



# Het nieuwe telen biologisch

Monitoring van een energiezuinige biologische vruchtgroententeelt bij  
BioVerbeek

Marcel Raaphorst



### **Referaat**

Op een biologisch glastuinbouwbedrijf wordt de luchtvochtigheid beheerst door opgewarmde buitenlucht via slurven tussen het gewas te blazen. Na 2 jaar monitoring is gebleken dat het hiermee mogelijk is om intensiever te schermen en meer dan 20% op de warmtevraag besparen. Een deel van deze besparing is te danken aan regain units. Mede dankzij het diffuse glas in het kasdek is de productie hoger dan in een vergelijkbare kas.

### **Abstract**

On an organic greenhouse the humidity is controlled by blowing warmed up outdoor air through the crop. 2 years of monitoring has shown that it is possible to use the screens more intensively and save over 20% on the heat demand. A part of these savings is due to regain units. Thanks to the diffuse glass on top of the greenhouse, the production is higher than in a comparable greenhouse.

© 2014 Wageningen, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO) onderzoeksinstituut Wageningen UR Glastuinbouw.

## **Wageningen UR Glastuinbouw**

Adres : Violierenweg 1 Bleiswijk  
: Postbus 20, 2265 ZG Bleiswijk  
Tel. : 0317-485606  
E-mail : [glastuinbouw@wur.nl](mailto:glastuinbouw@wur.nl)  
Internet : [www.glastuinbouw.wur.nl](http://www.glastuinbouw.wur.nl)

# Inhoudsopgave

	Samenvatting	5
1	Inleiding	7
	1.1 Luchtbehandelingsunits	8
	1.2 Luchtslurven	9
	1.3 Doelstelling	10
2	Metingen	11
	2.1 Gebruik van de LBU	11
	2.2 Rendement van de regain unit	12
	2.2.1 Aanpassing regain unit	12
	2.2.2 Discussie aanpassing regain unit	13
	2.2.3 Discussie terminologie "rendement"	14
	2.2.4 Afsluiter buitenlucht	14
	2.2.5 Warmteverbruik LBU's	14
	2.2.6 Rentabiliteit regain unit	15
	2.3 Capaciteit van het verwarmingselement	16
	2.4 Gebruik van de luchtramen	16
	2.5 Gebruik van de schermdoeken	17
	2.6 Temperatuurverdeling in de kas	18
	2.6.1 Meetpalen	18
	2.6.2 Draadloze meetset	20
	2.7 Luchtvochtigheid	20
	2.7.1 Vochtbeheersing	20
	2.7.2 Verticale vochtverdeling	21
	2.8 Geluid	22
	2.9 Licht	22
	2.10 Teeltresultaten	23
3	Energieverbruik	25
	3.1 Elektriciteit	25
	3.2 Warmte	26
4	Conclusies en aanbevelingen	29
	4.1 Conclusies	29
	4.2 Aanbevelingen	29
5	Referenties	31
Bijlage I	Meting luchtslurven	33
Bijlage II	Test verwarmingselementen	37
Bijlage III	Temperatuurverdeling	39
Bijlage IV	Hoe energiezuinig om te gaan met klimaatinstellingen	41



# Samenvatting

Bij BioVerbeek te Velden (L) is in 2011 een nieuwe kas gebouwd met o.a. diffuus glasdek en met luchtbehandelingsunits, geschikt voor een grondgebonden vruchtgroententeelt. De luchtbehandelingsunits (LBU) zijn bedoeld om de kaslucht onder een dubbel schermdoek voldoende droog te kunnen houden (Het Nieuwe Telen). De isolatie van de schermdoeken in combinatie met warmteterugwinning uit de uitgaande kaslucht (regain unit) moeten leiden tot meer dan 10 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jaar besparing aan aardgasequivalenten voor de verwarming van de kas. Met financiering van het programma Kas als Energiebron heeft Wageningen UR het gebruik van deze moderne kas gedurende twee jaar gemonitord.

Bij aanvang van het gebruik, kwamen enkele mankementen naar voren. In de LBU's bleek de regain unit een lager rendement te hebben (50% in plaats van 80%) en de naverwarming een lager verwarmend vermogen te hebben (20 in plaats van 28 kW<sub>th</sub>) dan van tevoren berekend. Het gevolg daarvan was dat de lucht die via slurven in het gewas werd geblazen, soms kouder was dan de kaslucht. Om dit te voorkomen moest de naverwarmer met een zeer hoge aanvoertemperatuur worden gevoed, terwijl de aanvoerleiding hiervan niet geïsoleerd was. Het gevolg hiervan was een zeer matige temperatuurverdeling in de kas. In overleg met de leverancier is de aanvoerleiding geïsoleerd en is de LBU aangepast door de luchtstroming anders te geleiden, zodat het kruisstroomprincipe werd omgebogen in de richting van een tegenstroomprincipe. Dit heeft het rendement van de regain unit verhoogd naar 61% en kon de slurftemperatuur op peil worden gehouden.

Uiteindelijk heeft Het Nieuwe Telen bij BioVerbeek iets minder energiebesparing gegeven dan van tevoren gehoopt. De besparing op verwarming was naar schatting 9 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jaar ten opzichte van een vergelijkbare kas, waarvan 2,9 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> is te verklaren door het terugwinnen van warmte vanuit de regain unit. De regain unit is hiermee rendabel bij een meerinvestering van minder dan 3,50 €/m<sup>2</sup> ten opzichte van de investering in een inblaassysteem met naverwarmde buitenlucht. De overige besparing is veelal het gevolg van intensiever schermen. De ventilatoren voor de LBU's vergden 3,3 kWh/m<sup>2</sup>.jaar aan elektriciteit.

Het temperatuurverschil tussen twee meetpalen verdeeld over de lengterichting van de luchtsturven is over het jaar gemiddeld zeer klein, maar kan tijdelijk groot zijn, zodat dan risico op condensatie ontstaat. Het realiseren van overdruk in de kas blijkt hiermee geen garantie voor een goede temperatuurverdeling.

De productie in de nieuwe kas was hoger dan in een vergelijkbare oudere kas. Dit zal mede te danken zijn aan het diffuse glas in het kasdek.



# 1 Inleiding

Het Nieuwe Telen (HNT) is een verzamelnaam voor maatregelen voor een energiezuinige glastuinbouw. Een belangrijk onderdeel van HNT is het intensieve gebruik van (meerdere) schermen, waarbij de luchtvochtigheid wordt beheerst met ingeblazen buitenlucht. Het beheersen van de luchtvochtigheid kan zeker voor biologische vruchtgroentenbedrijven een groot voordeel zijn omdat deze nauwelijks over correctiemiddelen tegen schimmelziekten beschikken. Bovendien is de energiebesparing voor biologische bedrijven van belang voor het behoud van een milieuvriendelijk imago.

In een proefkas in Bleiswijk [de Gelder *et al.* 2010] is door de combinatie van het inblazen van buitenlucht en intensiever schermen 18% energiebesparing bij een grondgebonden tomatenteelt behaald ten opzichte van KWIN [Vermeulen, 2008]. In een vervolproef [de Gelder *et al.* 2011] is met een dergelijk systeem zelfs 25% minder warmte-gebruik bereikt bij een lagere luchtvochtigheid.

Het inblazen van droge lucht onder in het gewas is een uitdaging voor de een biologische en dus grondgebonden bedrijven. Er is immers weinig ruimte tussen het gewas en bij langere paden is vaak een grotere diameter luchtslurf nodig. Bij het bedrijf BiJo is deze uitdaging aangegaan door hijsbare luchtslurven in de looppaden te hangen [Raaphorst, 2011]. Bij het bedrijf GreenShield is gekozen voor luchtslurven boven het gewas, waarbij de ingeblazen lucht via nivolutoren door het gewas wordt verspreid [Boonekamp, 2011].

Het bedrijf BioVerbeek te Velden produceert sinds 1998 biologische glasgroenten op het bedrijf Dreej Morges (1,8 ha), waarna snel uitbreiding plaatsvond bij 't Fensland en Metjeskamp (beide 3 ha). In 2011 is de kas van Dreej Morges in twee fasen vervangen voor een nieuwe kas van  $\pm 4$  ha, genaamd Tusse de Waeg. Deze nieuwe kas wijkt af van standaard kassen vanwege de volgende voorzieningen:

- diffuus kasdek (Vetrasol 503: lichttransmissie loodrecht 92,1%, LT hemisferisch 79,6%, haze 68%)
- inblaas van buitenlucht ( $\pm 5$  m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.uur) via 32 cm diameter luchtslurven en regain unit en verwarmingsblok
- dubbele scherminstallatie (H2NO (onder) + XLS17 (boven))
- dubbele groeibuis (forcas 28 mm)
- paden van 1,78 m breed
- poothoogte van 5,8 meter



Figuur 1. Luchtslurf tussen het komkommersgewas, daarboven een aparte CO<sub>2</sub>-darm en een dubbele groeibuis.

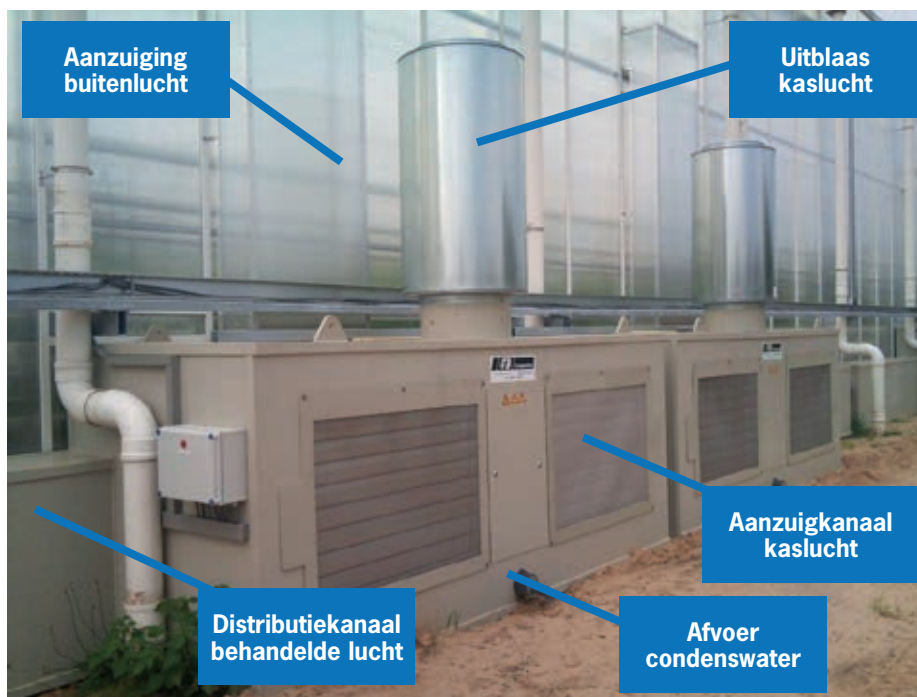
In opdracht van het programma Kas als Energiebron heeft Wageningen UR de teelten in Tusse de Waeg bij BioVerbeek gedurende twee jaar gevolgd. In dit rapport zal voornamelijk worden ingegaan op de ervaringen met het inblazen van buitenlucht met een regain unit. Over de gewaseffecten kan minder worden verteld vanwege de afwezigheid van een vergelijkbare referentie.

## 1.1 Luchtbehandelingsunits

De luchtbehandelingsunits (LBU's) zijn ontwikkeld door ITB Boxmeer. Iedere LBU kan ongeveer 7000 m<sup>3</sup>/h (1 kW<sub>e</sub> nominaal vermogen) aan buitenlucht inblazen. In de praktijk wordt echter een 20% lagere capaciteit (±5600 m<sup>3</sup>/h) gehanteerd om het elektriciteitsverbruik te beperken. De buitenlucht wordt voorverwarmd met de kaslucht die via een lucht/luchtwarmtewisselaar naar buiten wordt geblazen. Deze kaslucht wordt op ongeveer 4 meter hoogte via een afzuigkanaal in de gevel naar de LBU gezogen. De lucht/lucht warmtewisselaar bestaat uit plastic buisjes (zie Figuur 3.) waardoor aan de binnenzijde de kaslucht wordt gezogen en aan de buitenzijde de buitenlucht wordt gezogen. Na de warmtewisselaar wordt de kaslucht via een ventilator (1 kW<sub>e</sub>) in de schoorsteen naar buiten geblazen. De schoorsteen bevat een demper om de geluidsproductie beperkt te houden en een rooster met terugslagklepjes om te voorkomen dat bij stilstand van de ventilator koude buitenlucht de kas in lekt. Aangezien de kaslucht veel vocht bevat, condenseert dat vocht tijdens het afkoelen. Het condenswater wordt afgevoerd en kan worden hergebruikt voor de watergift van het gewas.

De voorverwarmde buitenlucht kan ook worden gemengd met (een regelbaar deel van) de aangezogen kaslucht. Nadat het mengsel de ventilator is gepasseerd wordt deze naverwarmd met WKK-warmte en via een distributiekanaal over de luchtslurven verdeeld.

Bij iedere twee tralies van 8 meter zorgen twee LBU's voor de aanvoer van droge buitenlucht (zie Figuur 2.). Een van deze twee tralies heeft drie luchtslurven en de andere heeft vier luchtslurven van 130 meter. Om te voorkomen dat er te grote drukverschillen tussen de slurven ontstaan, zijn de distributiekanaalen vanuit de twee LBU's met elkaar verbonden. Bij een ventilatorstand van 80% wordt 5600-6000 m<sup>3</sup> per uur geblazen. 5600/(8\*130) komt neer op 5,4 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h.



Figuur 2. Twee (gekoppelde) LBU's.



De lucht/lucht-warmtewisselaar is zodanig ontworpen dat bij 85% RV en 20 °C in de kas en 0 °C buiten, een rendement van 80% kan worden behaald. Onder een rendement van 80% wordt verstaan dat de buitenlucht in de warmtewisselaar wordt opgewarmd met 80% keer het verschil tussen de kastemperatuur en de buitentemperatuur. In dit voorbeeld zou de buitentemperatuur worden opgewarmd van 0 °C naar 16 °C. De naverwarmer zou deze lucht dan nog maar 4 °C op hoeven te warmen om isotherme (kastemperatuur van 20 °C) lucht in te blazen.

De lucht/lucht-warmtewisselaar (zie Figuur 3.) bestaat uit twee blokken van kunststof buisjes waar de uitgaande kaslucht door wordt gezogen. De ingezogen buitenlucht wordt om de buisjes heen geleid.



*Figuur 3. Geopende LBU met een deel van de lucht/lucht-warmtewisselaar en op de achtergrond de ventilator voor de aanzuiging van buitenlucht.*

Vanuit de LBU wordt de gemengde en verwarmde lucht in een distributiekanaal geblazen, waarvanuit de lucht via luchtsturven in de kas wordt verdeeld.



*Figuur 4. Bovenaanzicht doorsnede van de LBU inclusief twee warmtewisselaars (WW), een mengkamer (MK) en een distributiekanaal naar 4 luchtsturven. De groene vlakken bevatten aangezogen buitenlucht. De witte vlakken bevatten uitgezogen kaslucht. De blauwe vlakken bevatten gemengde lucht.*

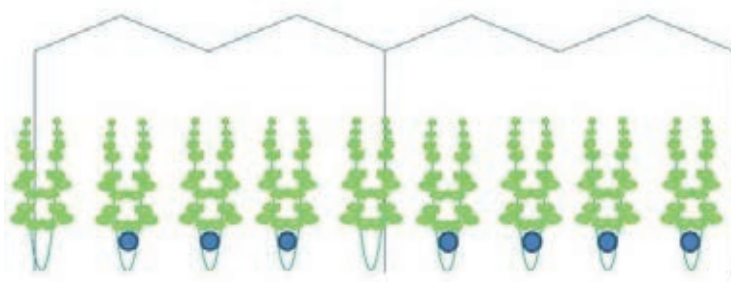
## 1.2 Luchtslurven

De luchtslurven hangen aan de onderste groeibuis en zijn via een flexibele slang verbonden aan de LBU (zie Figuur 1.). Door deze flexibiliteit is het mogelijk om de hoogte van de luchtslurf te veranderen, bijvoorbeeld tijdens een teeltwisseling naar een ander gewas. Ook vangt de flexibele slang de krimp en uitzetting van de slurf op bij temperatuurschommelingen.



*Figuur 5. Aansluiting van de luchtslurven op de LBU met flexibele slang.*

Niet iedere planrij heeft een slurf. De rijen die tegen de poot staan hebben geen slurf omdat daar te weinig ruimte voor is (zie Figuur 6.). Dat de verdeling van ingebrachte buitenlucht hiermee mogelijk minder gelijkmatig is, wordt voor lief genomen. De luchtverdeling per luchtslurf is gemeten door de druk aan het einde van iedere slurf te bepalen. Deze bleken voldoende gelijkmatig te zijn (zie Bijlage I). Wel wordt aangegeven dat een te grote buiging in de flexibele slang bij de aansluiting op de LBU, de druk in de betreffende slurf enigszins kan verlagen.



*Figuur 6. Verdeling van zeven luchtslurven tussen het gewas in twee tralies van ieder 8 meter breedte.*

### **1.3 Doelstelling**

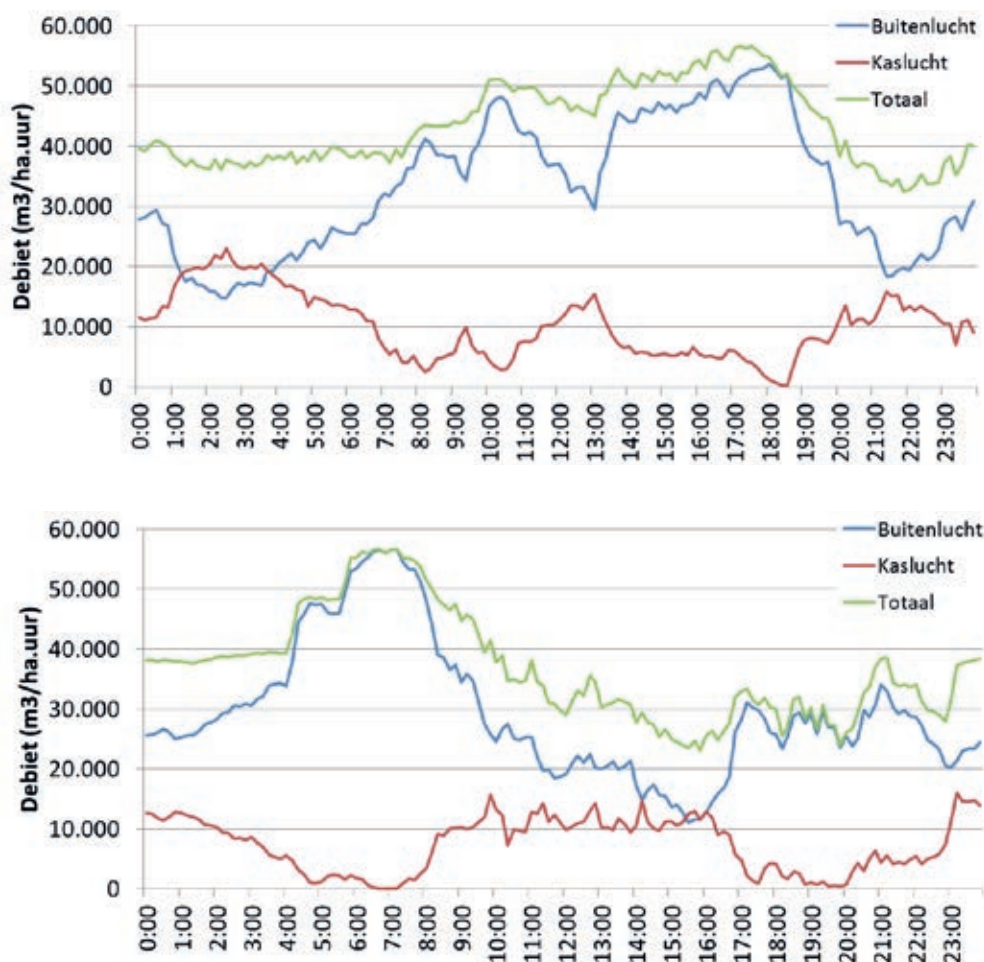
Met het nieuwe telen en met terugwinning van de warmte uit de regainunit wordt gestreefd naar een biologische tomatenteelt met een gasverbruik van  $30 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{jaar}$  waarbij het elektriciteitsverbruik beperkt blijft.

## 2 Metingen

### 2.1 Gebruik van de LBU

Via de LBU's wordt hoofdzakelijk buitenlucht geblazen. Figuur 7. laat hiervan cyclische etmaalgemiddelden zien van de maanden maart en juni 2012. In maart blijkt vooral overdag veel buitenlucht te worden ingeblazen, terwijl dit in juni vooral in de ochtend is.

- In maart is het verschil in vochtigheid tussen kaslucht en buitenlucht blijkbaar zo groot dat het 's nachts de verdamping met weinig buitenlucht kan worden beheerst. Overdag stijgt de verdamping door invloed van het zonlicht en moet er meer worden ontvochtigd.
- In juni wordt het grootste deel van de ontvochtiging via de luchtramen uitgevoerd. De ontvochtiging van de LBU vindt vooral plaats in de ochtend. Dan is het van belang om condensatie op de onderste gewasdelen te voorkomen. Het kan dan namelijk gebeuren dat de temperatuur 's ochtends boven in de het gewas snel stijgt door de opkomende zon en veel verdamping veroorzaakt, terwijl de temperatuur onderin het gewas nog achterblijft, waardoor daar de RV kan stijgen.



Figuur 7. Cyclisch etmaalgemiddelde van de hoeveelheid lucht door de LBU in maart 2012 (boven) en juni 2012 (onder).

## 2.2 Rendement van de regain unit

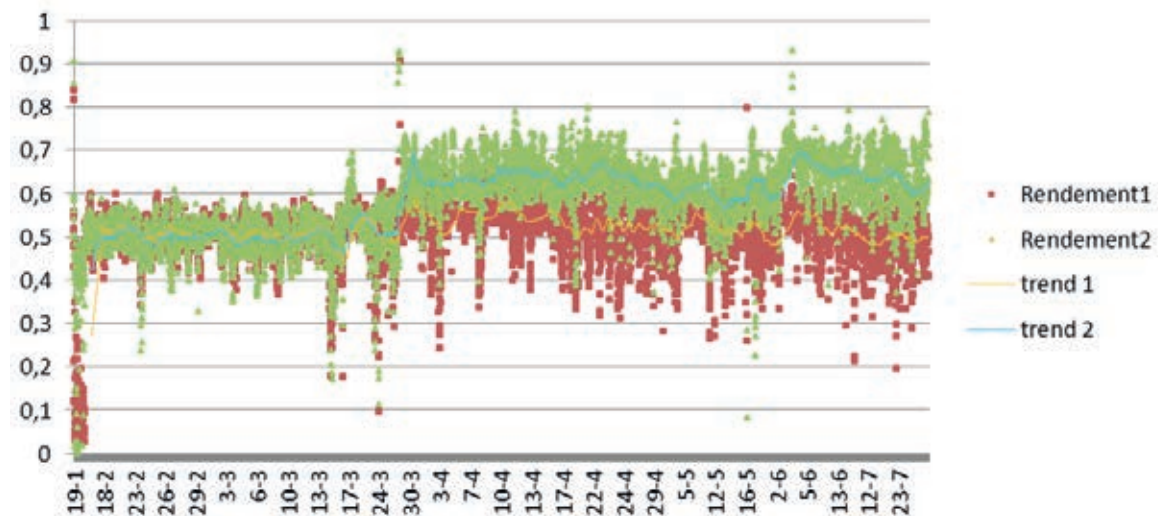
Onder het rendement van de regain-unit wordt verstaan: de mate waarin de temperatuur van de aangezogen buitenlucht wordt opgewarmd tot kasluchttemperatuur door warmte te onttrekken aan de uitgeblazen kaslucht. Dit rendement is geen vast getal, maar afhankelijk van de verschillende factoren:

1. Vochtige kaslucht zal door condensatie bij afkoeling meer warmte afgeven dan droge kaslucht en geeft dus een hoger rendement.
2. Bij grotere temperatuurverschillen is het rendement hoger dan bij kleine temperatuurverschillen.
3. Als er meer buitenlucht wordt ingeblazen dan kaslucht wordt uitgezogen zal het rendement lager zijn.

Het rendement bij een kastemperatuur van 20 °C, een RV van 85% en een buitentemperatuur van 0 °C is gesteld op 80%. Om te controleren of dit rendement gehaald wordt, wordt de temperatuur van de aangezogen buitenlucht na regain gemeten. Door deze temperatuur te vergelijken met de buitentemperatuur en de kasluchttemperatuur bij de LBU kan het rendement worden berekend:

$$\text{Rendement} = \frac{T_{na\ regain} - T_{buiten}}{T_{kas} - T_{buiten}}$$

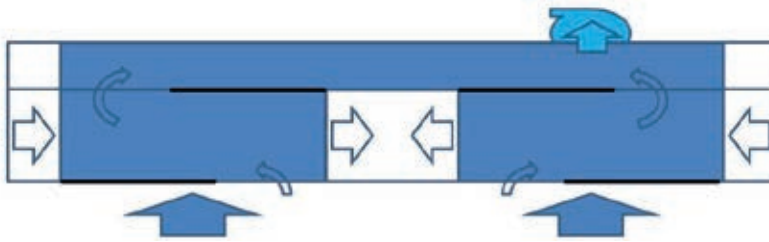
Uit de metingen en de berekeningen bleek dat de regain unit aanvankelijk een rendement behaalde van ongeveer 50%. De metingen zijn verricht aan twee LBU's, de 'master' (1) en de 'slave' (2) (zie Figuur 8.). Hierbij is de meting aan de master bepalend voor de regeling (klepstand, ventilatorstand, watertemperatuur) van de LBU's.



Figuur 8. Rendement van twee regain units (master(1) en slave(2)) van afdeling 4 als het verschil tussen de kastemperatuur en de buitentemperatuur hoger is dan 5 °C en als de afzuigventilatorstand hoger is dan 50%.

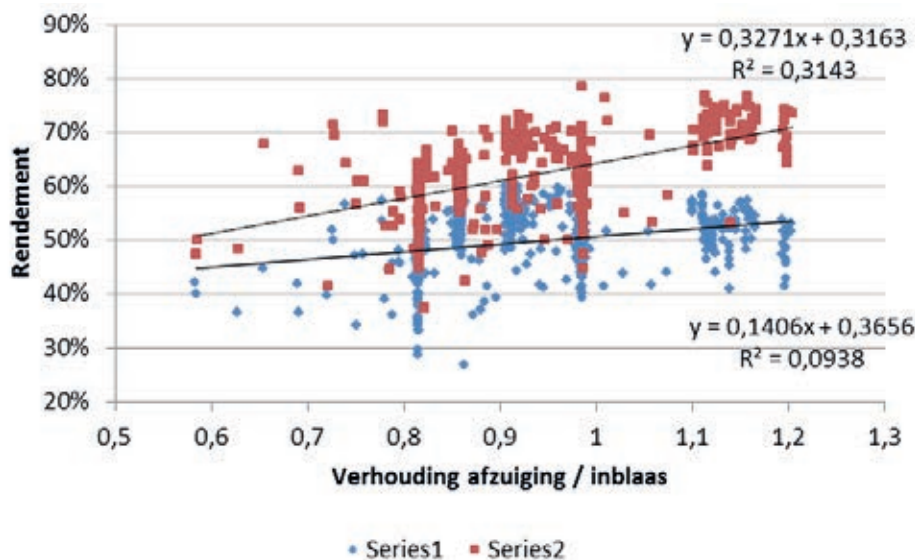
### 2.2.1 Aanpassing regain unit

Om dit rendement op te schroeven is op 29 maart 2012 een aanpassing gedaan aan de regain unit van de slave. Er zijn schotten geplaatst zodat de ingaande buitenlucht meer in tegenstroom van de uitgaande kaslucht wordt geleid (zie Figuur 9. in vergelijking met Figuur 4.).



Figuur 9. Plaatsing van schotten bij de regain unit, zodat buitenlucht in tegenstroom wordt omgeleid.

Na het aanbrengen van de schotten bleek het rendement gestegen tot  $\pm 65\%$  (zie Figuur 8.). Dat het beoogde rendement van 80% niet wordt behaald, kan grotendeels worden verklaard doordat er minder kaslucht dan buitenlucht door de regain-unit wordt gezogen. Er is dus te weinig warme lucht beschikbaar om warmte af te staan aan de inkomende buitenlucht. Om te onderzoeken hoe groot deze invloed is, is in augustus/september tijdelijk meer kaslucht afgezogen. De invloed van de verhouding tussen de hoeveelheid afgezogen kaslucht en ingeblazen buitenlucht wordt weergegeven in Figuur 10. Hieruit blijkt een forse invloed van deze verhouding op het rendement: een verdubbeling van de hoeveelheid afgezogen kaslucht doet het rendement van de slave bijna 20 procentpunten stijgen en het rendement van de master 8 procentpunten. Het grote verschil in invloed bij deze twee LBU's doet vermoeden dat er meer factoren zijn die het rendement beïnvloeden en dat de plaats van de temperatuurmetingen in de LBU een belangrijk deel van het berekende rendement beïnvloedt.



Figuur 10. Invloed van de verhouding tussen de hoeveelheid afgezogen lucht en de hoeveelheid ingeblazen lucht op het rendement van de LBU's.

## 2.2.2 Discussie aanpassing regain unit

Het plaatsen van de schotten heeft meerdere effecten die het rendement verhogen.

1. De buitenlucht heeft een langere weg door de regain unit en zal daardoor sneller moeten stromen om een gelijk debiet te houden. Door de snellere stroming langs de warmtewisselaar zal de warmte-overdracht worden verbeterd.
2. Doordat de buitenlucht meer in tegenstroom wordt geleid, zal de opgewarmde buitenlucht op het laatste moment in contact komen met het warmste gedeelte van de warmtewisselaar. Hierdoor kan de ingeblazen buitenlucht verder opwarmen.

De schotten geven meer luchtweerstand, zodat de verhouding buitenlucht/kaslucht kleiner wordt en er dus bij de zelfde klepstand minder buitenlucht wordt opgewarmd. Er is gemeten dat het aanbrengen van schotten het volume aan aangezogen lucht met 3% vermindert tijdens vollast ( $7500 \text{ m}^3/\text{h}$ ). Aangezien normaal met lagere volumes wordt geblazen (hooguit  $5600 \text{ m}^3/\text{h}$ ), wordt verwacht dat de verminderde aanzuiging van buitenlucht ook mee zal vallen.

## 2.2.3 Discussie terminologie “rendement”

De definitie “rendement” zoals deze hierboven is gebruikt, is discutabel. Het is immers niet zo dat het rendement gelijk is aan de hoeveelheid teruggewonnen warmte uit de uitgaande lucht. Volgens de specificaties van de regainunit wordt de buitenlucht van 0 °C naar 16 °C opgewarmd door kaslucht van 20 °C en een RV van 85%. Als de hoeveelheid instromend buitenlucht gelijk is aan de hoeveelheid uitgeblazen kaslucht, zou deze kaslucht in de regain unit af moeten koelen tot 11,8 °C om hiervoor de benodigde hoeveelheid warmte af te staan. Van de energie in de uitgaande warme kaslucht wordt daarmee ±40% teruggewonnen, terwijl de ingaande koude buitenlucht voor 80% wordt opgewarmd.

## 2.2.4 Afsluiter buitenlucht

De buitenluchtinlaat en de kasluchtinlaat zijn voorzien van kleppen, zodat de hoeveelheid aangevoerde buitenlucht kan worden geregeld. In de praktijk is gebleken dat deze kleppen in gesloten toestand toch niet luchtdicht zijn. Temperatuurmetingen van een normaal gesloten buitenluchtaanvoer ten opzichte van een hermetisch afgeplakte buitenluchtaanvoer, gaven aan dat in de recirculatiestand nog steeds 23% buitenlucht wordt aangezogen. Dit betekent dat er tijdens het recirculeren veel meer buitenlucht is aangezogen dan tot deze meting is aangenomen.

## 2.2.5 Warmteverbruik LBU's

In 2012 hebben de ventilatoren van de LBU's volgens de metingen van de klimaatcomputer gemiddeld op 54% capaciteit gedraaid, waarvan 36% buitenlucht en 18% gerecirculeerde kaslucht. Deze percentages dienen slechts als indicatie aangezien de werkelijke verhouding tussen buitenlucht en kaslucht moeilijk is te meten door lekkage van de kleppen.

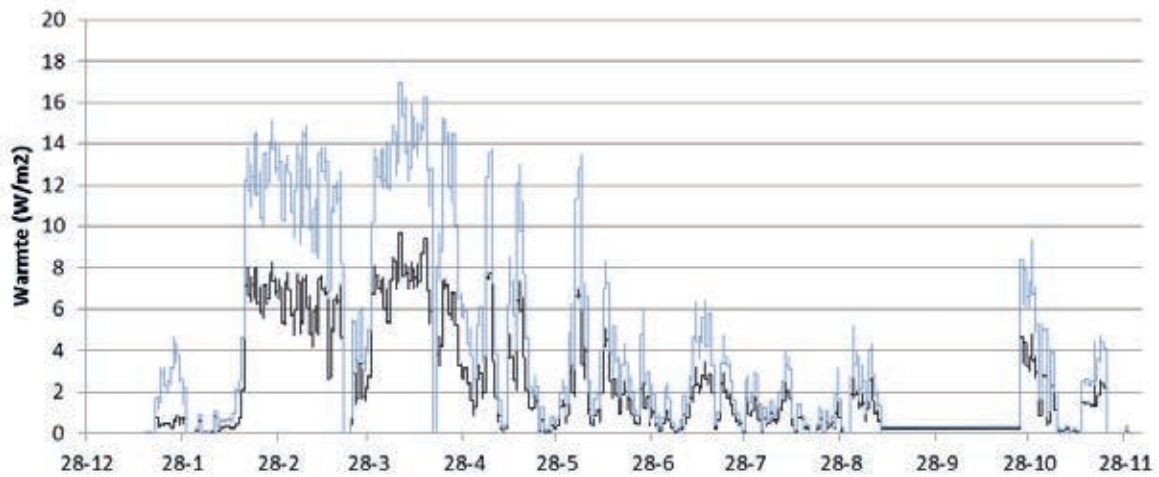
In Figuur 11. is het verloop weergegeven van de hoeveelheid warmte die moet worden toegevoegd aan de ingeblazen buitenlucht om tot kastemperatuur te komen, en de hoeveelheid daarvan die afkomstig is uit de regain unit. De grafiek is enigszins gemankeerd door missende data op 20/3, 18/4 en in september en oktober. Toch geeft het goed aan dat de grootste warmtebehoefte van de LBU's plaatsvindt van februari tot en met april. Daarna is de buitentemperatuur zo hoog dat er veel minder warmte nodig is. Bovendien zal meer vochtafvoer plaatsvinden via de luchtramen. In totaal wordt over het jaar geschat dat er 4,8 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> aan aardgasequivalenten nodig is om de via de LBU's binnenkomende buitenlucht op te warmen naar kastemperatuur. Hiervan wordt 2,9 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jaar geleverd door de regain-units. Dit is een gemiddeld rendement van 61%, hetgeen minder is dan de vooraf geschatte 80%.

De naverwarmer in de LBU verwarmde 3,2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> <sup>1</sup>. Dit is veel meer dan 4,8 -/ 2,9 = 1,9 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. Dit verschil is veroorzaakt doordat de ingeblazen lucht vaak warmer is dan de kaslucht bij de meetbox. Via de LBU's vindt dus niet alleen ontvochtiging, maar ook opwarming van de kas plaats.

- Bij het recirculeren wordt soms koudere lucht aangezogen dan de kaslucht bij de meetbox. Dit komt mede doordat de kaslucht wordt aangezogen via een ± 2 meter lang kanaal (zie Figuur 2/Figuur 3.), waarin de kaslucht ongeveer 3% afkoelt (bijvoorbeeld 0,6 °C afkoeling bij een delta T van 20 °C). Voor het recirculeren van deze lucht is dan extra warmte nodig.

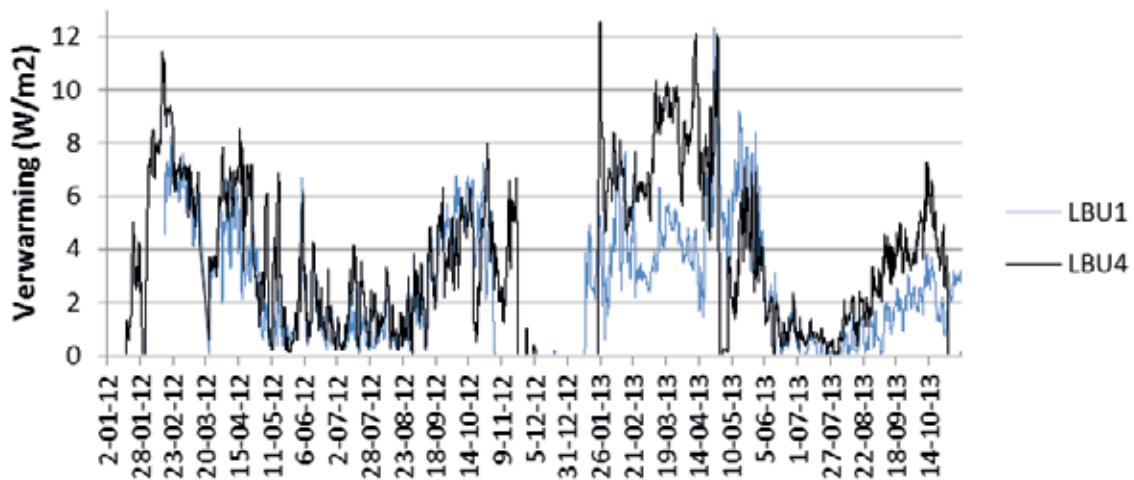
---

1 <sup>1</sup>De naverwarming is berekend op het totale ingeblazen debiet, dat is vermenigvuldigd met de warmtecapaciteit van lucht en het temperatuurverschil tussen de mengkamer en de slurf.



Figuur 11. Verloop van de warmtebehoefte voor ingeblazen buitenlucht (W/m<sup>2</sup>, blauw) en de hoeveelheid warmte die is teruggewonnen door de regainunit (W/m<sup>2</sup>, zwart) in 2012.

In Figuur 12. is het verloop van deze hoeveelheid weergegeven voor 2012 en 2013 in afdeling 1 en 4 van Tusse de Waeg. Hieruit blijkt dat de hoeveelheid benodigde warmte voor de LBU's in 2013 0,7 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> hoger is geworden en met name in Afdeling 4 (tomaat in 2012; komkommer in 2013). In Afdeling 1 was de warmtevrage van de LBU's iets lager dan in Afdeling 4. In Afdeling 1 is in 2013 (tomaat) 0,3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> aardgasequivalenten meer warmte in de LBU's gestopt dan in 2012 (komkommer).



Figuur 12. Gemiddelde naverwarming (W/m<sup>2</sup>) van de ingeblazen lucht in de LBU's van afdelingen 1 en 4 van Tusse de Waeg in 2012 en 2013.

## 2.2.6 Rentabiliteit regain unit

Een besparing van 2,9 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jaar met de regain unit en een elektriciteitsverbruik van 6 kWh/m<sup>2</sup> (aangenomen dat 50% van het elektriciteitsverbruik van 3,3 kWh/m<sup>2</sup> is veroorzaakt door de afzuigventilator en door de extra weerstand in de LBU voor de inblaasventilator), geeft bij een gasprijs van 0,28 €/m<sup>3</sup> en een elektriciteitsprijs van 0,06 €/kWh een besparing van 0,71 €/m<sup>2</sup>.jaar. In de huidige toepassing mogen regain units hierdoor een meerinvestering hebben van ± 3,5 €/m<sup>2</sup> ten opzichte een systeem met alleen een naverwarmer.

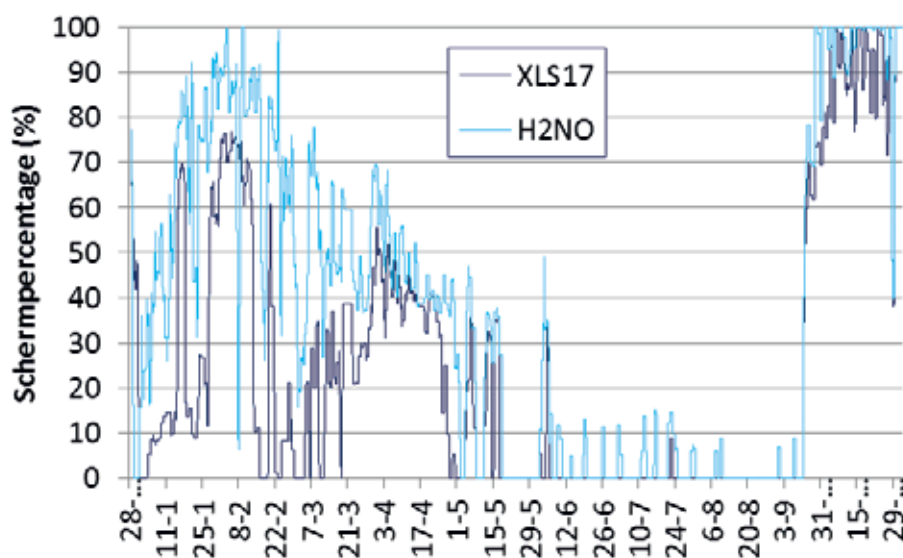
## 2.3 Capaciteit van het verwarmingselement

Over de capaciteit van het verwarmingselement zijn enkele misverstanden naar voren gekomen. In eerste instantie was deze berekend om lucht met een temperatuur van 5 °C op te warmen naar 20 °C. Bij een debiet van 5400 m<sup>3</sup>/h betekent dat een vermogen van ±28 kW. De uiteindelijke installatie heeft een veel lager vermogen in de veronderstelling dat de regain unit al een deel van de opwarming verzorgt. Voor deze installatie is een vermogen gemeten van ±18 kW bij een waterzijdige aanvoertemperatuur van 80 °C (zie Bijlage II).

De lage capaciteit heeft geleid tot meerdere problemen:

1. De inblaasttemperatuur in de kas was soms lager dan de kastemperatuur, wat het risico van condensatie tegen de slurf in het gewas heeft verhoogd.
2. De hoge aanvoertemperatuur heeft via de distributieleiding langs de gevel veel warmte afgegeven. Hierdoor was de temperatuur langs de gevel hoger dan in de rest van de kas. De ongeïsoleerde distributieleiding koelde ook af, waardoor de achterste LBU een lagere aanvoertemperatuur kreeg dan de voorste. Dit heeft geleid tot temperatuurverschillen in de kas.

Uiteindelijk zijn deze problemen grotendeels opgelost door de verdeelleiding te isoleren en het warm-waterdebiet te verhogen. Tezamen met een verbeterd rendement van de regain-unit, kreeg de luchtinblaas voldoende warmte.

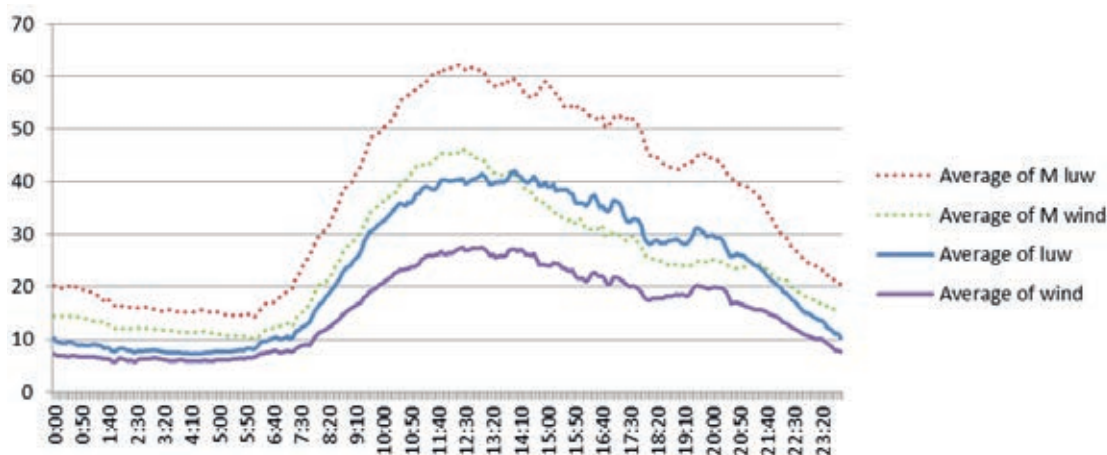


Figuur 13. Gemiddelde schermstand per etmaal (%) van het heldere doek (H2NO) en het donkere doek (XLS17) in 2012.

## 2.4 Gebruik van de luchtramen

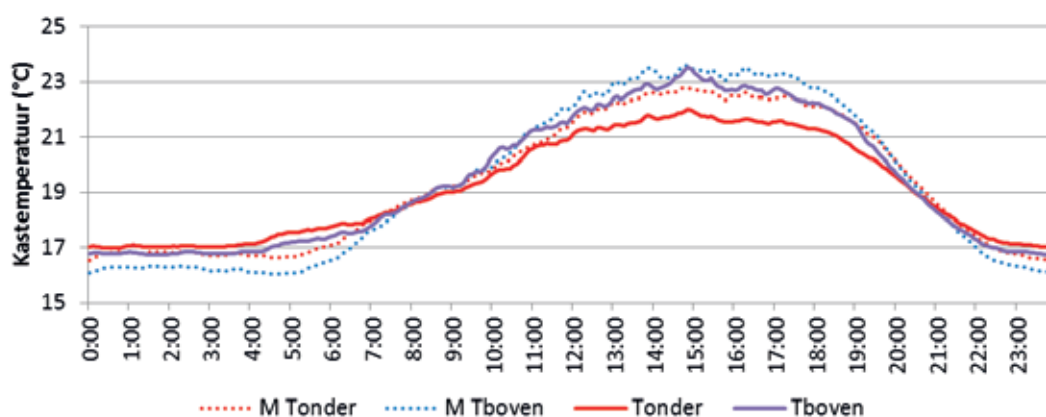
De kas Tusse de Waeg is hoger en heeft kleinere luchtramen dan de andere twee kassen van BioVerbeek. In Figuur 14. is een cyclisch etmaalgemiddelde weergegeven van de raamstanden van Tusse de Waeg en Metjeskamp tussen 4 april en 2 juli 2013. In beide kassen worden tomaten geteeld. Uit de Figuur blijkt dat de ramen van Tusse de Waeg 20-50% minder ver open gaan dan bij Metjeskamp.





Figuur 14. Raamstanden (%) windzijde en luwe zijde van Metjeskamp (gestippelde lijn) en Tusse de Waeg.

Dit verschil kan 's nachts nog enigszins worden verklaard door het gebruik van de LBU's. Met de LBU's is 's nachts gemiddeld 4 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.uur ingeblazen, terwijl dit overdag en 's avonds gemiddeld slechts 1 à 2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.uur is geweest. Voor het grootste deel kan dit verschil echter worden verklaard door de poothoogte van 5,8 in plaats van 4,5 meter, wat overeenkomt met eerder onderzoek naar de relatie tussen kashoogte en energiegebruik [Campen *et al.* 2007]. De kas heeft dus 1,3 meter meer ruimte boven het gewas, waardoor de lucht van en naar de luchtramen minder weerstand ondervindt. Hierdoor is een kleinere raamstand nodig voor dezelfde hoeveelheid luchtuitwisseling. Een bijkomstig gevolg voor een hoge kas zou kunnen zijn, dat de luchtbeweging vooral boven het gewas en minder tussen het gewas plaatsvindt. In ieder geval is geconstateerd dat de temperatuur onder in de kas overdag bij Metjeskamp hoger werd dan bij Tusse de Waeg, terwijl 's nachts juist de bovenste meetbox van Metjeskamp koeler werd (zie Figuur 15.). Dit heeft bij BioVerbeek geleid tot een tragere uitgroeiduur in Tusse de Waeg.



Figuur 15. Cyclisch gemiddelde etmaaltemperatuur (°C) onderin (rood) en bovenin (blauw) van Metjeskamp (gestippelde lijn) en Tusse de Waeg van week 22 tot 27.

## 2.5 Gebruik van de schermdoeken

Het ontvochtigingssysteem maakt het mogelijk om het scherm vaker te sluiten en daarmee energie te besparen. Ook is het niet meer noodzakelijk om schermkieren aan te houden. Desondanks is bij Tusse de Waeg niet veel minder gebruik gemaakt van schermkieren dan bij Fensland of Metjeskamp ( $\pm$  250-500 uren per jaar per doek). Het aantal schermuren is wel groter geweest (zie Tabel 1.)

Tabel 1. Aantal schermuren per doeksoort in Tusse de Waeg 1&4, Fensland en Metjeskamp.

	2012		2013	
donker doek TW1	komkommer	2223	tomaat	2521
helder doek TW1	komkommer	4174	tomaat	3449
donker doek TW4	tomaat	1971	komkommer	3375
helder doek TW4	tomaat	3080	komkommer	4516
doek Fensland	tomaat	2276	paprika	4227
doek Metjeskamp	paprika	3308	tomaat	2805

## 2.6 Temperatuurverdeling in de kas

### 2.6.1 Meetpalen

Halverwege afdeling 4 zijn twee meetpalen geplaatst met ieder 3 geventileerde meetboxen voor temperatuur en RV.

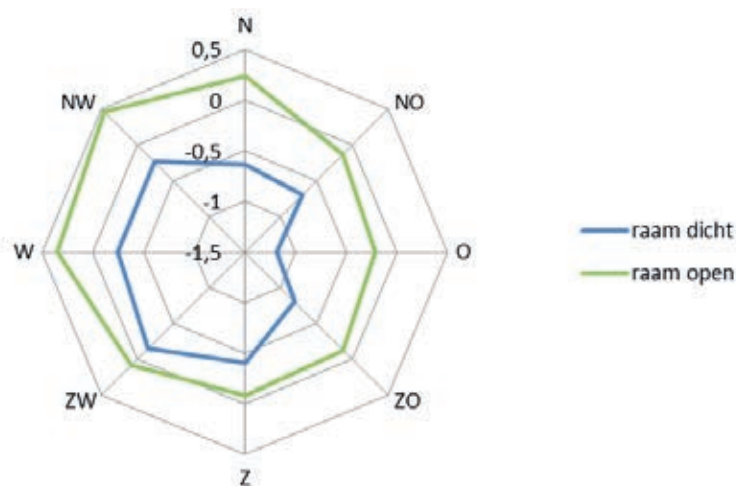


Figuur 16. Drie meetboxen van maatpaal 1, 10 februari 2012.

Boven beide meetpalen is een PAR-meter geplaatst. Meetpaal 1 staat 20 meter verwijderd van de LBU's en meetpaal 2 staat 80 meter verwijderd van de LBU's. Door de gemiddelde temperatuur van beide units te vergelijken kan worden bepaald of de LBU's invloed hebben op de temperatuurverdeling in de lengterichting van de luchtstralen.

Gemiddeld bleek meetpaal 1 tussen december en september slechts 0,15 °C koeler te zijn dan meetpaal 2. Dit was vooral het geval bij gesloten luchtramen. Bij geopende luchtramen (meestal overdag) bleek meetpaal 1 gemiddeld juist warmer te zijn dan meetpaal 2 (zie Figuur 17. en Figuur 18.).

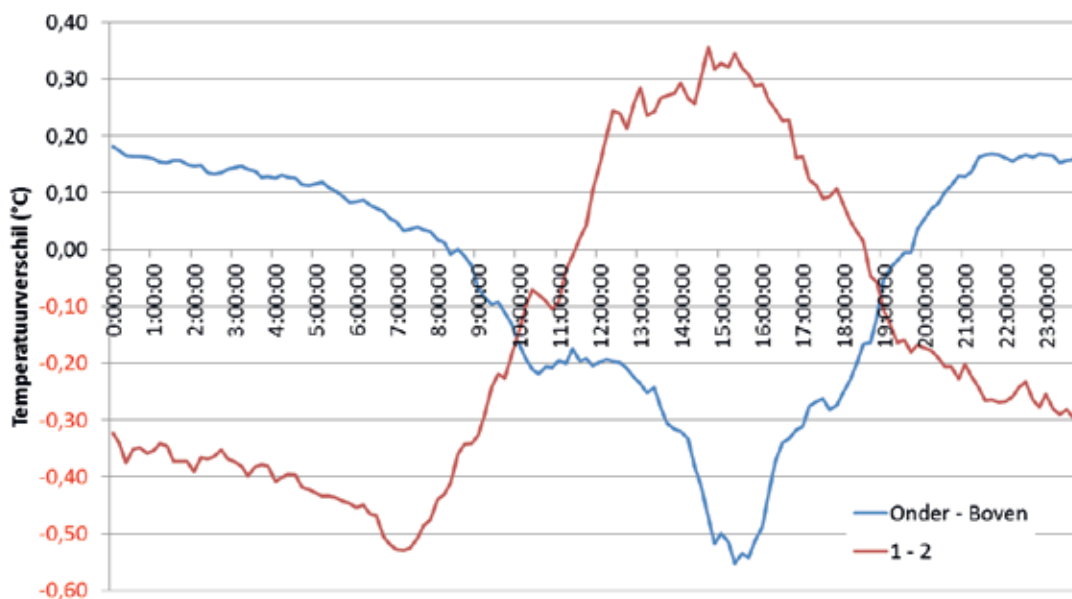
De windrichting wordt vaak gezien als een belangrijke veroorzaker van temperatuurverschillen in de kas. De lucht in de kas is geneigd om tegen de windrichting in te stromen, waardoor de kant waar de wind vandaan komt warmer wordt. Volgens deze theorie zou de temperatuur van meetpaal 1 relatief warmer moeten worden bij noordnoordwesten wind. Volgens Figuur 17. blijkt de gemiddelde temperatuur van meetpaal 1 ten opzichte van meetpaal 2 bij noordwestenwind inderdaad 0,5 °C warmer te zijn dan bij zuidoostenwind. Bij gesloten ramen is dit verschil minder duidelijk: bij oostenwind is meetpaal 1 gemiddeld ruim 1 °C koeler dan meetpaal 2.



Figuur 17. Gemiddeld temperatuurverschil tussen meetpaal 1 en 2 (°C) als functie van de windrichting, bij open en gesloten luchtramen.

Het temperatuurverschil tussen meetpaal 1 en 2 is als een cyclisch etmaalgemiddelde weergegeven in de blauwe lijn van Figuur 18. Hieruit blijkt dat meetpaal 1 (LBU-zijde) overdag warmer en 's nachts kouder is dan meetpaal 2 (padzijde).

Het temperatuurverschil tussen de onderste en de bovenste meetboxen is gemiddeld zeer laag (0,05 °C). Het verschil is echter sterk afhankelijk van het tijdstip van de dag. Zo blijken de onderste meetboxen 's nachts warmer te zijn en overdag koeler dan de bovenste meetboxen (zie Figuur 18.). Dit is te verklaren door de invloed van de instraling van de zon overdag en uitstraling naar het koude kasdek 's nachts. Dit effect is echter groter dan in de andere kassen van BioVerbeek (zie Figuur 15.).



Figuur 18. Cyclische etmaalgemiddelden van het temperatuurverschil tussen de bovenste en onderste meetboxen (rood) en van het temperatuurverschil tussen meetpaal 1 en meetpaal 2 van januari tot en met september 2012.

Figuur 18. is per maand opgesplitst te vinden in Bijlage III. Hieruit blijkt dat de zomersituatie iets andere patronen te zien geven dan de wintersituatie.

## 2.6.2 Draadloze meetset

In samenwerking met het project “Gezonde kas” ([www.gezondekas.eu](http://www.gezondekas.eu)) zijn 30 draadloze sensoren geplaatst in Afdeling 4 van Tusse de Waeg. Hierdoor is meer specifiek naar voren gekomen hoe de temperatuur in deze afdeling is verdeeld. Op twee koude nachten (5, 11 februari, -10 °C) en een minder koude nacht (20 februari, -1 °C) bleek de volgende verdeling in de afdeling voor te komen:

		LBU's				
Buitengevel		13,3	15,4	17,0	15,2	Grens aan afd 3
		14,1	14,9	14,9	14,8	
		15,4	15,8	16,5	16,5	
		16,2	17,2	17,4	17,4	
		16,9	17,8	18,3	18,2	
		16,9	17,6	18,1	18,3	
	Pad				16,7	
		LBU's				
Buitengevel		19,5	19,0	17,8	16,2	Grens aan afd 3
		17,9	18,2	16,9	15,5	
		17,8	17,6	16,6	16,1	
		16,0	16,4	16,2	16,8	
		16,9	16,9	17,4	17,0	
		17,7	17,1	18,0	18,1	
	Pad				16,3	
		LBU's				
Buitengevel		16,7	16,9	16,5	15,9	Grens aan afd 3
		15,5	15,8	14,9	14,3	
		14,5	14,4	14,2	13,5	
		14,8	15,8	14,5	13,5	
		14,8	15,0	14,7	14,1	
		15,6	15,7	15,5	14,8	
	Pad				14,8	

Figuur 19. Temperatuurverdeling (°C) op 5, 11 en 20 februari in afdeling 4.

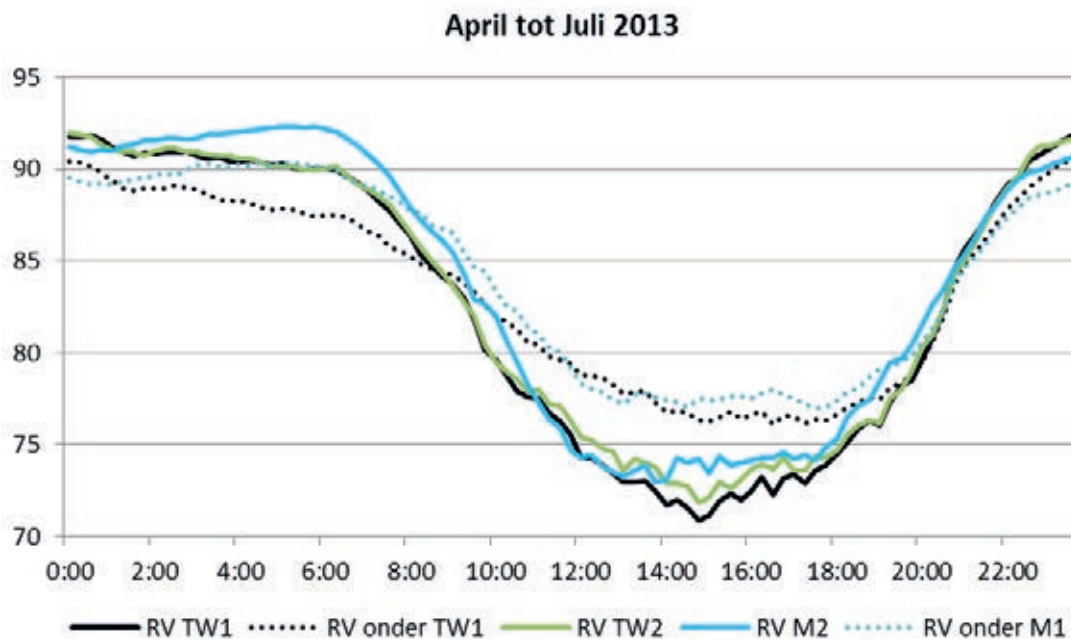
In de alle cases van Figuur 19. zijn beide schermen en ook de luchtramen gesloten en wordt er kaslucht gerecirculeerd. In de case van 20 februari wordt ook buitenlucht aangezogen, maar de daarmee gerealiseerde overdruk heeft niet tot verbetering geleid. De windsnelheid was altijd minder dan 3 m/s, maar de windrichting varieerde wel. Het grote verschil (linksboven) tussen 5 en 11 februari is niet verklaard, maar mogelijk heeft een vastzittende klep in de LBU daar tijdelijk gezorgd voor teveel ingeblazen buitenlucht.

Het verschil tussen de hoogste en de laagste temperatuur was respectievelijk 5,0, 4,0 en 3,4 °C, hetgeen niet abnormaal is tijdens extreem winterweer, maar verbeteringspunten zijn wel aanwezig. Zo zijn de koude plekken tegen de grens van afdeling 3 verminderd door de scherminstallatie daar aan te passen. Ook is de relatief hoge temperatuur langs de gevels verminderd door de verdeelingsleidingen te isoleren.

## 2.7 Luchtvochtigheid

### 2.7.1 Vochtbeheersing

Een van de redenen om te investeren in ingeblazen buitenlucht, is de verbeterde vochtbeheersing. Als de RV van Tusse de Waeg (met buitenluchtinblaas) en Metjeskamp (zonder buitenluchtinblaas) met elkaar worden vergeleken, dan blijkt de RV in Tusse de Waeg vooral 's nachts 1 à 2 procent lager te kunnen worden gehouden (zie Figuur 20.). Dit effect is nog groter als wordt gekeken naar de meetboxen die ter hoogte van de vruchten (onder in het gewas) hangen. Overdag is het RV-verschil tussen Metjeskamp en Tusse de Waeg minder groot, doordat de luchtramen dan meer effect op de luchtvochtigheid hebben dan de LBU's.



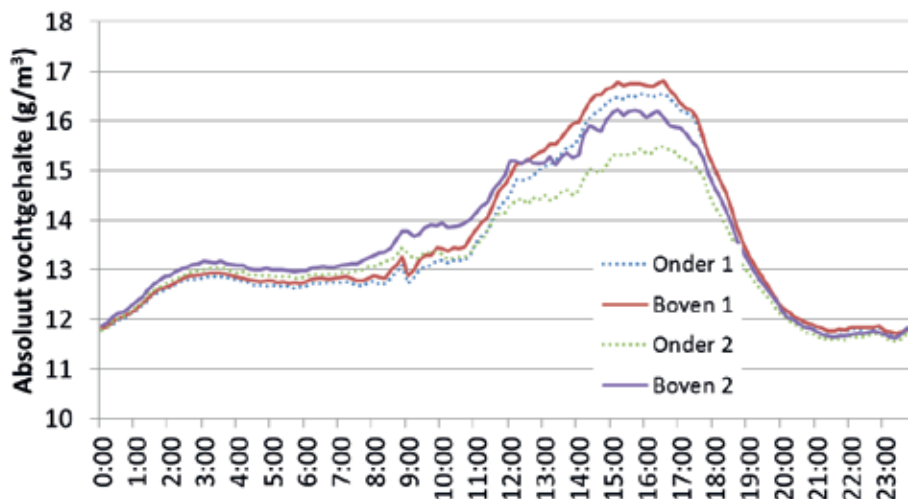
*Figuur 20. Cyclisch etmaalgemiddelde van de RV in Tusse de Waeg 1 (boven en onder), Tusse de Waeg 2, Metjeskamp 2 boven en Metjeskamp 1 onder, van april tot juli 2013.*

## 2.7.2 Verticale vochtverdeling

Analyse van de absolute luchtvochtigheid verdeling als functie van de hoeveelheid ingeblazen lucht laat zien dat naarmate meer buitenlucht wordt ingeblazen, de absolute luchtvochtigheid onderin gemiddeld enkele tienden van grammen lager is dan bovenin. Deze kleine invloed was overigens alleen zichtbaar bij meetpaal 2, bij meetpaal 1 had het inblazen van buitenlucht geen meetbare invloed op de verticale vochtgradiënt.

Verder gaf de teler aan dat de ruimte onder de luchtslurven soms vochtig bleef door gebrek aan luchtbeweging aldaar. De luchtslurf geeft hoofdzakelijk luchtbeweging in de "10 voor 2"-richting en niet naar het gebied recht onder de luchtslurf. Dit effect heeft echter geen meetbare verschillen gegeven in de mate van Botrytisaantasting.

Hetzelfde verschijnsel is ook te zien in Figuur 21. In maart, de maand met de meeste ontvochtiging, is te zien dat overdag de absolute luchtvochtigheid onderin tot wel  $1 \text{ g/m}^3$  lager is dan bovenin. In de nacht, wanneer minder wordt ontvochtigd, is dit verschil kleiner. In de overige maanden, wanneer de ontvochtiging via de LBU's een kleinere rol speelt, is de verticale vochtgradiënt ook minder groot.



Figuur 21. Cyclisch etmaalgemiddelde in de maand maart van het absoluut vochtgehalte boven en onder de 2 meetpalen.

## 2.8 Geluid

Het bedrijf BioVerbeek is gevestigd in een stille omgeving waar ieder extra geluid al snel als storend wordt ervaren. Om overlast voor de buurt te voorkomen zijn extra maatregelen getroffen. Zo zijn in 2013 een aantal LBU kasten zowel aan de aanzuigzijde als aan de uitblaaszijde voorzien van een geluidsdempende omkasting (zie Figuur 22.). Er is niet gemeten hoeveel invloed de geluidsdemping heeft gehad op het luchtdebiet, al wordt deze invloed door de installateur klein geacht.



Figuur 22. LBU's met geluidsdempende omkastingen aan de inblaaszijde en de uitblaaszijde.

## 2.9 Licht

Bij beide meetpalen zijn 2 PAR-meters opgesteld onder het diffuse kasdek. 2 PAR-meters is te weinig gebleken om exact aan te geven hoeveel lichtdoorlaat de kas heeft.

In Figuur 23. is voor de maand maart de gemiddelde lichtdoorlaat over een etmaal weergegeven. Hierbij zijn de PAR meters vergeleken met de globale straling buiten. Hierbij is gerekend met een vaste verhouding PAR/Globale straling van 2,15  $\mu\text{mol}/\text{J}$ . In de Figuur is duidelijk te zien dat PAR-meter 1 (blauw) in de ochtend meer last heeft van schaduw vanuit de goot, terwijl PAR-meter 2 (rood) juist in de middag lager zit. Dit komt omdat de 2 PAR-meters ongeveer 1 meter aan weerszijden schuin onder de goot zijn bevestigd.

Gemiddeld over het jaar lijkt de lichtdoorlaat 55% te zijn. Dit is minder hoog dan verwacht. Mogelijke verklaringen hiervoor zijn:

- Schaduwwerking van de goot die zich relatief dicht bij de PAR meters bevindt
- De PAR-meters hangen niet exact horizontaal. Dit kan de meting ook sterk beïnvloeden.
- Vervuiling van het glas of condensatie tegen het glas kan de lichtdoorlaat ook beïnvloeden.



Figuur 23. Cyclisch etmaalgemiddelde van de lichtdoorlatendheid van de kas in maart 2012 gemeten met 1 globale stralingsmeter en 2 PAR meters.

## 2.10 Teeltresultaten

Het tomatengewas groeide volgens de teler in Tusse de Waeg beide jaren vegetatiever dan in de andere bedrijven met hetzelfde ras en min of meer gelijke plantdatums. Om meer generativiteit te krijgen zijn daarom generatieve acties uitgevoerd, zoals een groot dag/nacht temperatuurverschil (DIF), een lage nacht RV en een diepe voornachtsverlaging. Dit zijn energie vragende acties.

Ondanks de mogelijkheid om de luchtvochtigheid beter te beheersen (zie paragraaf 2.7.1), is er meer Botrytisaantasting geweest dan in de andere bedrijven. Botrytis kwam voor zowel bovenin het gewas (op bladrandjes) als laag in het gewas (in stengels). De aantasting wordt geweten aan de volgende factoren:

- Een vegetatief gewas met veel blad geeft meer verdamping, een hogere luchtvochtigheid en minder luchtbeweging door het gewas.
- Een matige horizontale temperatuurverdeling (zie Figuur 19.) kan op de koude plekken leiden tot condensatie op het gewas.
- Generatieve acties versterken de (verticale) temperatuurverschillen in de kas.
- Door de lagere temperatuur onder in de kas (zie paragraaf 2.4) bleven de vruchten langer hangen en werd de plantbelasting hoger. Dit kan hebben geleid tot een zwakker en daardoor minder weerbaar gewas.

In de rijen zonder luchtslurf (zie Figuur 6.) kwam niet meer Botrytis voor dan in de rijen met luchtslurf.

De tomatenproductie in Tusse de Waeg was enkele procenten hoger dan in de andere bedrijven. Gezien de vele verschillende factoren (diffuus glas, lagere lichttransmissie, ander kasklimaat, hogere plantbelasting, nieuwe grond) is niet na te gaan welke van deze factoren voor deze productieverhoging heeft gezorgd.





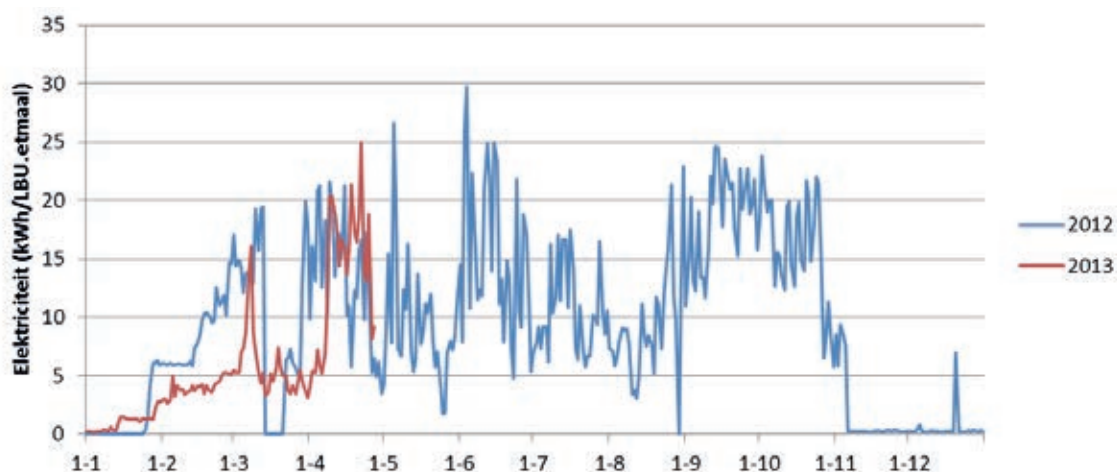
## 3 Energieverbruik

### 3.1 Elektriciteit

Het elektriciteitsverbruik voor de ventilatoren van de LBU's (voor zowel ingeblazen als afgezogen lucht), is geregistreerd tussen 26 januari 2012 en 1 mei 2013. Hieruit is een elektriciteitsverbruik van 3,3 kWh/m<sup>2</sup> in 2012 gebleken. Dit is veel minder dan kwekerij "De Grenspaal" die ook gebruik maakt van buitenluchtinblaas met een regain unit [Raaphorst en Voermans, 2010]. Het grote verschil hierin is veroorzaakt doordat de ventilatoren niet volcontinu maar vaak op deellast hebben gedraaid.

Om het elektriciteitsverbruik verder omlaag te krijgen, worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- Vermindering van de hoeveelheid recirculatie. 34% van de aangezogen lucht gerecirculeerd vanuit de kas en draagt daardoor niet bij aan de ontvochtiging van de kaslucht. Argumenten om toch te kiezen voor recirculatie zijn:
  - o kaslucht kan nodig zijn om bij een minimale hoeveelheid buitenlucht toch voldoende debiet te realiseren om de luchtdruk en de luchtverdeling over de slurf gelijkmatig te houden.
  - o door luchtbeweging in de kas kan de temperatuur en ook het vochtdeficit egalier wordt verdeeld.
- Systeem uitschakelen bij (ruim) geopende luchtramen. Gedurende bijna 2000 uur is buitenlucht ingeblazen terwijl de raamstand aan de luwe zijde hoger was dan 10%. Bij deze raamstand is de hoeveelheid ingeblazen buitenlucht veel kleiner dan de hoeveelheid buitenlucht die "gratis" door de ramen naar binnen komt. Een argument om dan desondanks toch buitenlucht in te blazen is, dat de ingeblazen lucht via de luchtslurven op een gunstiger plek, namelijk onder in het gewas, terecht komt.
- Systeem uitschakelen bij lage RV. Het systeem heeft 1000 uren gedraaid bij een RV lager dan 80%. Bij een dergelijk lage RV is het risico op Botrytis gering. Alleen bij grote horizontale temperatuurverschillen (>4 °C) kan plaatselijk condensatie ontstaan. Daarnaast zal het systeem de gewasverdamping stimuleren, wat niet positief hoeft te zijn voor de groei, maar wel het energieverbruik verhoogt.
- Regain unit uitschakelen bij hoge buitentemperatuur. Gedurende 1300 uur is er lucht afgezogen uit de kas, terwijl het temperatuurverschil tussen kaslucht en buitenlucht minder was dan 5 °C. Bij een klein temperatuurverschil zal kaslucht maar weinig warmte afgeven aan de binnenstromende lucht en kost het meer energie om de lucht af te zuigen dan dat de afgezogen kaslucht warmte afgeeft aan binnenkomende buitenlucht. Bovendien is bij een hoge buitentemperatuur meestal voldoende (zonne)warmte beschikbaar om de kas te verwarmen.

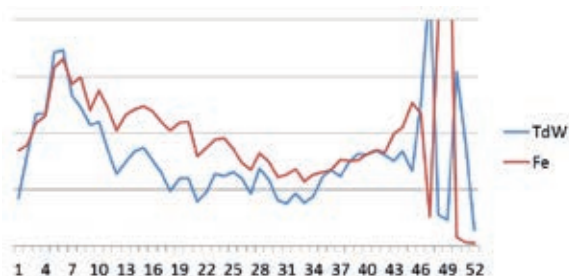


Figuur 24. Elektriciteitsverbruik van 1 LBU in afdeling 2

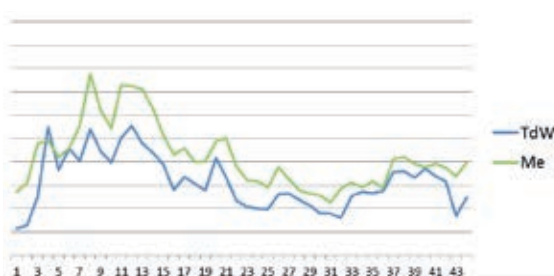
## 3.2 Warmte

De installatie, waarmee de luchtvochtigheid nauwkeurig kan worden beheerst waardoor intensief kan worden geschermd, zou veel moeten kunnen besparen op het warmtegebruik.

In Figuur 25. is het gasverbruik van 2012 in Tusse de Waeg (50% komkommer en 50% tomaat) vergeleken met dat van Fensland (100% tomaat). In Figuur 26. is dit gedaan voor 2013 in vergelijking met Metjeskamp (100% tomaat). De grafiek van 2012 wordt in de laatste weken verstoord door het gasverbruik voor het stomen van de grond. De verschillen komen neer op 22% en 25% minder gasverbruik in Tusse de Waeg. Dat is ongeveer 9 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jaar minder gas. De hoogste besparingspercentages worden gerealiseerd tot week 34 (zie Figuur 27.).

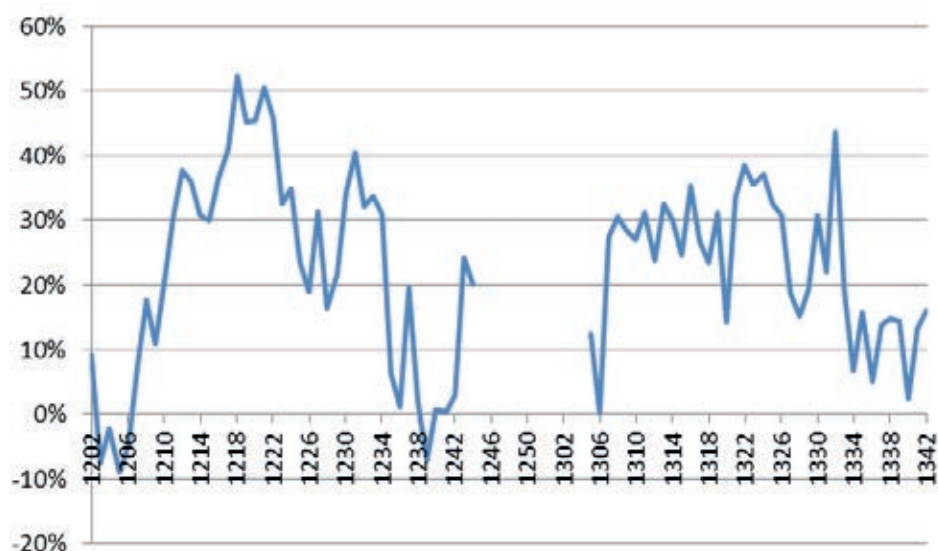


Figuur 25. Gasverbruik in 2012 van Tusse de Waeg en Fensland.



Figuur 26. Gasverbruik in 2013 van Tusse de Waeg en Metjeskamp.

In Figuur 27. is per week weergegeven hoeveel procenten minder warmte is gebruikt in Tusse de Waeg ten opzichte van een van de twee andere bedrijven met tomaten. In Tusse de Waeg is ongeveer 50% van de kassen gevuld met tomaat en 50% met komkommer. Ervan uitgaande dat een komkommerteelt slechts 5% minder gas nodig heeft dan een tomatenteelt [Vermeulen, 2012], lijkt de energiebesparing gedurende de zomerperiode op te lopen tot 30%. In de winterperiode is de vergelijking tussen de bedrijven moeilijk te maken in verband met verschillende plantweken, maar de energiebesparing lijkt in deze periode relatief minder groot te zijn dan in de zomer.



Figuur 27. Minderverbruik bij Tusse de Waeg (komkommer en tomaat) ten opzichte van een ander tomatenbedrijf (Fensland in 2012 en Metjeskamp in 2013).

Nuances die moeten worden aangebracht bij deze energiebesparing zijn de volgende:

1. Aangezien komkommer normaliter  $2 \text{ m}^3/\text{m}^2$  minder warmte vergt dan tomaat [Vermeulen, 2012] mag niet het hele verschil in energieverbruik worden toegewezen aan de energiezuinige systeem.
2. Het tomatengewas in Tusse de Waeg in 2012 groeide erg vegetatief weg, waardoor een aantal energievretende generatieve acties moesten worden uitgevoerd. Een voorbeeld daarvan is het openen van de luchtramen in de voornacht.
3. Mogelijk krijgt Tusse de Waeg met een diffuus kasdek minder stralingswarmte door de lagere lichttransmissie. Ook kan de diffusiteit van het binnenkomende licht zorgen voor meer verdamping [Dueck *et al.* 2012]. Beide effecten kunnen leiden tot een hogere warmtebehoefte overdag.

Rekening houdend met deze nuances wordt de besparing op warmte (in aardgasequivalenten) geschat op  $9 \text{ m}^3/\text{m}^2$ .jaar.



## 4 Conclusies en aanbevelingen

### 4.1 Conclusies

Het Nieuwe Telen heeft bij BioVerbeek iets minder energiebesparing gegeven dan van tevoren gehoopt. De besparing op verwarming was naar schatting  $9 \text{ m}^3/\text{m}^2$ .jaar ten opzichte van een vergelijkbare kas, waarvan  $2,9 \text{ m}^3/\text{m}^2$  is te verklaren door het terugwinnen van warmte vanuit de regain unit. De overige besparing is veelal het gevolg van intensiever schermen.

Het inblazen van buitenlucht, het uitblazen van kaslucht en het recirculeren van kaslucht hebben gezamenlijk  $3,3 \text{ kWh}/\text{m}^2$ .jaar gekost aan elektriciteit. Hiermee wordt een klein deel van de besparing op de warmtevoorziening tenietgedaan door een hoger elektriciteitsverbruik.

Het rendement van de regainunit (61% in plaats van 80%) en de verwarmingscapaciteit van de LBU's ( $\pm 20$  ipv  $28 \text{ kW}$ ) zijn beide lager dan van tevoren is aangenomen. Dit had deels te maken met een luchtvochtigheid in de uitgeblazen kaslucht die lager was dan verwacht, waardoor minder condensatiewarmte kon worden teruggewonnen en deels doordat er minder lucht werd uitgeblazen dan ingeblazen om overdruk in de kas te houden. Door het lagere rendement moest worden naverwarmd met een hoge watertemperatuur. De ongeïsoleerde en warme verdeelbuizen van en naar de LBU's, hebben daardoor langs de gevel meer warmte afgegeven dan voorzien. Door aanpassingen aan het systeem is dit verholpen.

De toegepaste regainunit is rendabel bij een meerinvestering van minder dan  $3,50 \text{ €/m}^2$  ten opzichte van de investering in een inblaassysteem met naverwarmde buitenlucht.

Het temperatuurverschil tussen twee meetpalen verdeeld over de lengterichting van de luchtsturven is over het jaar gemiddeld zeer klein, maar kan tijdelijk groot zijn, waardoor risico op condensatie ontstaat. Het realiseren van overdruk in de kas blijkt hiermee geen garantie voor een goede temperatuurverdeling.

De grootste ontvochtigingsinzet en daarmee ook de grootste warmtebehoefte van de LBU's vindt plaats in het voorjaar. De lage buitentemperatuur zorgt dan voor een hoge ontvochtigingscapaciteit en de toenemende instraling verhoogt de ontvochtigingsbehoefte in de kas. In deze periode is de absolute luchtvochtigheid onderin de kas tijdens het ontvochtigen tot  $1 \text{ g}/\text{m}^3$  lager dan bovenin de kas.

### 4.2 Aanbevelingen

Vermindering van elektriciteitsverbruik kan worden gerealiseerd door de ventilatoren alleen in te zetten op de momenten dat het inblazen of recirculeren effect kan sorteren.

Verlaging van het warmtegebruik kan worden gerealiseerd door het toelaten van een hogere RV. Dit kan alleen als de temperatuurverdeling in de kas kan worden verbeterd. Een bijkomende effect van een hogere RV in de kas is een beter rendement van de regain unit.

Extra regelmogelijkheden maken de klimaatinstellingen complexer. Aandacht voor de klimaatinstellingen moet voorkomen dat verschillende regelingen tegen elkaar inwerken. Een discussie tussen telers over klimaatinstellingen kan hier aan bijdragen. Een voorbeeld van een eenvoudige klimaatinstellingen voor LBU's en andere middelen is weergegeven in Bijlage IV. Dit voorbeeld kan bijdragen aan deze discussie.

Aangezien de raamstand in een hoge kas met veel ruimte boven het gewas, kleiner kan blijven dan in een lage kas, is er minder luchtbeweging, waardoor de zonnewarmte overdag minder diep in het gewas dringt. Dit kan leiden tot een hogere plantbelasting en een zwakkere plant, wat kan worden tegengegaan door een hogere (groei)buistemperatuur en een kleinere stengeldichtheid.

Voor de aanschaf van een complexe installatie zoals een luchtdoseerunit met regain unit, is een prestatiecontract aan te bevelen. In dit contract moet onder andere worden vastgelegd:

- het rendement van de regain unit bij buitenomstandigheden en kasomstandigheden die vaak optreden tijdens ontvochtiging, zoals een buitentemperatuur van 5 °C, een kastemperatuur van 20 °C en een kasRV van 88%. Hierbij dient rekening te worden gehouden met een gewenste hoeveelheid ( $\pm 0,5$  m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.uur) lucht, die niet via de regain unit, maar via lekken en kieren naar buiten wordt geblazen, om de kas op overdruk te houden.
- de benodigde aanvoertemperatuur om de ingeblazen lucht tot kasluchttemperatuur op te warmen. Dit zou moeten worden bepaald voor zowel een extreme omstandigheid, zoals een buitentemperatuur van -10 °C en een ontvochtiging van 30 g/m<sup>2</sup>.uur als voor een vaak voorkomende omstandigheid, zoals een buitentemperatuur van 5 °C en een ontvochtiging van 20 g/m<sup>2</sup>.uur.

## 5 Referenties

- Boonekamp, G. (2011): Ontvochtigen kan ook eenvoudig en goedkoop. Groenten & fruit aktueel 15.
- Campen, J.B., Bontsema, J. en Ruijs, M. (2007): Relatie tussen toenemende kashoogte en het energieverbruik in de glastuinbouw. Rapport 144. Wageningen UR Glastuinbouw. Wageningen.
- Dueck, T., Janse, J., Kempkes, F., Li, T., Elings, A. en Hemming, S. (2012): Diffuus licht bij tomaat. Wageningen UR Glastuinbouw. Wageningen.
- de Gelder, A., van Weel, P. en Nederhoff, E. (2010): Energiebesparing in bio-glasteelten door intensief schermen en geavanceerd ventileren. Wageningen UR Glastuinbouw. Bleiswijk.
- de Gelder, A., van Weel, P. en Nederhoff, E. (2011): Energiezuinig klimaat in bioteelt en gewone teelt : proef 2009. Wageningen UR Glastuinbouw. Bleiswijk.
- Raaphorst, M. (2011): Conditionering bij biologische vruchtgroenten : technisch, teeltkundig en economisch onderzoek in de gesloten kas van BiJo te 's-Gravenzande. Wageningen UR Glastuinbouw. Bleiswijk.
- Raaphorst, M. en Voermans, J. (2010): Monitoring ClimecoVent-systeem in de praktijk : technisch, teeltkundig en economisch onderzoek naar een energiezuinige kas bij kwekerij Grenspaal B.V. Wageningen UR Glastuinbouw. Bleiswijk.
- Vermeulen, P. (2008): Kwantitatieve Informatie voor de Glastuinbouw 2008 (KWIN), Wageningen UR Glastuinbouw, Bleiswijk.
- Vermeulen, P.C.M. (2012): Kwantitatieve Informatie voor de Glastuinbouw 2012-2013 (KWIN), nr. GTB -5032, Wageningen UR Glastuinbouw, Bleiswijk.





# Bijlage I      Meting luchtslurven

## Inleiding en doel van de metingen

9 Augustus 2011 zijn er metingen verricht aan de luchtbehandelingsinstallatie in de komkommerkas van de Gebroeders Verbeek te Velden.

In de komkommerkas van de Gebroeders Verbeek zijn per twee tralies van 8 meter in het totaal 7 goten gemonteerd met daaronder een slurf met een diameter van 320 mm.

In één van beide tralies binnen elk traliepaar is een viertal goten geïnstalleerd, terwijl in de naastgelegen tralie(s) een drietal goten is gemonteerd. Per tralie (2 kappen van 4 meter) is in een LBU voorzien, terwijl alle LBU's en slurven identiek zijn.

Dit impliceert dat LBU's die direct naast elkaar staan een verschillend aantal aangesloten slurven hebben (3 of 4), en daarmee in principe een verschillend luchtdebiet per slurf zullen genereren. Om dit (geringe) verschil te overbruggen, is elk paar LBU's tussen de aangesloten luchtkanalen met elkaar verbonden.

De metingen die verricht zijn, hebben als doel de volgende zaken in beeld te brengen, te weten:

Bij het toevoeren van lucht:

- o de gelijkheid van het luchtdebiet dat via de verschillende slurven wordt uitgeblazen,
- o de grootte van het luchtdebiet dat met de gezamenlijke desbetreffende slurven wordt uitgeblazen, teneinde dit aan het ontwerp luchtdebiet te toetsen (luchtdebiet per LBU en per individuele slurf).

Bij het afvoeren van lucht:

- o de grootte van het luchtdebiet dat wordt afgezogen, teneinde dit aan het ontwerp luchtdebiet te toetsen (luchtdebiet per LBU).

Er zijn metingen verricht bij drie verschillende ventilatorstanden, te weten 50%, 80% en 100%.

Ten aanzien van de toevoerzijde kan met de LBU's worden geventileerd (met 100% buitenlucht) en worden gerecirculeerd (met 100% kaslucht).

Het aandeel buitenlucht binnen de in te blazen luchtstroom kan moduleren tussen 0 en 100%. Er is voor gekozen om de metingen louter te verrichten met 100% buitenlucht, aangezien aan deze modus het grootste belang wordt gehecht.

### De meetinstrumenten

Bij de metingen is gebruik gemaakt van de volgende meetinstrumenten, te weten:

- o een klimaatmeter van het fabrikaat Testo, type T435-4, voorzien van een:  
interne drukverschilsonde met een meetbereik van 0 . 25 hPa, en een nauwkeurigheid van +/- 0,02 hPa over het meetbereik 0 . 2 hPa, en een nauwkeurigheid van 1% van de meetwaarde over het overige meetbereik,
- o een hittedraadanemometer van het fabrikaat Testo, type 0635 1025, met:
  - o luchtsnelheidsmeting met een meetbereik van 0 . 20 m/s en een nauwkeurigheid van +/- 0,03 m/s te vermeerderen met 5% van de meetwaarde,
  - o temperatuurmeting met een meetbereik van -20 . 70 °C en een nauwkeurigheid van +/- 0,3 °C,
- o een vleugelradanemometer van het fabrikaat Testo, type 0635 9335 met een meetbereik van 0,25 . 20 m/s en een nauwkeurigheid van +/- 0,1 m/s te vermeerderen met 1,5% van de meetwaarde.

### De metingen

Nummering van de slurven oplopend van links naar rechts, kijkend naar de gevel. Er is gemeten binnen een willekeurig traliepaar met daarin 7 slurven.

(Slurfnummer 1 tot en met 7.)

Om meetlocaties aan te geven over de lengte van de slurven, wordt gerefereerd aan de vaknummers die binnen de gehele kas zijn aangegeven.

(Vaknummer 1 tot en met 26.)

Zie ook de bij deze notitie behorende tekening met nummer M01, d.d. 10 augustus 2011.

### Gelijkmatigheid tussen de slurven:

Aangezien alle slurven identiek zijn mag worden aangenomen dat als in iedere slurf op eenzelfde punt dezelfde druk heerst, ook dezelfde luchthoeveelheid zal worden uitgeblazen.

De (statische) druk is aan het einde van de slurven 1 tot en met 7 gemeten (Vaknummer 1.)

Gemeten met de ventilator op 80% aan het einde van slurf:

- slurfnummer 1 → 46 Pa,
- slurfnummer 2 → 49 Pa,
- slurfnummer 3 → 47 Pa,
- slurfnummer 4 → 39 Pa,
- slurfnummer 5 → 47 Pa,
- slurfnummer 6 → 46 Pa,
- slurfnummer 7 → 41 Pa.

Gemiddeld 45 Pa. De maximale afwijking van dit gemiddelde bedraagt 13,3% in een enkele slurf (nummer 4).

Geconcludeerd mag worden dat de slurven in voldoende mate gelijkheid vertonen. Slurf nummer 4 is aan de voorzijde met een flexibele slang op het luchtkanaal aangesloten.

Deze flexibele slang bevond zich in een ietwat gebogen toestand. Eventueel inkorten van deze slang en recht(er) leggen zal het drukverlies alhier verminderen, hetgeen de druk aan het einde van de slurf meer in de richting zal brengen van de overige slurven.

Ter controle zijn enkele metingen verricht met de ventilator op 50%.

- slurfnummer 3 → 13 Pa,
- slurfnummer 4 → 11 Pa,
- slurfnummer 5 → 14 Pa.

De controlemetingen laten eenzelfde gelijkmatigheid zien tussen de slurven.

Conclusie:

De gelijkmatigheid is voldoende goed.

#### Debietmetingen toevoerlucht

De slurven hebben een doorsnede van  $\varnothing$  320 mm. Met de snelheid aan de voorzijde van de slurf kan het debiet worden berekend dat met de desbetreffende slurf wordt uitgeblazen.

Aangezien de lucht aan het directe begin van de slurf (vaknummer 26) zeer turbulent is, is tussen vaknummer 25 en 26 gemeten, waar de lucht minder turbulent is.

Er zijn 4 metingen verricht aan slurf 1 met de ventilator op 80%.

- meting nummer 1 → 5,24 m/s (geeft 1.547 m<sup>3</sup>/h),
- meting nummer 2 → 5,54 m/s (geeft 1.635 m<sup>3</sup>/h),
- meting nummer 3 → 5,38 m/s (geeft 1.588 m<sup>3</sup>/h),
- meting nummer 4 → 6,01 m/s (geeft 1.774 m<sup>3</sup>/h).

Gemiddeld wordt 1.636 m<sup>3</sup>/h per slurf aan lucht uitgeblazen. De desbetreffende LBU verplaatst dus een luchtdebiet van 5.726 m<sup>3</sup>/h, ofwel genereert een luchtdebiet van 5,52 (m<sup>3</sup>/h)/m<sup>2</sup> bij de ventilator op 80%. Het ontwerpluchtdebiet was 5 (m<sup>3</sup>/h)/m<sup>2</sup> in deze stand.

Ter controle is een meting verricht aan slurf 2 met de ventilator op 80%.

- meting nummer 1 → 5,92 m/s (geeft 1.748 m<sup>3</sup>/h).

Ten aanzien van de reeks drukmetingen bleek de (statische) druk in slurf 2 iets hoger te zijn dan in slurf 1. Dat het luchtdebiet van slurf 2 hoger is dan het luchtdebiet in slurf 1 is logisch.

Conclusie:

Het luchtdebiet van de slurven/LBU's voldoet aan het ontwerp.

Noot:

Hoewel met zeer nauwkeurige apparatuur is gemeten, kunnen de werkelijke waarden afwijken van de gemeten waarden, vanwege de mate van turbulentie van de lucht aan de voorzijde van de slurf. Door niet geheel vooraan in de slurf te meten en een tijdgemiddelde meting te verrichten, is getracht de bedoelde afwijking zo gering als mogelijk te houden.

Nochtans worden afwijkingen tot ca. 10% mogelijk geacht.

#### Debietmetingen afvoerlucht

Het gezamenlijke afzuigkanaal heeft een netto inwendige doorsnede van 928 × 273 mm. Met de gemiddelde snelheid in het luchtkanaal kan het debiet worden berekend dat met de desbetreffende LBU uit de kas wordt gezogen.

Gemeten met de ventilator op 80% in het rechthoekige luchtkanaal:

- meting kanaallocatie "a" → 6,15 m/s,
- meting kanaallocatie "b" → 6,11 m/s,
- meting kanaallocatie "c" → 6,07 m/s.

Gemiddelde luchtsnelheid bedraagt 6,11 m/s. De desbetreffende LBU verplaatst dus een luchtdebiet van 5.572 m<sup>3</sup>/h, ofwel genereert een luchtdebiet van 5,37 (m<sup>3</sup>/h)/m<sup>2</sup> bij de ventilator op 80%. Het ontwerpluchtdebiet was 4,5 (m<sup>3</sup>/h)/m<sup>2</sup> in deze stand.

Het ontwerp voorziet binnen de 100% ventilatiemodus van de LBU's een ietwat kleiner luchtafvoerdebiet dan luchttoevoerdebiet. Dit om een geringe overdruk in de kas te creëren, hetgeen een gunstige invloed heeft op het kasklimaat.

Conclusie:

Het luchtdebiet van de luchtafvoervoorziening in de LBU's voldoet aan het ontwerp.

Noot:

Hoewel met zeer nauwkeurige apparatuur is gemeten, kunnen de werkelijke waarden afwijken van de gemeten waarden, vanwege de mate van turbulentie van de lucht aan de voorzijde van de slurf. Door niet geheel vooraan in de slurf te meten en een tijdgemiddelde waarde te meten, is getracht de bedoelde afwijking zo gering als mogelijk te houden.

Nochtans worden afwijkingen tot ca. 10% mogelijk geacht.

Noot bij de debietmetingen met de afvoerventilator op 100%:

Wanneer zowel de inblaasventilatoren als de afvoerventilatoren op 80% draaien, blijkt een luchttoevoerdebiet van 5.726 m<sup>3</sup>/h, en een luchtafvoerdebiet van 5.572 m<sup>3</sup>/h per LBU behaald te worden. Het luchtafvoerdebiet is ca. 3% kleiner dan het luchttoevoerdebiet.

De toevoerventilatoren zijn op een gegeven moment naar 100% opgetoerd. Met de toevoerventilatoren in deze stand zijn geen debietmetingen verricht, aangezien niets erop wijst dat goed functioneren binnen deze stand niet mogelijk zou zijn. Theoretisch wordt dan per LBU een luchttoevoerdebiet van 7.157 m<sup>3</sup>/h behaald, ofwel een luchtdebiet van 6,90 (m<sup>3</sup>/h)/m<sup>2</sup>.

De LBU's zijn in latere instantie aan de afvoerszijde van een geluiddemper voorzien. Ook de afvoerventilatoren zijn op een gegeven moment naar 100% opgetoerd.

Omdat in latere instantie een wijziging is doorgevoerd, waarbij een extra weerstand in de luchtafvoerstream is gebracht, zijn metingen verricht.

Theoretisch moet per LBU een luchtafvoerdebiet van 6.965 m<sup>3</sup>/h worden behaald.

Gemeten met de ventilator op 100% in het rechthoekige luchtkanaal:

- meting kanaalallocatie "a" → 6,12 m/s,
- meting kanaalallocatie "b" → 6,52 m/s,
- meting kanaalallocatie "c" → 6,23 m/s.

Gemiddelde luchtsnelheid bedraagt 6,29 m/s. De desbetreffende LBU verplaatst dus een luchtdebiet van 5.736 m<sup>3</sup>/h, ofwel genereert een luchtdebiet van 5,53 (m<sup>3</sup>/h)/m<sup>2</sup> bij de ventilator op 100%.

Het blijkt dat de afvoerventilator het theoretisch berekende debiet niet verplaatst. Dit wordt veroorzaakt door de extra weerstand die de geluiddemper genereert. Het werkpunt van de installatie is buiten het gebied in de curve van de ventilator komen te liggen, waarbij de ventilator goed presteert.

Aanbevolen wordt de afvoerventilator maximaal 80% te laten draaien. Optoeren naar 100% is niet aan te bevelen, omdat de ventilator dan veel meer elektriciteit gaat verbruiken, veel meer geluid gaat maken, terwijl deze effectief niet veel meer gaat presteren.

Het luchttoevoerdebiet dat behaald kan worden bedraagt per LBU 7.157 m<sup>3</sup>/h, terwijl het luchtafvoerdebiet 5.572 m<sup>3</sup>/h zal bedragen.

Het luchtafvoerdebiet is ca. 22% kleiner dan het luchttoevoerdebiet in deze modus, zijnde 1.585 m<sup>3</sup>/h, ofwel een luchtdebiet van 1,52 (m<sup>3</sup>/h)/m<sup>2</sup>.

Mocht het verschil tussen de toevoervoluchtstream, gegenereerd door de toevoerventilatoren op 100%, en de afvoervoluchtstream, gegenereerd door de afvoerventilatoren op 80%, tot ongemakken leiden, dan zijn deze eenvoudig teniet te doen door de luchtramen ietwat te laten kieren.

Bovengenoemde situatie zal zich overigens niet voordoen tijdens lage buitentemperaturen.

# Bijlage II Test verwarmingselementen

Uitgevoerd door Climeco Engineering B.V.

Dhr. J. Derks

Dhr. Ing. R. Wientjens

Datum metingen: 16 mei 2012

## Inleiding

In de LBU's is een verwarmingselement geplaatst dat ontworpen is om 28 kW warmte te kunnen leveren met een aanvoer water temperatuur van 85 °C en een retour van 45 °C. Hierbij is er sprake van een buitenluchttemperatuur van 5 °C en een gewenste inblaasttemperatuur van 20 °C. Het luchtdebiet is dan 5 m<sup>3</sup>/u.m<sup>2</sup> wat overeenkomt met 5200 m<sup>3</sup>/u voor een verwarmingselement.

## Uitvoering

- 1) De warmte terugwin elementen zijn verwijderd. Er zijn metingen verricht van luchttemperatuur en snelheid achter het verwarmingselement. Daarvoor zijn 4 gaten gemaakt achter het verwarmingselement, op hoogtes 25 cm, 50 cm, 75 cm en 95 cm van de onderkant. Dit geeft de mogelijkheid met een hittedraadmeter te meten. De metingen worden ondersteund door warmtebeeld foto's van het verwarmingselement, om te zien of de warmte gelijkmatig afgegeven wordt.
- 2) In de kas zijn temperatuurmetingen verricht aan de aanvoer en retour leidingen ter plaatse van de menggroep en bij 3 van de 10 LBU aansluitingen.

## Luchtzijdige metingen aan unit 4 afdeling 4

Gemeten buitentemperatuur: 7,7 °C

Gemeten temperatuur na verwarmingselement is gemiddeld 17,8 °C. Er is geen eenduidig temperatuurverloop te zien tussen de metingen het hoogst en het laagst in het kanaal.

De gemeten luchtsnelheid na het verwarmingselement is gemiddeld 4,2 m/s. De kanaalafmeting is 1,2 x 0,3 m. Dit geeft dat deze LBU op dat moment een capaciteit heeft van 5443 m<sup>3</sup>/u.

Het vermogen dat overgedragen is door het verwarmingselement op basis van deze gegevens is 18,7 kW.

## Luchtzijdige metingen aan unit 8 afdeling 4

Gemeten buitentemperatuur: 8,1 °C

Gemeten temperatuur na verwarmingselement is gemiddeld 18,0 °C. Er is geen temperatuurverloop te zien tussen de metingen het hoogst en het laagst in het kanaal.

De gemeten luchtsnelheid na het verwarmingselement is gemiddeld 4,1 m/s. De kanaalafmeting is 1,2 x 0,3 m. Dit geeft dat deze LBU op dat moment een capaciteit heeft van 5314 m<sup>3</sup>/u.

Het vermogen dat overgedragen is door het verwarmingselement op basis van deze gegevens is 17,9 kW.

Uit foto's genomen met de warmtebeeld camera blijkt dat de temperatuurverdeling over de verwarmingselementen steeds gelijkmatig is.

## Watertemperatuurmetingen aan de aanvoer en retourleidingen

In het ketelhuis bevindt zich de transportgroep die het warme water naar de menggroep van afdeling 4 stuurt. De watertemperaturen zijn gemeten op 90 °C aanvoer en 66 °C retour.

De aanvoer- en retourtemperatuur bij de menggroep in afdeling 4 zijn gemeten: 89,5 °C aanvoer en 66,5 °C retour.

Uit voorgaande metingen weten we dat het waterdebiet 8,5 m<sup>3</sup>/uur is over de menggroep voor 10 LBU's. Het waterdebiet per LBU is dus 0,85 m<sup>3</sup>/uur. Volgens het ontwerp (85/45) zou 0,6 m<sup>3</sup>/uur voldoende moeten zijn.

Er is bij 3 LBU's gemeten wat de aanvoer- en retourtemperatuur is.

Unit 1: Aanvoer 83 °C

Retour 66 °C

Delta 17 K, geeft een vermogen van 16,8 kW

Unit 4: Aanvoer 87,5 °C

Retour 70,1 °C

Delta 17,4 K, geeft een vermogen van 17,2 kW

Unit 8: Aanvoer 88,6 °C

Retour 71 °C

Delta 17,6 K, geeft een vermogen van 17,4 kW

Opvallend is dat unit 1, die het dichtst bij de menggroep staat een aanvoertemperatuur krijgt van 83 °C en dat unit 8 een aanvoertemperatuur van 88,6 °C krijgt. Dat betekent dat het temperatuurverschil van de aanvoertemperaturen van alle units 7 °C bedraagt.

### **Conclusie**

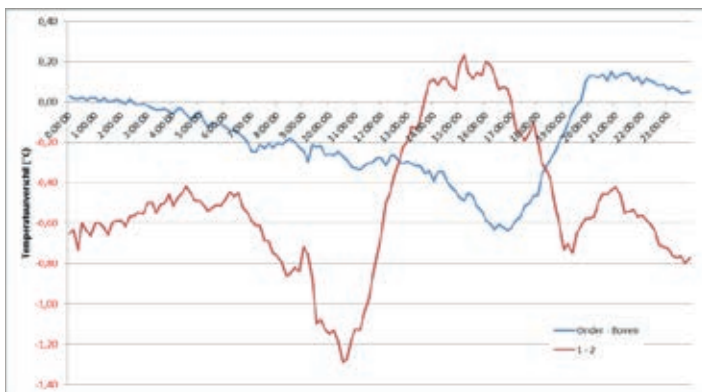
De aanvoertemperatuur van de lucht en van het water is in lijn met de ontwerp temperaturen. Ook het luchtdebiet is volgens het ontwerp. Het waterdebiet is 40% hoger dan theoretisch nodig. Te verwachten is dat het verwarmingselement met gemak voldoende warmte kan leveren. Echter het overgedragen vermogen is significant lager dan de opgegeven 28 kW.

## Bijlage III Temperatuurverdeling

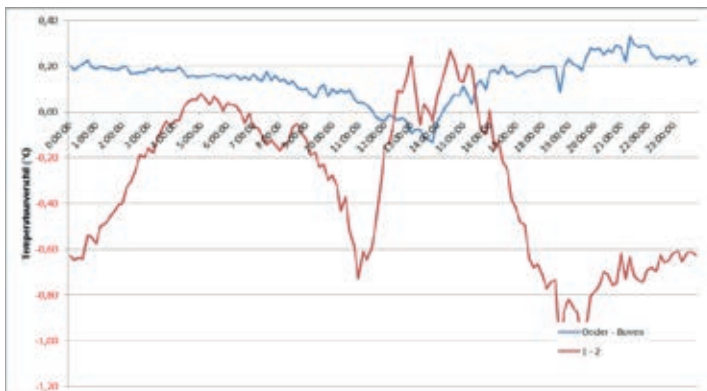
De temperatuurverdeling van de twee meetpalen is met cyclische gemiddelden weergegeven in onderstaande maandgrafieken. Hierbij zijn de blauwe lijnen het temperatuurverschil tussen de bovenste en de onderste meetboxen en de rode lijnen het temperatuurverschil tussen meetpaal 1 (achter) en meetpaal 2 (voor). Aangezien er weinig verschil was te zien tussen de maanden mei t/m september, zijn deze maanden gezamenlijk in 1 grafiek geplaatst.

Trends die uit de grafieken zijn te halen zijn:

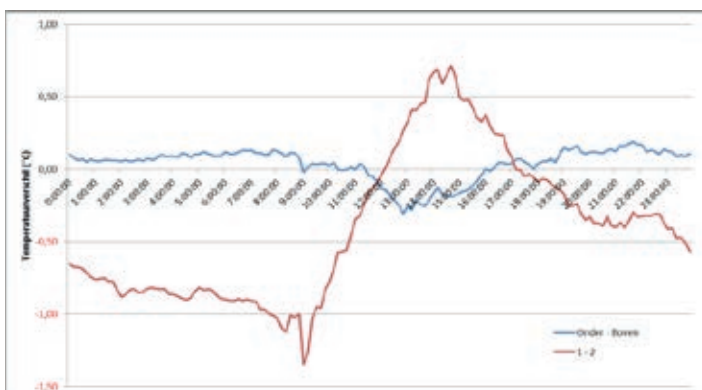
- Gedurende de nacht is de temperatuur onderin hoger dan bovenin. Overdag is dit andersom. De verschillen zijn echter (vooral in de winter) klein.
- In de wintermaanden, en vooral 's nachts, is meetpaal 1 kouder dan meetpaal 2. In de zomer is meetpaal 1 gemiddeld warmer dan meetpaal 2.



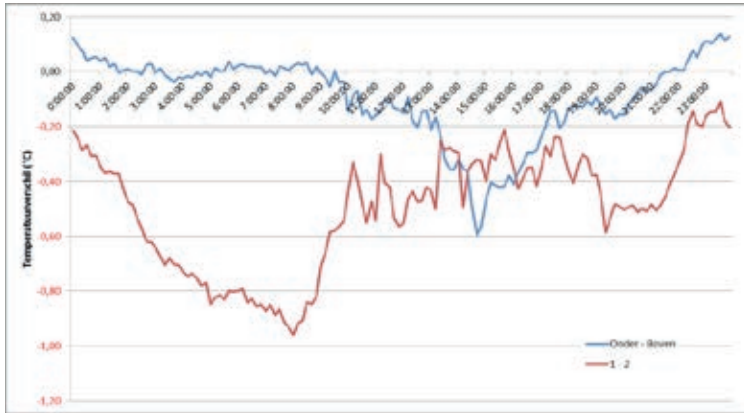
Januari



Februari



Maart



April



Mei-September



## Bijlage IV Hoe energiezuinig om te gaan met klimaatinstellingen

Buitenluchtaanzuiging is een extra middel om het kasklimaat te beïnvloeden. Dit geeft meer mogelijkheden voor de teler, maar maakt de regeling complexer, omdat verschillende middelen met elkaar in conflict kunnen komen. Zo bij het instellen van de klimaatcomputer is het van belang om de verschillende middelen goed op elkaar af te stemmen, zodat deze niet met elkaar in conflict komen. Voor de beheersing van de temperatuur en luchtvochtigheid kan worden gestuurd met de volgende middelen:

- Buistemperatuur gewas
- Buistemperatuur buisrail
- Raamstand wind
- Raamstand luw
- Schermstand boven
- Schermstand onder
- Ventilatorstand LBU inblaas
- Ventilatorstand LBU afzuiging
- Klepstand LBU
- Watertemperatuur LBU

### Buistemperatuur

De buistemperatuur is primair voor het op temperatuur houden van de kas. Het beheersen van de luchtvochtigheid kan efficiënter worden geregeld door luchtuitwisseling dan door het hanteren van een minimum buis. Als de buitentemperatuur nauwelijks lager is dan de stooktemperatuur, wordt het echter moeilijk om met luchtuitwisseling voldoende vocht af te voeren. Dit komt wel eens voor in augustus en september. Alleen op die momenten is het raadzaam om een minimum buistemperatuur aan te houden.

De afstemming tussen bovenbuis- en onderbuisverwarming kan van verschillende factoren afhangen. De onderbuis straalt minder warmte uit naar het kasdek dan de bovenbuis en zou om die reden primair moeten zijn. Toch zijn er meerdere redenen te verzinnen (voorkomen condensatie in gewaskoppen, selectief verwarmen van hoger gelegen gewasdelen) om primair gebruik te maken van de bovenverwarming.

#### *Hoofdinstelling:*

- Buistemperatuur regelen op gewenste stooktemperatuur

#### *Invloeden:*

- Maximum buistemperatuur op basis van capaciteit aardgasaansluiting
- Minimum buistemperatuur indien bij geringe straling de stooktemperatuur maar weinig hoger is dan de buitentemperatuur.
- Geen vochtregeling.

### Raamstand

De luchtramen zijn een eenvoudig middel om de luchtuitwisseling tussen kaslucht en buitenlucht te regelen. Deze regeling is echter zeer grof. Gesloten ramen geven nauwelijks luchtuitwisseling terwijl een klein kiertje al gauw te veel luchtuitwisseling geeft. Zeker bij lage buitentemperaturen kan dat een probleem zijn. Voor kleine hoeveelheden luchtuitwisseling is een LBU daarom geschikter dan het gebruik van luchtramen.

#### *Hoofdinstelling:*

- Raamstand regelen op maximaal gewenste ventilatietemperatuur
- Ventilatietemperatuur altijd hoger dan stooktemperatuur
- Windzijde loopt achter op luwe zijde

#### *Invloeden:*

- *Stapgrootte (of P-band) afhankelijk van verschil kastemperatuur en buitentemperatuur*
- *Minimum raamstand regelen op gewenste luchtvochtigheid (zie Tabel 2.)*
- *Beveiligingen voor regen, storm en vorst.*

## Schermandstand

Schermkieren zijn lange tijd gezien als een geschikt middel om de luchtvochtigheid te beheersen. Het vrijwel gesloten scherm houdt immers de warmtestraling van het gewas naar het kasdek tegen, waardoor het gewas warmer blijft en er veel vocht via de schermkieren kan condenseren op het veel koudere kasdek. Toch blijken schermkieren in de praktijk voor een vervelend neveneffect te zorgen: het schoorsteeneffect. Hierdoor stijgt kaslucht op de hoogste plek van de kas door de schermkieren en stroomt dan langs het koude kasdek naar de laagste plek van de kas, waar het door de schermkieren zakt en voor een koude plek in de kas kan zorgen. Dit kan leiden tot meer dan 5 °C temperatuurverschil in de kas. Schotten tussen scherm en kasdek kunnen deze stromingen enigszins beperken, maar als men beschikt over LBU's, kan het gebruik van schermkieren helemaal achterwege worden gelaten.

### Hoofdinstelling:

- Schermandstand regelen op verschil kastemperatuur en buitentemperatuur
- Geen (langdurige) kieren

### Invloeden:

- Straling
- Windsnelheid
- Uitstraling

## LBU

De hoeveelheid buitenlucht die in de kas moet worden geblazen, is vooral afhankelijk van de luchtvochtigheid in de kas. Hoe hoger de luchtvochtigheid, hoe meer luchtuitwisseling nodig is. Deze hoeveelheid kan worden geregeld door zowel de ventilatorstand als de klepstand. Een mengklep die bepaalt hoeveel kaslucht bij de buitenlucht wordt gemengd, is in principe overbodig als het luchtdebiet gevarieerd mag worden. Veel telers stellen echter zeer lage debieten of aan/uit-regelingen niet op prijs, vanwege respectievelijk een ongelijke luchtverdeling in de kas of te veel schommelingen in de luchtvochtigheid.

Indien de gewasverdamping groter wordt dan de hoeveelheid droge lucht die via de LBU kan worden aangevoerd, dan kunnen de ramen worden geopend. In principe zou de ventilator van de LBU dan kunnen worden uitgeschakeld om elektriciteit te besparen, maar als droge lucht vooral onder in het gewas gewenst is blijft een LBU met luchtslurven effectiever dan luchtramen.

De hoeveelheid lucht die moet worden afgezogen via de regain-unit is in principe gelijk aan de hoeveelheid lucht die wordt ingeblazen. Om enige overdruk in de kas te genereren kan de hoeveelheid afgezogen lucht iets lager worden gekozen. Dit gaat dan wel ten koste van het rendement van de regain-unit.

De temperatuur van de ingeblazen lucht moet de kasluchttemperatuur dicht benaderen. Hiervan kan worden afgeweken als met decentrale LBU's in plaats van met slurven wordt gewerkt. Bij decentrale LBU's is het risico van een ongelijkmatige temperatuurverdeling minder groot dan bij onverwarmde buitenlucht in slurven.

### Hoofdinstelling:

- *Klepstand regelen op luchtvochtigheid (zie Tabel 2.)*
- *Ventilatorstand inblaas regelen op luchtvochtigheid (zie Tabel 2.)*
- *Ventilatorstand afzuiging evenredig met de inblaas*
- *Watertemperatuur regelen op verschil inblaastemperatuur en kastemperatuur.*

### Invloeden:

- *Indien de luchtramen een bepaalde stand hebben bereikt, kan de LBU worden afgeschakeld (zie Tabel 2.)*

Tabel 2. Afstemming vochtregeling tussen LBU en minimum raamstand.

RV	Actie
Tot 83%	Geen vochtregeling
83-87%	Lage stand ventilator -> vochtregeling op mengklep
87-90%	Mengklep 100% open -> vochtregeling op ventilatorstand
Boven 90%	Vochtregeling op minimum raamstand
Raamstand > 20%	Ventilator kan uit

### Setpoints RV

De RV-setpoints uit Tabel 2. zijn slechts voorbeelden die niet jaarrond hetzelfde zijn. In principe dient de RV-setpoint zo hoog mogelijk worden aangehouden om de volgende redenen:

- bij een hoge RV blijven de huidmondjes verder open staan zodat CO<sub>2</sub> eenvoudiger kan worden opgenomen,
- een hoge RV geeft meer celstrekking, zodat een jong gewas sneller voldoende bladoppervlak maakt om meer licht te onderscheppen,
- een hoge RV beperkt (vooral 's nachts) de verdamping, zodat minder energie verloren gaat en ook minder vocht hoeft te worden afgevoerd.

Een te hoge RV kan echter de volgende mogelijke nadelige gevolgen geven:

- door verminderde opname van calcium en door celstrekking kunnen cellen vatbaarder worden voor beschadiging (bijvoorbeeld bij plotselinge stijging van de hoeveelheid straling),
- het gewas kan vatbaarder worden voor ziekten als het nat wordt door
  - o condensatie, met name bij grote temperatuurverschillen (horizontaal en verticaal)
  - o guttatie, met name bij een hoge worteltemperatuur.

Bij hoge buitentemperaturen schiet de ontvochtigingscapaciteit vaak tekort om de RV voldoende laag te houden. Daarom wordt bij die omstandigheden het setpoint van de RV vaak lager gehouden dan strikt noodzakelijk, zodat de ontvochtigingscapaciteit toch maar zo veel mogelijk wordt ingezet. Bij lage buitentemperaturen is veel minder luchtuitwisseling nodig om voldoende vocht af te voeren en bovendien condenseert *et al.* meer vocht tegen het kasdek. Bij die omstandigheden kan een laag setpoint van de RV tot overbodige vochtafvoer en energieverlies leiden.









