

Meerlagenteelt in de praktijk

Energie-efficiënter tulpen broeien 2012

J. Wildschut, E. Promes (WUR/PPO)

© 2013 Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Dit project is uitgevoerd in opdracht van en gefinancierd door de partijen in de Meerjarenaafpraak energie Bloembollen (KAVB, PT, min.EZ, Agentschap NL en telers).



Projectnummer: 32 360 844 12

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Bloembollen, Boomkwekerij & Fruit

Adres : Prof. Van Slogterenweg 2
: Postbus 85, 2160 AB Lisse
Tel. : 0252 - 462121
Fax : 0252 - 462100
E-mail : info.ppo@wur.nl
Internet : www.ppo.wur.nl

Inhoudsopgave

pagina

SAMENVATTING.....	5
1 INLEIDING	7
2 WERKWIJZE.....	7
3 RESULTATEN	9
3.1 Systeemoverzicht	9
3.2 Kasklimaat	10
3.3 Licht	29
3.4 Energieverbruik mechanisch ontvochtigen	30
3.5 Energie-Efficiëntie	32
4 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	35

Samenvatting

Doelstelling van het project 'Meerlagenteelt in de praktijk' is het ondersteunen van de ontwikkeling van meerlagenteelt (MLT) systemen waardoor het energieverbruik voor de broeierij drastisch afneemt. De werkwijze hierbij is enerzijds het demonstreren van de werking van de verschillende reeds ontwikkelde MLT-systemen op praktijkbedrijven en de hierbij gerealiseerde energiebesparingen, anderzijds het op deze bedrijven testen/verifiëren van toepassingen van recente resultaten van onderzoek naar verbeteringen van o.a. belichting en kasklimaat.

Dit 3^{de} jaar van het project Meerlagenteelt in de praktijk zijn weer meer broeiers betrokken waardoor er meer verschillende MLT-systemen vergeleken konden worden.

Het ontvochtigingssysteem waarmee door luchtbehandelingskasten (LBK) opgewarmde buitenlucht gemengd wordt met kaslucht en vervolgens via slurven de kas wordt ingeblazen, verdeelt de droge lucht perfect over de lagen. Warmte wordt door de slurven echter minder goed verdeeld omdat er tijdens het transport warmteverlies is: aan het eind van de slurf is de lucht enkele graden koeler en dit resulteert in dit kasdeel in een iets lagere kastemperatuur (tot 1 °C). Horizontale temperatuur- (en RV-) verschillen kunnen ook door omstandigheden als het dagelijks enige tijd openen van de kas om containers in te halen, of door natte plekken op de grond, aanzienlijk zijn. De positie van de meetbox die op de klimaatcomputer is aangesloten, is dus van invloed op de regeling van het kasklimaat. Het is beter om meerdere meetboxen te plaatsen.

Boven de bovenste laag is het kasklimaat onregelmatiger: dag- en nachtverschillen zijn er groot, vooral als de kasruimte (hoogte) boven de bovenste laag beperkt is. Het kasklimaat boven onderliggende teeltlagen is juist erg gelijkmatig. Boven de bovenste laag wordt het gemiddeld warmer dan boven de onderste laag. Ook het absolute vochtgehalte neemt van onderen naar boven toe: op de bovenste laag staan meestal de grootste planten, daardoor en ook door het kasklimaat is daar de verdamping het grootst. En vochtige lucht is lichter dan droge lucht en stijgt op. Ook de manier van watergeven speelt een rol.

Direct aangezogen (dus onverwarmde) buitenlucht die door een slurf naar het midden van de kas boven laag 2 wordt getransporteerd, wordt hierdoor (afhankelijk van de temperatuur van de buitenlucht en de kaslucht en van de klepstand) tot zo'n 10°C opgewarmd.

Met 4 of meer strengen lampen boven containers van 6 meter wordt een goede lichtverdeling gerealiseerd. Hoe dichter de lampen boven het gewas, hoe meer strengen nodig zijn om een gelijkmatige verdeling te krijgen, maar hoe minder lichtverlies door verstrooiing. De boven het gewas gemeten lichthoeveelheid ($\mu\text{mol/s/m}^2$) per geïnstalleerd lampvermogen (watt/m^2) is dan hoger, het energieverbruik efficiënter. LED's kunnen het dichtst op het gewas worden gebracht.

Uit luchtsnelheidsmetingen in de slurven bleek dat het debiet gelijkmatig verdeeld is over de lengte van de slurf: uit alle gaatjes komt evenveel lucht. Tussen slurven aangesloten op hetzelfde kanaal is wel een flink verschil mogelijk, afhankelijk van de positie t.o.v. de LBK.

In dit systeem bleek voor verwarmen + ontvochtigen van de onderste twee lagen 46% van het gasverbruik nodig te zijn, waarvan 37% voor het verwarmen van de buitenlucht (dus voor ontvochtigen) en 9% voor het verwarmen van recirculerende kaslucht. Voor de buisverwarming van de bovenste laag bleek 54% van het gasverbruik nodig te zijn. Hoeveel hiervan voor ontvochtigen via het raam wordt gebruikt is onbekend.

Bij de deelnemende bedrijven zijn door meerlagenteelt energiebesparingen gerealiseerd tot boven de 60%.

Sterke punten van de verschillende MLT-systemen zijn:

- Hoogste energiebesparing bij de 3-laagssystemen
- Recirculatie (retour)lucht voor de LBK alleen van boven de bovenste laag aanzuigen (gelijkmatiger luchtvochtigheid, en van warmte)
- Horizontaal blazende ventilatoren boven de bovenste laag, of slurven net als boven de onderste lagen

- Meerdere meetboxen per laag
- LED verlichting dicht op gewas en 6 strengen per containerbaan (meer μmol groeilicht/watt elektra)
- Belichten volgens behoefte groeistadium (donker aan het begin van de trek, laatste fase daglicht)
- Ruimte tussen containerbanen (loopruimte voor gewascontrole, bevordert verticale luchtstroom, geeft nog wat licht door naar onderliggende laag)
- Ventilatoren die kaslucht van boven laag 2 via slurven boven laag 1 brengen bij de systemen zonder luchtbehandelingskasten
- Veel ruimte boven de bovenste laag
- Watergeefstelsel: niet bovenlangs (het gewas niet nat maken)

1 Inleiding

Het broeien in meerdere lagen biedt grote mogelijkheden om het energieverbruik in de broeierij terug te dringen. Daarnaast zijn er voordelen als een betere kasbenutting en productie-uitbreiding zonder kasuitbreiding. De kostprijs per steel wordt hierdoor verlaagd. Voor besparing op het energieverbruik per steel is het elektraverbruik voor belichten van de onderste lagen een cruciale factor. Onderzoek liet echter zien dat in het begin van de trek de lichtbehoefte van tulp bijzonder laag is en dat met licht-efficiënte rode en blauwe LED's de plantopbouw van de tulp gestuurd kan worden. Met LED's i.p.v. TL- of Kwiklampen kunnen de teeltlagen veel dichter op elkaar geplaatst worden waardoor meerlagenteelt (MLT) nog energie-efficiënter kan worden.

Doelstelling van het project 'Meerlagenteelt in de praktijk' is het ondersteunen van de ontwikkeling van eb/vloed MLT-systemen waardoor deze versneld geïmplementeerd kunnen worden. In de bolbloemensector neemt op middellange termijn het energieverbruik voor de broeierij dan drastisch af. De werkwijze hierbij is enerzijds het demonstreren van de werking van de verschillende reeds ontwikkelde MLT-systemen op praktijkbedrijven en de hierbij gerealiseerde energiebesparingen, anderzijds het op deze bedrijven testen/verifiëren van toepassingen van recente resultaten van onderzoek naar verbeteringen van belichting, kasklimaat, e.d..

De eerste fase van het project is in 2009 gestart met 3 bedrijven die in de kas (geheel of gedeeltelijk) in meer lagen broeien, plus een 4^{de} bedrijf dat in gestapelde containers de bewortelingsfase verlengt. Het 2^{de} jaar zijn er 4 broeiers bijgekomen en dit 3^{de} jaar 3 nieuwe bedrijven. Gedurende de drie jaren van het project zijn de volgende bedrijven één of meerdere jaren bij het project betrokken geweest: M.T. Burger Bloembollen, Breg Biddinguizen, Germaco B.V., Gebr. Hoff & Zn, Karel Bloembollen B.V., Maatschap Kreuk, G. Oud & Zn, Gebr. Smak, Wagemaker Flowers B.V., De Wit Bloembollen B.V., en Zwet Tulips.

2 Werkwijze

Het 3^{de} jaar van dit project zijn meer broeiers bij dit project te betrokken waardoor er meer verschillende MLT-systemen vergeleken konden worden en zo meer informatie voor de sector werd gegenereerd. Deze verschillen in meerlagenteeltsystemen zijn in kaart gebracht en op 6 bedrijven is het kasklimaat tot 2 – 3 weken gelogd. Op 4 bedrijven is de groei-lichtverdeling gemeten. Aandachtspunten hierbij zijn o.a. de luchtvochtigheid i.v.m. kiepers/zweters, de verschillende methoden van ontvochtigen en de gelijkmatigheid van de lichtverdeling boven het gewas. Op bedrijven waar in de voorgaande jaren al metingen waren verricht en waar geen aanpassingen van het systeem plaats hebben gevonden zijn dit 3^{de} jaar geen klimaat- of groei-lichtmetingen gedaan.

Uit de energiecijfers (o.a. gasmeterstanden en branduren van de verlichting) en de broeiproduktie (aantal stelen) is voor 6 bedrijven de energie-efficiëntie bepaald.

O.a. door middel van luchtsnelheidsmetingen in de slurven en data uit de klimaatcomputer zijn voor één bedrijf de debieten en de energiekosten van het systeem van mechanisch ontvochtigen bepaald.

Uit de vergelijking van de verschillende systemen zijn de sterke punten en de verbeterpunten afgeleid.

Kennisverspreiding vindt plaats door het onderhoud van de website, een vakbladartikel en, in samenwerking met adviseurs/voorlichters, presentaties op bijeenkomsten en open dagen.

3 Resultaten

3.1 Systeemoverzicht

Tussen de 10 bedrijven die vanaf 2009/2010 één of meerdere broeiseizoenen aan het project Meerlagenteelt in de praktijk deelnamen bestaan grote verschillen in de manier waarop meerlagenteelt in de kas gerealiseerd wordt: De tweede laag bedekt de onderste laag geheel of slechts voor een gedeelte en in het laatste geval kunnen de containerbanen aaneengesloten zijn of afwisselen met ruimte tussen de banen (alternerend) om zo beter van het daglicht te profiteren. Bij de 2 laagssystemen varieert de netto bedekkingsgraad hierbij van minimaal 126% tot maximaal 200%, bij de 3 laagssystemen tot 300%. Op sommige bedrijven is de 2^{de} laag in een bestaande (schuur)kas ingebouwd, op andere is het meerlagen systeem bij nieuwbouw gerealiseerd. In dit laatste geval is de kas hoger gebouwd. In tabel 1 is een overzicht gegeven van de verschillende MLT-systemen. Hierin is ook aangegeven hoeveel jaar ervaring met MLT op het bedrijf is.

Tabel 1: Overzicht van de bedrijven en hun meerlagenteeltsystemen.

	aantal lagen	aantal jaren MLT	Bedekkings- graad*	Ontvoch- tiging	kasverwarming	belichting	Broei systeem	transport systeem	Kas hoogte
Bedrijf 1	2+	5	200%	DAB	Buizen	Kwik	w	TR	normaal
Bedrijf 2	2a	3	165%	LBK	Vloer + Slurven	Kwik	e/v	DS+L	hoog
Bedrijf 3	2	>5	133%	trad	Buizen	Kwik	w	DS+L	normaal
Bedrijf 4	2	2	200%	LBK	Slurven + Buizen	TL W/B	w	DS+L	hoog
Bedrijf 5	2	5	126%	trad	Buizen	-	w	DS+L	normaal
Bedrijf 6	2	1	150%	DAB	Buizen	TL W	w	DS + ML	normaal
Bedrijf 7	2- 4	1	143%**	LBK	Slurven	TL W/B	e/v	DS+L	hoog
Bedrijf 8	3	1	300%	LBK	Slurven + Buizen	LED	w	TR	hoog
Bedrijf 9	2	1	150%	LBK	Slurven + Buizen	LED	w	DS+L	normaal
Bedrijf 10	3	1	300%	LBK	Slurven + Buizen	TL W/B	w	DS+L	hoog

* = (netto oppervlak bovenlagen gedeeld door netto oppervlak onderste laag) + 100%

** ontworpen voor maximaal 286%

2+: incidenteel wordt ook *onder* de 1ste laag gebroeid

2a containerbanen 2de laag alternerend

DAB Direct aangezogen buitenlucht die in de kas gemengd wordt met kaslucht

LBK Luchtbehandelingskast die aangezogen buitenlucht verwarmt en mengt met kaslucht

trad traditioneel: stoken met het raam open

w = stilstaand water, e/v = eb/Moed

TL W/B TL wit en blauw

TR Transport robot / treintje DS+L: Doorduwsysteem met vaste liften DS+ML: Doorduwsysteem met mobiele lift

De meeste bedrijven hebben een luchtbehandelingssysteem waarbij buitenlucht wordt aangezogen, gemengd met kaslucht, vervolgens verwarmd en via slurven de kas wordt ingeblazen. Twee andere bedrijven verwarmen de aangezogen buitenlucht niet maar laten deze tijdens het transport door de slurven door de kaslucht opwarmen. De luchthoeveelheid wordt door klepstand en ventilatorstand bepaald. Op de twee bedrijven met de laagste bedekkingsgraad wordt op de traditionele manier ontvochtigd: stoken met de ramen open.

Verwarming van de bovenste laag wordt, twee bedrijven uitgezonderd, met buizen gerealiseerd.

Belichting wordt gedaan met kwiklampen, TL-lampen (witte, of witte samen met blauwe) of met LED's.

Containers worden getransporteerd met een transportrobot (een programmeerbaar treintje met een lift), waarbij op flexibele wijze containers naar en van baan en laag verplaatst kunnen worden. De containers in deze systemen zijn korter (3,60 – 4,30 meter) dan de containers in de doorduwsystemen met liften op een vaste plaats (6,00 meter). Een tussenvorm is een doorduwsysteem met een mobiele lift die van elke baan de container van onder naar boven kan verplaatsen. Een vaste lift verplaatst de containers daarna naar het

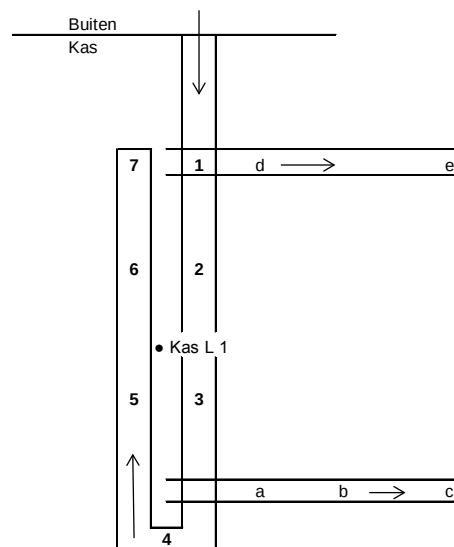
éénlaags kasdeel.

Een aantal bedrijven heeft in de MLT-kas geen losse ventilatoren voor het op gang houden van luchtstromen en -menging, maar reguleren dit uitsluitend met de luchtslurven.

3.2 Kasklimaat

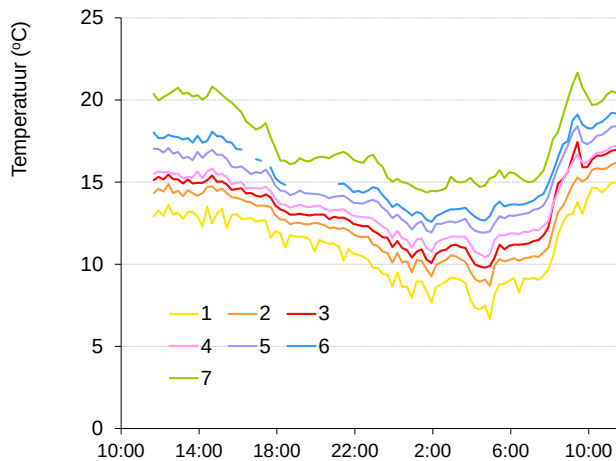
Tijdens broeiseizoen 2009/2010 zijn op **Bedrijf 1** de temperatuur en RV op verschillende punten in het 2-lagensysteem gemonitord. Door ventilatoren wordt de boven de 2^{de} laag door buizen verwarmde kaslucht naar beneden getrokken. Via het slurvensysteem boven de 1^{ste} laag worden warmte en vocht over de twee teeltlagen goed verdeeld. Incidenteel kunnen temperatuur (overdag) en RV ('s nachts) boven de 2^{de} laag oplopen. In dit laatste geval is stoken met het raam open geen energiezuinige methode om vocht af te voeren. Uit berekeningen kwam naar voren dat voor een systeem van mechanisch ontvochtigen door aan te zuigen buitenlucht een maximale ventilatiecapaciteit van $8 \text{ m}^3/\text{m}^2$ nodig is, bij voorkeur frequentiegeregeld. Gemiddeld zou er op slechts 15% van de maximale capaciteit geventileerd hoeven worden.

Voor het broeiseizoen 2011/12 is door Bedrijf 1 een systeem voor mechanisch ontvochtigen geïnstalleerd waarmee boven in de (schuur)kas door de wand direct (onverwarmde) buitenlucht met een ventilator wordt aangezogen, die via een U-vormige dikke slurf door de kas boven laag 2 verspreid wordt, zie foto. In figuur 1 is dit systeem schematisch weergegeven.

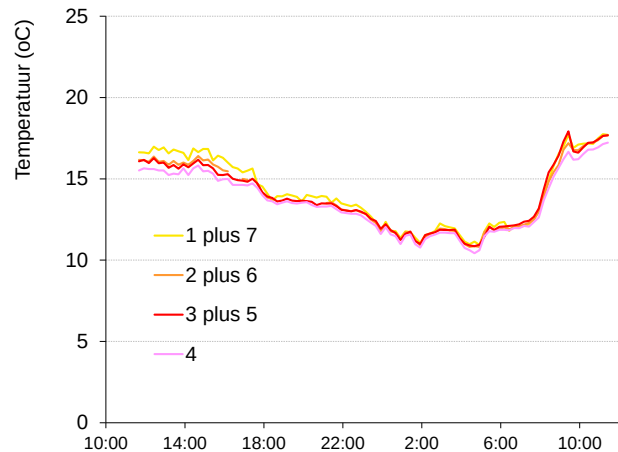


Figuur 1: Schematische weergave Slurfsysteem Bedrijf 1.

Op de punten aangegeven door de cijfers 1 t/m 7 komt de buitenlucht via gaten de kas in. Op deze punten in de slurf zijn gedurende 24 uur de temperatuur en RV gemeten. De lucht uit gat 1 mengt zich direct met de lucht uit gat 7, die uit gat 2 met 6 en uit 3 met 5. Recht onder deze gaten trekt een 2^{de} ventilator lucht van laag 2 (een mengsel van buitenlucht en kaslucht) naar laag 1. Deze lucht wordt via kleinere slurven die onder de 2^{de} laag haaks op de containerbanen lopen over laag 1 verdeeld. Op de posities a t/m e zijn ook in twee van deze kleinere slurven de temperatuur en de RV gemeten. De temperatuur en RV net boven laag 1 zijn in het midden van de kas gemeten. De resultaten van de temperatuurmetingen zijn samengevat in figuur 2. De figuur laat zien dat de aangezogen buitenlucht opgewarmd wordt door de kaslucht boven laag 2. Deze opwarming is evenredig met de door de lucht afgelegde afstand. Gemeten in het 1^{ste} gat is de temperatuur tegen de 15°C overdag en rond de 8°C 's nachts. In het laatste gat is de temperatuur respectievelijk 22°C tot 15°C . Doordat de lucht uit gat nr. 1 gemengd wordt met die uit gat nr. 7, die uit gat 2 met 6 en 3 met 5 is de temperatuur van deze gemengde lucht vrijwel gelijk, figuur 3.

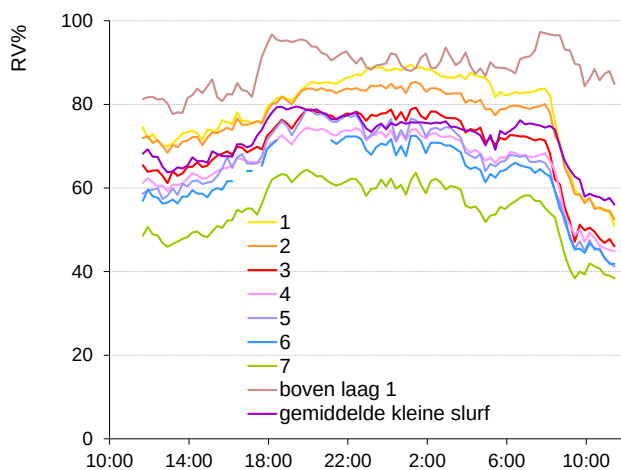


Figuur 2: Temperaturen in de dikke slurf

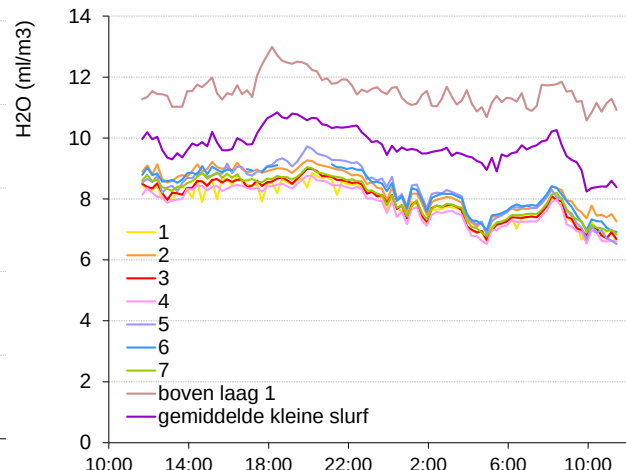


Figuur 3: Gemiddelde temperatuur op 4 posities

De RV in de dikke slurf is het hoogst bij het inlaatpunt van de buitenlucht omdat daar de temperatuur het laagst is. Naarmate de lucht naar het eind van de slurf toe meer opwarmt neemt de RV af en is het laagst (overdag zelfs < 60%) in gat nr.7, figuur 4. De RV van de kaslucht boven laag 1 is het hoogst.



Figuur 4: RV% in de slurven en boven laag 1.



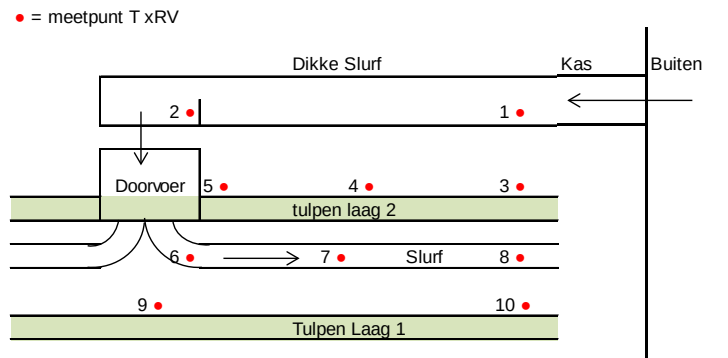
Figuur 5: Vochtgehalte in de slurven en boven laag 1

Het absolute vochtgehalte, figuur 5, is vrijwel gelijk van het begin tot het einde van de dikke slurf en schommelt rond de 8 ml/m³. Na menging met de kaslucht boven laag 2 neemt het vochtgehalte toe tot rond de 10 ml/m³. Deze lucht wordt weer gemengd met de kaslucht boven laag 1 wat resulteert in een vochtgehalte van rond de 11,5 ml/m³. Het vochtdeficit is daarmee overdag 2 of meer ml/m³, maar 's nachts minder.

Vanwege een verkeerde stroomaansluiting zijn de temperatuur en RV zijn slechts gelogd voor een periode van 24 uur. Hierdoor kunnen geen conclusies getrokken worden over het doeltreffend functioneren van het ontvochtigingssysteem onder verschillende omstandigheden. De metingen laten wel zien dat de U-vormige plaatsing van de dikke slurf tot een gelijkmatige temperatuurverdeling leidt.

Op **Bedrijf 6** (eerste seizoen met meerlagen) is een met bedrijf 1 vergelijkbaar systeem geplaatst, schematisch weergegeven in figuur 6 (zijaanzicht). Van 2 t/m 16 februari zijn op de met rood aangegeven

punten de temperatuur en RV met sensoren gelogd. Daarnaast zijn 8 waterthermometers geplaatst op een container die zich in laag 1 bevond. Deze container werd later naar laag 2 getransporteerd en vervolgens naar het 1-laagskasdeel.

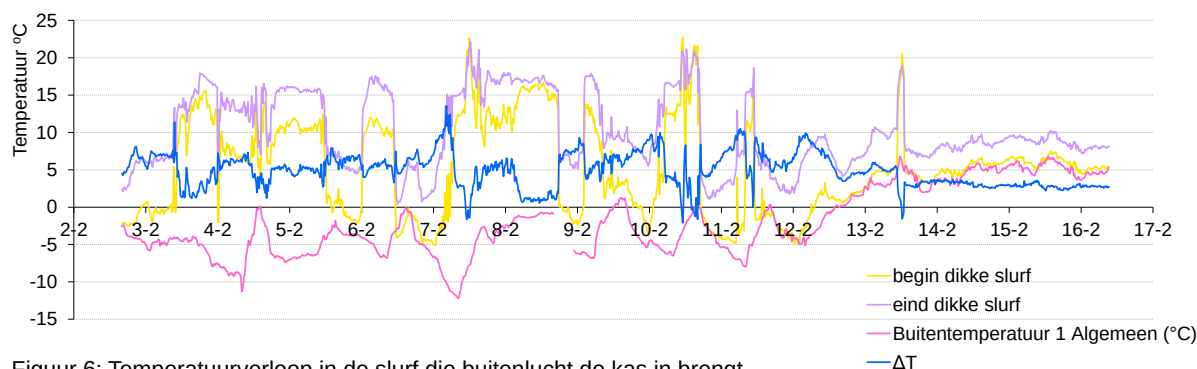


Figuur 6: Schematische weergave slurfsysteem Bedrijf 6.

Via een dikke slurf wordt direct aangezogen buitenlucht tot halverwege de kas op de bovenlaag gebracht, zie linker foto. Uit een 8-tal gaten wordt daar de inmiddels tijdens het transport wat opgewarmde buitenlucht de kas in geblazen en mengt zich met kaslucht boven laag 2. Op dit punt zijn 2 schermen angebracht waardoor een deel van de gemengde lucht naar beneden gericht wordt. Onder laag 2 trekken ventilatoren deze lucht naar onderen en verdelen deze via slurven over laag 1, rechter foto.



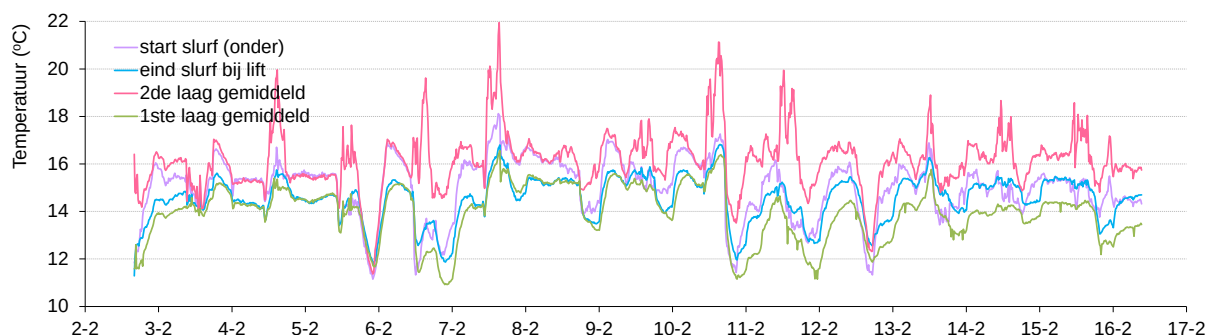
Tijdens de meetperiode was de buitentemperatuur gemiddeld $-1,7^{\circ}\text{C}$, met een minimum van $-12,1^{\circ}\text{C}$. De gemiddelde temperatuur van de kaslucht boven laag 2 was $16,1^{\circ}\text{C}$. Het temperatuurverloop buiten (data klimaatcomputer), aan het begin van de dikke slurf (meetpunt 1), en aan het eind van die slurf (meetpunt 2) is weergegeven in figuur 6. Gemiddeld wordt de lucht tussen het begin en het eind van de dikke slurf $4,8^{\circ}\text{C}$ opgewarmd. Deze opwarming hangt af van het verschil tussen de temperatuur van de buitenlucht en die van de kaslucht boven laag 2, en van het debiet in de slurf (m^3 lucht/uur). In de periode van 2 tot 13 februari heerste er vrieskou en werd slechts op enkele dagen met een hoog debiet buitenlucht aangezogen. In figuur 6 is dat te zien wanneer de temperatuur gemeten in het begin van de dikke slurf (gele lijn) die van de buitenlucht nadert (b.v. op 6, 9 en 11 februari). Op die momenten kan het temperatuursverschil tussen het begin en het eind van de dikke slurf tot 10°C oplopen.



Figuur 6: Temperatuurverloop in de slurf die buitenlucht de kas in brengt.

Na 13 februari is het buiten rond de 5 °C en is er nauwelijks nog verschil tussen de temperatuur van de buitenlucht en die in het begin van de dikke slurf. De opwarming is dan tegen de 3 °C.

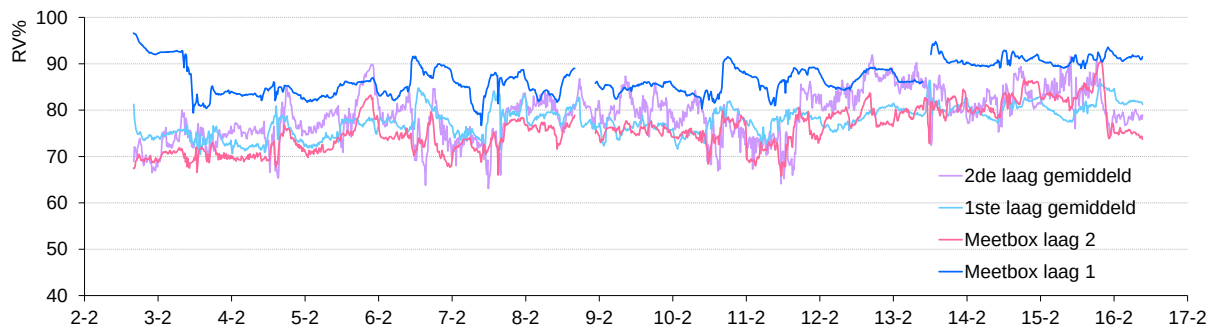
Kaslucht boven laag 2 wordt verwarmd met buizen. Gemengd met buitenlucht wordt kaslucht van boven laag 2 door ventilatoren via slurven boven laag 1 uitgeblazen. De temperatuur boven laag 2, in de slurf en boven laag 1 wordt weergegeven door figuur 7. Wanneer geen buitenlucht wordt aangezogen is de temperatuur in het begin van de slurf boven laag 1 gelijk aan de temperatuur van de kaslucht boven laag 2.



Figuur 7: Temperatuurverloop boven laag 2, in de slurf en boven laag 1.

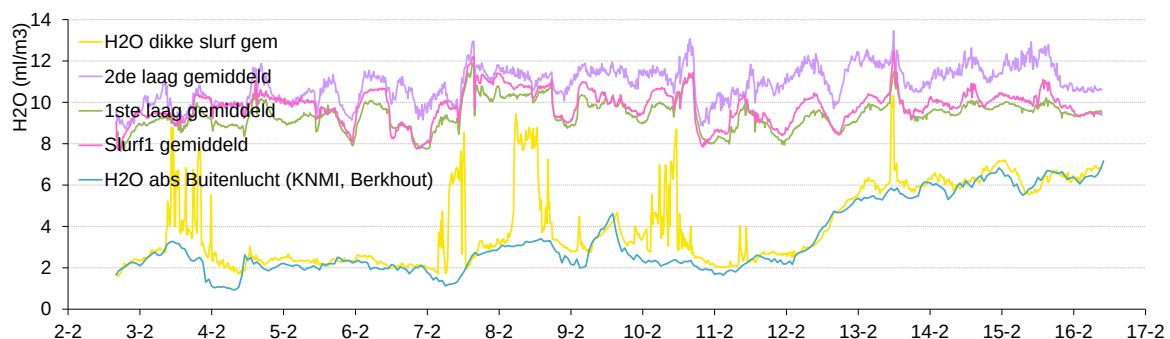
De temperatuurpieken boven laag 2 worden veroorzaakt door instraling van de zon. Boven laag 2 is het gemiddeld 2 °C warmer dan boven laag 1, tabel 2. Ook de meetboxen aangesloten op de klimaatcomputer geven dit aan. De slurven brengen warmte van boven laag 2 naar laag 1, het is immers meestal warmer aan het begin van de slurf dan aan het eind. In de periode met vrieskou is de lucht in het eind van de slurf vrijwel even warm als de kaslucht boven de tulpen. Warmte wordt daar dan nauwelijks nog afgegeven.

In principe wordt de aanvoer van droge buitenlucht aangestuurd door de klimaatcomputer die boven laag 2 de ventilator van de dikke slurf op 100% laat draaien wanneer de RV boven 80 – 85% komt. De ventilatoren die lucht door de slurven boven laag 1 blazen draaien op 100% wanneer de RV boven de 75 - 80% komt. Volgens de meetbox die op de klimaatcomputer is aangesloten komt de RV boven laag 1 zeer vaak boven de 85%, namelijk in 65% van de tijd. Maar volgens de metingen van de RV x T sensoren is dat slechts 1% van de tijd. Boven laag 2 is dat respectievelijk 3% van de tijd volgens de meetbox en 14% van de tijd volgens de sensoren. De meetbox boven laag 1 is op 13 februari verplaatst richting het begin van de slurven boven laag 1 waar het, zoals ook uit tabel 2 blijkt, gemiddeld vochtiger is. De RV waarden van de sensoren boven laag 1 liggen dicht bij elkaar (77 en 79%, zie tabel 2), zodat voor de hand ligt dat de meetbox boven laag 1 afwijkt en gecontroleerd moet worden.



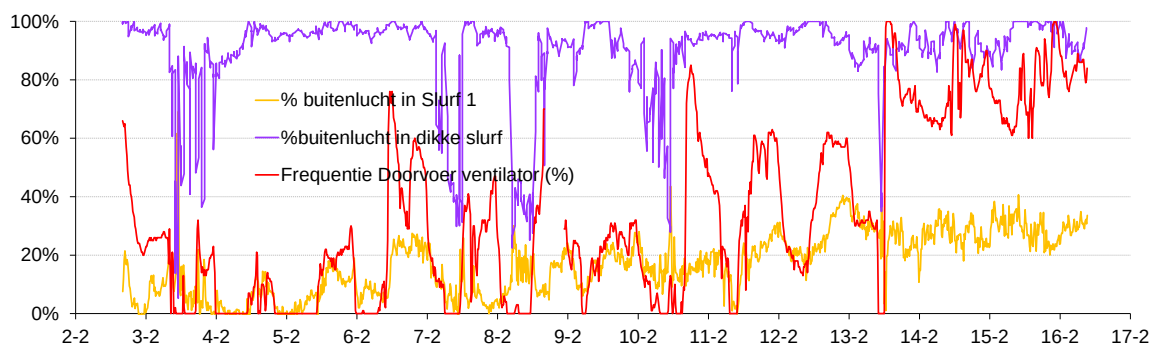
Figuur 8: Relatieve luchtvochtigheid gemeten door sensoren en meetboxen

Het absolute vochtgehalte van de lucht in de dikke slurf is gelijk aan het absolute vochtgehalte van de buitenlucht, ongeacht het toerental van de ventilator. Pas wanneer de ventilator uit staat en de klep dicht is, neemt het vochtgehalte in de slurf de hogere waarden aan van de kaslucht boven laag 2, figuur 9.



Figuur 9: absoluut vochtgehalte in kas- en buitenlucht.

Boven laag 2 is het vochtgehalte hoger dan boven laag 1 en in de slurf. Uit het vochtgehalte van de lucht in de dikke slurf, het vochtgehalte van de kaslucht boven laag 2 en het vochtgehalte van de buitenlucht kan worden berekend wat het percentage buitenlucht in de dikke slurf is. Op deze wijze kan ook worden berekend wat het percentage buitenlucht in de slurf boven laag 1 is. Figuur 10 laat zien hoe het percentage buitenlucht in de slurf boven laag 1 beïnvloed wordt door de frequentie van de ventilatoren.



Figuur 10: mengverhoudingen buitenlucht en kaslucht in slurven.

In tabel 2 zijn de gemiddelde meetwaarden voor temperatuur en RV% samengevat en het berekende absolute vochtgehalte en het vochtdeficit. Het meeste vocht zit boven laag 2, maar omdat de temperatuur daar (16,1 °C) hoger is dan boven laag 1 (13,3 – 14,6 °C) is de RV vrijwel gelijk. Belangrijker is dat het vochtdeficit van de kaslucht boven de 2,0 – 2,5 ml/m³ blijft zodat de verdamping niet beperkt wordt. Dit is gemiddeld vrijwel altijd het geval uitgezonderd de waarden van de meetbox boven laag 1. De RV meting van deze box is niet correct en moet geijkt worden.

Tabel 2: Gemiddelde meetwaarden tijdens de meetperiode.

		Temp	RV	H ₂ O	Vochtdeficit
Dikke slurf	begin	5,3	59	4,0	3,5
	eind	10,1	43	4,1	5,8
Laag 2	begin (bij lift)	16,1	80	11,1	2,8
	midden	16,1	78	10,5	3,1
Slurf laag 1	begin	15,0	75	9,7	3,3
	midden	14,7	75	9,6	3,1
	eind	14,6	79	10,0	2,6
Laag 1	begin	13,3	79	9,1	2,5
	bij lift	14,6	77	9,7	3,0
buiten		-1,98	-	-	
Gemiddelden		Temp	RV	H ₂ O	Vochtdeficit
Dikke slurf		7,7	51	4,1	4,5
Laag 2		16,1	79	10,9	2,9
laag 2 BOX		16,0	76	10,4	3,3
Slurf laag 1		14,8	77	9,8	2,9
Laag 1		14,0	78	9,4	2,7
laag 1 BOX		14,3	87	10,8	1,6

Samenvattend: Tijdens het transport door de dikke slurf naar het midden van de kas boven laag 2 wordt (afhankelijk van de temperatuur van de buitenlucht en van de klepstand) de buitenlucht tot zo'n 10°C opgewarmd. De kaslucht boven laag 1 is gemiddeld 2°C koeler dan boven laag 2. De slurven geven weinig warmte aan de kaslucht af. Het vochtdeficit is gemiddeld ruim voldoende voor verdamping. De RV-metingen van de meetbox boven laag 1 zijn te hoog: de box moet gecontroleerd worden.

De kas van **Bedrijf 8** bestaat uit 2 delen, van elkaar gescheiden door de transportbaan voor de containerlift: het achterste deel ("K achter", rechts op de foto) en het voorste deel ("K voor", grenst aan de oogsthal). Van 9 t/m 19 januari is in elk kasdeel op 3 plaatsen in een slurf (aan het begin = aan de kant van de luchtbehandelingskasten, in het midden en aan het eind), met de sensoren de temperatuur en de RV elk kwartier gelogd. Andere meetpunten waren: buiten in de de LBK ingaande lucht, en in de beide kasdelen boven de 2^{de}, de 6^{de} en de 12^{de} containerbaan (gerekend vanaf de LBK's) (5 meetpunten).

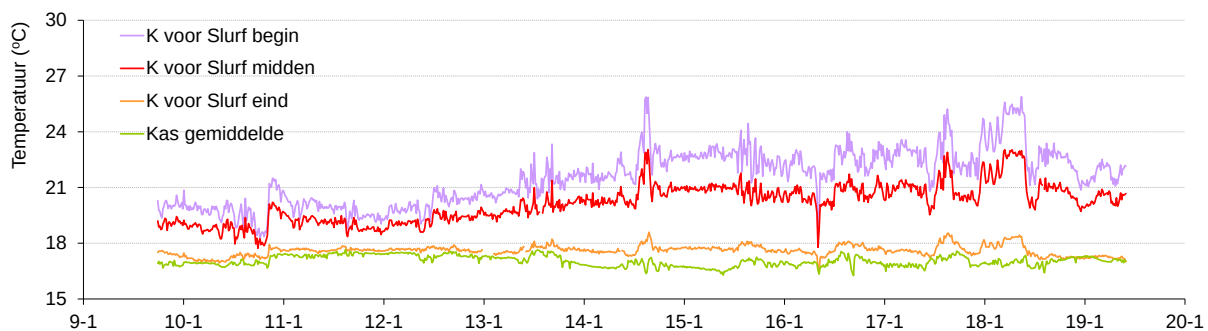
Er is uitsluitend boven de onderste teeltlaag (laag 1) gemeten. Boven laag 1, en boven laag 2 en laag 3, hangen in het voorste kasdeel ter hoogte van baan 5 de meetboxen die op de klimaatcomputer zijn aangesloten.

Via Let's Grow zijn uit de klimaatcomputer o.a. de metingen door de meetboxen en de klepstanden van de LBK's uitgelezen. Via de website van het KNMI zijn temperatuur en vochtgehalte van de buitenlucht verkregen.

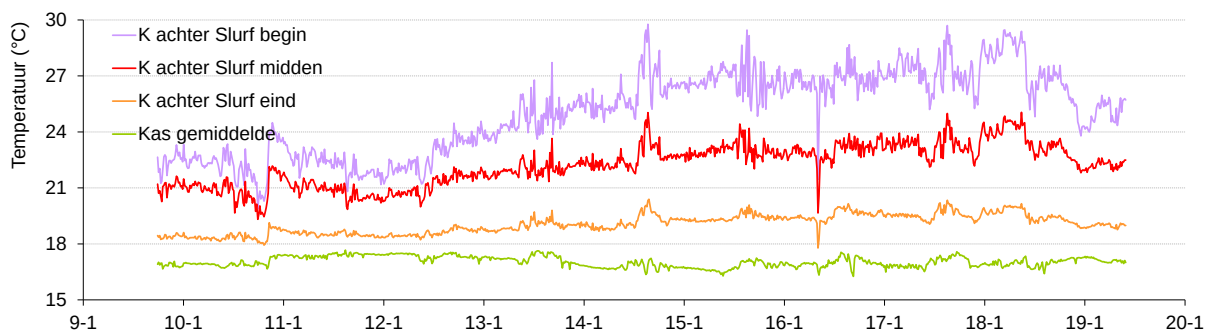


Met 5 slurven boven laag 1 in het voorste kasdeel en met 3 in het achterste kasdeel wordt de lucht boven de onderste laag verwarmd en ontvochtigd. Boven de 2^{de} teeltlaag lopen in elk kasdeel 3 slurven en de 3^{de} teeltlaag wordt verwarmd met buizen en ontvochtigd via het raam.

De resultaten van de temperatuursmetingen zijn samengevat in figuur 11 (voorste kasdeel) en figuur 12 (achterste kasdeel).



Figuur 11: Temperatuur op 3 plaatsen in een slurf voorste kasdeel, en het kasgemiddelde.



Figuur 12: Temperatuur op 3 plaatsen in een slurf achterste kasdeel, en het kasgemiddelde.

De temperatuur in het begin van de slang is hoger dan in het midden en die is hoger dan aan het eind. Deze verschillen nemen toe naarmate er meer verwarmd wordt (wanneer het buiten kouder is, 15 t/m 18 januari). De temperatuur aan het eind van de slang in het voorste kasdeel is maar net iets boven de gemiddelde kastemperatuur. In het achterste kasdeel, wordt de lucht door de LBK blijkbaar meer opgewarmd en zijn de verschillen tussen begin en eind van de slurf groter. Daarnaast is in de slurven van het achterste deel de luchtsnelheid en dus het debiet hoger dan in het voorste deel (zie § 3.5), waardoor er per tijdseenheid per slurf meer warmte getransporteerd wordt. Aan het eind van de slurf in het achterste kasdeel is de lucht warmer dan in de slurf in het voorste kasdeel.

In tabel 3 zijn de gemiddelde temperaturen samengevat. De tabel laat zien dat zowel in het voorste als in het achterste kasdeel de temperatuur van de kaslucht boven laag 1 aan het eind van de slurven lager is (0,5 – 0,7 °C) dan in het midden van de kas. De temperatuur in het achterste kasdeel is iets hoger dan in het voorste kasdeel (gemiddeld 0,4 °C).

Tabel 3: Gemiddelde temperatuur (°C) in de slurven, de kas en buiten.

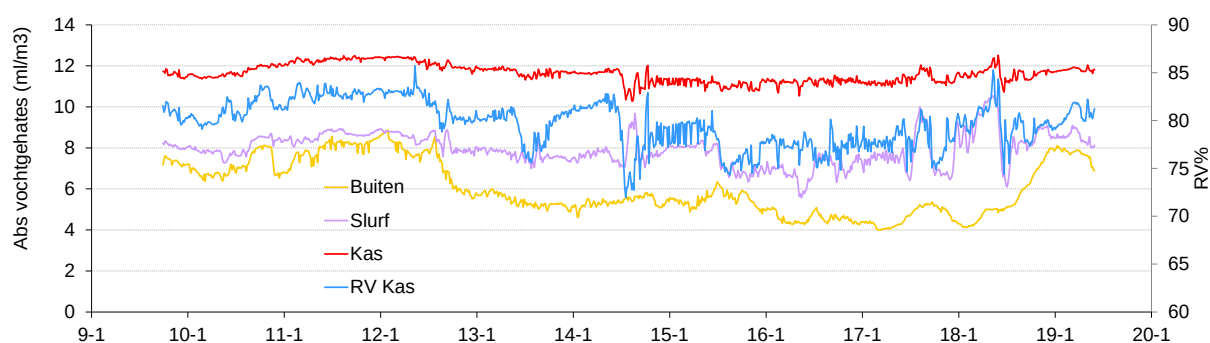
	Voor		Achter	
	Slurf	Kas	Slurf	Kas
buiten	5,9	-	5,0	-
begin	21,5	-	25,0	17,2
midden	20,1	17,1	22,2	17,3
eind	17,6	16,4	19,0	16,8
eind ↔ midden		0,7		0,5
gemiddeld	19,8	16,7	22,1	17,1

Het absolute vochtgehalte, gemiddeld over de periode van 9 t/m 19 januari is voor de verschillende meetpunten samengevat in tabel 4.

Tabel 4: Gemiddelde absolute vochtigheid in de slurven, de kas en buiten.

(ml/m ³)	Voor		achter	
	Slurf	Kas	Slurf	Kas
buiten	6,3	-	6,1	-
begin	7,6	-	8,4	11,4
midden	8,2	12,5	8,0	11,1
eind	7,5	11,6	7,9	11,2
gemiddelde	7,7	12,0	8,1	11,2

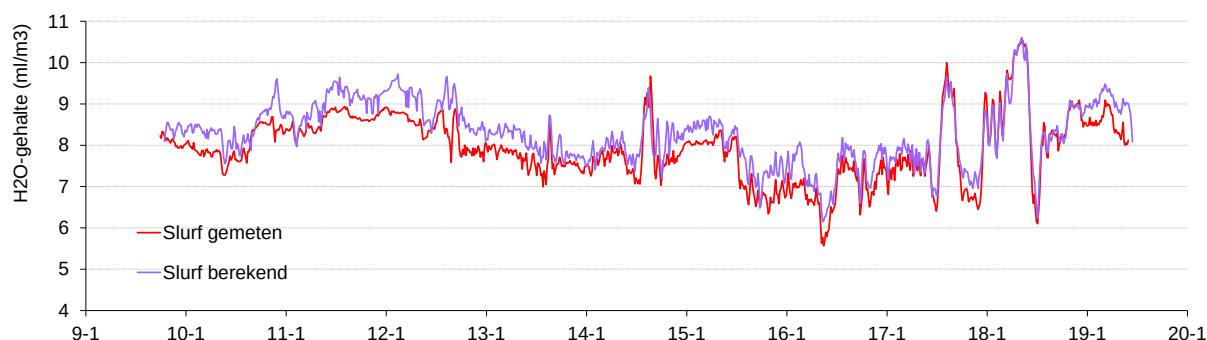
In figuur 13 zijn gemiddeld over de meetpunten buiten, in de slurven en in de kas het verloop van het vochtgehalte (en voor de kas ook de RV) uitgezet.



Figuur 13: Abs vochtgehalte buiten, in de slurven en de kas, en de gemiddelde RV in de kas.

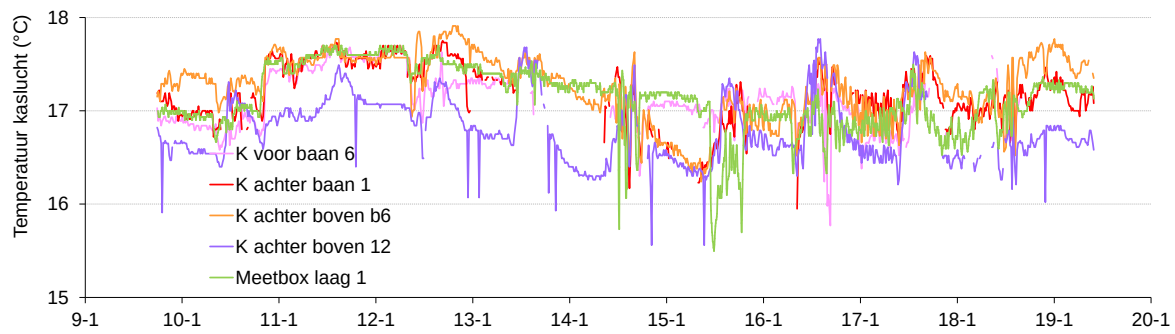
In het begin van de meetperiode wordt veel buitenlucht aangezogen (het is dan nog niet zo koud buiten) en is het vochtgehalte in de slurven niet veel hoger dan in de buitenlucht. Het vochtgehalte in de slurven schommelt rond de 7 – 8 ml/m³, in de kaslucht rond de 11 – 12 ml/m³. De RV in de kaslucht boven laag 1 wordt tijdens de meetperiode netjes onder de 85% gehouden.

Het absolute vochtgehalte van de lucht in de slangen wordt bepaald door de klepstand van de LBK. Hiermee wordt droge buitenlucht gemengd met vochtige kaslucht. Bij een klepstand van bijvoorbeeld 80% wordt 4 m³ buitenlucht gemengd met 1 m³ kaslucht, vervolgens verwarmd en door de slurven geblazen. Uit de klepstanden van de LBK op laag 1, het absolute H₂O-gehalte van de kaslucht boven laag 1 en die van de buitenlucht kan dus het absolute H₂O-gehalte van de lucht in de slurven boven laag 1 berekend worden, figuur 14. Het berekende absolute H₂O-gehalte heeft vrijwel hetzelfde verloop als het gemeten H₂O-gehalte.



Figuur 14: Gemeten en berekend abs. H₂O-gehalte in de slurven

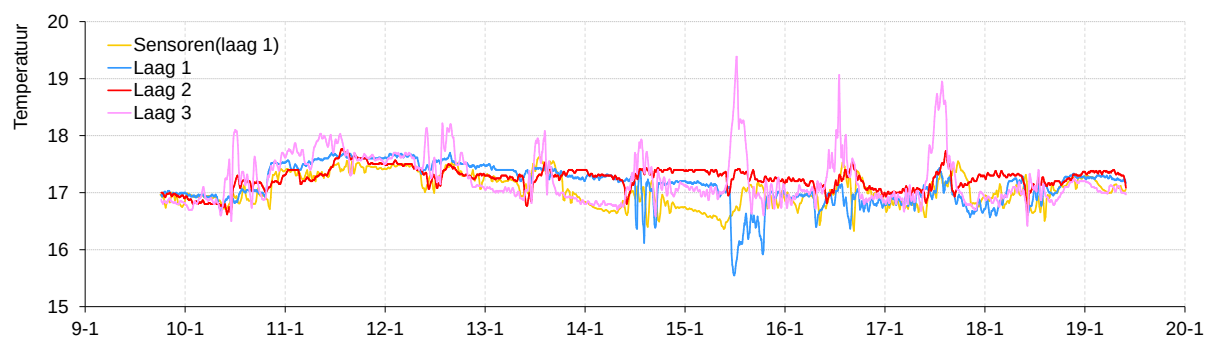
Figuur 15 geeft de temperatuur weer van de kaslucht boven laag 1 op 5 meetpunten (midden en eind voorste kasdeel, en begin, midden en eind achterste kasdeel) en van de meetbox die op de klimaatcomputer is aangesloten. Deze meetbox hangt in het midden van het voorste kasdeel.



Figuur 15: Temperatuur in de kas (sensoren en meetbox 1).

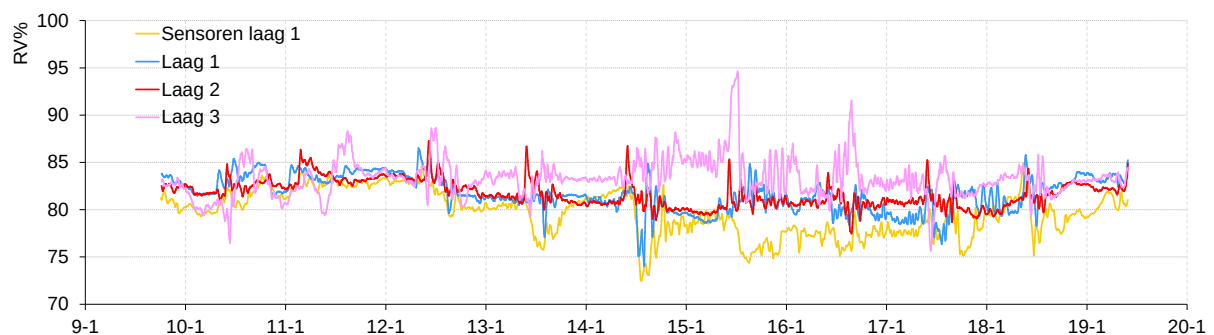
De door de meetbox gemeten temperaturen komen het meest overeen met de metingen van de sensoren boven baan 1 (begin) en baan 6 (midden). Boven baan 12 (eind) is de kaslucht meer dan 1 graad koeler.

In figuur 16 zijn de gemiddelde temperaturen van de kaslucht zoals gemeten met de sensoren boven laag 1 en met de meetboxen boven laag 1, 2 en 3 samengevat. Boven laag 3 zijn er 's middags vaak flinke pieken door instraling van de zon.



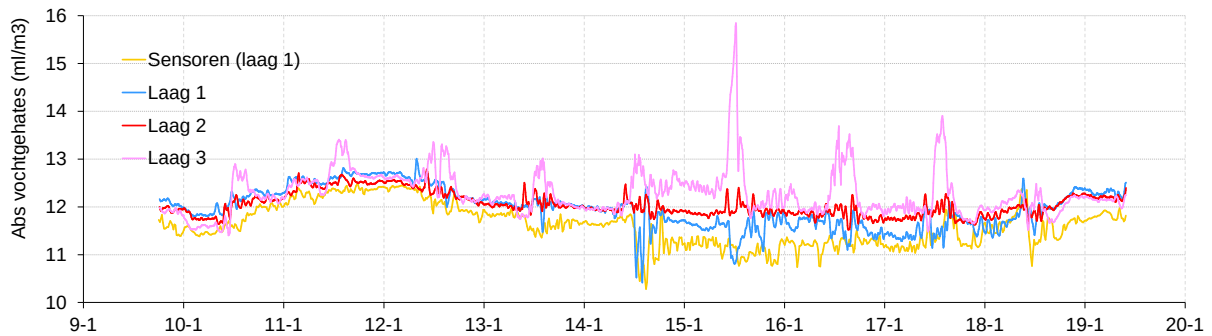
Figuur 16: Kastemperatuur gemeten met sensoren (laag 1) en meetboxen (laag 1, 2 en 3)

Opvallend is dat ook de RV boven laag 3 in de middag piekt, figuur 17. Meestal is 's nachts de RV hoog omdat de temperatuur dan laag is en s'middags als de temperatuur piekt is de RV dan juist laag. De figuur laat zien dat de RV ook boven laag 2 kleine pieken vertoont: rond 09:30 s'ochtends wordt er water gegeven.



Figuur 17: RV in kas gemeten met sensoren (laag 1) en meetboxen (laag 1, 2 en 3)

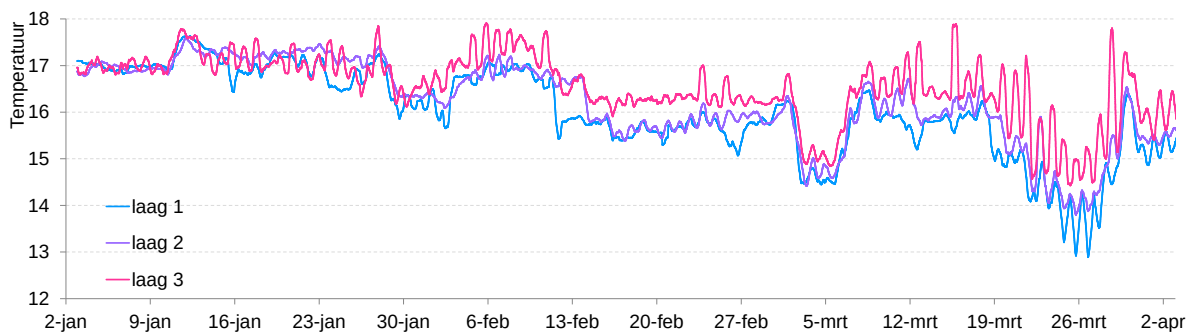
Figuur 18 laat zien dat ook het absolute vochtgehalte boven laag 3 piekt.



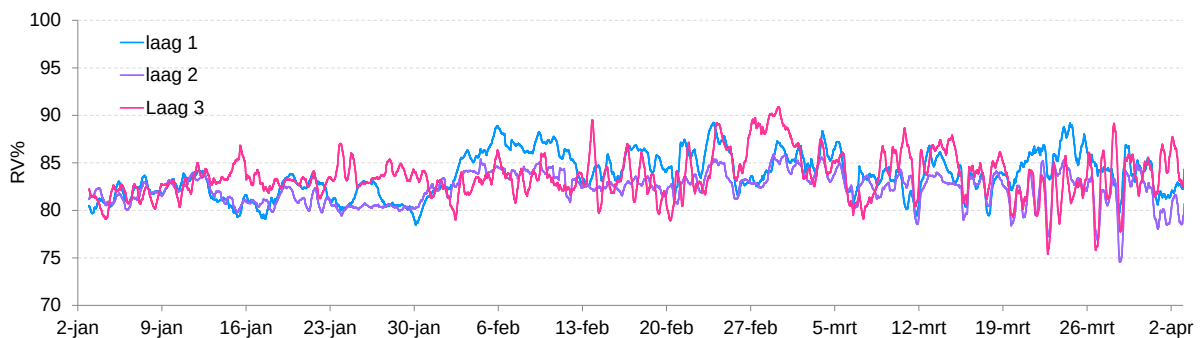
Figuur 18: H₂O-gehalte in kas gemeten met sensoren (laag 1) en meetboxen (laag 1, 2 en 3)

Er is dan (tussen 12:00 en 14:00 uur) dus veel meer water in lucht. Achtergronden hierbij zijn: er wordt door de tulpen flink verdampt, droge lucht is zwaarder en zakt, vochtige lucht is lichter en stijgt, en er wordt op die momenten water gegeven (op laag 2 bv. dagelijks om ongeveer 9:30 uur).

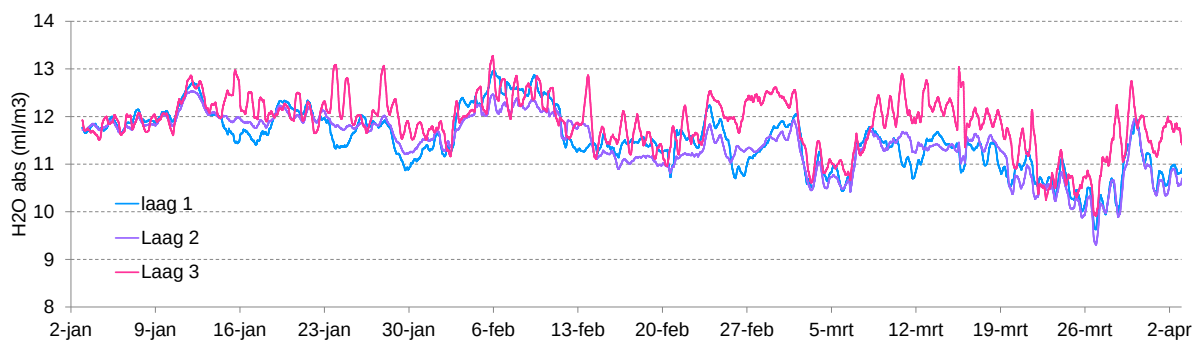
Uit de klimaatcomputer zijn ook de gegevens t/m 4 april uitgelezen en samengevat in de figuren 19 t/m 21 en in tabel 5.



Figuur 19: Temperatuur (12-uurs gemiddelde) boven de teeltlagen van 2 januari t/m 4 april



Figuur 20: RV (12-uurs gemiddelde) boven de teeltlagen van 2 januari t/m 4 april.



Figuur 21: H₂O-gehalte (12-uurs gemiddelde) boven de teeltlagen van 2 januari t/m 4 april.

Tabel 5: Gemiddelde temperatuur, RV, kans dat RV>85%, H₂O-gehalte, vochtdeficit (VD) en kans dat VD<2, voor de periode 2 januari t/m 4 april.

	T °C	RV %	p>85% %	H ₂ O abs ml/m ³	VD ml/m ³	p<2 %
laag 1	16,0	84	33%	11,5	2,2	32%
laag 2	16,2	82	7%	11,4	2,5	8%
laag 3	16,6	84	30%	11,9	2,3	25%
plukhal	12,1	84	49%	9,1	1,7	73%

De figuren en de tabel laten zien dat ook over langere periode de temperatuur boven de 3^{de} laag het hoogst is, met name veroorzaakt door de pieken in de middag. De RV komt boven laag 3 regelmatig boven de 85% (in januari, maar ook eind februari/begin maart). Ook boven laag 1 is de RV regelmatig boven de 85%. Het deel van de tijd dat boven laag 1 de RV groter is dan 85% is zelfs iets groter dan boven laag 3. Dat leest zich ook af aan het vochtdeficit: boven laag 1 is het vochtdeficit 32% van de tijd kleiner dan 2 ml/m³, tegen 25% van de tijd boven laag 3, ondanks dat daar het watergehalte het hoogst is.

Samenvattend:

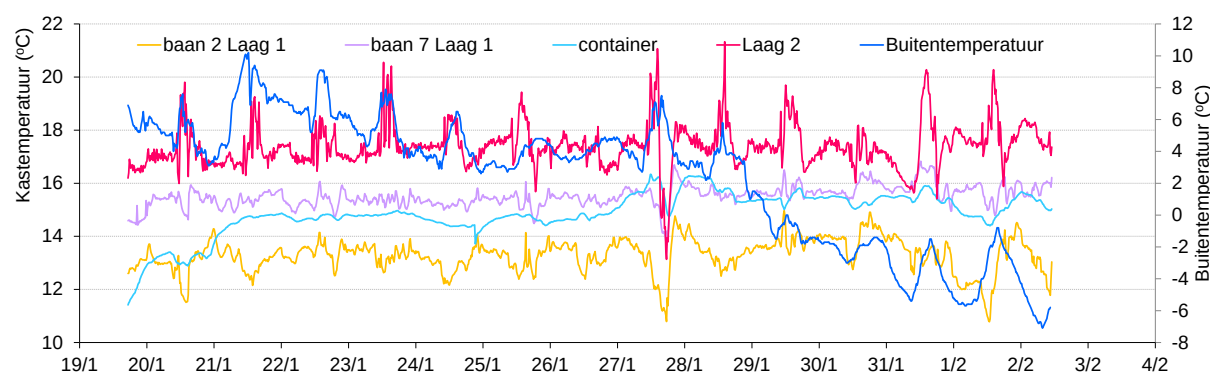
- Droge lucht wordt door de slurven perfect over de 1^{ste} en 2^{de} laag verdeeld.
- Warmte wordt door de slurven minder goed verdeeld omdat er tijdens het transport warmteverlies is: aan het eind van de slurf is de lucht enkele graden koeler en dit resulteert in een in dit kasdeel iets lagere kastemperatuur (0,5 – 0,7 °C). Het achterste kasdeel heeft hier minder last van omdat het debiet in de slurven daar groter is. Hoe hoger de warmtevraag, hoe hoger het debiet moet zijn.
- Boven laag 3 is het warmer en vochtiger (zowel absoluut als relatief) en onregelmatiger.

Dit laatste punt is een belangrijk probleem. Het heeft in februari tot uitval geleid en het kost veel energie om met de ramen open boven te gaan stoken.

Er moet dus naar een manier worden gezocht om ook boven de 3^{de} laag droge lucht te kunnen brengen.

Voor de hand ligt dan om de slurven boven de 2^{de} laag te vertakken naar de 3^{de} laag. Daarnaast zou de via de LBK recirculerende kaslucht boven de 3^{de} laag weggehaald moeten worden, en niet van boven laag 1 en 2, zodat vocht zich beter verdeelt over de 3 lagen. Horizontaal blazende ventilatoren zouden voor een betere horizontale verdeling van de warmte kunnen zorgen.

Bedrijf 9 heeft boven de helft van de onderste teeltlaag een 2^{de} teeltlaag van in totaal 11 containerbanen met elk 78 containers per baan, 15 bakken per container. Van de laag eronder worden er 8 banen belicht, 3 niet. Boven laag 1 zijn de RVxT sensoren geplaatst boven baan 2 en baan 7 (ter hoogte van de meetbox die op de klimaatcomputer is aangesloten, bij container 52, gerekend vanaf de LBK), vlak boven de tulpen en net onder laag 2. De sensoren zijn ook geplaatst in de slurven boven baan 4 en baan 7 ter hoogte van de 8^{ste}, de 39^{ste} en de 70^{ste} container. Boven laag 2 zijn de sensoren geplaatst boven baan 2 en baan 7 bij meetbox 1, 2 en 3 (in de database genoemd kas1, kas2 en kas3). Daarnaast zijn 8 sensoren op een container in de bakken tussen de tulpenwortels geplaatst. Er is gemeten van 19 januari t/m 2 februari. Figuur 22 laat zien dat de temperatuur boven baan 2 in laag 1 ± 2 graden lager is dan boven baan 7.



Figuur 22: Kastemperaturen en buitentemperatuur.

In baan 2 schuiven de opgeplante bollen de kas binnen waardoor de deuren opengaan en koudere schuurlucht binnen komt. De luchttemperatuur in de slurven is gemiddeld hoger dan boven baan 2, maar lager dan boven baan 7, tabel 6. Boven baan 4 en 7 neemt de slurf warmte op en verspreidt droge lucht.

Tabel 6: Gemiddelde temperatuur, RV en H₂O-gehalte van 19/1 t/m 2/2 gemeten door de meetboxen en de sensoren

		Temperatuur (°C)		RV %		H ₂ O-gehalte (ml/m ³)	
		Sensoren	Meetboxen	Sensoren	Meetboxen	Sensoren	Meetboxen
Laag 1							
baan 2	onder L2	13,3		91		10,6	
	boven L1	13,2		91		10,6	
	gem.	13,3		91		10,6	
baan 7	onder L2	15,6		74		10,0	
	boven L1	15,4		78		9,2	
	gem.	15,5	15,5	76	78	9,6	10,3
Slurf baan 4	c8*	13,1		62		7,0	
	c39	13,5		62		7,2	
	c70	14,4		56		7,0	
	gem.	13,6		60		7,1	
Slurf baan 7	c8*	13,2		64		7,5	
	c39	13,8		61		7,3	
	c70	14,9		56		7,2	
	gem.	14,0		61		7,3	
Laag 2							
baan 2		17,1	17,0	84	77	12,3	11,1
	a	17,7	17,0	79	79	11,9	11,5
	b	17,4	16,8	74	78	11,1	11,2
	gem.	17,4	16,9	79	78	11,7	11,2
water container		14,9		-		-	

* c8 = container nr. 8 vanaf LBK, etc.

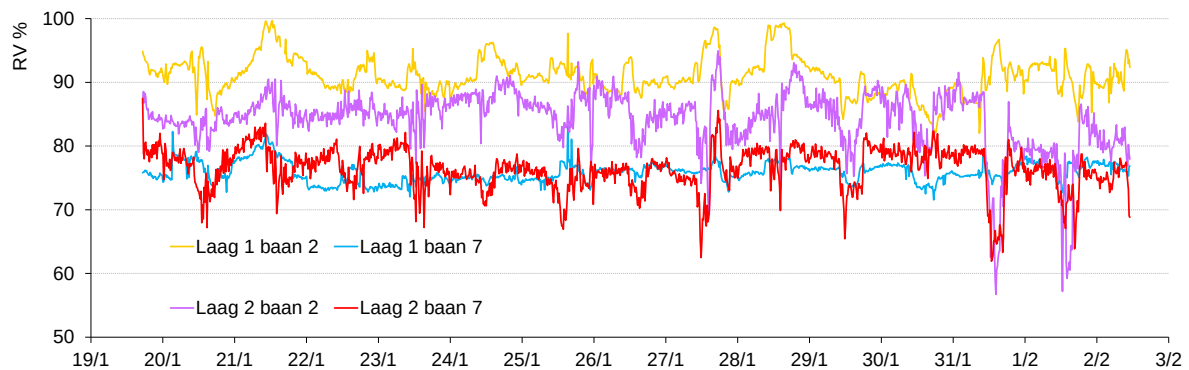
De temperatuur en de RV boven de tulpen in laag 1 verschillen nauwelijks van de temperatuur en RV net onder laag 2. Lucht wordt dus goed gemengd en vlak onder laag 2 niet door de lampen opgewarmd.

De luchttemperatuur boven laag 2 is 2 – 3 graden hoger dan boven laag 1. De gemiddelde temperatuur gemeten door de meetboxen is op laag 1 gelijk aan de metingen door de sensoren, op laag 2 wordt gemiddeld een iets lagere temperatuur gemeten. De temperatuur boven laag 2 vertoont pieken in de middaguren, die iets in de slurven (mengsel van buitenlucht en lucht van boven laag 2) maar nauwelijks boven laag 1 worden teruggezien. De temperatuur van het water tussen de wortels is bij binnenkomst van de container in de kas ongeveer 11 °C. Na 3 dagen wordt de container naar het warmere kasdeel verplaatst (baan 8, zie tabel 6), en schuift vervolgens via baan 9 door naar baan 11. Op 27 januari gaat de container omhoog naar laag 2 en wordt de watertemperatuur weer iets hoger.

Tabel 7: route van de container met de watervoelers

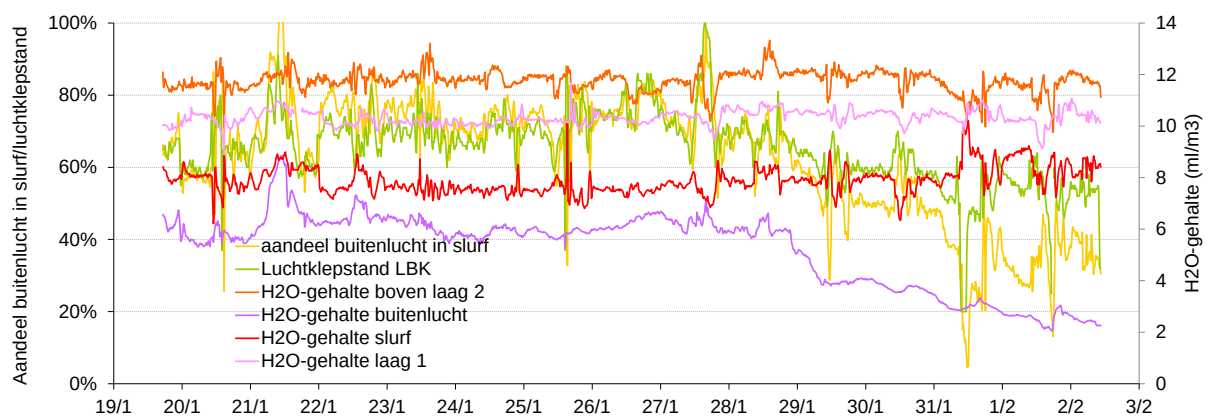
	baan	Laag
19-jan	3	1
21-jan	8	1
25-jan	9	1
26-jan	11	1
27-jan	11	2
28-jan	7	2
1-feb	7	2

De RV gedurende de meetperiode is voor de twee lagen samengevat in figuur 23. Door het temperatuursverschil tussen het deel van de kas waar de net opgeplante containers inschuiven en de rest van laag 1 is de RV boven baan 2 een flink hoger. Ook boven laag 2 is de RV in dat kasdeel hoger. Boven baan 7 in laag 2 is de RV gemiddeld ongeveer gelijk aan de RV boven laag 1, maar schommelt wel meer door de instraling 's middags.



Figuur 23: RV boven laag 1 en laag 2.

In figuur 24 is het verloop van het absolute vochtgehalte boven de teeltlagen, in de slurven en in de buitenlucht samengevat. Het vochtgehalte is boven laag 2 het hoogst, in de buitenlucht het laagst en boven laag 1 in de slurven lager dan in de kaslucht. De LBK trekt kaslucht van boven laag 2, mengt deze met buitenlucht en blaast dit mengsel na opwarming door de slurven waardoor het verdeeld wordt boven laag 1. Uit het vochtgehalte van de buitenlucht, de lucht in de slurven en de kaslucht boven laag 2 kan het aandeel buitenlucht in de slurven berekend worden. In figuur 24 zijn deze waarden vergeleken met de klepstand van de LBK. Over het algemeen komen deze waarden goed overeen. Naarmate het buiten kouder wordt en het vochtgehalte lager is, is er minder buitenlucht nodig om het vochtgehalte van de kaslucht boven laag 1 te verminderen. Deze blijft stabiel rond de 10 ml/m³, wat neerkomt op een vochtdeficit van ongeveer 3,2 ml/m³.



Figuur 24: Verband tussen H2O-gehalte, luchtklepstand en het aandeel buitenlucht in de slurf.

Samenvattend:

De temperatuur en de RV boven de tulpen in laag 1 verschillen nauwelijks van de temperatuur en RV net onder laag 2.

Boven baan 2 in laag 1 is de RV bijna constant ruim boven de 85%. De bakken blijven daar echter niet langer dan 2 dagen. Achtergrond van deze hoge RV is vooral dat de temperatuur daar meer dan 2°C hoger is. De absolute vochtigheid is namelijk maar iets hoger dan in de rest van de kas op laag 1. Achtergronden van de lage temperatuur boven baan 2 in laag 1 zijn de net uit de bewortelingscel gehaalde bakken met koude bollen en het openen van de kas om de containers met die bakken naar binnen te schuiven. Boven laag 2 baan 2 komt de RV ook regelmatig boven de 85%, maar na 30 januari niet meer. In de rest van de kas bleef de RV gedurende de meetperiode onder de 85%.

Boven laag 2 is het gemiddeld bijna 2 °C warmer dan boven laag 1. In laag 2 blijft de watertemperatuur tussen de wortels 1 – 2 graden onder de temperatuur van de kaslucht boven laag 2. Tijdens de meetperiode nemen de slurven boven baan 4 en baan 7 in laag 1 warmte op en verspreiden droge lucht.

Bedrijf 10 broeit in één kasdeel in 3 lagen (elk met 8 banen, 78 containers per baan, 15 bakken per container), zie foto's. De onderste 2 lagen worden ontvochtigd en verwarmd met slurven aangesloten op een LBK die buitenlucht mengt met kaslucht die van boven de derde laag wordt aangezogen. De bovenlaag wordt verwarmd met buizen en traditioneel ontvochtigd.



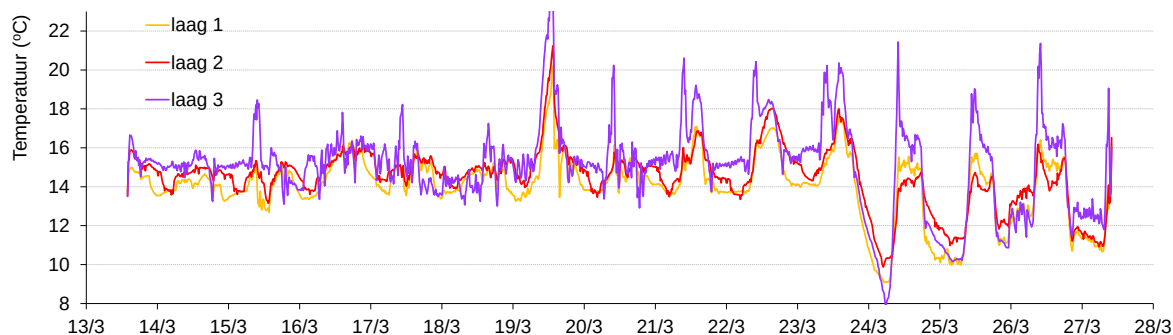
Het kasklimaat is gemonitord van 13 t/m 27 maart. Op 13 maart stond de kas voor 85% vol, maar op 20 maart nog voor ongeveer 60% en op 27 maart nog slechts voor 30%. De RVxT-sensoren zijn boven elke laag geplaatst boven dezelfde containerbaan op 4 posities op gelijke afstanden van de wand waar de LBK zich bevindt. Ook zijn er in een slurf boven de eerste en in een slurf boven de 2^{de} laag sensoren geplaatst. De gemiddelde meetwaarden zijn samengevat in tabel 8.

Tabel 8: Gemiddelde temperatuur en vochtigheid, bedrijf 10.

periode		13-03-12		27-03-12		
		T	RV	H2O	VD	pRV>85%
Laag 1	1	13,9	79	9,5	2,5	19%
	2	13,9	78	9,4	2,7	8%
	3	14,1	81	9,9	2,3	27%
	4	14,1	73	8,9	3,3	4%
	gem	14,0	77	9,4	2,8	15%
	Slurf	13,9	67	8,0	4,0	
Laag 2	1	14,3	73	9,0	3,3	3%
	2	14,4	76	9,5	3,0	3%
	3	14,5	78	9,8	2,7	10%
	4	14,8	81	10,4	2,4	25%
	gem	14,5	77	9,7	2,9	10%
	Slurf	14,6	65	8,2	4,4	
Laag 3	1	14,9	77	9,8	3,0	12%
	2	15,1	75	9,7	3,3	4%
	3	15,4	76	10,0	3,2	10%
	4	14,9	84	10,7	2,1	48%
	gem	15,1	78	10,1	2,9	19%
water		14,2				
Buiten		7,7	87,0	7,1	1,1	

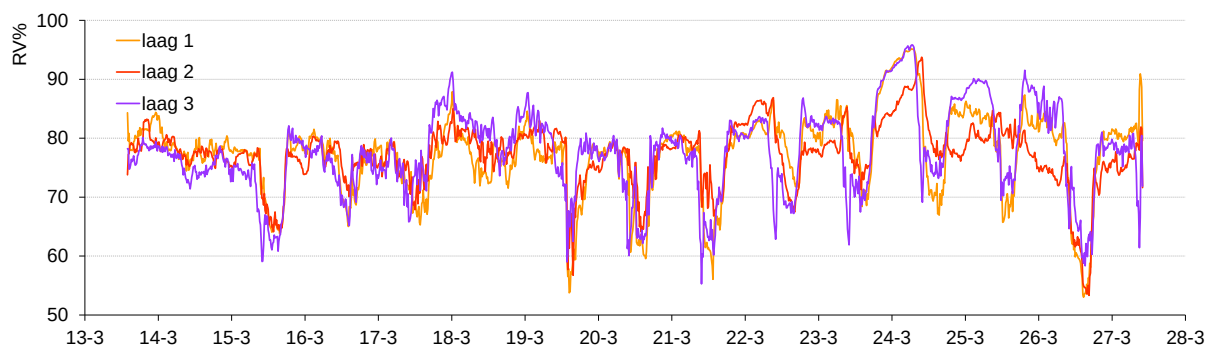
De horizontale temperatuursverschillen en de verschillen in vochtgehalte zijn zeer klein, vooral boven laag 1 en 2. Boven laag 3 is iets meer horizontale variatie. Van laag 1 naar laag 2 naar laag 3 neemt de temperatuur iets toe, en ook het absolute vochtgehalte neemt toe, maar de RV blijft vrijwel gelijk. De slurven transporteren drogere lucht, maar transporteren weinig tot geen warmte.

Na 19 maart zijn er door instraling van de zon sterke pieken in de temperatuur boven laag 3, de minimum temperatuur blijft boven de 13 °C. Na 23 maart lijkt er niet meer verwarmd te worden en is de kas zo goed als leeg, figuur 25.



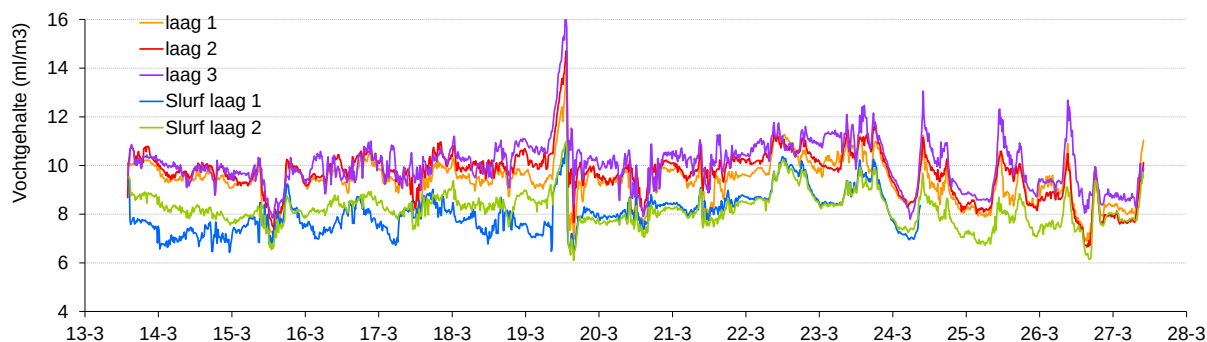
Figuur 25: Gemiddelde temperatuur boven de teeltlagen.

Tot 23 maart blijft de RV, figuur 26, gemiddeld over de 4 meetpunten per laag vrijwel altijd onder de 85%.



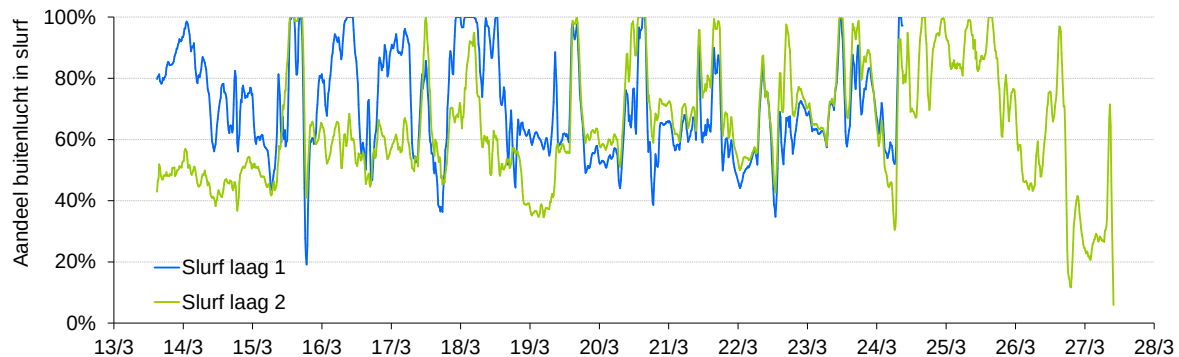
Figuur 26: Gemiddelde RV boven de teeltlagen.

Voor 19 maart verschilt het vochtgehalte van de lucht in de slurf boven laag 1 van dat in de slurf boven laag 2, na 23 maart is het vochtgehalte in beide slurven gelijk, figuur 27. De slurf boven laag 1 heeft



Figuur 27: Absoluut vochtgehalte boven de teeltlagen en in de slurven.

een lager vochtgehalte dan die boven laag 2 omdat het aandeel buitenlucht in die slurf hoger is, figuur 28.



Figuur 28: aandeel buitenlucht in de slurven.

Het kasklimaat is ook boven laag 3 stabiel. Na 23 maart worden dag/nacht verschillen erg groot.

Samenvattend:

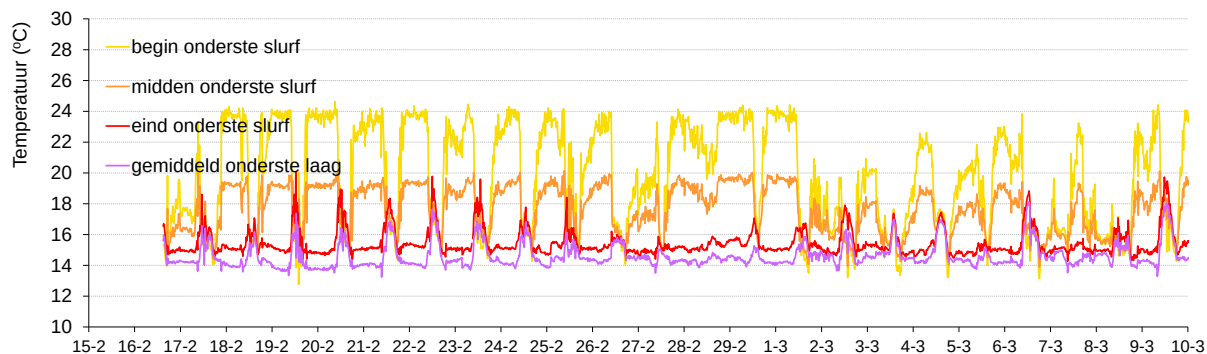
Ook in dit 3-laagssysteem nemen temperatuur en vochtgehalte naar boven toe. In de periode tot 23 maart blijft de RV, op een enkel piekmoment na, onder de 80 – 85%. Het ontvochtigingssysteem werkt effectief en doeltreffend.

Ook op **Bedrijf 7** was het kasdeel met meerlagenteelt gedurende de meetperiode niet voor 100% gevuld. Eén kasdeel is geconstrueerd voor teelt in 4 lagen, maar omdat dit kasdeel nog in de opstartfase was werden maar 2 van de 4 lagen benut. Een 2 maal zo groot tweede kasdeel is geconstrueerd voor teelt in 2 lagen op 2/3 van het oppervlak en voor de oogstbare containers op 1/3 van het oppervlak. Alle lagen worden verwarmd en ontvochtigd met slurven aangesloten op LBK's in de noordelijke en zuidelijk wand van de (schuur)kas. Het kasklimaat boven de bovenste laag en dat boven de onderste drie lagen wordt apart geregeld. Er is geen buisverwarming. De LBK's zuigen bovenin de kas kaslucht aan die wordt gemengd met buitenlucht, eventueel verwarmd en met slurven die tot halverwege de kas lopen, ingebracht, zie foto's.

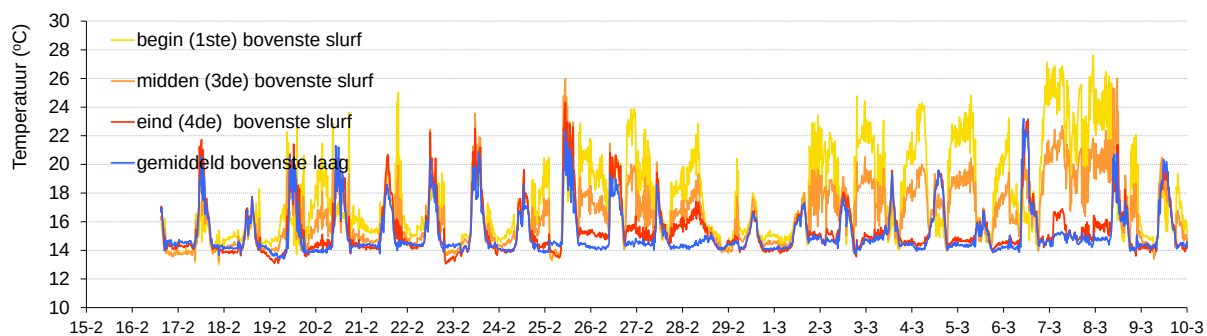


De TxRV sensoren zijn op 3 – 4 punten geplaatst in een slurf boven de onderste laag en in een slurf boven de bovenste laag, en op overeenkomstige plaatsen in de kaslucht boven de containers met tulpen. De temperatuurmetingen zijn samengevat in figuur 29 (onderste laag) en figuur 30 (bovenste laag). De figuren laten zien dat (vooral) 's avonds en 's nachts de onderste laag wordt opgewarmd: de temperatuur is aan het begin van de slurf zo'n 24°C, in het midden afgekoeld tot 20 °C en bijna aan het eind tot 15 °C. De temperatuur van de kaslucht ligt 's nachts ongeveer op 14 °C. De bovenste laag wordt meestal alleen aan het begin van de avond verwarmd en gemiddeld tot een

temperatuur van 2 °C lager dan boven de onderste laag. De temperatuur aan het eind van de slurf is gelijk aan de gemiddelde temperatuur van de kaslucht boven de bovenste laag. Overdag zijn er daar pieken van 6 – 8 °C boven de gemiddelde temperatuur als gevolg van instraling van de zon. Boven de onderste laag zijn deze pieken hoogstens 2 – 3 graden boven het gemiddelde. In tabel 9 zijn de gemiddelde waarden samengevat: de bovenste laag is warmer, maar droger: er wordt dus goed ontvochtigd.



Figuur 29: Temperaturen in de slurf en gemiddeld in de kaslucht boven de onderste laag.

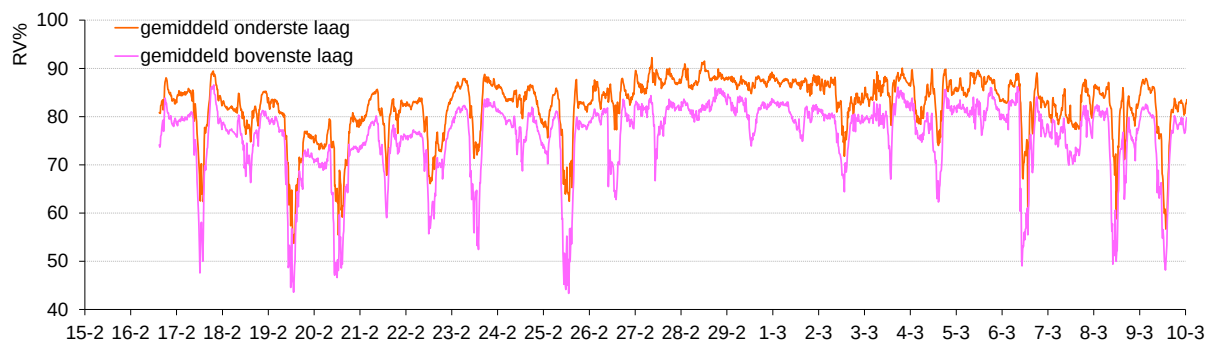


Figuur 30: Temperaturen in de slurf en gemiddeld in de kaslucht boven de bovenste laag.

Tabel 9: Gemiddelde temperatuur en vochtigheid, bedrijf 7.

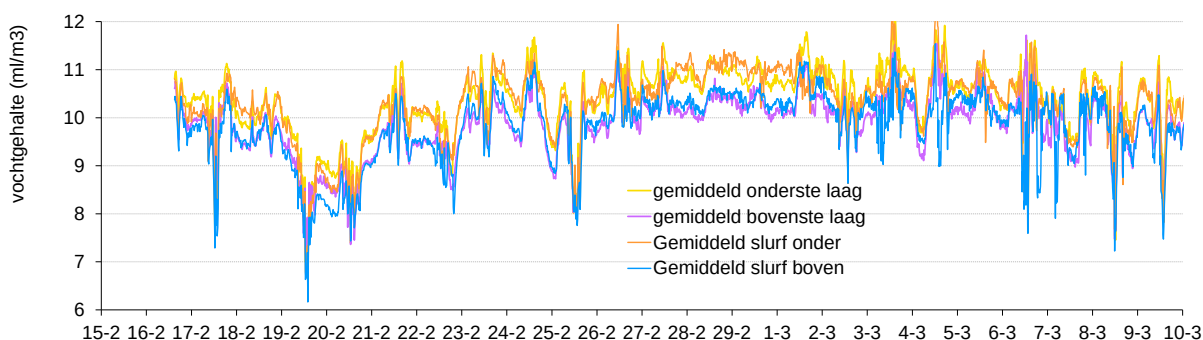
			T	RV	p>85%	H2O	Vd
onderste laag	slurf	begin	19,1	59,1		9,8	6,7
		midden	17,2	68,8		10,1	4,6
		eind	15,3	81,7		10,7	2,4
		gemiddeld	17,2	69,9		10,2	4,6
	kas	begin	14,4	88,2	79%	10,9	1,5
		midden	14,3	82,4	9%	10,2	2,2
		eind	14,6	77,2	1%	9,7	2,9
		gemiddeld	14,5	82,7	2%	10,3	2,2
bovenste laag	slurf	begin	17,3	65,1		9,6	5,2
		midden	16,4	67,6		9,5	4,6
		eind	15,5	75,9		10,1	3,2
		gemiddeld	16,4	69,5		9,7	4,3
	kas	begin	15,0	78,0	12%	10,0	2,8
		midden	15,3	74,5	0%	9,8	3,3
		eind	15,2	74,7	0%	9,8	3,3
		gemiddeld	15,1	76,3	6%	9,9	3,1
buiten		6,4	91,9		6,9	0,6	

De gemiddelde RV is boven de onderste teeltlaag regelmatig boven de 85% en altijd hoger dan boven de bovenste laag, figuur 31. Dit wordt vooral veroorzaakt door de hoge RV bij het begin van de containerbaan, tabel 9. Ook boven de bovenste laag is op die plaats de RV hoger. Mogelijk wordt daar water gemorst. Zonder dit meetpunt is de RV boven laag 1 vrijwel gelijk aan de RV boven laag 2.



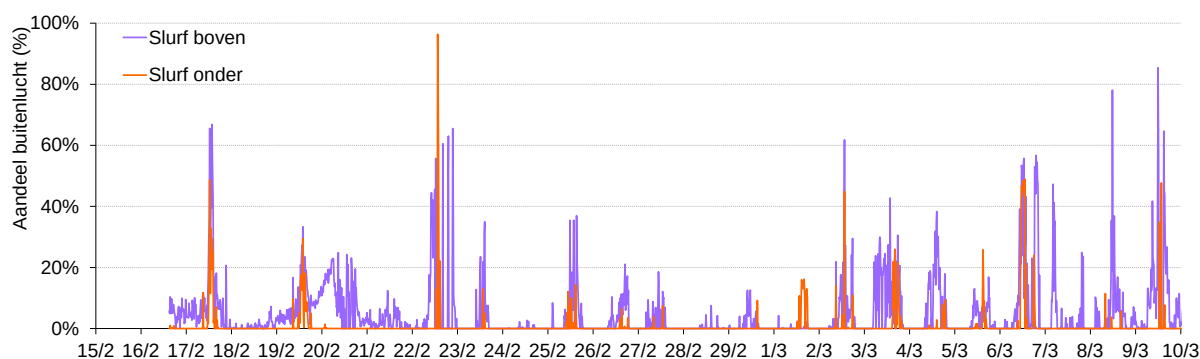
Figuur 31: RV boven de teeltlagen

Het absolute vochtgehalte is in de slurf boven de bovenste laag lager dan boven de onderste laag. Het vochtgehalte in de slurven correspondeert met het vochtgehalte in de kaslucht, figuur 32. Het vochtgehalte boven de onderste laag kan dus eenvoudig verlaagd worden door met meer buitenlucht te mengen zoals in de slurf boven de bovenste laag.



Figuur 32: Absoluut vochtgehalte boven de lagen en in de bijbehorende slurven.

In figuur 33 laat het aandeel buitenlucht zien dat door de slurven stroomt. Dit aandeel is berekend uit het vochtgehalte in de slurf, in de buitenlucht en in de kaslucht boven de bovenste laag. De figuur laat zien dat de slurf boven vaker en met meer buitenlucht gemengd is dan de slurf onder. De pieken komen overeen met de periodes van lage RV (figuur 31) en een laag vochtgehalte (figuur 32).



Figuur 33: Aandeel buitenlucht in de slurven.

Samenvattend:

De gemiddelde temperatuur boven de bovenste laag is slechts 0,6 °C hoger dan boven laag 1: de slurf boven laag 2 wordt minder verwarmd dan die boven laag 1. Ook de horizontale variatie in temperatuur is erg klein. Het vochtgehalte van de kaslucht volgt precies het vochtgehalte in de slurven. De bovenlaag wordt meer ontvochtigd dan de onderste laag. Het percentage buitenlucht is in de slurf boven de bovenlaag hoger dan in de slurf boven laag 1. Op één meetpunt na (waar vermoedelijk water gemorst werd) bleef de RV vrijwel altijd overal onder de 85%.

In tabel 10 zijn voor 5 bedrijven de metingen aan het kasklimaat samengevat. Voor bedrijf 10 is alleen de meetperiode t/m 23 maart meegenomen omdat na die datum de kas vermoedelijk vrijwel leeg was.

Tabel 10: Overzicht kasklimaat tijdens de meetperioden.

	Bedrijf 8*	Bedrijf 9	Bedrijf 6	Bedrijf 7	Bedrijf 10
Meetperiode					
begin	9-jan	19-jan	2-feb	16-feb	13-mrt
eind	19-jan	2-feb	16-feb	13-mrt	23-mrt
dagen	10	14	14	26	10
Temperatuur (°C)					
Laag 1	17,1	15,5	14,0	14,5	14,5
Laag 2	17,2	17,4	16,1	15,1	15,1
Laag 3	17,2	-	-	-	15,6
gemiddeld	17,2	16,4	15,0	14,8	15,1
Buiten**	4,2	2,1	-2,0	6,4	7,6
Vocht (ml/m3)					
Laag 1	12,0	9,6	9,4	10,0	9,6
Laag 2	12,1	11,7	10,9	9,9	10,0
Laag 3	12,3	-	-	-	10,3
gemiddeld	12,1	10,7	10,2	9,9	9,9
Buiten**	6,0	5,0	3,3	6,9	6,9
Vochtdeficit (ml/m3)					
Laag 1	2,7	3,3	2,7	2,5	2,9
Laag 2	2,7	3,2	2,9	3,1	3,0
Laag 3	2,5	-	-	-	3,1
gemiddeld	2,6	3,2	2,8	2,8	3,0
RV (%)					
Laag 1	82	76	78	80	77
Laag 2	82	79	79	76	77
Laag 3	83	-	-	-	77
gemiddeld	82	78	78	78	77
p (RV > 85%)					
Laag 1	1%	0%	1%	2%	9%
Laag 2	2%	2%	14%	6%	7%
Laag 3	15%	-	-	-	13%
gemiddeld	6%	1%	7%	4%	10%

* data uit klimaatcomputers

** data KNMI Berkhout

De figuren 8 t/m 33 laten zien dat de temperatuur van de kaslucht boven de bovenste laag de typische dagpieken vertoont, de RV de typische nachtpieken. Deze zijn des te sterker naarmate het buiten onbewolkter is, en worden door schermen gedempt.

Het kasklimaat is daarom op de onderste laag (of lagen) veel gelijkmatiger.

Boven de bovenste laag wordt het gemiddeld iets warmer (maar soms wel meer dan 2 °C) dan boven de onderste laag. Ook het absolute vochtgehalte neemt van onderen naar boven toe: op de bovenste laag staan meestal de grootste planten, is door het kasklimaat de verdamping het grootst en vochtige lucht is lichter dan droge lucht en stijgt op. Ook de manier van watergeven speelt een rol.

Het vochtdeficit is gemiddeld ruim boven 2 ml/m³. De gemiddelde RV is onder de 85%. De variatie is echter groot en de kans op een RV > 85% neemt naar boven toe tot gemiddeld 13 – 15%.

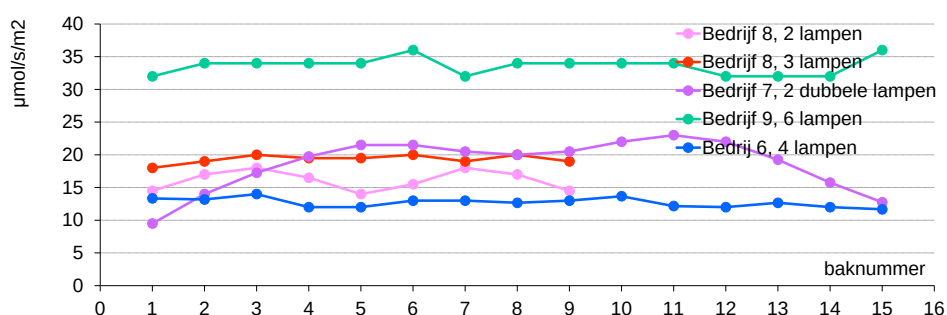
In sommige gevallen is er ook aanzienlijke horizontale variatie in temperatuur en RV. In geval van bedrijf 9 was dat vooral vanwege de lage temperatuur boven baan 2 in de onderste laag. De net uit de koelcel (bewortelingscel) gehaalde bollen komen daar de kas binnen. Daarvoor wordt dan dagelijks enige tijd daar de kas geopend waardoor koude lucht uit de schuur meekomt. In andere gevallen verliest de lucht in de slurf te snel warmte aan de kaslucht waardoor het kasdeel aan het begin van de slurf soms iets warmer is dan aan het eind. Een hoger debiet is hiervoor een gedeeltelijke oplossing.

3.3 Licht

De onderste laag of lagen worden op de bedrijven met verschillende soorten lampen belicht: met kwiklampen, TL-lampen (alleen witte of afgewisseld met blauwe) en LED's, zie foto's.



De resultaten van lichtmetingen op enkele bedrijven zijn samengevat in figuur 34. De spreiding dwars over de containerbaan laat zien dat er bij 2 rijen nog enige spreiding is, maar bij 3 rijen boven korte containers (9 bakken x 40 cm) en 4 - 6 boven de lange containers (15 bakken x 40 cm) is de lichtverdeling het gelijkmatigst.



Figuur 34: Lichtverdeling boven de tulpen

De gemiddelde lichthoeveelheid boven de containers varieert van 13 tot 34 $\mu\text{mol/s/m}^2$, tabel 11. Recent onderzoek met LED's ("Lichtbehoefte bij de broei van tulp in meerlagensystemen", M. van Dam, et al., (2012) liet zien dat de kwaliteit van tulpen al goed is bij een lichtniveau van 10 – 12 $\mu\text{mol/s/m}^2$. Het lichtniveau van 13 $\mu\text{mol/s/m}^2$ is, zeker in het eerste derde deel van de groeiperiode, voldoende. De lichtopbrengst per Joule elektrische energie is het hoogst bij de LED's (Bedrijf 8 en 9) en wanneer de afstand tot de tulpen het korst is, Bedrijf 9.

Tabel 11: gemiddelde lichtintensiteit boven de containers.

	$\mu\text{mol/s/m}^2$	spreiding	watt/m ²	$\mu\text{mol/Joule}$
Bedrijf 8, 3 lampen	19	3%	19	0,99
Bedrijf 8, 2 lampen	16	10%	13	1,24
Bedrijf 9, 6 lampen	34	4%	23	1,44
Bedrijf 7, 2 dubbele lampen	19	21%	26	0,72
Bedrijf 6, 4 lampen	13	6%	26	0,49

3.4 Energieverbruik mechanisch ontvochtigen

Om het energieverbruik voor het mechanisch ontvochtigen te kunnen berekenen zijn op Bedrijf 8 metingen verricht aan het debiet in de slurven. De klimaatcomputer registreerde de klepstand van de luchtbehandelingskasten (LBK's), de temperatuur van de buitenlucht, van de kaslucht en van de lucht die de slurf ingaat. De ventilator was constant ingesteld op 40%.

Zowel de onderste als de middelste teeltlaag van de drie-lagen kas wordt mechanisch ontvochtigd door middel van vier LBK's die zorgen voor ventilatie, circulatie en opwarming van buiten- en kaslucht. In de onderste laag (fase 3: hier komen de bijna bloeiende tulpen te staan) zijn er in totaal 8 luchtslurven met diameter 40 cm aangesloten op de LBK's, vijf in de voorkas en drie in de achterkas. Op de middelste laag (fase 1: hier komen de net binnengehaalde containers te staan) zijn zowel in de voor- als achterkas 3 slurven aangesloten. De bovenste laag wordt met buizen verwarmd en traditioneel ontvochtigd/gelucht. Schematisch ziet de slurfverdeling er in de kas als volgt uit, figuur 35:

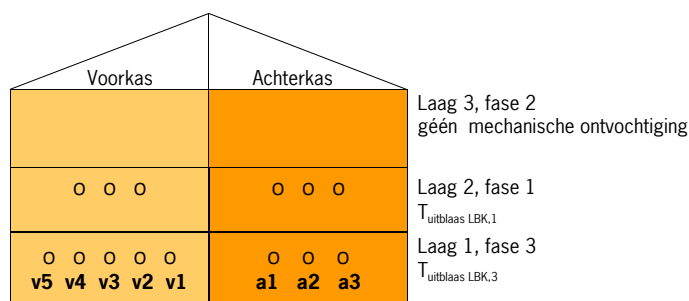


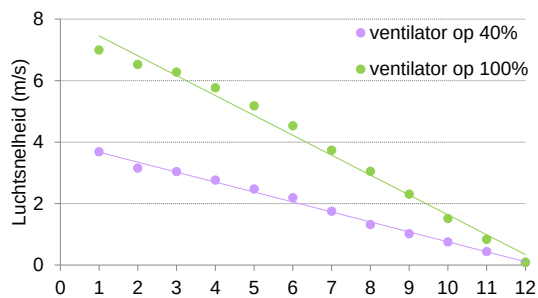
Fig.35 Schematische weergave luchtslurven in de voor- en achterkas.

In de slurven boven de onderste teeltlaag is op verschillende punten met een hetedraadmeter de luchtsnelheid gemeten met als doel het totale debiet van de slurven boven de onderste teeltlaag te bepalen. De slurven met een diameter van 40cm en ongeveer 50 meter lengte lopen dwars op de 12 containerbanen. De meetpunten op de slurf zijn aangegeven in figuur 36:



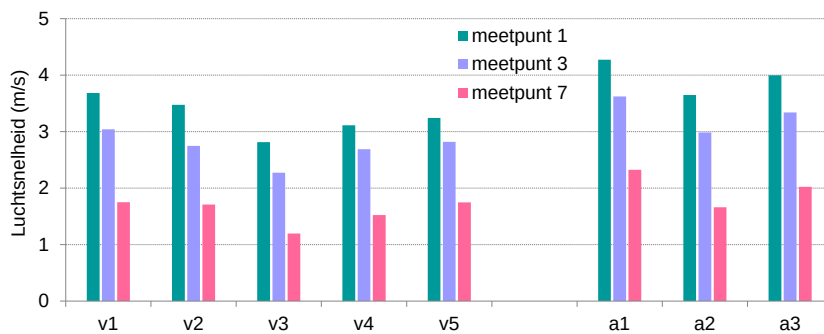
Fig.36 Meetpunten in de slurven.

In de slurven v1 t/m v5 is gemeten op de punten 1, 3 en 7, in de slurven a1 t/m a3 op de punten 3 en 7. Daarnaast is in slurf v1 op alle meetpunten gemeten bij ventilator instellingen van 40% en van 100%. De resultaten van deze laatste metingen zijn samengevat in figuur 37.



Figuur 37: Luchtsnelheden per meetpunt.

De figuur laat zien dat de luchtsnelheid in de slurf vrijwel lineair afneemt met de afgelegde afstand: uit de gaatjes stroomt dus overal evenveel lucht. Het resultaat van de metingen op de punten 1, 3 en 7 in de slurven in het voorste kasdeel en op de punten 3 en 7 in het achterste kasdeel 1 is samengevat in figuur 38. De luchtsnelheden in de slurven van het achterste kasdeel op meetpunt 1 zijn geschat met lineaire regressie.



Figuur 38: Luchtsnelheden in verschillende slurven op 3 meetpunten.

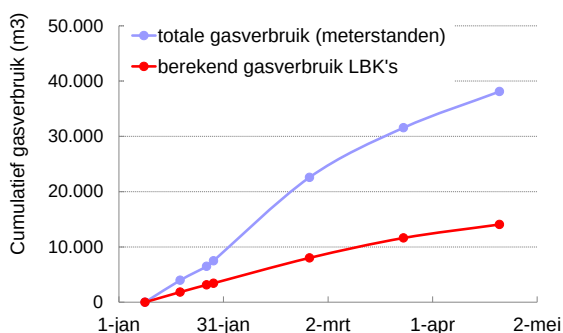
Het valt op dat er tussen slurven verschillen zijn in luchtsnelheid: de middelste slurf van de 5 in het voorste kasdeel heeft de laagste luchtsnelheid, de eerste slurf in het achterste kasdeel heeft de hoogste luchtsnelheden (gemiddeld 60% hoger). Door deze slurf wordt dus ook fors meer warmte getransporteerd. Op basis van de gemeten luchtsnelheden bij een ventilatorstand van 40% is het totale debiet boven de lagen berekend, tabel 12. Omgerekend per m² is het debiet boven de onderste laag 11,2 m³/uur en boven de tweede laag 9,5. Bij 100% ventilatorstand is dat respectievelijk 28 en 24 m³/uur.

Tabel 12: Totale debiet slurven (m³/uur) bij 40%.

	laag 1	laag 2*
Voorste kasdeel	7387	5394
Achterste kasdeel	5394	5394
verschil	37%	0%
totaal	12781	10788

* geschat

Via LetsGrow zijn voor de periode 8 januari t/m 21 april uit de klimaatcomputer de temperatuur van de buitenlucht, van de kaslucht boven laag 1 en 2, van de uitblaaslucht van de LBK's van laag 1 en 2, en de klepstanden van de



Figuur 39: Gasverbruik van 8 jan tm 21 april

LBK's uitgelezen. Op basis van de debieten in tabel 11 kon hiermee het energieverbruik voor het opwarmen van buitenlucht en kaslucht voor die periode berekend worden. Uit de door Bedrijf 8 genoteerde gasmeterstanden is het totale gasverbruik berekend. Hierbij is er van uitgegaan dat 10% van het totale gasverbruik niet voor de kas was, maar voor de rest van het bedrijf. De resultaten zijn samengevat in figuur 39 en in tabel 13.

Het gasverbruik voor het opwarmen van aangezogen buitenlucht om hiermee vooral laag 1 en 2 te ontvochtigen was 37% van het totale gasverbruik voor

de (schuur)kas. Om het deel kaslucht dat aangezogen werd te verwarmen is slechts 9% nodig. Voor verwarmen en ontvochtigen van de onderste twee lagen is dus 46% van het totale gasverbruik nodig. Voor het verwarmen en ontvochtigen van de bovenste laag wordt dus de overige 54% verbruikt. Het warmteverlies is boven deze laag groter (geen teeltlaag erboven, maar glas + schermen) waardoor er meer gestookt moet worden, *en* deze laag wordt ontvochtigd via de ramen. Welk deel van deze 54% voor ontvochtigen door stoken met de ramen open verbruikt wordt en welk deel voor het compenseren van warmteverlies is niet duidelijk.

Tabel 13. Energievraag voor ontvochtiging en opwarming kaslucht in de periode 8 januari t/m 21 april

Energie (eenheid)	GJ	m3 gas	m3 gas/ m2 kasoppervlak	percentage van totaal
Opwarming buitenlucht	445	14.060	12,3	37%
Opwarming aangezogen kaslucht Laag 1 en 2	113	3.554	3,1	9%
Totaal benodigde energie LBK's	558	17.615	15,5	46%
Energie voor buisverwarming laag 3	648	20.486	18,0	54%
Totaal	1206	38.101	33,4	

De lucht boven laag 3 is gemiddeld wel vochtiger dan boven laag 2 (figuur 20 en 21) en moet dus meer ontvochtigd worden. Ontvochtigen door middel van stoken met de ramen open kost erg veel energie. Vermoedelijk de beste oplossing is de slurven boven laag 2 te vertakken naar laag 3, en de kaslucht die de LBK's aanzuigen niet van boven laag 1 en 2 te trekken maar van boven laag 3. Laag 2 heeft de minste ontvochtiging nodig (zie ook tabel 5), omdat de tulpen daar ingehaald worden. De maximale capaciteit kan daar daarom lager. Boven laag 3 hoeven dan minder vaak de ramen open. Deze oplossing lijkt het doeltreffendst om te ontvochtigen en om minder energie te verbruiken. Ook het plaatsen van kleine horizontaal blazende ventilatoren zou overwogen kunnen worden om hiermee de gelijkmatigheid van het kasklimaat te bevorderen.

3.5 Energie-Efficiëntie

Van enkele bedrijven zijn de energie- en productiecijfers over meerdere jaren bekend: van Bedrijf 1 zijn deze cijfers bekend vanaf 2004/5 toen er nog op één laag gebroeid werd, tabel 14. Vanaf 2007/8 werd er op twee lagen gebroeid en vanaf 2010/11 werd er deels op 3 lagen gebroeid. In 2011/12 is de netto kas uitgebreid met 35%.

Tabel 14: Energieverbruik per bos tulpen (excl. koeling/preparatie, machines), Bedrijf 1.

	eenlaagsbroei			tweelaagsbroei			deels drielaags	
productie (miljoen)	4,5	4,5	4,5	9	9	9	12	17,8
week 49 t/m 16	2004/5	2005/6	2006/7	2007/8	2008/9	2009/10	2010/11	2011/2012
gas (MJ)	2.748.395	2.961.560	2.589.497	2.764.186	2.843.495	2.932.791	2.981.150	3.780.775
gas (m3/m2 kas)	39	42	37	39	40	41	42	39
elektra (MJ)*	-	-	-	620.573	620.573	620.573	930.860	1.071.144
totaal (MJ)	2.748.395	2.961.560	2.589.497	3.384.759	3.464.068	3.553.364	3.912.010	4.851.919
MJ/bos van 10	6,11	6,58	5,75	3,76	3,85	3,86	3,26	2,73
gemiddeld bij 1-laags		6,15						
bespaard t.o.v. 1-laags				39%	37%	37%	47%	56%

* uitgangspunt: Op één van de teeltlagen bij 2-laags gemiddeld 8 uur belichting, bij 3-laags gemiddeld 12 uur.

De gemiddelde energie-efficiëntie was van 2004/5 t/m 2006/7 6,15 MJ/bos (615 MJ /1000 st). In het broeiseizoen 2011/12 is de energie-efficiëntie uitgekomen op 2,73 MJ/bos (273 MJ/1000 st). Dit betekent een energiebesparing van 56% t.o.v. de broei in de periode 2004 – 2006/7. Berekend t.o.v. broei onder dezelfde omstandigheden, maar dan op één laag, tabel 16, is de besparing

41%. Er is t.o.v. de periode 2004 – 2006/7 dus niet *alleen* door meerlagenteelt een hogere productie gerealiseerd. Het gasverbruik per meter kas is over de gehele periode vrijwel constant.

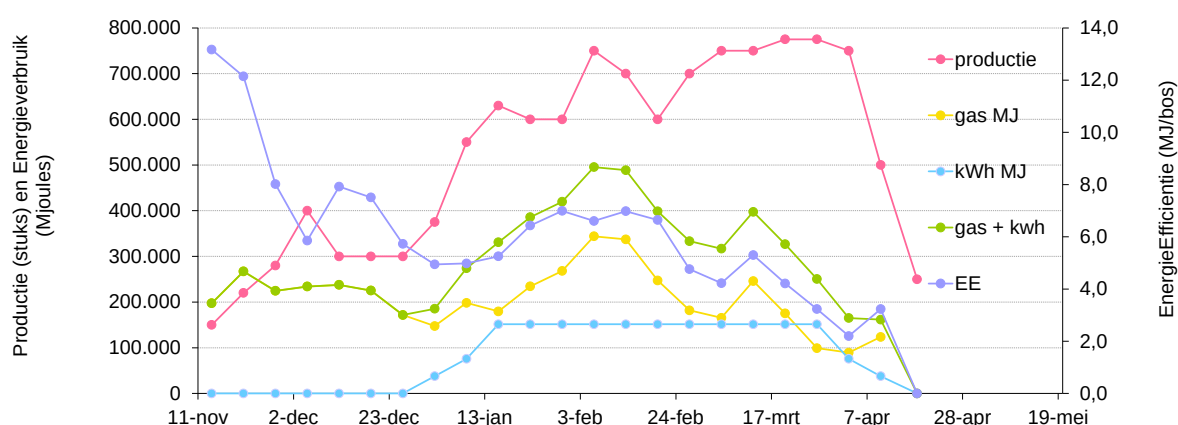
Bedrijf 2 is in het broeiseizoen 2009/10 begonnen met meerlagenteelt. De productie is in het broeiseizoen 2011/12 fors toegenomen, terwijl het energieverbruik voor kasverwarming en belichting vrijwel gelijk bleef, tabel 15.

Tabel 15: Schatting energieverbruik per 1000 stelen, Bedrijf 2.

	eenheid	2009/10	2010/11	2011/2012
productie	stelen	18.000.000	22.350.000	27.065.500
totaal energieverbruik (uitsluitend groene stroom!)	kWh	1.136.880	1.185.300	1.116.000
totaal elektra koeling/prep etc.	kWh	351.000	435.825	300.150
elektra verlichting kas	kWh	10.000	40.884	40.000
geschat energieverbruik voor verwarming*	kWh	775.880	708.591	815.850
totaal kas	kWh	785.880	749.475	855.850
	MJ	7.072.920	6.745.275	7.702.654
Energieverbruik/bos (kasverwarming + licht)	MJ/1000 st	3,93	3,02	2,85
Zuiniger dan sectorgemiddelde (EnergieMonitor 2011) 688 MJ/1000 st	MJ/1000 st	41%	55%	57%

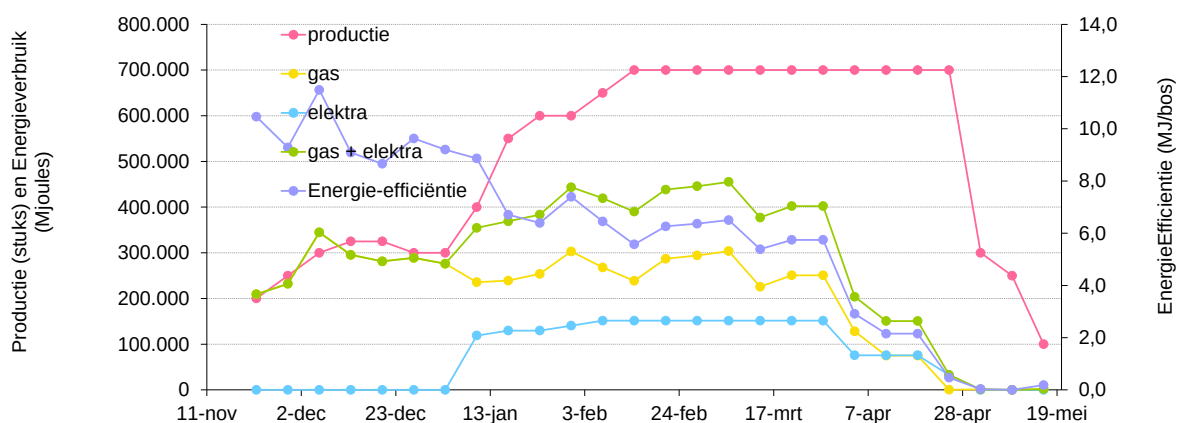
Op Bedrijf 4 nam de wekelijkse productie vanaf half november steeds toe tot een maximum van 750.000 stelen in begin februari, figuur 40. In februari was het gasverbruik het hoogst, in maart was de productie het hoogst. In totaal werden 12,01 miljoen stelen verkocht, was het gasverbruik 130.822 m³ en het berekende elektraverbruik voor belichting 210.302 kWh.

Het gewogen gemiddelde energieverbruik per bos kwam hiermee op 5,41 MJ en betekent t.o.v. broei in één teeltlaag een energiebesparing van 39%.



Figuur 40: Wekelijkse productie en energieverbruik, seizoen 2011/2012, Bedrijf 4

Vergeleken met seizoen 2010/11 werd 1 week eerder met de broei begonnen en 3 weken eerder gestopt, figuur 41. De productie was dit seizoen iets lager (12,01 miljoen stelen tegen 13,15 miljoen in 2010/11, een afname van 10%). Het gasverbruik was in het vorige seizoen echter flink hoger (nl. 162.850 m³), zodat het energieverbruik per 1000 stelen dit seizoen toch iets lager uitkomt.



Figuur 41: Wekelijkse productie en energieverbruik, seizoen 2010/2011, Bedrijf 4

Van Bedrijven 1, 2, 4 en ook 6, 8 en 9 zijn productie- en energiecijfers van broeiseizoen 2011/12 verzameld en samengevat in tabel 16.

Tabel 16: Samenvatting energieverbruik en- besparing meerlagenteelt.

		Bedrijf 1	Bedrijf 2	Bedrijf 4	Bedrijf 6	Bedrijf 8	Bedrijf 9
kasbenutting	%	>198%	165%	200%	139%	300%	149%
productie netto kasopperv.	stelen/m ²	6461	5561	3722	4283	8593	4146
productie netto teeltopperv.	stelen/m ²	3269	3362	1861	3090	2864	2778
gas per m ² netto kas	m ³ /m ²	39	0	41	27	46	35
gas per m ² teelt	m ³ /m ²	20	0	20	19	15	24
uren per dag	n	12	6	24	24	24	16
lampvermogen	watt/m ²	40	40	31	26	16	23
gas/1000 stelen	m ³	6,0	0,0	10,9	6,3	5,4	8,5
elektra/1000 stelen	kWh	6,7	31,6	17,5	4,2	6,4	4,8
(primaire) energie/1000 stelen	MJoules	273	285 (114)*	541	258	248 (213)*	341
aandeel elektra belichting		22%	5%	29%	15%	23%	13%
(primaire) energie totaal/1000 stelen bij éénlaagsbroei	MJoules	463	457 (188)*	880	324	633	468
Energiebesparing door MLT		41%	38%	39%	20%	61%	27%
Zuiniger dan sectorgemiddelde**		59%	57%	19%	61%	63%	49%

* Bedrijf 2 en 8 verbruiken groene stroom waarvoor per kWh geen 9 MJ aan gas is verbruikt: bij de omrekening kWh naar MJoules zou dus 3,6 ipv. 9 gebruikt kunnen worden

** Uit de EnergieMonitor 2011 van de bloembollensector blijkt een gemiddeld gasverbruik van 19 m³ per 1000 tulpen = 35,17 x 19 = **668 MJ/1000 st**

Energieverbruik in de kas voor verwarming en belichting hangt van veel factoren af: productieperiode, kaswandisolatie, energieschermen, kastemperatuur, ontvochtiging, kasgrootte, etc., etc., en uiteraard de kasbenuttingsgraad. Een laag gasverbruik per meter kan dus b.v. komen door een lage kastemperatuur en een groot kasoppervlak (Bedrijf 6: gemiddeld 15,0 °C), terwijl een hoog gasverbruik per meter met een hoge kastemperatuur en een klein kasoppervlak kan samenhangen (Bedrijf 8: gemiddeld 17,2 °C).

Het elektraverbruik voor belichten wordt bepaald door het aantal uren dat belicht wordt en het hiervoor geïnstalleerde vermogen. Hoe hoger de bedekkingsgraad hoe meer er belicht wordt. Het geïnstalleerde vermogen wordt bepaald door het type lamp: LED's verbruiken minder elektra per µmol en kunnen dichter

op het gewas worden gebracht waardoor er vooral ook minder lichtverlies is (Bedrijf 9). Kwiklampen moeten veel hoger hangen waardoor de afstand tussen lagen groot moet zijn en er ook veel licht verloren gaat (bedrijf 1 en 2). Tulpen hebben het eerste derde deel van de groeiperiode geen of maar heel weinig licht nodig, toenemend naar volledige belichting in het laatste derde deel. Als de tulpen in die fase dan op een onderste laag staan moet er veel belicht worden (bedrijf 4 en 8).

De productie per meter teeltoppervlak hangt af van het aantal trekken en het aantal geoogste stelen per meter per trek, dat weer afhangt van de plantdichtheid, de bolmaat en het uitvalspercentage. De productie per meter kasoppervlak wordt dan bepaald door de kasbenutting. Een hoge kasbenutting geeft een hoge productie per meter kas en door een laag energieverbruik per meter kas een laag energieverbruik per 1000 stelen en een hoog percentage energiebesparing door MLT (Bedrijf 8). Een relatief lagere benuttingsgraad geeft een lager percentage energiebesparing (Bedrijf 6). Bedrijf 4 heeft pas in half februari de kas helemaal gevuld.

Vergeleken met wat de bloembollensector gemiddeld voor het broeien van 1000 tulpen in 2011 verbruikte (EnergieMonitor 2011: 19 m³ gas = 668 MJ per 1000 stelen) wordt er door de Bedrijven 1, 2, 6, 8 en 9 50 – 60% energiezuiniger gebroeid. Voor Bedrijf 2, en in mindere mate Bedrijf 8, is dat feitelijk nog meer omdat deze bedrijven groene stroom verbruiken: 83% resp. 68%.

4 Conclusies en Aanbevelingen

Conclusies

Omdat de productieverhoging door meerlagenteelt niet tot een hoger gasverbruik per meter kas leidt (theoretisch eerder tot een lager gasverbruik omdat lampwarmte aan kasverwarming bijdraagt), wordt per steel veel op energie bespaard. Bij de deelnemende bedrijven zijn door meerlagenteelt energiebesparingen gerealiseerd tot boven de 60%. Het aandeel elektra voor belichting van de onderste laag varieerde van 5 – 29%.

De kwaliteit van de gebroeide tulpen was altijd goed, op één gebeurtenis na waarbij uitval werd veroorzaakt door kiepers. De oorzaak lag vermoedelijk in een voor een bepaalde cultivar op dat moment te vochtig en te warm kasklimaat boven de bovenste laag.

Vergeleken met wat de bloembollensector gemiddeld voor het broeien van 1000 tulpen in 2011 verbruikte (EnergieMonitor 2011: 19 m³ gas per 1000 stelen) wordt er door de Bedrijven 1, 2, 6, 8 en 9 ongeveer 50 – 60% energiezuiniger gebroeid. Voor Bedrijf 2, en in mindere mate Bedrijf 8, is dat feitelijk nog meer omdat deze bedrijven groene stroom verbruiken: 83% resp. 68%.

Het ontvochtigingssysteem waarmee de door luchtbehandelingskasten opgewarmde buitenlucht gemengd wordt met kaslucht en vervolgens via slurven de kas wordt ingeblazen verdeelt de droge lucht perfect over de lagen. Warmte wordt door de slurven minder goed verdeeld omdat er tijdens het transport warmteverlies is: aan het eind van de slurf is de lucht enkele graden koeler en dit resulteert in een in dit kasdeel iets lagere kastemperatuur (tot 1 °C). Hoe hoger de warmtevrage, hoe hoger het debiet moet zijn. Horizontale temperatuur- (en RV-) verschillen kunnen ook door omstandigheden als het b.v. dagelijks enige tijd openen van de kas om containers in te halen, of door natte plekken op de grond, aanzienlijk zijn. De positie van de meetbox die op de klimaatcomputer is aangesloten is dus van invloed op de klimaatregeling, beter is het meerdere meetboxen te plaatsen. De kosten hiervan zijn gering, vooral als hiermee uitval voorkomen kan worden.

Boven de bovenste laag is het warmer en vochtiger (zowel absoluut als relatief) en is het kasklimaat onregelmatiger: dag- en nachtverschillen zijn er groot. Het kasklimaat boven de onderliggende teeltlagen is juist erg gelijkmatig. Boven de bovenste laag wordt het gemiddeld iets warmer (maar in enkele gevallen soms meer dan 2 °C) dan boven de onderste laag. Ook het absolute vochtgehalte neemt van onderen naar boven toe: op de bovenste laag staan meestal de grootste planten, is door het kasklimaat de verdamping het grootst en bovendien is vochtige lucht lichter dan droge lucht en stijgt op. Ook de manier van watergeven speelt een rol.

Het vochtdeficit was gemiddeld ruim boven 2 ml/m³. De gemiddelde RV bleef onder de 85%. De variatie is echter groot en de kans op een RV > 85% neemt naar boven toe tot gemiddeld 13 – 15% van de tijd.

Direct aangezogen (dus onverwarmde) buitenlucht die door een slurf naar het midden van de kas boven laag 2 wordt getransporteerd, wordt hierdoor (afhankelijk van de temperatuur van de buitenlucht en kaslucht en van de klepstand) tot zo'n 10°C opgewarmd.

Boven de tulpen in laag 1 en vlak onder de 2^{de} laag erboven is er geen of nauwelijks verschil in temperatuur of RV.

Samenvattend:

Horizontale verschillen in temperatuur en vocht worden veroorzaakt door:

- Warmteverlies tijdens transport door slurf
- Verschillen in debiet per slurf
- Openen van de kas
- Plaatselijk plassen water op de grond

Verticale verschillen in temperatuur en vocht:

- Naar boven toe warmer en vochtiger
- Warme lucht stijgt op + zonlicht op bovenlaag
- Vochtige lucht stijgt op + boven meer verdamping
- Onderlagen gelijkmatiger kasklimaat

Door 4 of meer strengen lampen boven containers van 6 meter wordt een goede lichtverdeling gerealiseerd. Hoe dichter de lampen boven het gewas, hoe meer strengen nodig zijn om een gelijkmatige verdeling te krijgen, maar hoe minder lichtverlies door verstrooiing. De boven het gewas gemeten lichthoeveelheid (μmol/s/m²) per geïnstalleerd lampvermogen (watt/m²) is dan hoger, het energieverbruik efficiënter. LED's kunnen het dichtst op het gewas worden gebracht.

Uit luchtsnelheidsmetingen in de slurven bleek dat het debiet gelijkmatig verdeeld is over de lengte van de slurf: uit alle gaatjes komt evenveel lucht. Tussen slurven aangesloten op hetzelfde kanaal is wel een flink verschil mogelijk, afhankelijk van de positie (de slurf die het verst van de LBK is geplaatst krijgt de meeste lucht, de slurf die het verst van het eind van het kanaal is geplaatst de minste lucht).

De gemeten maximale ventilatiecapaciteit was gemiddeld 29 m³/uur/m² boven de onderste laag, en 24 m³/uur/m² boven de tweede laag.

Voor het met het doorgemeten systeem van LBK's en slurven verwarmen + ontvochtigen van de lucht boven de onderste twee lagen bleek 46% van het gasverbruik nodig te zijn, waarvan 37% voor het verwarmen van de buitenlucht (dus voor ontvochtigen) en 9% voor het verwarmen van recirculerende kaslucht. Voor het verwarmen + ontvochtigen via de ramen bleek 54% van het gasverbruik nodig te zijn. Hoeveel hiervan voor ontvochtigen wordt gebruikt is onbekend.

Sterke punten van de verschillende MLT-systemen zijn:

- Hoogste energiebesparing bij de systemen met 3 lagen (Bedrijf 8 en 10)
- Recirculatie (retour)lucht voor de LBK alleen van boven de bovenste laag aanzuigen (gelijkmatiger luchtvochtigheid) (Bedrijf 2, 7, 9 en 10)
- Horizontaal blazende ventilatoren boven de bovenste laag, of slurven net als boven de onderste lagen (Bedrijf 2, 7)

- Meerdere meetboxen per laag (Bedrijf 9)
- LED verlichting (Bedrijf 8, 9), dichter op gewas en 6 strengen per containerbaan (Bedrijf 9)
- Belichten volgens behoefte groeistadium, laatste fase daglicht (Bedrijf 1, 2, 6, 9)
- Ruimte tussen containerbanen (loopruimte voor gewascontrole, bevordert verticale luchtstroom, geeft nog wat licht door naar onderliggende laag)(Bedrijf 1, 2, 4, 6, 7, 9 en 10)
- Ventilatoren die kaslucht van boven laag 2 via slurven boven laag 1 brengen (Bedrijf 1, 6)
- Veel ruimte boven de bovenste laag (Bedrijf 1, 2, 4, 6, 7, 10)
- Watergeefstelsel: niet bovenlangs (het gewas niet nat maken, Bedrijf 7)

Aanbevelingen

Vergeleken met de traditionele éénlaagsteelt wordt er in de MLT-systemen per bos tulpen veel energie bespaard (tot 60%), maar de energie-efficiëntie van het MLT-systeem kan nog veel verder verbeterd worden: Als op een andere wijze mechanisch ontvochtigd kan worden, zodat het systeem veel minder ruimte inneemt dan met de huidige slurven, en als de LEDlampjes niet in een buis zitten, maar gelijkmatig verdeeld over het oppervlak kunnen de teeltlagen veel dichter op elkaar dan nu het geval is. En als er per teeltlaag niet één meetbox voor RV en temperatuur, maar meerdere sensoren opgesteld zijn, kan het kasklimaat beter gecontroleerd worden. De kasruimte wordt dan nog beter benut en er wordt dan met minder uitval nog meer energie bespaard (op gas en op belichten).

Aanbevolen wordt om op basis van de kennis en ervaring die door dit project en het lopende LED-onderzoek gegenereerd zijn tot een nieuw basisontwerp voor MLT te komen. In samenwerking met WUR- Glastuinbouw kunnen hiervoor verfijnde kasklimaatmodellen worden toegepast. Resultaat is een verbeterd standaard ontwerp voor MLT: De teeltlagen zijn dichter op elkaar, LED-technologie wordt efficiënt toegepast en het kasklimaat is op alle teeltlagen goed onder controle. Hierdoor wordt de kasruimte beter benut (niet maximaal 3, maar 6 of meer teeltlagen), wordt het energieverbruik per steel nog verder verlaagd, wordt de kostprijs verlaagd en wordt uitval door o.a. kiepers voorkomen. Hiermee zal de kwaliteit van het product worden verbeterd en de concurrentiepositie van de bloembollensector worden versterkt.

