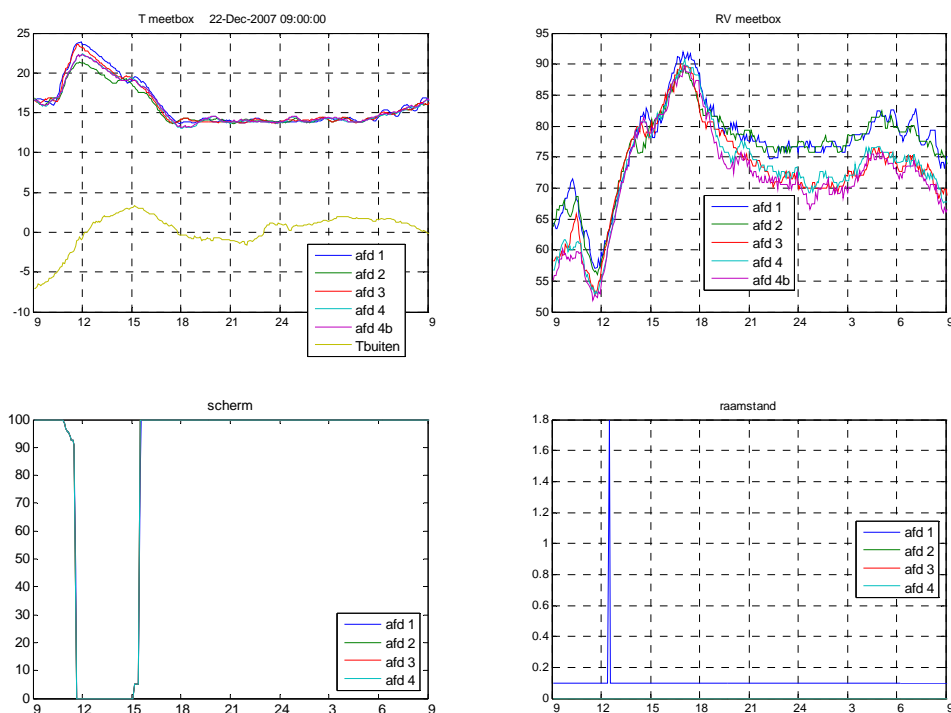
Figuur 19 Schermstand en frequentie van de gevelventilatoren

Figuren 18 en 19 laten het klimaat zien op het moment dat het systeem wordt gebruikt als het scherm gesloten is. Dit is de situatie waarop het systeem is ontworpen en in deze situatie functioneert het systeem naar behoren. In Figuur 19 is te zien dat nog de maximale schermkier van 1,6% wordt getrokken twee uur voor het openen van het scherm.. Deze kier wordt normaliter getrokken om de kouval die optreedt bij het openen van het scherm te voorkomen. In oktober is deze kier uit de regeling gehaald.



Figuur 20 *Klimaat en instellingen van het systeem op 24 oktober 2007. Linksonder staan de temperaturen in de verschillende afdelingen met de buitentemperatuur, daarnaast staat de relatieve luchtvochtigheid in deze afdelingen, daaronder staat de frequentie waarmee de ventilatoren worden aangestuurd met daarnaast een indicatie wanneer het systeem in werking was (bij waarden hoger dan 0), linksonder staat een grafiek waar de schermstand van de verschillende afdelingen te zien is met daarnaast de raamstand in de verschillende afdelingen.*

Figuur 20 laat duidelijk het effect van schermen op de relatieve luchtvochtigheid zien. Om ongeveer 13 uur worden de schermen in afdeling 3 en 4 (waar het systeem is geplaatst) gesloten, de relatieve luchtvochtigheid neemt daardoor toe en het systeem treedt in werking. Rond 20 uur gaan de schermen in referentieafdeling 1 en 2 dicht wat direct gevolgen heeft voor de relatieve luchtvochtigheid in deze afdelingen vooral door de lagere kasluchttemperatuur die op dat moment wordt aangehouden.



Figuur 21 *Klimaat van 22 december 2007 9:00 tot 23 december 9:00. Linksboven de temperatuur in de verschillende afdelingen en de buitentemperatuur, rechtsboven de relatieve luchtvochtigheid in de verschillende afdelingen, linksonder de stand van het energiescherm in alle afdelingen en rechtsonder de raamstand.*

Figuur 21 laat het klimaat in de kas zien een week na planten van het nieuwe gewas (december 2007) waarbij een geperforeerd folie wordt gebruikt in de gehele kas. De klimaatinstellingen zijn gelijk voor de verschillende afdelingen toch zijn er verschillen te zien voor de relatieve luchtvochtigheid. Afdelingen 3 en 4 waar het systeem is geïnstalleerd zijn droger dan afdelingen 1 en 2 ondanks het feit dat het systeem nog niet in werking is en dezelfde scherm- en raamstand wordt gebruikt. Dit verschil is niet opgemerkt in de vorige meetperiode in het najaar van 2007 (figuren 15 tmt 20) aangezien het systeem direct operationeel was in de koudere periodes en de verschillen minder groot zijn in warme periodes aan het begin van de herfst. De verschillen zijn niet aanwezig op het moment dat het energiescherm is geopend. Op basis van de temperatuur en de relatieve luchtvochtigheid kan het absolute vochtverschil worden uitgerekend en deze verschilt 0.5 g kg^{-1} op de momenten dat de verschillen te zien zijn. Dit is een zeer klein verschil wat veroorzaakt kan worden door minder verdamping in afdeling 3 en 4 en/of meer condensatie tegen het dek. Een verschil in verdamping lijkt onwaarschijnlijk aangezien de temperatuur en de overige condities gelijk zijn in deze kas. Daarom moet of de condensatie aan het dek of aan het scherm beter gaan dan in de andere kas. Dit kan alleen als de stofoverdrachtscoëfficiënt $k \text{ (ms}^{-1}\text{)}$ aan het dek daar groter is of als het dampgehalteverschil $\Delta c \text{ (kgm}^{-3}\text{)}$ daar groter is. De condensatiestroom $(\text{kgm}^{-2}\text{s}^{-1})$ wordt bepaald door:

$$\phi_m = k \Delta c$$

De stofoverdrachtscoëfficiënt is groter indien de lichtsnelheid en dus de luchtstroom langs het oppervlak waar de condensatie plaatsvindt groter is. De warmteoverdrachtscoëfficiënt $\alpha \text{ (Wm}^{-2}\text{K}^{-1}\text{)}$ is gekoppeld aan de stofoverdrachtscoëfficiënt k :

$$k = 1.1 \cdot 10^{-3} \alpha$$

waarbij de numerieke coëfficiënt bepaald is uit de fysische eigenschappen van lucht. Onderstaande tabel laat de mogelijke situaties zien waarbij wordt aangenomen dat de condensatie en verdamping in evenwicht zijn bij een verdamping van $40 \text{ g per m}^2 \text{ per uur}$, een normale hoeveelheid in de nachtperiode bij een volgroeid tomatengewas.

Tabel 1 *Klimaatcondities voor een lage en twee hoge kassen waarbij de dektemperatuur verschilt. T staat voor temperatuur, AV staat voor Absolute luchtvochtigheid, k is de stofoverdrachtcoëfficiënt, α is de warmteoverdrachtcoëfficiënt en RV is de relatieve luchtigheid*

Lage kas	Hoge kas	Hoge kas
$T_{\text{kasdak}}=5^{\circ}\text{C}$ $AV=5.39 \text{ g kg}^{-1}$	$T_{\text{kasdak}}=5^{\circ}\text{C}$ $AV=5.39 \text{ g kg}^{-1}$	$T_{\text{kasdak}}=3.5^{\circ}\text{C}$ $AV=4.85 \text{ g kg}^{-1}$
$k=3.1 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s}$ $\alpha=2.8 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$	$k=3.6 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s}$ $\alpha=3.3 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$	$k=3.1 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s}$ $\alpha=2.8 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$
$T_{\text{kas}}=15^{\circ}\text{C}$ $RV_{\text{kas}}=85\%$ $AV_{\text{kas}}=9.00 \text{ g kg}^{-1}$	$T_{\text{kas}}=15^{\circ}\text{C}$ $RV_{\text{kas}}=80\%$ $AV_{\text{kas}}=8.45 \text{ g kg}^{-1}$	$T_{\text{kas}}=15^{\circ}\text{C}$ $RV_{\text{kas}}=80\%$ $AV_{\text{kas}}=8.45 \text{ g kg}^{-1}$

Verdamping in alle gevallen $40 \text{ g uur}^{-1} \text{ m}^{-2}$

De eerste kolom laat de situatie zien in de lage kas waar de luchtvochtigheid hoog is. De tweede kolom laat de situatie zien waarbij de stofoverdrachtcoëfficiënt naar het dek groter is wat kan gebeuren door een hogere luchtsnelheid langs het dek en het scherm. Echter dan zal ook de warmteoverdrachtscoëfficiënt groter zijn. Er is geen extra verwarming nodig in de hoge kas dus dit is niet waarschijnlijk. In de derde kolom staat de situatie waarbij het kasdek van de hoge kas kouder is dan de lage kas. Dit is mogelijk omdat de hoge kas meer wind vangt en de afstand tussen de verwarming en het dek groter is. De warmteoverdracht neemt door het koudere kasdek ook toe maar deze toename is te gering om vast te stellen op basis van de verwarmingstemperatuur. Op basis van deze theorie is het daarom waarschijnlijk dat het kasdek in de hoge kas kouder is dan in de lage kas.

4.2 Energiegebruik

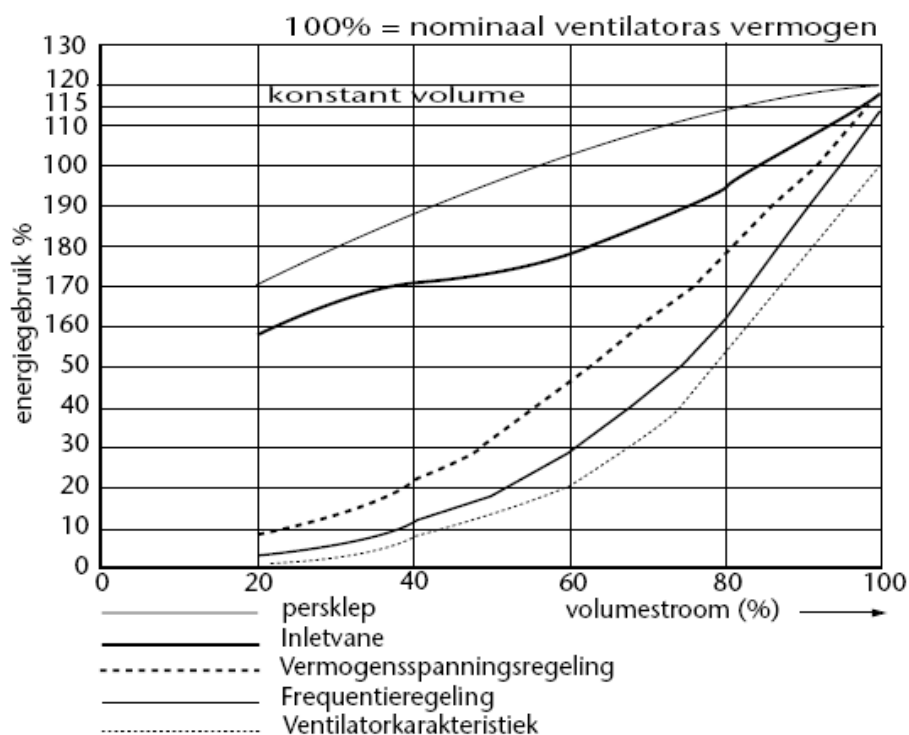
Het energiegebruik in de verschillende afdelingen is berekend op basis van het temperatuurverschil tussen de verwarmingsbuizen en de kaslucht. In onderstaande tabel is het energiegebruik tijdens de proef opgesplitst in verschillende situaties waarbij de kasluchttemperaturen in de verschillende afdelingen minder dan 1.5 K van elkaar verschillen.

Tabel 2 *Energiegebruik (m^3 aardgas per m^2) in de najaarsperiode van het experiment in de verschillende afdelingen voor specifieke situaties en het aantal uren dat deze situatie voorkomt.*

Situatie	Afd 1	Afd 2	Afd 3	Afd 4	Uren
Systeem aan, scherm open	0.59	0.49	0.58	0.55	179
Systeem uit, scherm open	2.11	2.03	2.17	2.07	611
Systeem aan, scherm dicht	0.36	0.31	0.34	0.33	75
Systeem uit, scherm dicht	1.43	1.32	1.41	1.38	196
Totaal energiegebruik/ uren	4.49	4.15	4.50	4.33	1061

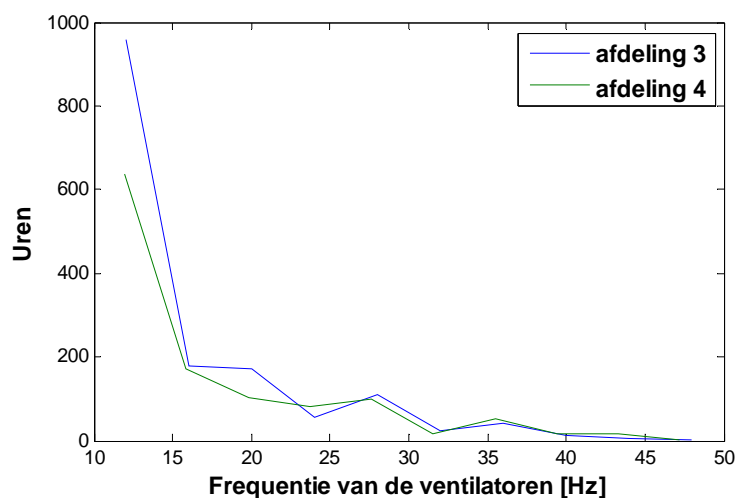
Het energiegebruik in afdeling 2 en 4 gelegen op het westen is lager dan in de andere afdelingen. Bij afdeling 2 zijn de verliezen aan de gevel kleiner door de aanwezigheid van de schuur. Een vergelijking tussen afdeling 1 en 3 laat zien dat het systeem niet zorgt voor een ander energiegebruik ondanks het feit dat er in afdeling 1 en 2 geen vochtregeling wordt gebruikt.

Het elektriciteitsgebruik van de ventilatoren is niet gemeten. Het energiegebruik kan wel worden afgeleid uit de frequentieregeling waarmee de ventilatoren worden aangestuurd. Een frequentie geregelde ventilator is de meest energiezuinige manier om een luchtstroom te regelen zoals te zien is in onderstaande figuur.



Figuur 22 Energiegebruik van ventilatoren bij verschillende belastingen. Bron: www.vnci.nl : Capaciteitsregeling Roterende Apparatuur

Bij een volumestroom van 50% gebruikt de ventilator nog maar 20% van zijn totale vermogen. Theoretisch is het vermogen volgens de ventilator karakteristiek evenredig met de derde macht van de luchtsnelheid. De figuur geeft goed aan dat frequentieregeling daar het dichtst bij in de buurt blijft dus de meest energiezuinige regeling is. Het maximale vermogen van de ventilatoren gebruikt in deze proef om maximaal $3300 \text{ m}^3 \text{ uur}^{-1}$ te verplaatsen is 500 W. In afdeling 3 draaien de ventilatoren in totaal 1562 uur en 1197 uur in afdeling 4. De reden voor dit verschil is mogelijk dat de meetboxen niet vergelijkbaar zijn waardoor de relatieve luchtvochtigheid in afdeling 3 standaard wat hoger is dan in afdeling 4.

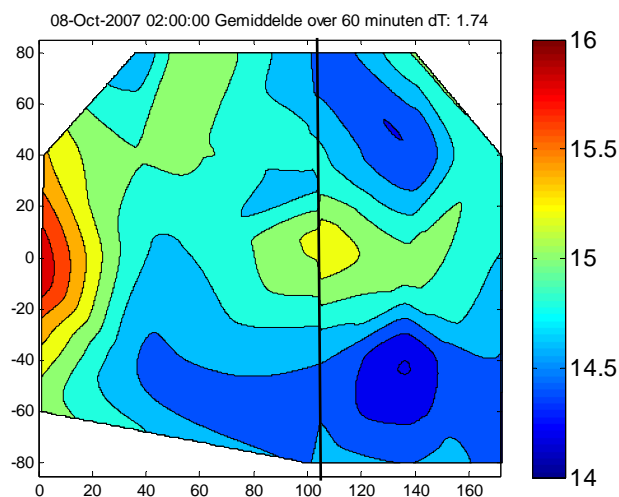


Figuur 23 Aantal uren dat de ventilator op een specifieke frequentie draait als functie van deze frequentie als het scherm gesloten is

Bovenstaande figuur laat zien hoeveel uur tijdens het experiment de ventilator op een bepaalde frequentie heeft gedraaid als het scherm gesloten is. Het grootste deel van de tijd (60%) draait de ventilator op een lage frequentie. Bij een gemiddelde opgenomen vermogen van 100 W hebben de ventilatoren 0.2 kWh m² gebruikt in deze periode.

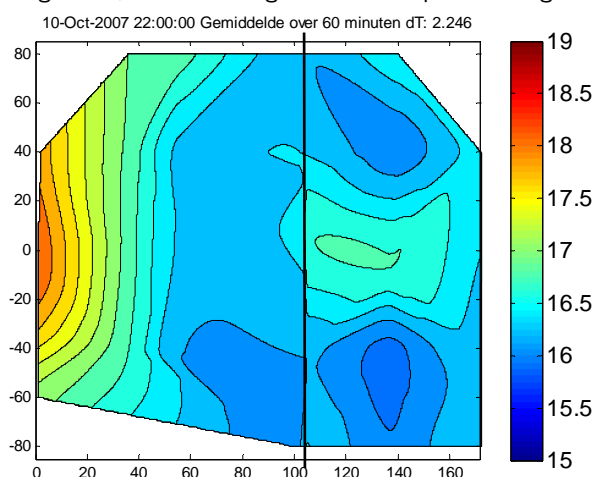
4.3 Ruimtelijke verdeling met en zonder geforceerde vochtafvoer

Onderstaande figuren laten de temperatuurverdeling in de gehele kas zien zoals gemeten met het sensornetwerk net boven de kop van het gewas op 3m hoogte. Links bevindt zich de referentiekas zonder het systeem en rechts vanaf 105 meter de temperatuurverdeling van de testkas met het systeem. Als gevolg van (tijdelijke) uitval van één van de sensoren op de hoekpunten in de kas, kan het voorkomen dat een deel van de contourplot ontbreekt. Bij het ontbreken van sensoren in het midden van de meetopstelling wordt dit "gat" middels interpolatietechnieken ingevuld.



Figuur 24 *Temperatuurverdeling gemiddelde over 1 uur waarbij het scherm gesloten is en het systeem niet aanstaat.*

Figuur 24 laat de temperatuurverdeling zien op het moment dat in alle afdelingen de schermen gesloten zijn en het systeem in de testkas niet is aangeschakeld. De temperatuurverdeling is opgebouwd uit de gemiddelde temperaturen bij de verschillende sensoren in een periode van 1 uur. De linker onderhoek en de linker en rechter bovenhoek zijn in het figuur niet ingevuld vanwege een tekort aan metingen van de sensor op deze locatie. Het temperatuurverschil tussen de hoogste en de laagst gemeten temperatuur is 1.74 K. De hoogste temperatuur bevindt zich nabij de schuur (zie figuur 12) waar in het algemeen de temperatuur hoger is.

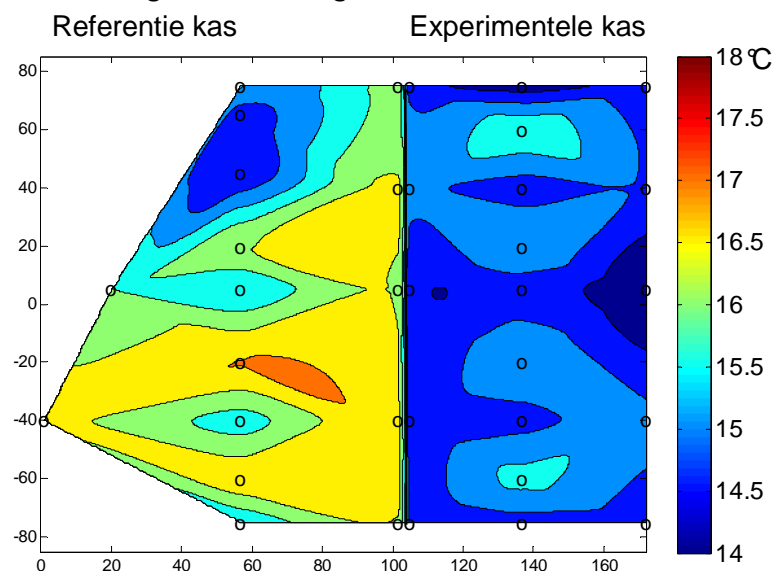


Figuur 25 *Temperatuurverdeling gemiddelde over 1 uur waarbij het scherm gesloten is en het systeem aanstaat.*

Figuur 25 laat de temperatuurverdeling in de kas zien met aangeschakeld systeem voor de vochtafvoer. De klimaatgegevens op momenten die in figuren 24 en 25 zijn weergegeven zijn terug te vinden in Bijlage 5. Een vergelijk

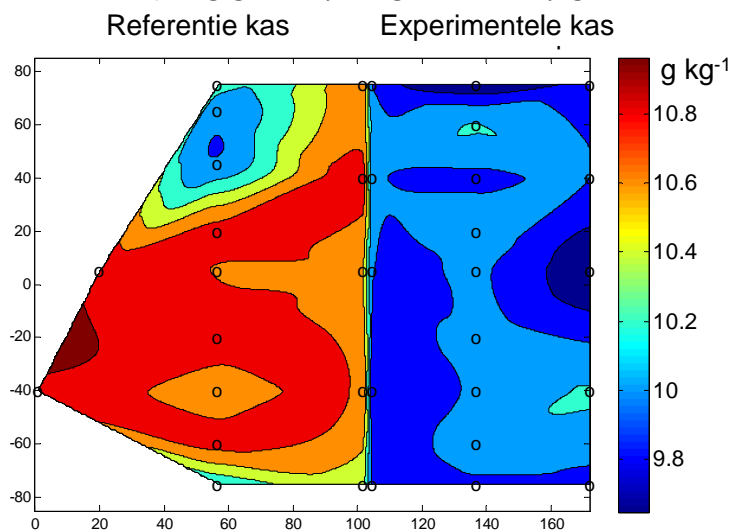
van beide figuren laat zien dat het systeem geen invloed heeft op het klimaat boven in de kas. Dit komt ook naar voren uit de overige vergelijkbare meetdagen. De invloed van het systeem boven in het gewas is minimaal omdat het systeem zich onderin de kas bevindt en de hoeveelheid buitenlucht die wordt ingeblazen klein is.

Gedurende het najaar van 2007 werd geen gebruik gemaakt van een vochtkier in het scherm omdat er niet op vocht wordt geregeld. Wel werd in het najaar van 2007 op specifieke momenten een schermkier van 1.6% ingezet twee uur voor het openen van de scherm. Deze kleine kier zorgt niet voor horizontale temperatuurverschillen. Het feit dat kleine kieren (<2%) niet zorgen voor horizontale temperatuurverschillen is eerder vastgesteld (Campen, 2006a). In het voorjaar van 2008 is wel een (grotere) vochtkier gebruikt om vocht af te voeren.



Figuur 26 Gemiddelde temperatuurverdeling voor de nacht van 26 op 27 februari 2008 waarbij er wordt gekierd in de referentie afdeling.

Figuur 26 laat de temperatuurverdeling zien voor een nacht waarbij het systeem in werking is en er wordt gekierd in de referentie afdeling. De klimaatcomputergegevens zijn terug te vinden in bijlage 6.

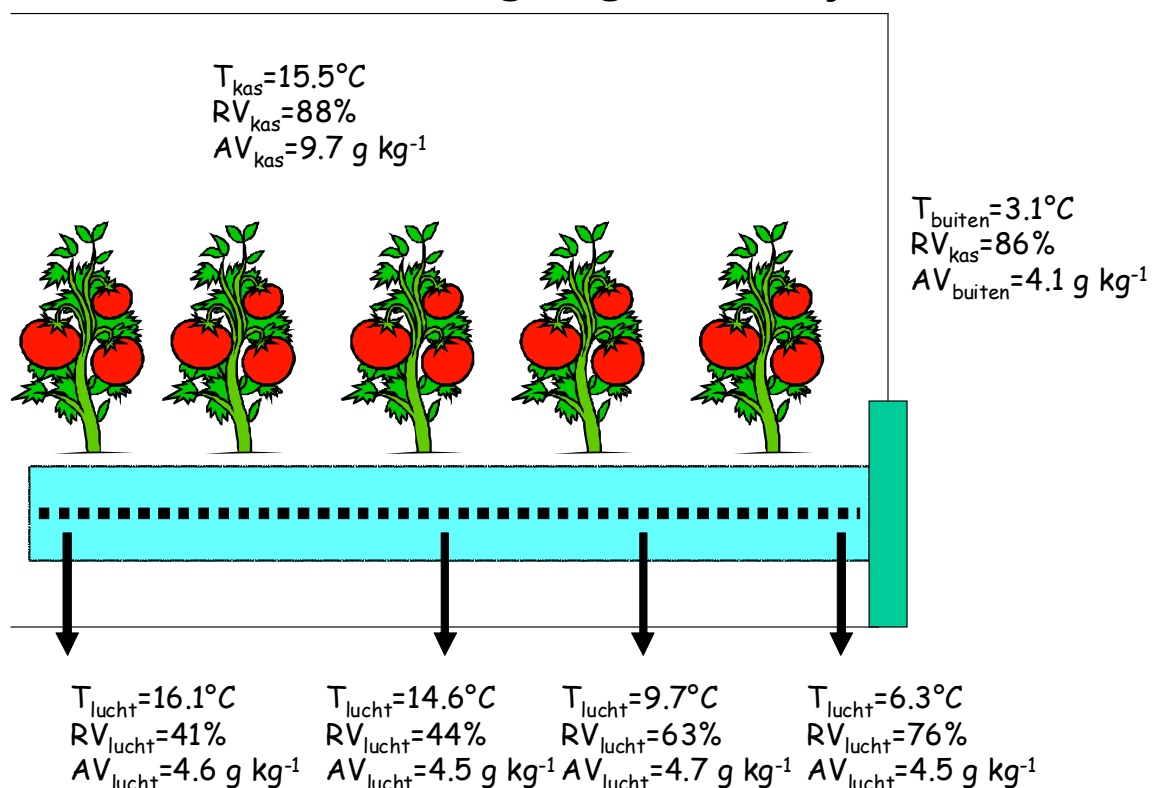


Figuur 27 Gemiddelde absolute luchtvochtigheidsverdeling voor de nacht van 26 op 27 februari waarbij er wordt gekierd in de referentie afdeling.

Voor dezelfde periode is ook de absolute luchtvochtigheidsverdeling in de kas weergegeven in figuur 27. De invloed van het kieren op de klimaatverdeling in de referentiekas is duidelijk te zien in deze figuren. Zoals ook in de CFD berekeningen naar voren kwam ((Campen, 2006b)) bevindt de warme lucht zich nabij het pad en de koude lucht zich nabij de gevels. De verschillen in temperatuur en absolute luchtvochtigheid zijn veel kleiner in de testafdelingen waar het systeem zorgt voor de vochtafvoer, nl 2.5 vs 1.5 K en 2.5 vs 1 g kg⁻¹ voor de referentie- vs testkas. Het systeem is ontwikkeld en gedimensioneerd om gedurende de periode dat het energiescherm is gesloten voor voldoende vochtafvoer te zorgen. Echter de tuinder heeft het systeem ook aangehad op het moment dat de

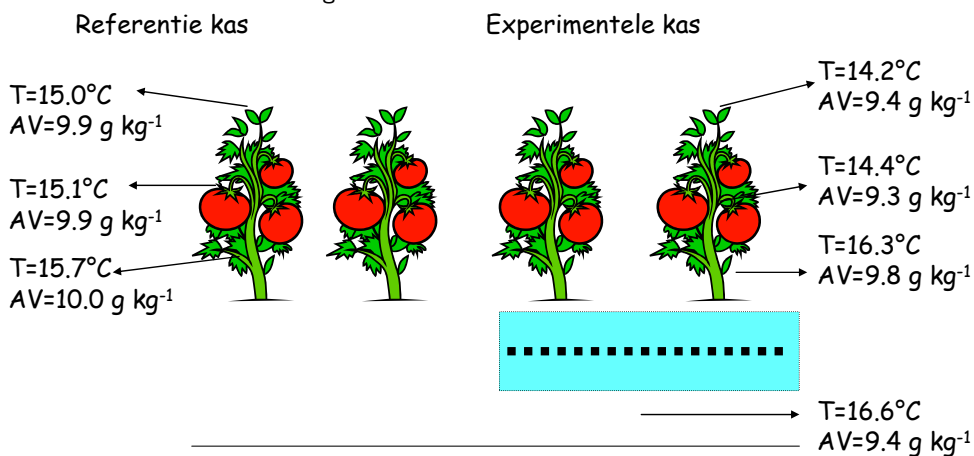
energieschermen niet gesloten zijn. In bijlage 6 zijn van deze periodes een aantal temperatuur en absolute luchtvochtigheidsverdelingen geplaatst. In bijlage 7 zijn soortgelijke figuren te vinden als hierboven weergegeven die de gemiddelde temperatuur op andere dagen laten zien op het moment dat het energiescherm is gesloten.

4.4 Klimaatverschillen ten gevolge van het systeem



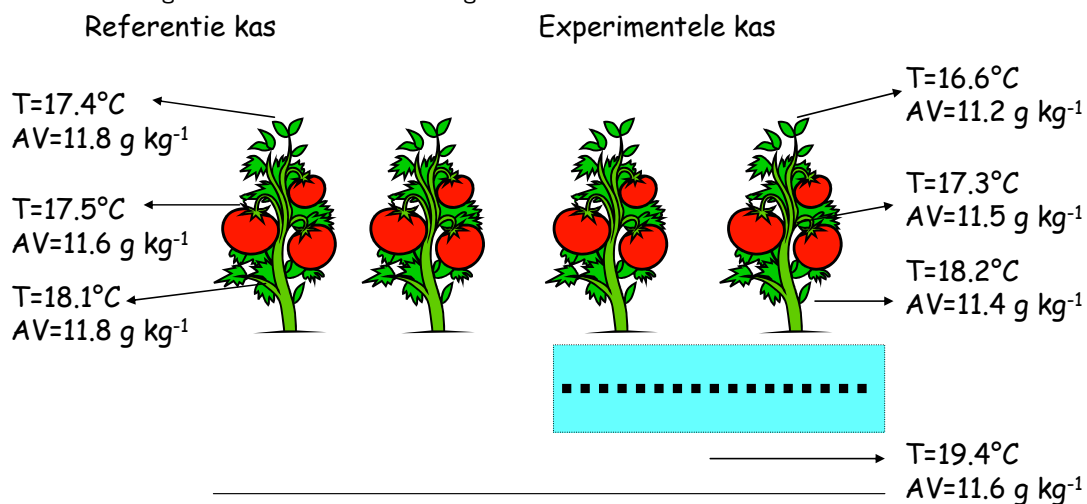
Figuur 28 *Temperatuur en luchtvochtigheid van de kaslucht en de buitenlucht en van de lucht die uit de slang stroomt op 27 februari 2008*

Figuur 28 laat de gemiddelde temperatuur en luchtvochtigheid over de dag zien op een karakteristieke koude dag waarbij het energiescherm is gesloten en het systeem aanstaat. Te zien is dat de temperatuur van de uit de slang stromende lucht toeneemt naar mate deze verder van de ventilator komt. De vochtinhoud van de lucht die uit de slang stroomt verandert uiteraard niet. Ten gevolge van de lage luchttemperatuur in de slang nabij de ventilator treedt er condensatie op. Gemiddeld was 10 meter van de slang nat tijdens het functioneren van het systeem. Boven het gewas is de vochtinhoud uiteraard toegenomen



Figuur 29 *Gemiddelde temperatuur en luchtvochtigheid op verschillende hoogtes (nabij de vruchten, midden in het gewas en bij de kop van het gewas) in afdeling 2 (referentie kas) en afdeling 4 van de kas waar het systeem is geïnstalleerd op 27 februari 2008. In de experimentele kas is ook nog een meting gedaan onder de teeltgoot.*

In het midden van de slang, midden in afdeling 4, er is op verschillende hoogtes (nabij de vruchten, tussen het gewas en nabij de kop) de temperatuur en luchtvochtigheid gemeten. Figuur 29 laat rechts de gemiddelde temperatuur en luchtvochtigheid op de aangegeven hoogtes zien voor dezelfde periode als in figuur 28. Ook is links in figuur 29 voor deze periode de temperatuurverdeling in het midden van afdeling 2 (referentie) te zien. Uit de metingen komt naar voren dat er geen invloed is van het systeem op het klimaat nabij het gewas. Ook op het moment dat de ventilatoren harder draaien is er geen invloed te zien zoals in figuur 30 te zien is.



Figuur 30 Gemiddelde temperatuur en luchtvochtigheid op verschillende hoogtes (nabij de vruchten, midden in het gewas en bij de kop van het gewas) in afdeling 2 (referentie kas) en afdeling 4 van de kas waar het systeem is geïnstalleerd in de periode van 27 februari 2008 tot 4 maart 2008 waarbij stuurfrequentie van de ventilatoren meer dan 20Hz is.

Conclusies

- Een groot deel van de tijd functioneert het systeem op een lage frequentie zoals ook uit de simulatieberekeningen naar voren kwam.
- Kieren voor vochtafvoer (kierbreedte > 2%) zorgt voor horizontale temperatuurverschillen en deze zijn niet aanwezig indien het voorgestelde systeem wordt gebruikt voor de vochtafvoer.
- Het energieverbruik van de ventilatoren in het voorgestelde systeem is zeer gering.
- De luchtdistributie in het systeem zorgt niet voor lokale klimaatverschillen

5 Conclusies en discussie

- Het systeem van mechanische vochtafvoer is gedurende periodes dat het scherm gesloten is in staat voldoende vocht af te voeren met de gebruikte regeling.
- Kieren voor vochtafvoer (kierbreedte > 2%) bij gesloten schermen zorgen voor horizontale temperatuurverschillen en deze zijn niet aanwezig indien in plaats van vochtkieren het voorgestelde systeem wordt gebruikt voor de vochtafvoer.
- Het systeem met mechanische vochtafvoer hoeft een beperkte hoeveelheid lucht in te brengen omdat het systeem wordt gebruikt bij gesloten schermen en deze meestal worden gesloten indien het temperatuurverschil tussen kaslucht en buitenlucht meer dan 5 K is waardoor er altijd een relatief groot verschil is in vochtdeficit tussen de kaslucht en buiten.
- Het elektriciteitsgebruik van het systeem is gering (ca 0.25 kWh per m² per jaar)
- Het systeem zorgt niet voor meer gasverbruik.
- Er zijn geen lokale klimaatverschillen gevonden ten gevolge van het systeem. Dit mede omdat de uitgeblazen lucht richting het verwarmingssysteem gericht is waardoor deze direct wordt opgewarmd. Ook is de hoeveelheid lucht beperkt indien de buitenlucht koud is aangezien de buitenlucht dan ook weinig vocht bevat en de condensatie aan het dek groter.
- Het tijdens de 2007 experimenten geteelde ras tomaten is botrytisongevoelig wat als gevolg heeft dat de tuinder de relatieve luchtvochtigheid hoog laat oplopen tot bijna 100%. Ook in de teelt van 2008 wordt er minder in de referentiekas op vocht geregeld ofschoon de dan geteelde pruimtomaten als een botrytisgevoeliger ras dan de eerder getelde tomaten bekend staat. Het vergelijk tussen de referentie en de experimentele kas kon wel gedurende een beperkte periode worden vergeleken omdat er toen een gelijke vochtregeling werd gebruikt waardoor in de referentie afdeling een kier werd getrokken.
- Het klimaat in de referentiekas en de experimentele kas is niet gelijk. De luchtvochtigheid is in de referentie kas gedurende de dag als de ramen gesloten zijn hoger dan in de experimentele kas ook als het systeem niet in werking is. De experimentele kas is 1 meter hoger dan de referentiekas wat mogelijk dit verschil kan veroorzaken.
- De totale investering is 3.50€/m², inclusief de installatie en veranderingen in de klimaatcomputer.

Het praktijkexperiment heeft aangetoond dat met het systeem het vochniveau gecontroleerd kan worden onder het energiescherm. Dit stelt de tuinder in staat het scherm vaker te gebruiken. Het systeem kan ook worden gebruikt indien een **dubbel scherm** is geïnstalleerd waarmee de energiebesparing nog hoger kan worden. Deze praktijkproef heeft ook aangetoond dat het systeem in een bestaande kas in te bouwen is. De benodigde investering voor dit experiment kwam op 3.5 EURO/m² inclusief de installatie van het systeem. Deze investering is door langer te schermen en minder energieverlies binnen drie jaar **terug te verdienen**. Het systeem is ook getest in een ander project op kleinere schaal voor de biologische teelt. De vochtproductie is in deze teelt groter dan bij substraatteelt en ook hier waren de resultaten positief. In deze kleine proef is **warmteterugwinning** toegepast waarmee de binnenkomende buitenlucht wordt opgewarmd door warme vochtige buitenlucht die de kas verlaat. Aangezien de energieverliezen ten gevolge van het inbrengen van koude buitenlucht beperkt zijn (<1 m³/m²) is de economische haalbaarheid van deze toepassing niet realistisch. Het systeem kan verder worden uitgebreid door naast de benodigde hoeveelheid buitenlucht ook een deel kaslucht te **recirculeren**. Hiermee zorgt het systeem voor meer luchtbeweging in de kas wat de noodzaak voor de inzet van een minimumbuis beperkt. Recirculeren van lucht zorgt verder voor een **homogener** klimaat wat een voorwaarde is bij temperatuur integratie. Een homogener klimaat en een gecontroleerd vochniveau zijn de voorwaarden voor een energiezuinige teeltstrategie. Een belangrijk punt wat regelmatig terugkomt bij de toepassing van nieuwe klimaatbeheersunits is het feit dat klimaatcomputers deze niet direct kunnen aansturen. Enkele trucs en advies van de betreffende klimaatcomputerleverancier zijn nodig om de regeling in te passen.

6 Aanbevelingen

Het systeem functioneert naar behoren en kan in bestaande kassen worden geïnstalleerd. Het goed controleren van het vochniveau in de kas zorgt ervoor dat tuinders de energieschermen meer zullen gaan gebruiken en dat daarmee het energieverbruik zal dalen. De participerende tuinder is ook enthousiast over het systeem en gebruikte het ook op het moment dat de energieschermen niet gesloten waren; daarbij valt op dat de temperatuurverschillen minder groot zijn dan bij de conventionele kas. Het systeem moet daarom nadrukkelijk bij de tuinders onder de aandacht worden gebracht zodat het in de toekomst geïnstalleerd gaat worden.

Gedurende de periode dat het systeem niet operationeel was is gebleken dat de relatieve luchtvochtigheid in de kas waar het systeem is geïnstalleerd lager is dan in de referentie kas. Een mogelijke verklaring is hiervoor is dat de dektemperatuur lager is bij een hogere kas waardoor er meer vochtafvoer kan plaatsvinden. Bepaling van de dektemperatuur in de verschillende afdelingen zou uitsluitel kunnen geven over de invloed van de hoogte van de kas op deze temperatuur.

De ruimtelijke klimaatverdeling zichtbaar maken voor de tuinder was een belangrijk onderdeel van het experiment. Met het huidige systeem was het mogelijk de tuinder real-time de temperatuurverdeling in de kas te geven. Juist deze informatie laat de potentie van het systeem zien in de zin dat het klimaat homogener is. Deze informatie zal een tuinder doen besluiten de kasluchttemperatuur te verlagen of de toegelaten relatieve luchtvochtigheid doen verhogen of beide maatregelen. Het verdient daarom aanbeveling een degelijke klimaat monitoringssysteem te installeren in de beginperiode na de installatie.

7 Literatuur

- Braak N J v d; Campen J B** (1998). Energiezuinige klimaatbeheersing en -regeling. Ontvochtiging. In: In: Kas van de Toekomst, eindrapportage, september 1998, p. 47-53,
- Buwalda F M** (2007). Temperatuurverlaging in de ochtend (Nota / Wageningen UR Glastuinbouw) (Wageningen - Wageningen UR Glastuinbouw)
- Campen J** (2008). Vocht onder controle bij het gebruik van energieschermen. Onder glas, **1**, 35-36
- Campen J B** (2006a). Effect van maatregelen ter voorkoming van temperatuurverschillen in de kas bij gebruik van energieschermen met open bandjes, pp. 22. Plant Research International, Wageningen
- Campen J B** (2006b). Gecontroleerde vochtafvoer bij schermen, pp. 33. Plant Research International
- Dieleman J A** (2005). Schermen in de tomatenteelt: mogelijkheden en beperkingen (Nota Plant Research International) (Wageningen - Plant Research International)
- Kempkes F J** (2000). Schermkieren in de praktijk : onderzoek naar verbeterde regeling, temperatuurverschillen en gewasontwikkeling
- Ruijs M** (2005). Evaluatie van schermgebruik in de praktijk; Een kwantitatieve en kwalitatieve analyse (Rapport LEI) (- LEI)
- Visser P** (2008). Gecontroleerde vochtafvoer bij schermen. Groenten en Fruit, **6**, 22-23

Bijlage 1. Bedrijfsgegevens

De tuinder is ondervraagd in het kader van het project temperatuurverlaging in de ochtend PT12413.

1 Teeltgegevens

Gewas(sen): pruimtomaat, 2,9 ha, voornamelijk los geoogst, soms als tros

Ras(sen): Espino (Enza)

Plantdatum/data: Dit seizoen 5 januari 2006, vorig jaar op de toen bestaande oppervlakte van 0,8 ha 1 week later

Ruimdatum: half december

Productie 2005: 49,5 kg/m²

Bijzonderheden: Teelt op hangende goten, hoogte onderkant goot 80 cm

2 Energie

Wat was uw gasverbruik van het afgelopen jaar en per periode?

kalenderwkn	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	tot
Gasverbruik m ³	4.1	6.3	6.1	4.6	4.3	2.9	1.8	1.9	1.8	2.4	2.7	3.8	1.8	44.4

NB In week 26 nieuwe kasgedeelte erbij gekomen: oa voorstoken buizen

2.2 Bent u voor gas een vrije klant?

X Ja (ga naar 2.3)

O Nee (ga naar 3)

2.3 Wat is voor gas de:

Contractcapaciteit: 117 m³/uur

Waarom hebt u deze capaciteit en niet meer of minder (bv wanneer er ook een WKK staat)?

In andere (oudere) bedrijf in Middelbeers ervaring dat dit voldoende is. Daar wordt gewerkt met een vast scherm.

3 Technische gegevens

Oppervlakte kas: 2.7 ha. vrijwel vierkant blok van 165 x 176 m

Type kas: Venlo

Vakmaat: 5 x 8 m

Poothoogte: op 8000 m² (bouwjaar 2003) 5 m, nieuwste kassen (2005) 5,8 m

Isolatie gevel: folie (oudste kas gehele gevel, nieuwste kas onderste helft gevel)

Buffergrootte: 276 (m³/ha)

Verwarmingssysteem: 10 x 51mm buisrail per tralie van 8 meter

Schermen:

Wat voor type schermdoek heeft u? XLS 10

Waarom hebt u voor dit type doek gekozen? Is wat meer licht- en vochtdoorlatend. Er is nooit een regenbui bij openen. Door goede ervaringen van hem met dit scherm adviseert zijn voorlichter nu ook aan andere tomatentelers dit scherm aan te schaffen

Wanneer hebt u een scherm aangeschaft? Oudste en nieuwste kas bij bouw, ofwel respectievelijk 2003 en 2005.)

4 Algemeen klimaat

4.1 Temperatuurregeling

Periode/tijdvak	stook	lucht
Vanaf januari	20 à 21/17	+0,5
Vanaf bloei 1ste tros	20/17 en VN 13 à 14	+0,5
Okt-dec	19/13	+0,5

- Hoe ziet het opstookregime eruit?
 - Tijdstip van opstoken In nacht (vanaf ca 3.00 uur wordt 17,5 °C aangehouden, ½ uur voor zonop tot ca. 9.00 uur: 16,5 à 17 °C (temperatuur dip), daarna naar dag. Om ca. 11.00 uur op dagtemperatuur.
 - Opstooksnelheid: 1 °C/uur
 - Is tijdstip van opstoken afhankelijk van de buitentemperatuur? nee
 - Hoe wordt condensatie op vruchten of eventueel gewas voorkomen? ? In de nacht wordt een iets hogere temperatuur aangehouden
 - Overige zaken die de tuinder hierbij van belang vindt (risico's): Door de dip rond zonop is volgens hem de bladstrekking beter
- Hoe veranderen de setpoints in de loop van het jaar? Ter compensatie van hoge temperaturen in zomer in oornacht wel 12/13°C. Vanaf zetting proberen steeds minimaal een verschil in gerealiseerde temperatuur van minimaal 5°C tussen dag/en nacht te handhaven.
- Wat is de minimum buis strategie in de nacht en eerste uren van de dag (indien van toepassing)? Minimumbuis van 50°C. Afgebouwd naar 40°C op raamstand 10-15%. Vanaf 500-700W instraling wordt minimumbuis geheel afgebouwd.

- Welke minimumtemperatuur (momentaan) in de ochtenduren is volgens u nog acceptabel voor het gewas? 15 °C
- Welke schade/probleem ontstaat er anders? Dan kom je dicht bij dauwpunt bij snel doorkomen van zon, waardoor kans op bladrandjes en Botrytis
- Hoe lang mag deze lage temperatuur volgens u duren? 1 uur
- In welke mate is dit volgens u afhankelijk van het gewasstadium? Niet: met scherm te sturen
- Maakt u gebruik van temperatuurintegratie? Nee, niet met klimaatcomputer.
- Zo ja, krijgt de regeling vrijheid in de opstookperiode 's ochtends? n.v.t.
- Zo ja, welke bandbreedte wordt gehanteerd? n.v.t.

Vochtregeling

- Hoe regelt u het openen van de ramen op vocht? (n.b. rechtstreeks of via buis) Op vocht bij RV van 80-85% 0,2-0,3 °C af van ventilatietemperatuur. Gebruikt ook raamstand vocht: 2 à 3% luwe kant open en 2% windzijde bij te hoog vocht. Bij kasttemperatuur onder berekende waarde gaan luchtramen dicht.
- NB Als het antwoord is dat niet op vocht geregeld wordt, dan doorvragen hoe het vocht wel in de hand wordt gehouden, via een minimum buis of minimum raamstand?
- Gebruikt u een minimum raamstand? Is deze vast of gerelateerd aan.? geen minimum raamstand.
- Wordt er een vochtregeling toegepast? ja
zo ja Hoe ziet die er globaal uit? 1 à 1,5 uur voor zonop 3 à 4 cm open op 5-m vak zonee, waarom dan niet:
- Treden in bepaalde situaties vochtproblemen op in relatie met schermen? Neen
- Hebt u door het gebruik van het scherm meer vochtproblemen? (Zo ja wanneer?) nee scherm bevalt goed

Schermregeling

- Wat bepaalt 's ochtends over het algemeen het moment van openen van het scherm? combinatie van temperatuur, tijd en instraling.
- Bij welk niveau van (straling, temperatuur,) gaat het scherm dan open? Scherm dicht bij verschil buiten- en berekende stooktemperatuur van 7 à 8 °C. Scherm open bij 125 W/m². Soms in januari/februari gehele dag dicht. Bij erg koud weer soms pas 11.00 à 11.30 uur open. Half april gaat het scherm om ca. 9.00 uur open. Windsnelheid speelt geen rol. Normaal gaat scherm in 1 uur geheel open. Stappen van opening zijn variabel in de tijd.
- Verschilt dit per periode/tijdvlak in het jaar? zie boven
- Zijn er nog andere factoren die de schermopening beïnvloeden? Mede afhankelijk van stand/grootte gewas
Zo ja, op welke manier? Bij 'zwakkere' stand van gewas scherm meer open.
- Wordt de schermopening ook beïnvloed door de kouval die eventueel optreedt bij het openen van het scherm? nee.
- Hebt u 's ochtends een kouval als het scherm geopend wordt? Kouval wordt grotendeels voorkomen door scherm in stapjes te openen.
Zo ja, hoe diep is de kouval en hoe lang duurt de kouval? Bij vriezend weer en geheel opentrekken 1 °C lager. Dit jaar veel donker en koud weer: dan enkele keer tijdelijk (0,5 uur) 2 °C lager.
- Wat vindt u acceptabel als kouval 's ochtends (lengte en diepte van temperatuurdaling) en waarom? 1 °C gedurende een uur acceptabel: verwacht dan geen schade aan gewas.
- Welke risico's vreest u als een kouval te lang duurt? Door kou op koppen kans op gele koppen, zogenaamde vochtkoppen. Dit leidt tot stilstand in gewas.
- Hoe ondervangt u dit risico met uw instellingen van scherm en temperatuur? Scherm in stapjes openen, soms scherm langer dichtlaten (zie boven)

Bijlage 2. Kalibratie draadloze sensoren

Repeaters

Node ID	Last Activity	Status	Fan time setting (s)	Interval setting (s)	Mode setting	Comment
200	29 mrt 2007 10:22	NOT connected	auto	120	auto	
201	29 mrt 2007 10:22	NOT connected	auto	120	auto	

GreenNodes

Node ID	Mode	Last Activity	Status	Temperature (°C)	Humidity (%)	Fan time (s)	Interval setting (s)	Comment
2	auto	30 mrt 2007 08:03	connected	20.54	91.75	9	120	
10	auto	30 mrt 2007 08:03	connected	20.58	91.54	12	120	
6	auto	30 mrt 2007 08:03	connected	22.04	86.43	21	120	
11	auto	30 mrt 2007 08:03	connected	21.26	85.42	18	120	
9	auto	30 mrt 2007 08:03	connected	21.34	89.17	21	120	
1	auto	30 mrt 2007 08:03	connected	21.23	89.39	18	120	
3	auto	30 mrt 2007 08:03	connected	21.28	88.95	15	120	
7	auto	30 mrt 2007 08:03	connected	21.3	88.46	18	120	
13	auto	30 mrt 2007 08:03	connected	20.98	89.61	15	120	
5	auto	30 mrt 2007 08:02	connected	21.46	89.24	21	120	
12	auto	30 mrt 2007 08:03	connected	21.08	89.24	18	120	10 50 3
4	auto	30 mrt 2007 08:03	connected	21.05	89.03	21	120	
14	auto	30 mrt 2007 08:02	connected	21.45	88.36	15	120	
15	auto	30 mrt 2007 08:03	connected	21.51	87.84	18	120	
8	auto	30 mrt 2007 08:03	connected	21.97	88.26	18	60	

Auto Manual
 Interval: 120 seconds
 Fan time: 3 seconds

Update | COM3 | Disconnect
 Clear GreenNodes
 Clear Repeaters

SOWNet technologies

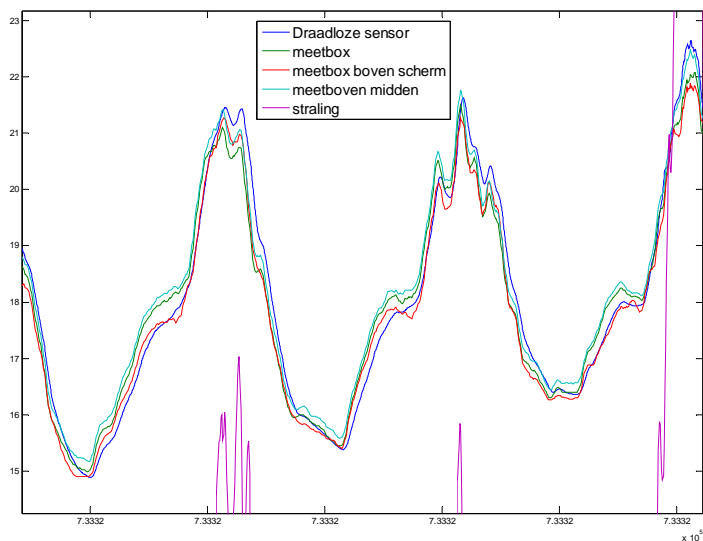
Figuur 31 Scherm waarop de status van de sensoren zichtbaar is

De sensoren zijn in een klimaatcel geplaatst. Het setpoint RV en temperatuur van deze cel wordt in de tijd gevarieerd, zie figuur 2 en 3. De figuren beslaag 6 dagen van woensdag 28 maart 0:00 tot en met maandag 2 april 23:59. Onderstaande tabel laat de gemeten temperatuur door de verschillende sensoren zien terwijl deze in een klimaatkamer hingen.

Tabel 3 *Gemiddelde temperatuurmetingen en relatieve luchtvochtigheid en de afwijking van het gemiddelde van de verschillende meetboxen bij een specifieke temperatuur voor 109 waarnemingen bij een vaste temperatuur en luchtvochtigheid.*

Sensor nr.	Temperatuur	Afwijking	RV	Afwijking	Afwijking
Meetbox		24.82	-0.05	0	0
1	24.61	-0.26		55	1
2	24.47	-0.4		54.75	0.75
3	24.62	-0.25		54.73	0.74
4	24.73	-0.14		54.12	0.12
5	24.54	-0.33		54.61	0.62
6	24.65	-0.22		54.64	0.64
7	24.67	-0.2		54.73	0.73
8	24.61	-0.26		54.84	0.84
9	24.72	-0.14		54.39	0.39
10	24.69	-0.18		54.46	0.46
11	24.65	-0.22		54.59	0.59
12	24.94	0.07		54.45	0.45
13	24.6	-0.27		54.86	0.86
14	24.67	-0.2		54.81	0.81
15	24.6	-0.27		54.82	0.82
16	24.81	-0.06		54.43	0.43
17	24.9	0.03		54.06	0.07
18	24.82	-0.04		54.09	0.09
19	24.9	0.03		53.58	-0.42
20	24.88	0.01		54.6	0.6
21	24.76	-0.11		53.91	-0.08
22	24.95	0.08		53.29	-0.71
23	24.74	-0.13		54.01	0.01
24	24.82	-0.05		54.28	0.28
25	24.79	-0.08		53.15	-0.85
26	24.99	0.13		54.23	0.23
27	25.24	0.37		53.2	-0.79
28	24.96	0.09		52.89	-1.11
29	24.96	0.09		53.84	-0.16
30	24.87	0.01		53.89	-0.11
31	24.99	0.12		53.71	-0.29
32	25.11	0.25		53.78	-0.22
33	25.03	0.17		52.34	-1.66
34	24.82	-0.05		53.05	-0.95
35	24.95	0.08		53.65	-0.35
36	24.96	0.09		54.95	0.95
37	24.94	0.07		53.42	-0.57
38	24.98	0.11		53.7	-0.3
39	24.99	0.12		53.39	-0.61
40	24.97	0.1		53.82	-0.18
41	24.81	-0.06		53.69	-0.3
42	24.91	0.05		53.49	-0.51
43	25.08	0.21		52.35	-1.65
44	24.92	0.05		53.41	-0.59
45	25	0.13		53.54	-0.45
46	25.02	0.15		54.36	0.37
47	25.03	0.16		53.53	-0.47
48	25.05	0.19		53.65	-0.35
49	25.05	0.18		53.59	-0.41
50	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
51	24.84	-0.03		54.39	0.39
52	24.84	-0.03		54.09	0.09
53	25.23	0.37		53.37	-0.62
54	25.02	0.15		54.44	0.44
55	24.93	0.06		53.78	-0.21
56	25	0.13		54.04	0.04
57	24.94	0.08		54.06	0.07
58	24.92	0.06		54.38	0.38
59	24.84	-0.02		54.56	0.56
60	24.85	-0.02		54.13	0.13

De onderlinge afwijking tussen de verschillende meetboxen is kleiner dan 0.4 K.

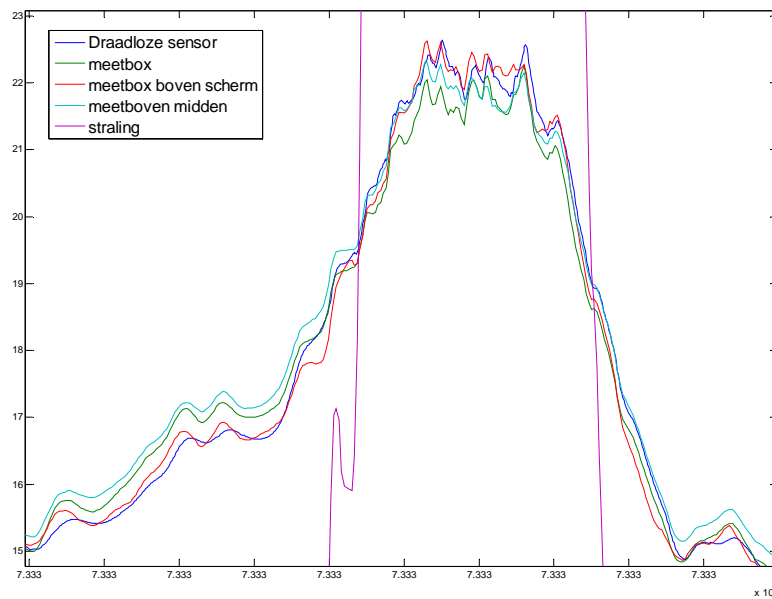


Figuur 32 *Temperatuur van de verschillende meetboxen zoals te zien in figuur en van de draadloze sensor op dagen met relatief weinig straling (<170 W/m²).*

Bovenstaande figuur laat de vergelijking zien tussen de temperatuur gemeten door de drie meetboxen en een draadloze sensor die direct in de buurt van deze meetboxen is geplaatst (zie onderstaande foto). De temperatuurverschillen zijn minder dan 0.5 K.

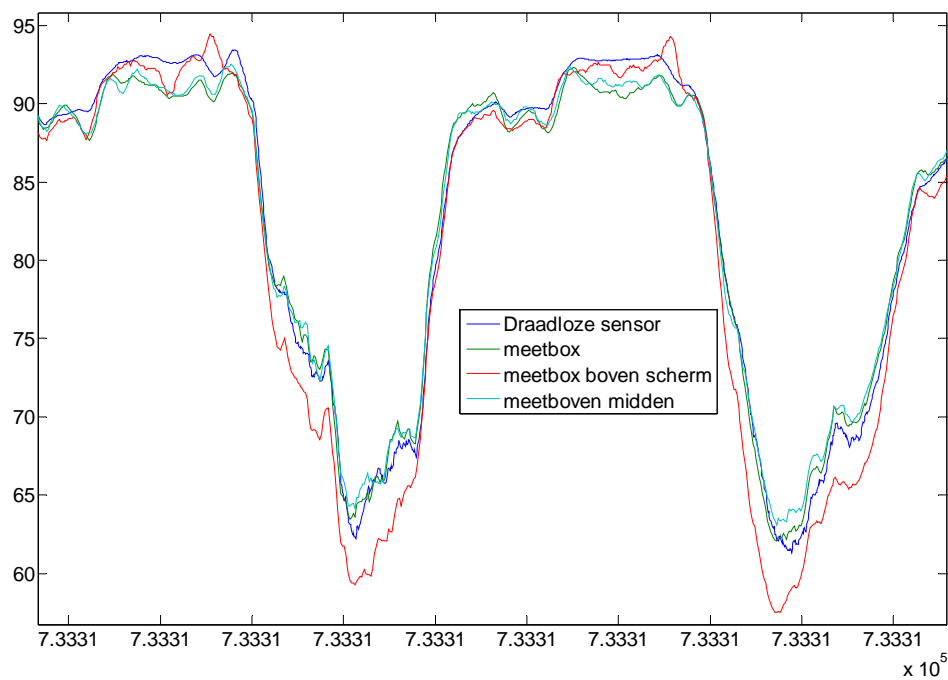


Figuur 33 *Foto van de meetboxen, de "meetbox midden" en de draadloze sensor.*



Figuur 34 Temperaturen op een dag met veel straling (700 W/m²).

De draadloze sensor wordt gedurende periodes van hoge straling 0.5 K warmer dan de meetboxen. Om deze reden is besloten een extra afscherming op de meetboxen te installeren voor de metingen in het voorjaar van 2008. Ook de uitstraling naar het dek wordt minder door deze afscherming.



Figuur 35 Relatieve luchtvochtigheid gemeten door de verschillende meetboxen en de draadloze sensor nabij de "meetbox" en "meetbox midden"

Bovenstaande figuur laat zien dat relatieve luchtvochtigheid metingen van de draadloze sensor ook onder kascondities de goed overeenkomen met de meetboxen.

Bijlage 3. Ventilatoren

20-01-2007 10:43 VAN-HOLLAND HEATER DE LIER +31 174518021 T-938 P.001/001 F-374
 18/01/2005 16:03 0474611958 FMV PAGE 08/15

FMV

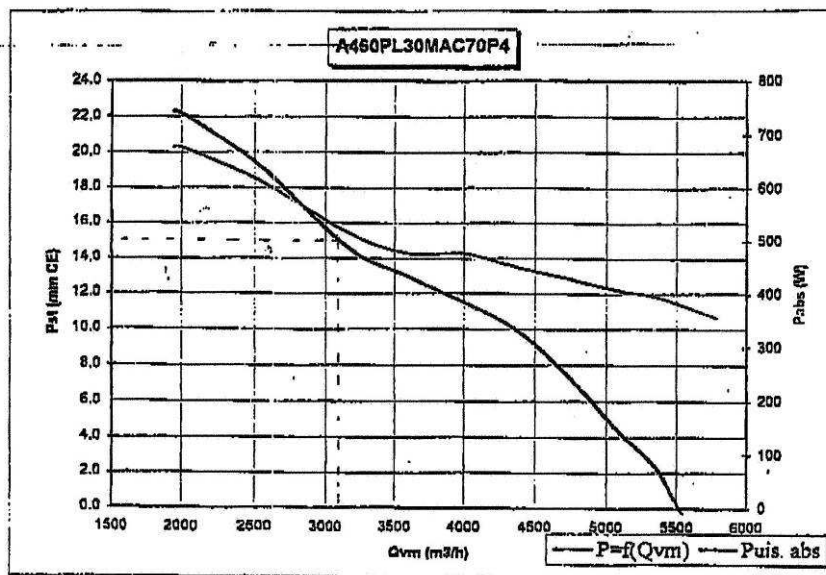
VENTILATEUR : A450PL30MAC70P4 Date : 5.12.88
 STATOR : PR 90 en 63 /100 AX 120 en 53 /100 Essai : 87-1
 ROTOR : 70.4 anneaux 2+2

CONDITION DE L'ESSAI :
 Caisson : C1200 Diaphragme caisson : 420 + 0
 Temp. debut d'essai : 20 °C Diaphragme tuyere : 300 mm
 Frequence d'essai : 50 Hz Temps d'etablissement regime : 0 mn 15 s
 Tension d'essai : 220 V Pression atmospherique : 761.5 mm.Hg
 Condensateur : 10. uF

ESSAI EN CHARGE :
 114 Pa 40 dPa tempé 65.3 dBA

Point n°	U Volts	It Amp	Pt Watt	Uc Volts	N /min	Qvm m³/h	dPst mm CE)
4	220	1.81	355	390	1425	5786	-3.3
5	220	1.9	380	386	1410	5514	0.0
6	220	1.96	394	380	1410	5349	2.3
7	220	2.02	406	373	1410	5099	4.3
8	220	2.11	428	368	1395	4737	7.4
9	220	2.2	449	361	1380	4374	9.9
10	220	2.34	475	350	1380	4006	11.5
11	220	2.34	476	349	1365	3592	13.0
12	220	2.52	515	337	1350	3151	14.6
13	220	3.01	618	307	1275	2493	19.5
14	220	3.31	677	283	1215	1981	22.3
15	220	3.28	676	288	1230	1946	22.3

07/07/1998
 0317-423110
 Lau. Jonke Campen
 Deze ventilator komt het dichtst bij de gevraagde waarden.
 m u g
 M.S. van Leeuwen



A450PL30.M

B14

0317423110 29. JAN. 2007 10:44 ONTVANGEN VAN: +31174518021 #2543-001

Figuur 36 Karakteristiek van de ventilatoren.

Bovenstaande figuur laat de karakteristiek zien van de ventilatoren zoals gebruikt in het praktijkexperiment.

Bijlage 4. Uitvoering luchtslang

De luchtstroom uit de gaatjes wordt bepaald door de druk bij dit gat:

$$\phi = 0.66A \left(\frac{2P}{\rho} \right)^{1/2}$$

Waarbij A het oppervlak van het gat is en ρ de dichtheid van de lucht. De druk P in de slang die bepaald hoeveel lucht er uit de gaatjes stroomt wordt bepaald door de statische druk min de dynamische druk

$$P = P_{stat} - 0.5\rho v^2$$

Waarbij v de lichtsnelheid in de slang is. De statische druk P_{stat} neemt af door de weerstand in de slang:

$$P_{stat} = P_{stat,o} - P_w$$

$$P_w = \frac{WL}{D} \cdot 0.5\rho v^2$$

met

$$W = \frac{64}{Re} \quad Re < 2300$$

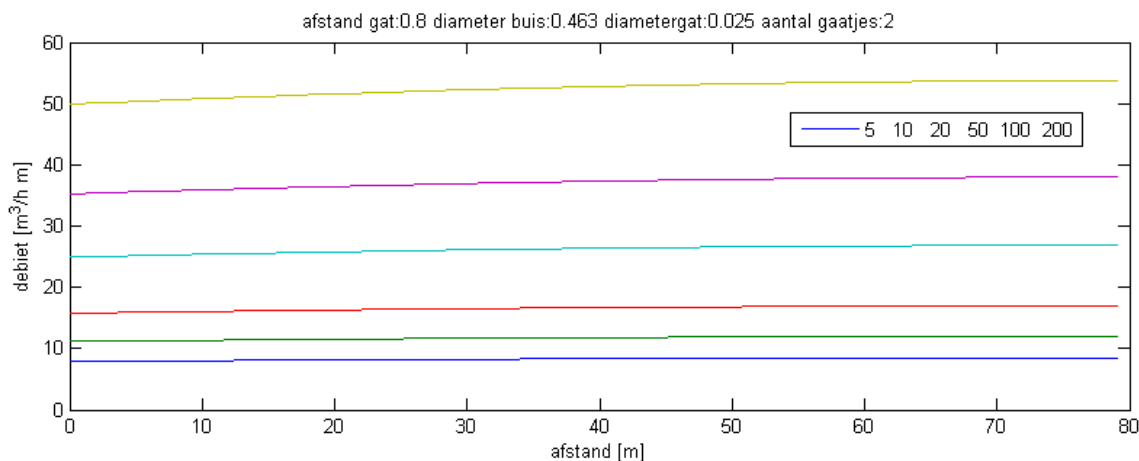
$$W = 0.5 \left(\frac{64}{Re} + \frac{0.316}{Re^{1/4}} \right) \quad 2300 < Re < 4000$$

$$W = \frac{0.316}{Re} \quad Re > 4000$$

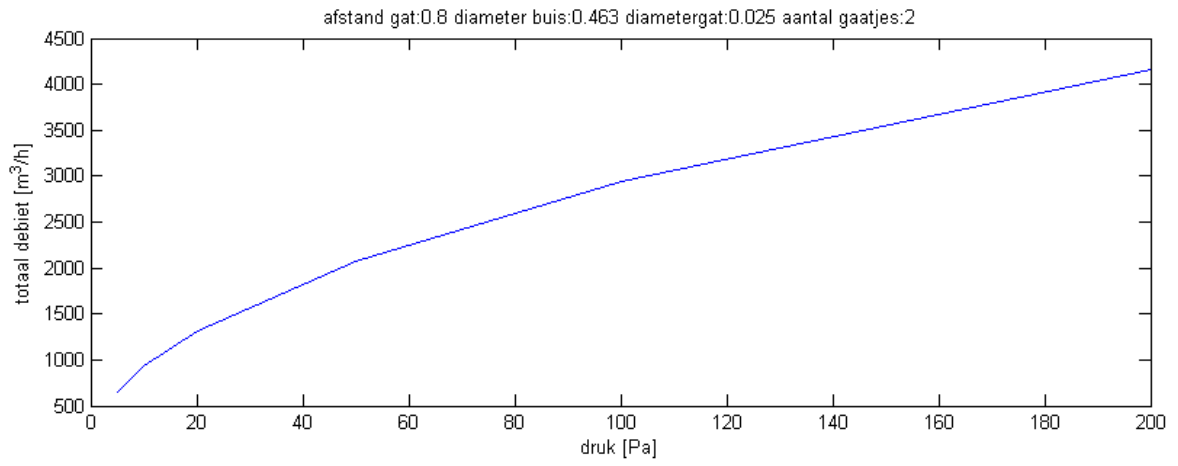
met

$$Re = \frac{vD}{\eta}$$

Middels een iteratief proces kan vervolgens bij elk gat de lichtsnelheid in de slang en de druk bij het gat worden bepaald als gevolg van een specifieke startdruk.

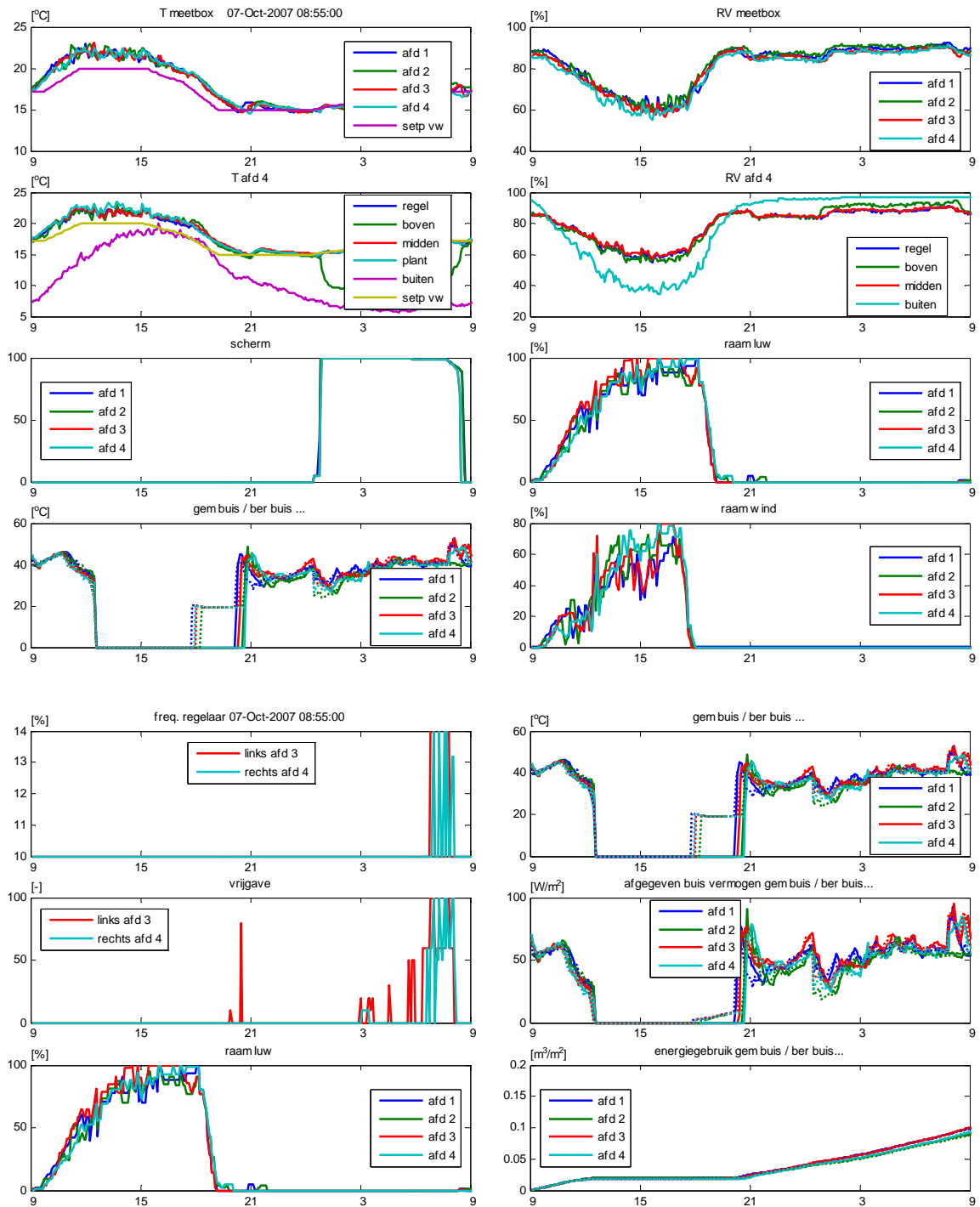


Figuur 37 De uitstroom bij de verschillende gaten over de gehele lengte van de slang bij verschillende initiële drukken.

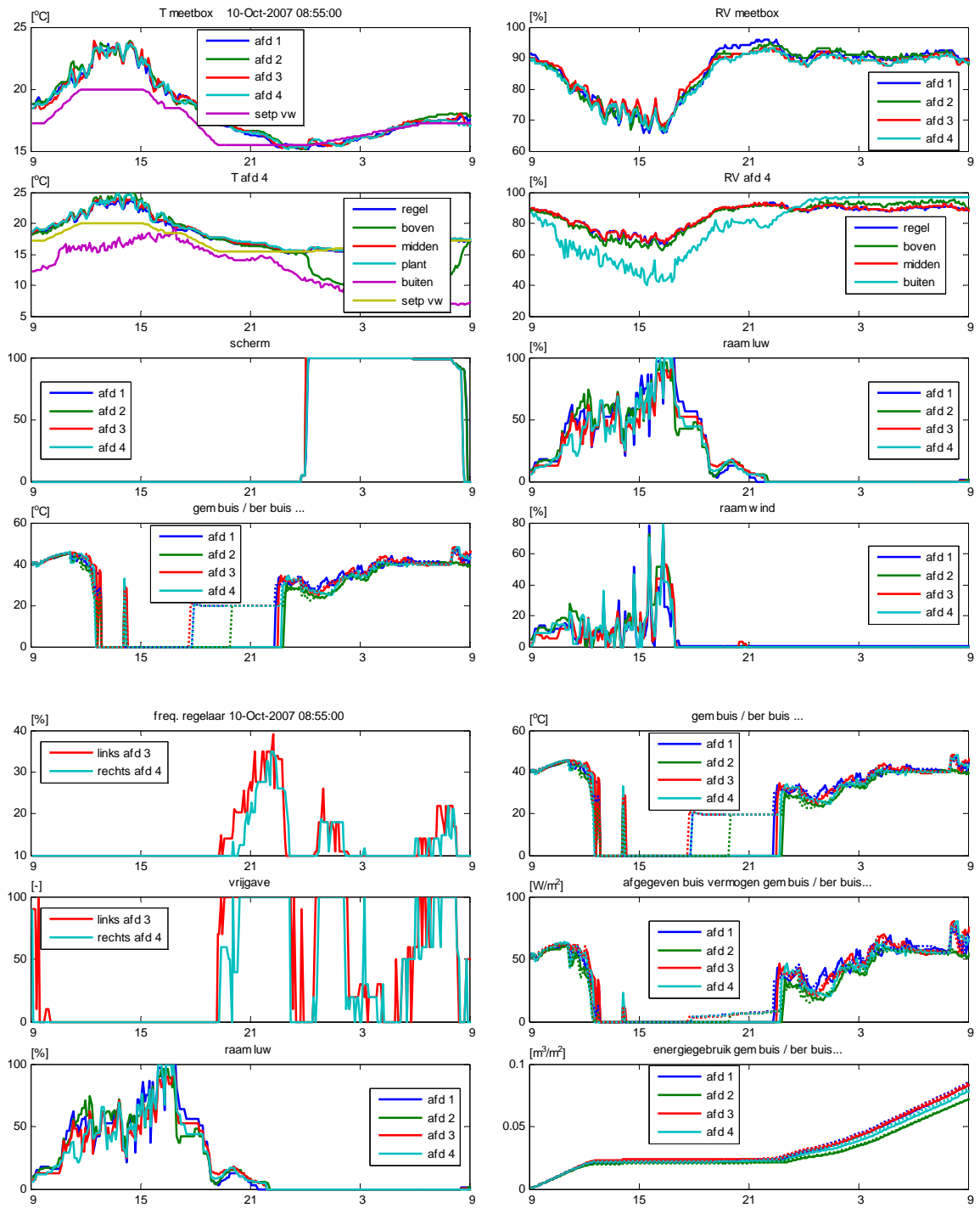


Figuur 38 *Het totale luchtdebiet als functie van initiële druk.*

Bijlage 5. Klimaatgegevens meetdagen

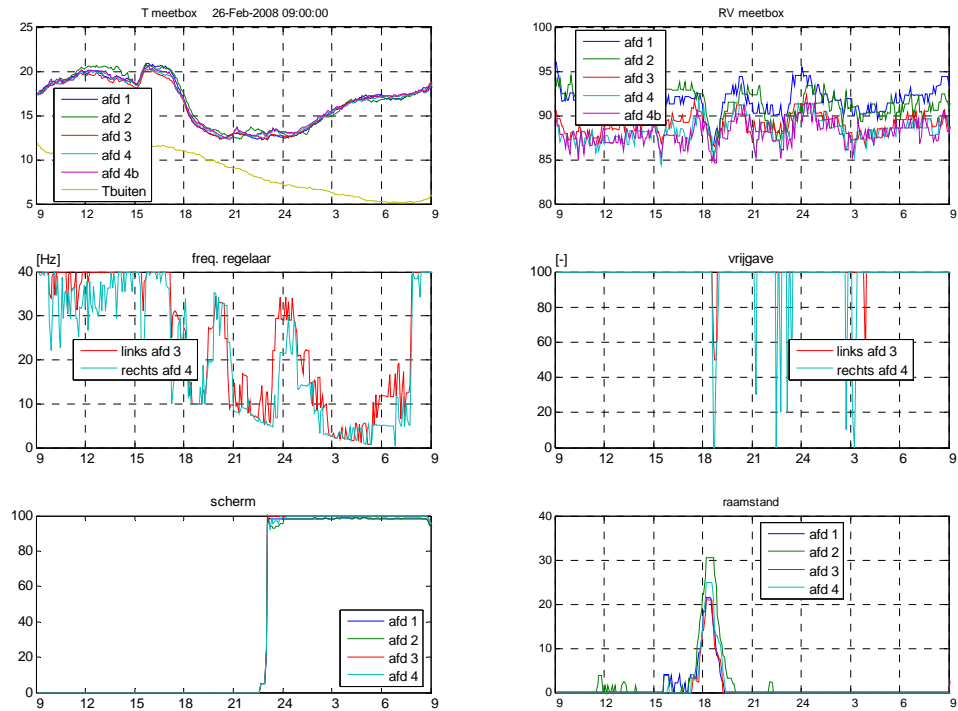


Figuur 39 Klimaatgegevens van 7 oktober 9:00 tot 8 oktober 9:00

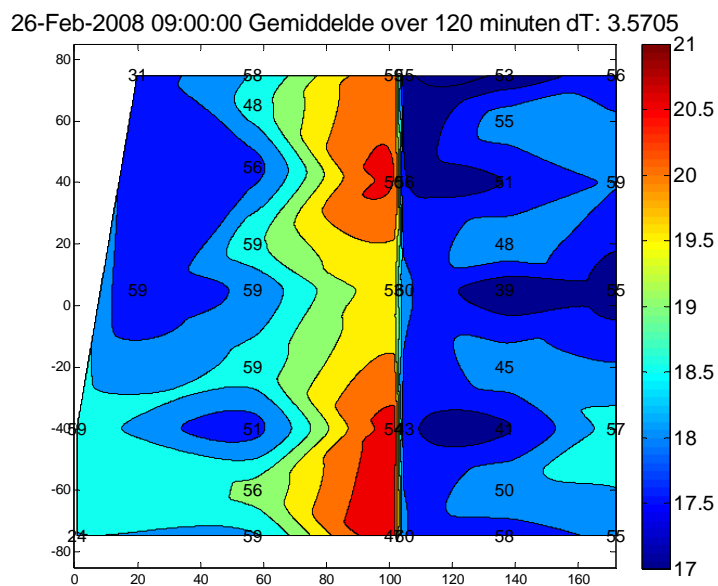


Figuur 40 Klimaatgegevens van 10 oktober 9:00 tot 11 oktober 9:00

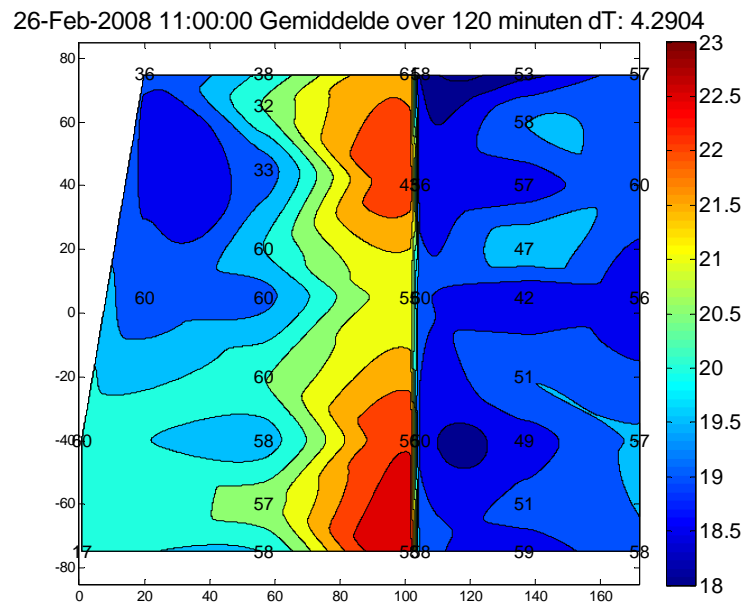
Bijlage 6. Werking van het systeem op het moment dat de energieschermen open zijn



Figuur 41 *Temperatuur, relatieve luchtvochtigheid in de verschillende afdelingen, frequentie van de ventilatoren, vrijgave van de ventilatoren, schermstand en raamstand van 26 feb 2008 9:00 tot 27 feb 2008 9:00.*

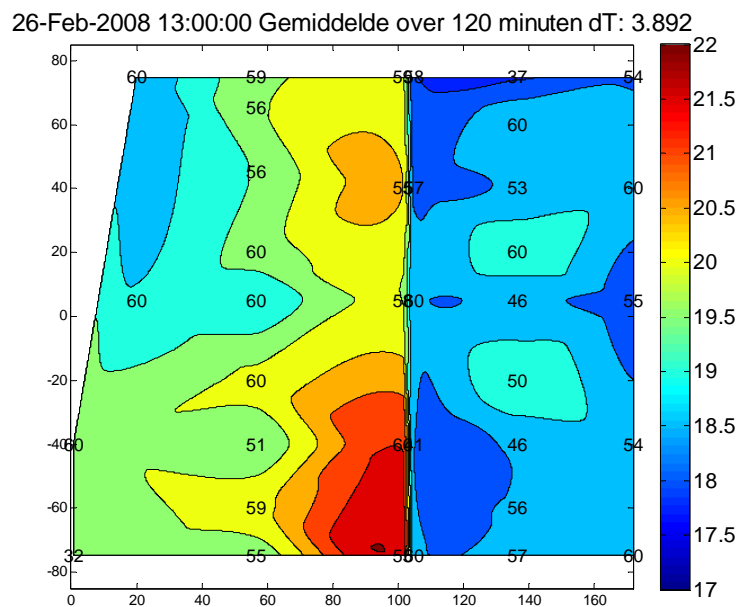


Figuur 42 *Temperatuurverdeling op het moment dat de energieschermen zijn geopend en het systeem wordt ingezet om de luchtvochtigheid te beperken van 9:00 tot 11:00 op 26 februari 2008*

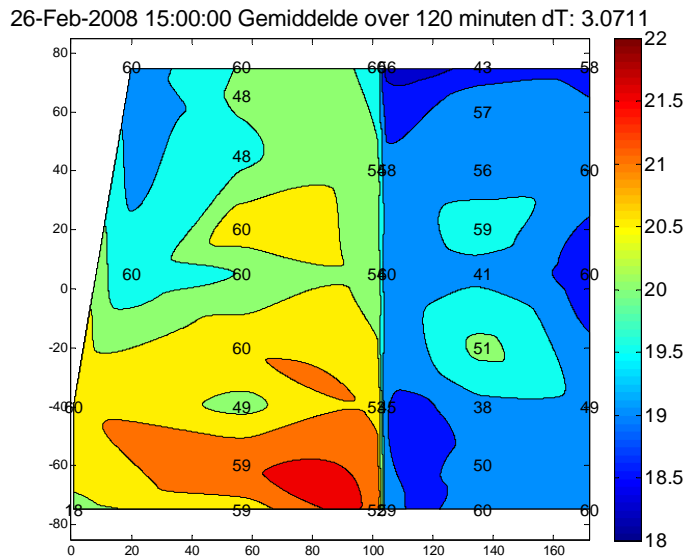


Figuur 43 *Temperatuurverdeling op het moment dat de energieschermen zijn geopend en het systeem wordt ingezet om de luchtvochtigheid te beperken van 11:00 tot 13:00 op 26 februari 2008*

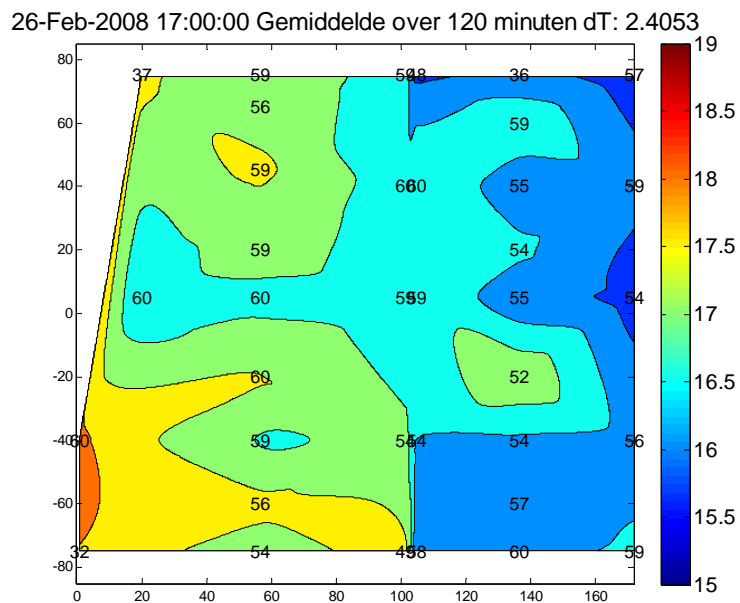
Bovenstaande figuur laat zien dat de temperatuurverschillen in de referentieafdeling (links) veel groter zijn dan in de kas waar het systeem is geïnstalleerd en waar het systeem op 40Hz draait om het vocht af te voeren. In de referentieafdeling staan de ramen op een kleine kier (3%) om het vocht af te voeren.



Figuur 44 *Temperatuurverdeling op het moment dat de energieschermen zijn geopend en het systeem wordt ingezet om de luchtvochtigheid te beperken van 13:00 tot 15:00 op 26 februari 2008*

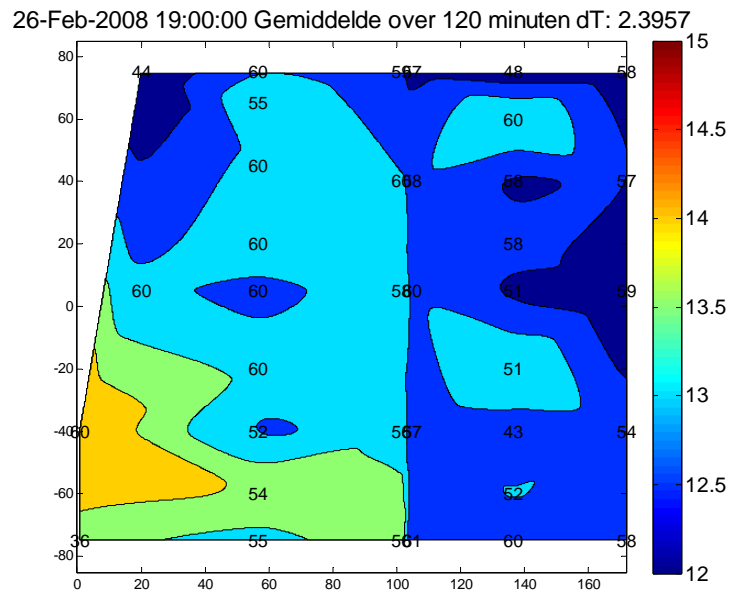


Figuur 45 *Temperatuurverdeling op het moment dat de energieschermen zijn geopend en het systeem wordt ingezet om de luchtvochtigheid te beperken van 13:00 tot 15:00 op 26 februari 2008*

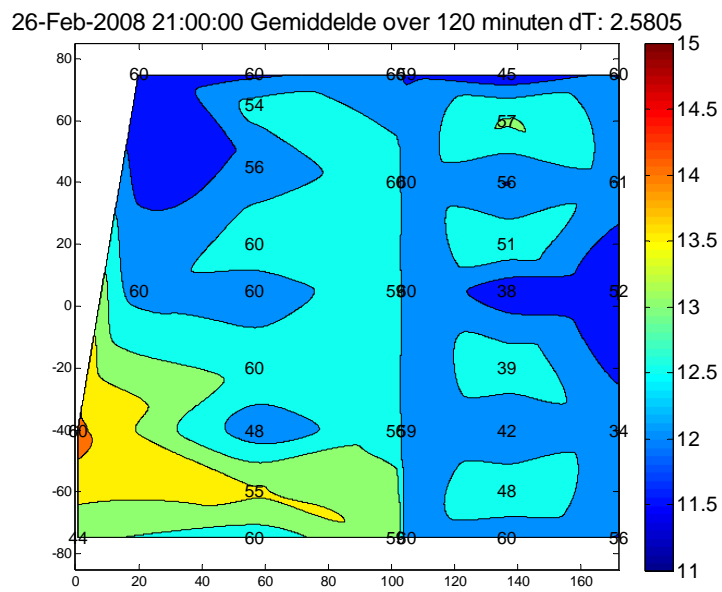


Figuur 46 *Temperatuurverdeling op het moment dat de energieschermen zijn geopend en het systeem wordt ingezet om de luchtvochtigheid te beperken van 17:00 tot 19:00 op 26 februari 2008*

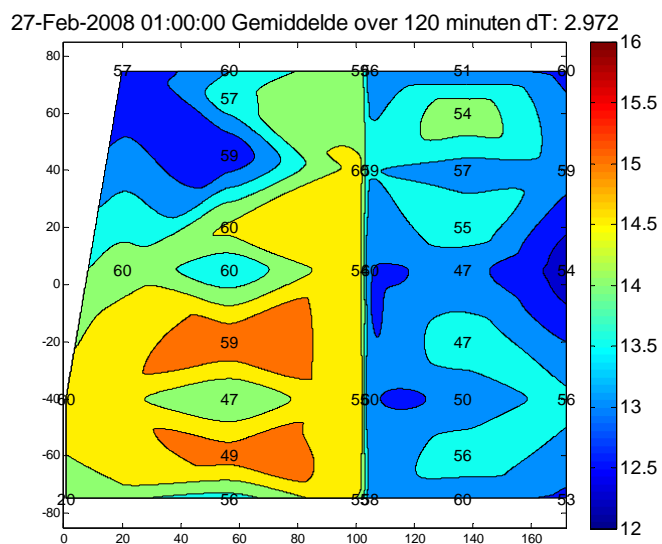
Bovenstaande figuur laat de situatie zien waarbij de ramen verder openstaan (30% in referentie en 20% in experimentele kas), de temperatuurverschillen worden daardoor minder.



Figuur 47 *Temperatuurverdeling op het moment dat de energieschermen zijn geopend en het systeem wordt ingezet om de luchtvochtigheid te beperken van 19:00 tot 21:00 op 26 februari 2008*



Figuur 48 *Temperatuurverdeling op het moment dat de energieschermen zijn geopend en het systeem wordt ingezet om de luchtvochtigheid te beperken van 21:00 tot 23:00 op 26 februari 2008*

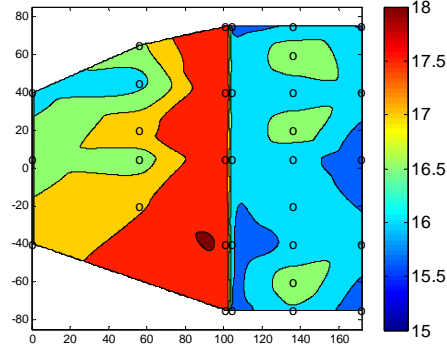


Figuur 49 *Temperatuurverdeling op het moment dat de energieschermen zijn geopend en het systeem wordt ingezet om de luchtvochtigheid te beperken van 13:00 tot 15:00 op 26 februari 2008*

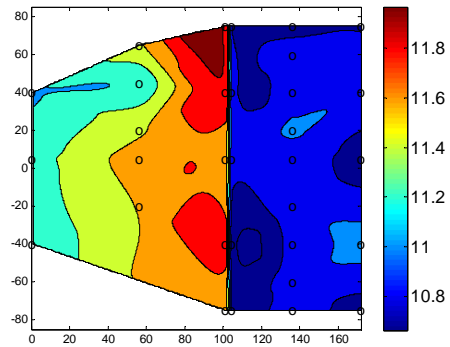
Bijlage 7. Temperatuurverdeling tijdens schermen

Onderstaande figuren laten de gemiddelde temperatuur en absolute luchtvochtigheidverdeling op verschillende dagen gedurende het experiment zien. Het gemiddelde van deze dag is gebaseerd op de waarden op het moment dat het scherm gesloten is. Bovenaan de figuren staat de periode waarover het gemiddelde is berekend en het grootste verschil in temperatuur en absoluut vocht. De x-waardes van 0 tot 100 geeft de verdeling in de referentie kas weer de rest is voor de experimentele kas.

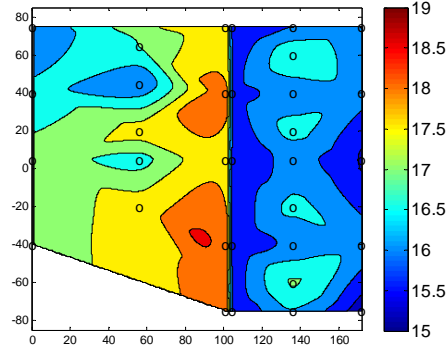
22-Feb-2008 09:00:00 - 23-Feb-2008 09:00:00 dT: 2.3325



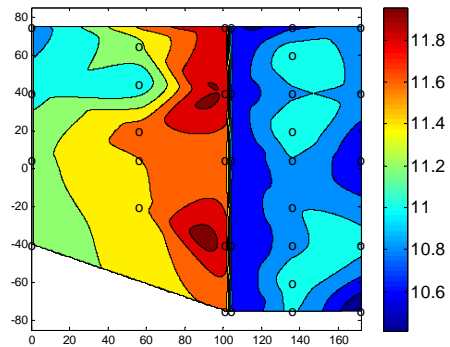
dx: 1.3024



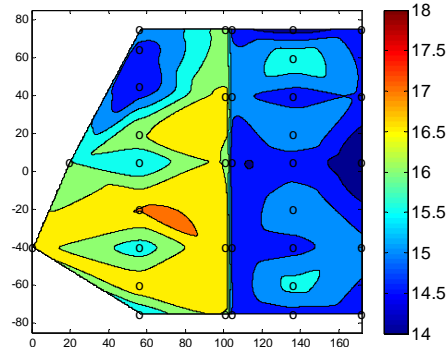
24-Feb-2008 09:00:00 - 25-Feb-2008 09:00:00 dT: 2.9072



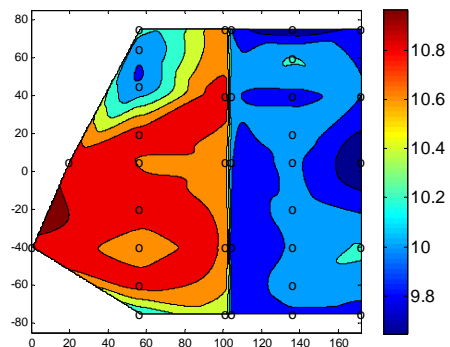
dx: 1.5435



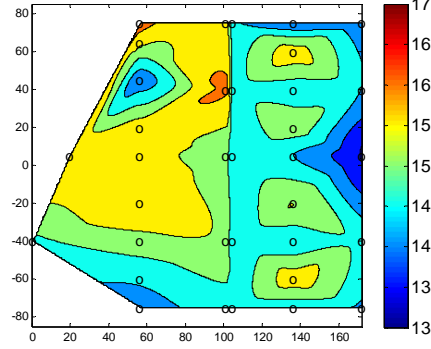
26-Feb-2008 09:00:00 - 27-Feb-2008 09:00:00 dT: 2.9439



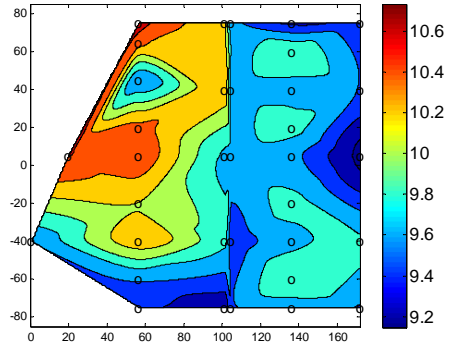
dx: 1.3173



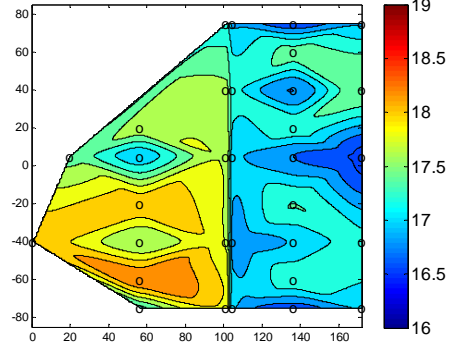
27-Feb-2008 09:00:00 - 28-Feb-2008 09:00:00 dT: 2.9515



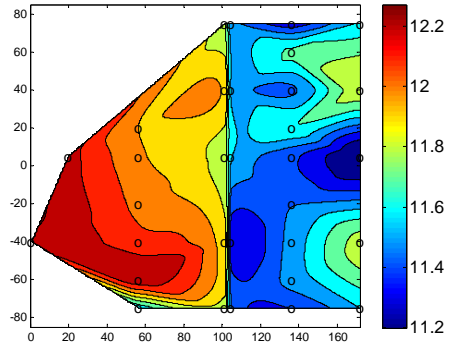
dx: 1.5866



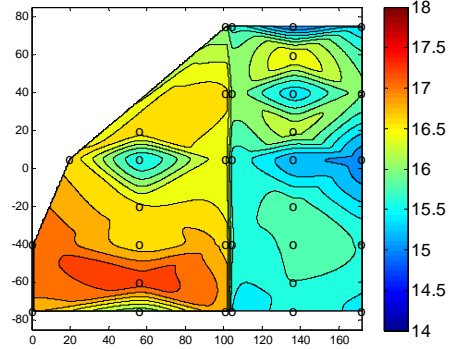
28-Feb-2008 09:00:00 - 29-Feb-2008 09:00:00 dT: 1.826



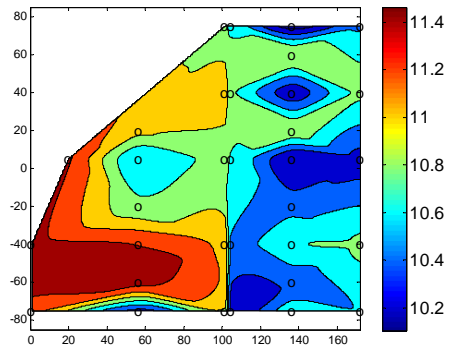
dx: 1.0739



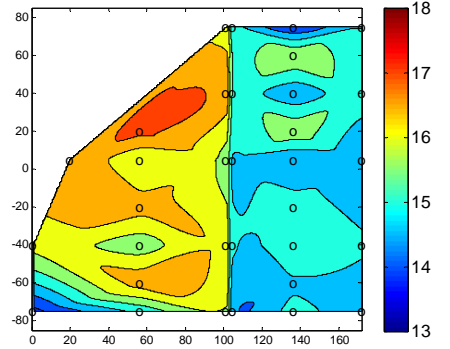
02-Mar-2008 09:00:00 - 03-Mar-2008 09:00:00 dT: 2.286



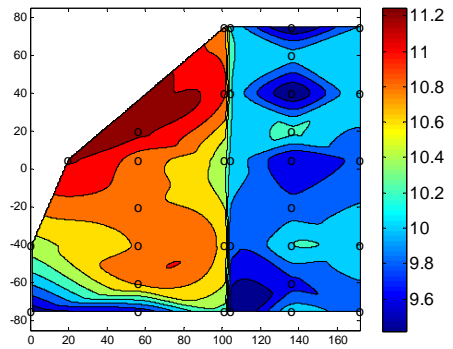
dx: 1.3586



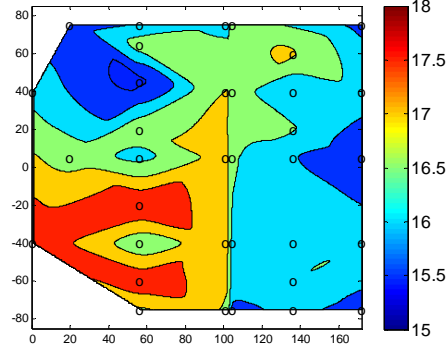
03-Mar-2008 09:00:00 - 04-Mar-2008 09:00:00 dT: 3.2479



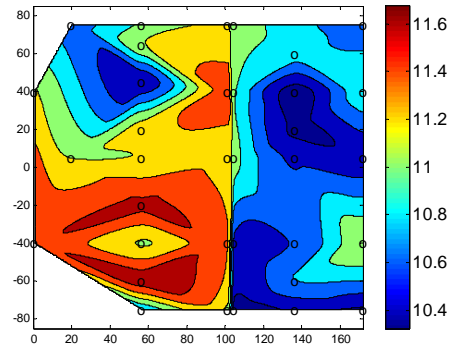
dx: 1.8282



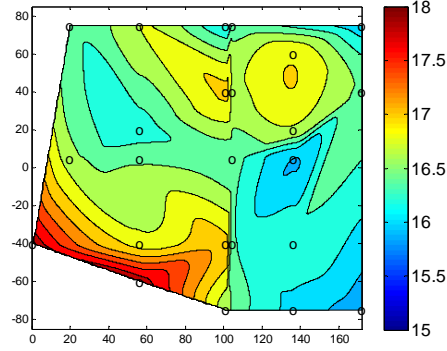
14-Mar-2008 09:00:00 - 15-Mar-2008 09:00:00 dT: 2.3566



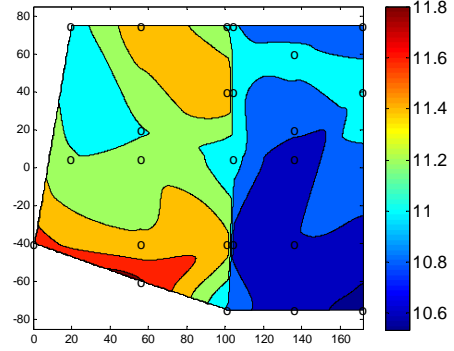
dx: 1.3537



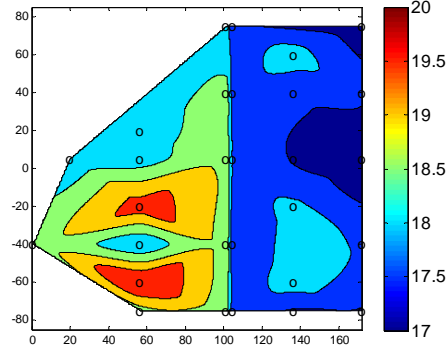
18-Mar-2008 09:00:00 - 19-Mar-2008 09:00:00 dT: 2.0796



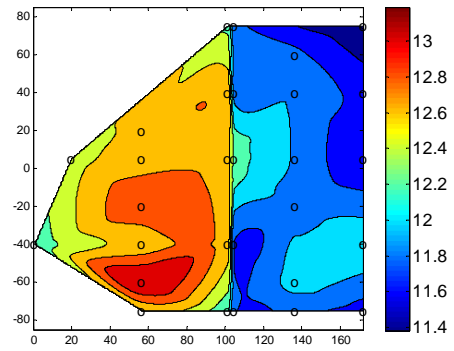
dx: 1.2701



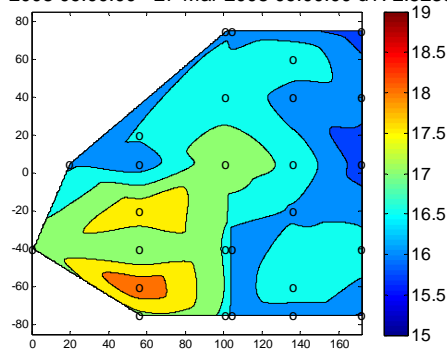
25-Mar-2008 09:00:00 - 26-Mar-2008 09:00:00 dT: 2.8582



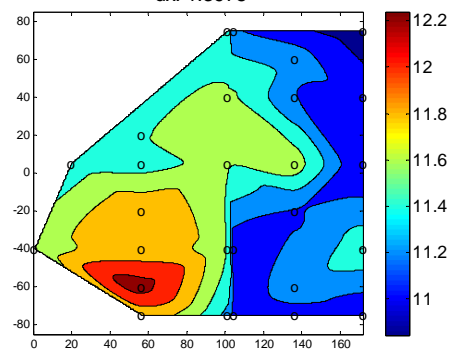
dx: 1.805



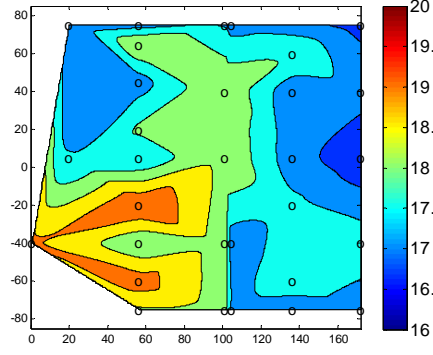
26-Mar-2008 09:00:00 - 27-Mar-2008 09:00:00 dT: 2.5236



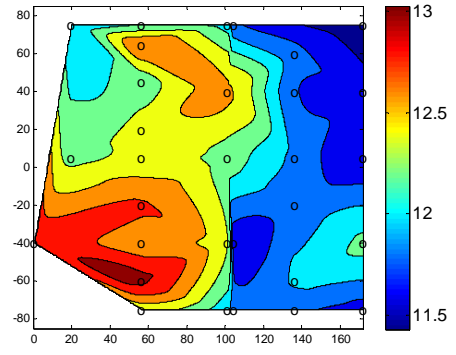
dx: 1.3975



28-Mar-2008 09:00:00 - 29-Mar-2008 09:00:00 dT: 2.6014



dx: 1.5954



Bijlage 8. Partners in het project

Klimaatcomputerleverancier:



HOOGENDOORN

Hoogendoorn grown management
Contactpersonen: Jan Voogt en Edwin Rijpsma
Westlandseweg 190
3131HX Vlaardingen
www.hoogendoorn.nl

Leverancier van de ventilatoren:



W O R L D W I D E

Holland Heater De Lier B.V.
Contactpersoon: Marcel van Leeuwen
Oud Camp 5
3155 DL Maasland
www.hollandheater.nl
Installateur:



B-E De Lier b.v.
Contactpersoon: Wil Roodbeen
Merenweg 16
2665ZG Bleiswijk
www.b-edelier.nl