

Klimaat “Kas zonder Gas”

J.B. Campen, F.L.K. Kempkes en A.A. Sapounas



© 2008 Wageningen, Wageningen UR Glastuinbouw

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

Wageningen UR Glastuinbouw

Adres : Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk
: Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk
Tel. : 0317 - 48 56 06
Fax : 010 - 522 51 93
E-mail : glastuinbouw@wur.nl
Internet : www.glastuinbouw.wur.nl

Inhoudsopgave

		pagina
1	Samenvatting	1
2	Inleiding	3
	2.1 Probleemstelling	3
	2.2 Doelstelling	4
	2.3 Aanpak	4
3	Methodes	5
	3.1 Draadloze klimaatsensoren	5
	3.2 Akoestische luchtsnelheidsmetingen	6
	3.3 Rookproeven	7
	3.4 Computational fluid dynamics berekeningen	7
4	Resultaten	9
	4.1 Klimaatmetingen	9
	4.2 Luchtsnelheidsmetingen	13
	4.3 CFD berekeningen	16
	4.4 Rookproeven	18
	4.5 Effect van plaatsing schotjes	19
5	Conclusies	24

1 Samenvatting

De “kas zonder gas” is een semi-gesloten kas waarin Phalaenopsis wordt geteeld. Tussen de open teelttafels bevinden zich luchtbehandelingskasten die afhankelijk van het gewenste klimaat koude of warme lucht onder de tafels blazen. De lucht stroomt door de tafels langs het gewas omhoog. De lucht wordt centraal door een rooster welke zich midden onder de nok van de kas bevindt aangezogen. De lucht wordt vervolgens in beide richtingen uitgeblazen onder de tafels.

Het gebruik van een warmtepomp maakt dat men met geforceerde luchtbeweging moet werken om voldoende warmteoverdracht te krijgen. Het gebruik van een warmtepomp leent zich goed voor Phalaenopsis door de warme en koude teeltfase. Door luchtbeweging worden in het algemeen klimaatverschillen verkleind. Luchtbeweging zorgt voor opmenging van de lucht. In een conventionele kas wordt de luchtbeweging geïnitieerd door invloeden van de wind en temperatuurverschillen.

In dit project is onderzocht of de inzet van het systeem ten behoeve van de koeling en verwarming van de kaslucht een goed klimaat geeft en of het systeem ook ingezet moet worden op het moment dat er geen warmte of koude behoefte is. Het onderzoek is uitgevoerd door het lokale klimaat rond een reperterend stuk van de kas te meten. Daarnaast is met akoestische luchtsnelheidsmeters de luchtsnelheid en richting bepaald. Ten slotte zijn de resultaten nader geanalyseerd door het systeem met CFD berekeningen te bekijken.

De luchtsnelheden worden gemeten met akoestische luchtsnelheidsmeters. Gelijktijdig wordt het klimaat op verschillende plekken in de kas gemeten.

De metingen laten zien dat de luchtbeweging nabij het gewas voldoende is ($>5\text{cm/s}$). Deze beweging is vooral te zien op het moment dat de schermen en de ramen gesloten zijn. Gedurende de overige momenten wordt de luchtstroming gedomineerd door de wind en de temperatuurverschillen in de kas. De verdeling van temperatuur en vocht is niet optimaal.

De volgende conclusies kunnen worden getrokken naar aanleiding van deze studie:

- Tijdens verwarmen ontstaan temperatuurverschillen tot 4 K bij een verwarmingstemperatuur van 40 gr. De luchtsnelheid is tijdens het verwarmen laag waardoor de werp en opmenging gering zijn.
- Tijdens koelen komt koude lucht onder de goot omhoog. Dit heeft te maken met het feit dat de koude lucht laag blijft tot dat het een obstakel tegenkomt waardoor het wel omhoog moet in dit geval de lucht die in tegenovergestelde richting komt.
- De luchtsnelheid rond het gewas fluctueert ten gevolge van de turbulentie veroorzaakt door de ventilator. De invloed van het systeem op de luchtsnelheid direct boven de tafel is gering.
- Rookproeven laten alleen een duidelijk stromingsprofiel ten gevolge van de installatie zien op het moment dat de schermen en ramen gesloten zijn.
- Een deel van de lucht die in de kas circuleert gaat niet door de ventilator maar wordt in beweging gebracht door de hoge luchtsnelheid waarmee de lucht uit de ventilatoren komt waardoor de omringende lucht wordt meegezogen.

De luchtweerstand van de tafels in combinatie met het gewas is beperkt. Hierdoor stroomt de lucht afhankelijk of er gekoeld of verwarmd wordt op specifieke plaatsen door de tafel. Verhoging van de luchtweerstand van de tafel zou de verdeling verbeteren. De lucht moet dan wel gedwongen worden door de tafel omhoog te komen. Hiertoe dienen de gaten rondom de tafel ook luchtdicht gemaakt te worden. Verhoging van de luchtweerstand van de tafel zal ook de secundaire luchtbeweging verminderen.

Daarnaast kunnen de grote temperatuurverschillen tijdens het verwarmen worden verkleind door de ventilatoren op een hoger toerental te laten draaien. Hierdoor gaat de luchtsnelheid en de turbulentie omhoog en daarmee de opmenging van de warme lucht met de kaslucht. Daarnaast kan de temperatuur van het verwarmingswater lager worden aangezien de warmteoverdracht groter wordt. Dit zorgt ook voor een minder groot temperatuurverschil. Wel zal het energiegebruik van de ventilatoren toenemen door deze maatregel.

De temperatuurverschillen tijdens het koelen worden enerzijds veroorzaakt door de recirculatie stromen en anderzijds door het tegen elkaar botsen van de koude luchtstromen onder de tafel. De recirculatie stromen kunnen worden verkleind door de luchtsnelheid te verlagen. Dit zal echter ten koste gaan van de koelcapaciteit. De koude lucht uit de koelers moet meer worden gemengd met de lucht onder de tafel dan zal het temperatuurverschil over de tafel ook kleiner zijn. De uitstroomopeningen moeten daartoe zoveel mogelijk om en om worden aangelegd zodat de tegengesteld luchtstromen niet direct op elkaar zijn gericht en er een circulatie onder de tafels ontstaat welke de opmenging ten goede komt.

Het moment waarop de ventilatoren moeten worden ingezet wordt in eerste instantie bepaalt of er een verwarmings of koelbehoefte is. Dit is ook primair waarom de ventilatoren worden gebruikt. Daarnaast kunnen de ventilatoren zorgen voor meer luchtbeweging om hiermee het microklimaat te verbeteren rond de plant. De metingen laten zien dat dit alleen nut heeft op het moment dat de ramen gesloten zijn en op koude dagen ook de schermen. Dus op momenten dat de warmtevraag en de koelbehoefte nihil zijn en de ramen geopend dan zouden de ventilatoren uitgeschakeld moeten worden.

Ontvochtigen kan door condensatie in de LBK of door ventilatie met buitenlucht. De ventilatie met buitenlucht werkt momenteel onvoldoende omdat de verse lucht die binnenkomt niet voldoende mengt met de lucht die wordt rondgepompt door de LBK's. Vooral na het watergeven is de vochtafvoer niet voldoende. Meer ventilatie waardoor er meer luchtuitwisseling komt is hiervoor een oplossing echter deze zorgt voor grotere horizontale klimaatsverschillen en het proces is moeilijk controleerbaar. Mechanische buitenlucht aanzuiging is beter controleerbaar en de verdeling is ook optimaal indien met luchtslangen wordt gewerkt.

Condensatie in de LBK zorgt voor ontvochtiging. De koelwatertemperatuur moet lager zijn dan de dauwpuntstemperatuur. Dit werkt alleen op het moment dat er gekoeld wordt. Alternatief zouden speciale koelunits onder de tafel geplaatst moeten worden ten behoeve van de vochtafvoer.

2 Inleiding

2.1 Probleemstelling

De “kas zonder gas” is een semi-gesloten kas waarin Phalaenopsis wordt geteeld. Semi gesloten leent zich goed bij Phalaenopsis aangezien er voor de teelt behoefte is aan een koude (bloei fase) en een warme (opkweek) teelt. Een warmtepomp zorgt voor de warmte en de kou die hiervoor nodig is. Werken met een warmtepomp brengt met zich mee dat de temperatuur van het verwarmingswater laag gehouden moet worden wil men een hoog rendement van de warmtepomp hebben en voor de koeling is ook minimale temperatuur beschikbaar waarboven het water niet bevriest. Dit maakt dat de warmteoverdracht naar de kas middel geforceerde ventilatie moet worden uitgevoerd. Dit gebeurt met luchtbehandelingskasten.

Bij de kas zonder gas bevinden zich de luchtbehandelingskasten tussen de open teelttafels. Deze kasten blazen afhankelijk van het gewenste klimaat koude of warme lucht onder de tafels. De lucht stroomt door de tafels langs het gewas omhoog. De lucht wordt centraal door een rooster welke zich midden onder de nok van de kas bevindt aangezogen, zoals in onderstaande foto te zien. De lucht wordt vervolgens in beide richtingen uitgeblazen onder de tafels.



Figuur 1. Overzicht van de kas waarbij het aanzuigrooster zich midden onder de kap bevindt.

De vraag die gesteld wordt door de tuinder en tuinders die mogelijk een degelijk systeem willen gaan gebruiken is: Op welke manier komt de lucht van onder de tafels door de tafels omhoog? Hoe is deze luchtsnelheid verdeeld over de breedte van de tafel en wat is het effect van de kier tussen de tafels waarvan hieronder een foto te zien is.



Figuur 2. Kier tussen de tafels onder de goot.

Naast de vraag hoe de lucht door de tafels stroomt is er de vraag hoe de lucht vervolgens door de rest van de kas stroomt waarbij de interactie met de ventilatie met de ramen ook mee moet worden genomen. Deze vraag is ook van belang voor andere gewassen die groter zijn waarbij het klimaat verder van de installatie ook nog optimaal moet zijn. Er wordt geventileerd om vocht af te voeren als er niet voldoende vocht door het systeem wordt afgevoerd.

2.2 Doelstelling

Dit project moet inzicht geven in het klimaat dat met het systeem zoals gebruikt bij de “kas zonder gas” wordt gemaakt. Het gaat hierbij om de temperatuur-, de luchtvochtigheid- en luchtsnelheidsverdeling. Van belang is de homogeniteit van het systeem te bepalen voor verschillende operating modes van het systeem. (koelen of verwarmen, rustig en hard blazend, met en zonder ventilatie met buitenlucht.)

Deze metingen worden gebruikt als kalibratie voor CFD berekeningen waarmee het totaal beeld van de kas weergegeven kan worden.

2.3 Aanpak

Bij de “kas zonder gas” zijn twee verschillende afdelingen: een afdeling waar de temperatuur ongeveer 22 graden is en een afdeling waar de temperatuur rond de 18 graden wordt gehouden. Deze afdelingen zijn verder gelijk qua systeem maar in beide afdelingen zal worden gemeten om alle variatie die met het systeem mogelijk te zijn ook te kunnen relateren aan het gerealiseerde klimaat.

3 Methodes

3.1 Draadloze klimaatsensoren

Het klimaat op de tafels waar de planten staan wordt gemeten met draadloze klimaatsensoren die temperatuur en relatieve luchtvochtigheid registreren. Hieronder is een foto van deze sensoren te zien.



Figuur 3. Foto van de gebruikt sensor ten behoeve van de temperatuur en relatieve luchtvochtigheidsmeting.



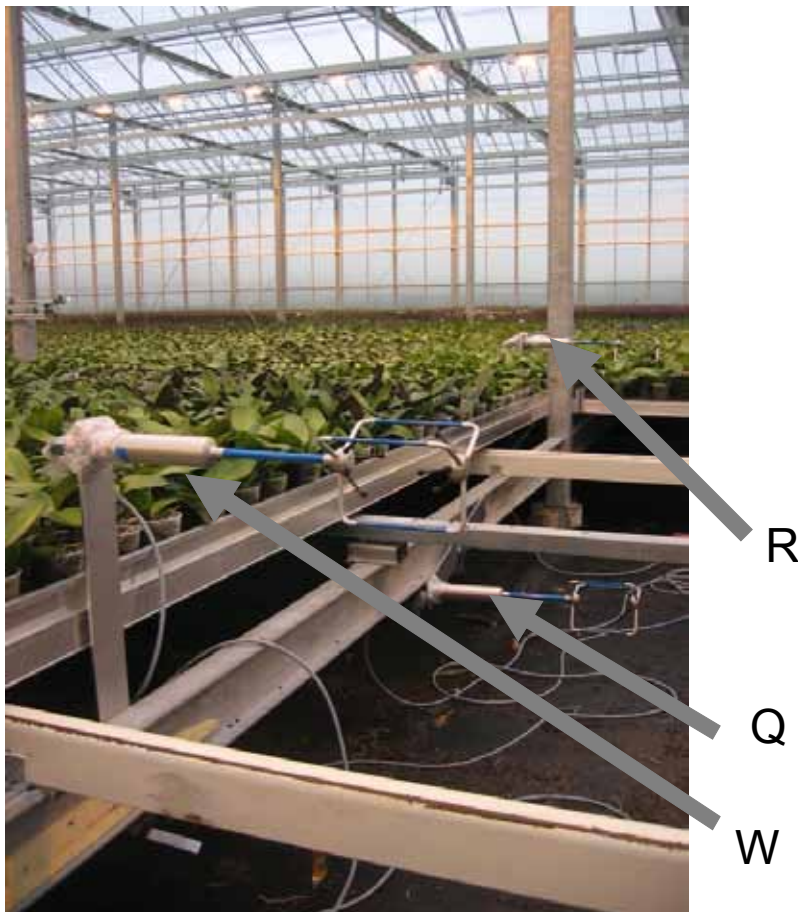
Figuur 4. Plaatsing van de sensor tussen het gewas

Bovenstaande foto laat de sensor tussen het gewas zien. De temperatuur en relatieve luchtvochtigheid van de lucht die van onder de tafel omhoog stroomt wordt op deze wijze gemeten. Dagelijks verplaatsen de tafels zich door de kas waardoor de meting zich ook verplaatst.

3.2 Akoestische luchtsnelheidsmetingen

De luchtsnelheden variëren rond het gewas tussen de 0 en 40 cm/s. Meten van deze lage luchtsnelheden kan alleen praktisch door gebruik te maken van akoestische anemometers. De meters bepalen de luchtsnelheid op basis van het dopplereffect. Lucht die in beweging is zorgt ervoor dat de frequentie waarmee een signaal wordt ontvangen anders is dan waarmee deze is uitgezonden. De verschil frequentie is een maat voor de luchtsnelheid. Door deze frequentie in drie richtingen te bepalen kan de grootte en de richting van de luchtsnelheid worden bepaald.

Om een beeld te krijgen van de luchtverdeling over de breedte van de tafel zijn 3 anemometers gebruikt. De anemometers zijn op de tafels gemonteerd waarbij de luchtsnelheid rond het gewas niet wordt beïnvloed. Deze metingen geven een beeld van de luchtbeweging rond het gewas tijdens verschillende standen van het systeem.



Figuur 5. Foto van de plaatsing van de akoestische luchtsnelheidsensoren in de kas

Bovenstaande foto laat de locaties zien van de akoestische luchtsnelheidsmeters. Sensor w is geplaatst nabij de goot om het effect van de lucht als deze naar de goot wordt gezogen te zien. Sensor Q is onder de tafel geplaatst om de luchtsnelheid uit de ventilatoren te registreren, deze sensor is in een later stadium ook boven de tafel geïnstalleerd om het effect in het midden van de tafel te registreren. Sensor R hangt nabij de goot om te zien of daar ook voldoende luchtbeweging is gezien het feit dat deze locatie het meest ver van de ventilatoren is.



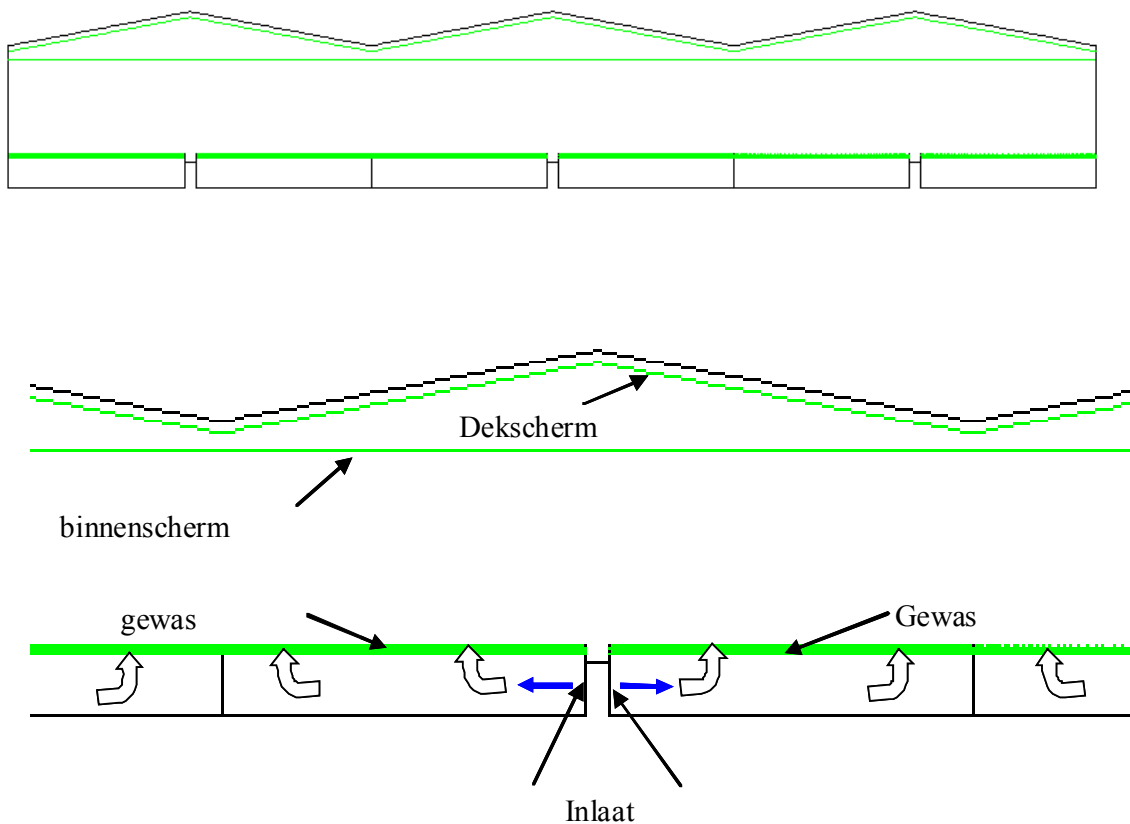
Figuur 6. Luchtsnelheidsmeters boven het gewas

3.3 Rookproeven

Naar aanleiding van de luchtsnelheidsmetingen is ook besloten rookproeven uit te voeren die de luchtstroming in de gehele kas zichtbaar maken. Hiertoe wordt een glycol mengsel op een hete plaat gesloten welke daarbij verdampt. De damp laat het stromingsprofiel zien.

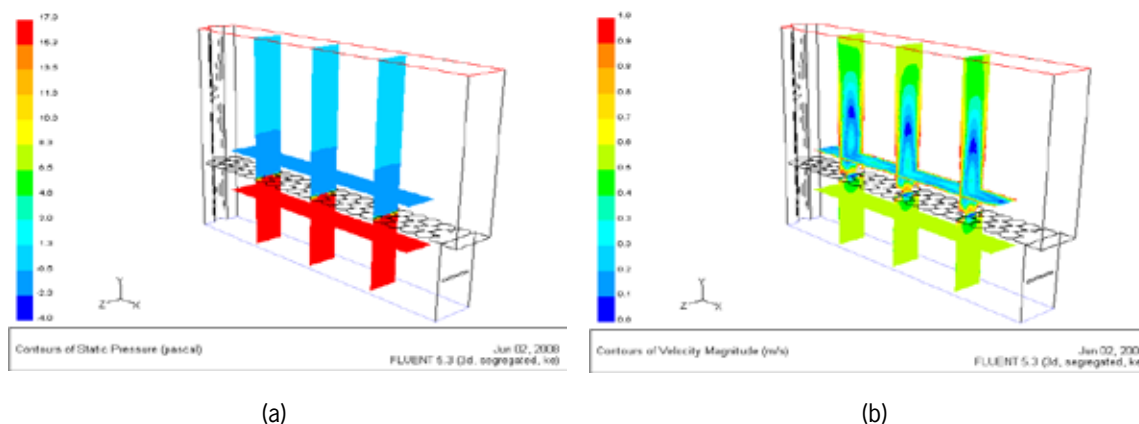
3.4 Computational fluid dynamics berekeningen

De resultaten van de klimaatmetingen en akoestische luchtsnelheidsmetingen worden gebruikt als verificatie voor een CFD model. Dit model wordt vervolgens gebruikt om het effect van aanpassingen aan het systeem te analyseren. Zo is gekeken wat het effect van plaatsing van verticale platen aan de teelttafels nabij het pad is. Ten gevolge van de aanzuiging van lucht nabij het pad worden de planten die een meter van het pad vandaan staan droger dan de rest van de tafel. Mogelijk kan een barrière dit effect wegnemen.



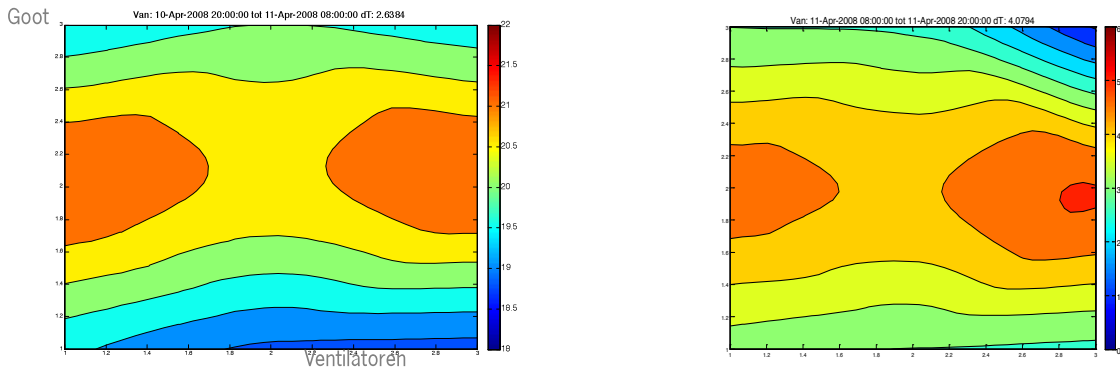
Figuur 7. Grafische representatie van het CFD model

Bovenstaande figuur laat het CFD model van de "kas zonder gas" zien. De schermen zijn ook in het model opgenomen aangezien deze een belangrijke rol spelen voor de klimaatverdeling.



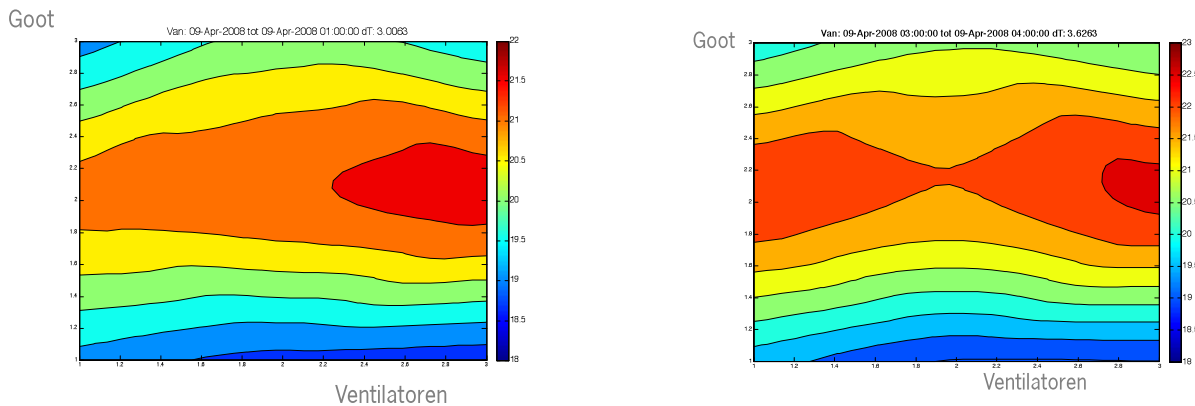
Figuur 8. Model om de weerstand van de potten te bepalen, a: drukverschil over de potten, b: snelheidsprofiel over de potten

Bovenstaande figuur laat het model zien waarmee de weerstand van de potten en de planten wordt bepaald. Dit onderdeel is belangrijk aangezien dit bepaalt hoe de lucht zich door de planten beweegt. De weerstand van de tafels met de potten is niet te meten vandaar dat gekozen is om dit via het CFD model te bepalen.

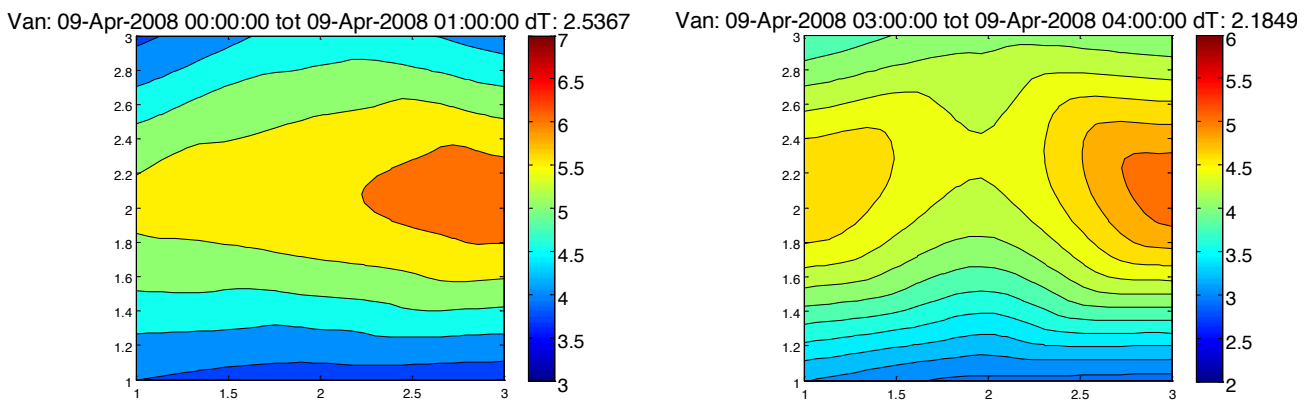


Figuur 10. Temperatuur- en vochtdeficitverdeling in de nacht tijdens verwarmen over drie teelttafels zoals in bovenstaande figuur is aangegeven.

Bovenstaande figuur laat een typisch temperatuurpatroon zien gedurende een periode dat er wordt verwarmd met het systeem. De warme lucht stijgt midden in de tafel omhoog. Over de tafel is een temperatuurverschil van 2.6 graden. Tijdens het verwarmen draaien de ventilatoren altijd op een minimale frequentie van 20Hz. De vochtdeficit verdeling laat eenzelfde trend zien als de temperatuurverdeling. Daar waar het warm is is de lucht droger.

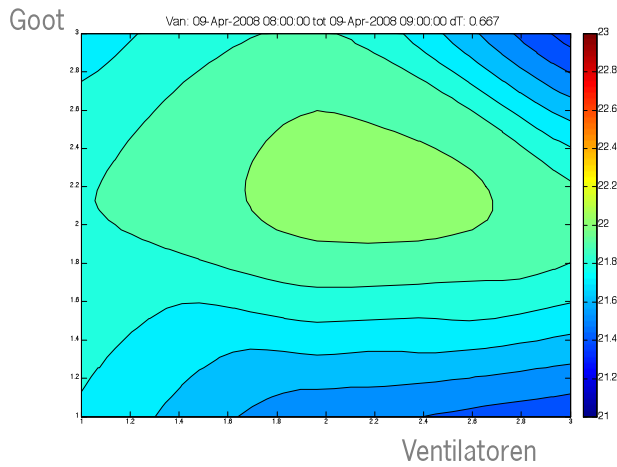


Figuur 11. Temperatuurverdeling tijdens verwarmen met een verwarmingstemperatuur van 33 graden (links) en 38 graden (rechts)



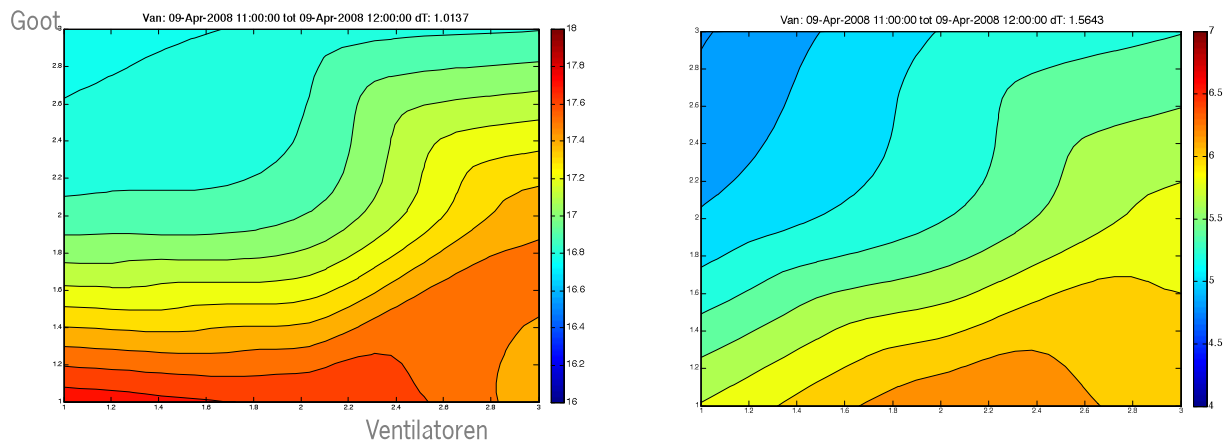
Figuur 12. Vochtdeficit verdeling in g/kg op hetzelfde moment als de voorgaande figuur

Indien de verwarmingstemperatuur toeneemt, nemen daarmee ook de temperatuurverschillen over de tafel toe zoals in bovenstaande figuur waar de verschillen toenemen van 3 graden naar 3.6 graden.



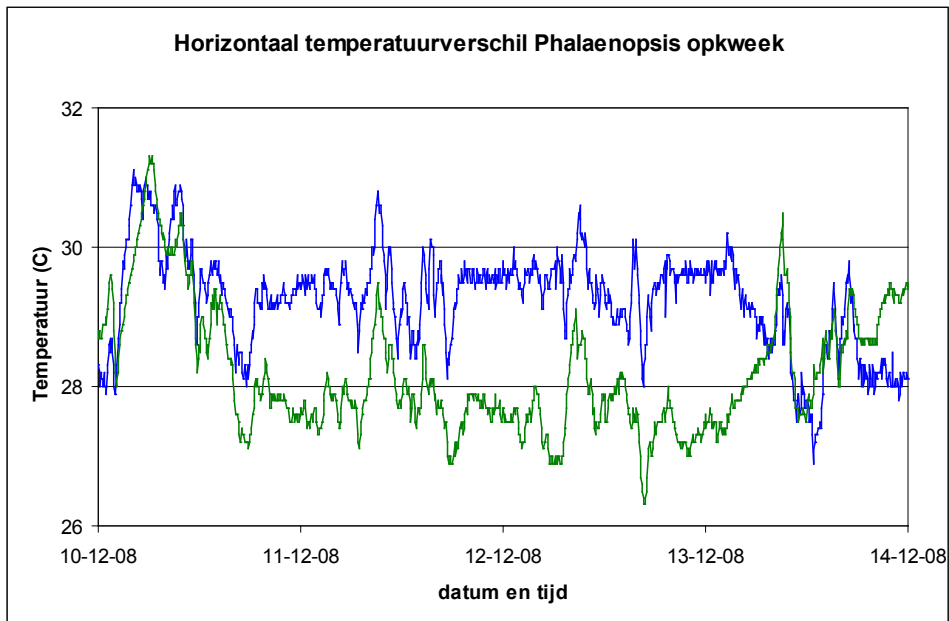
Figuur 13. Temperatuurverdeling zonder koeling en verwarming waarbij de ventilatoren op 20Hz draaien

Indien er niet wordt gekoeld of verwarmd zijn de temperatuurverschillen over de tafel zeer gering (minder dan een graad).

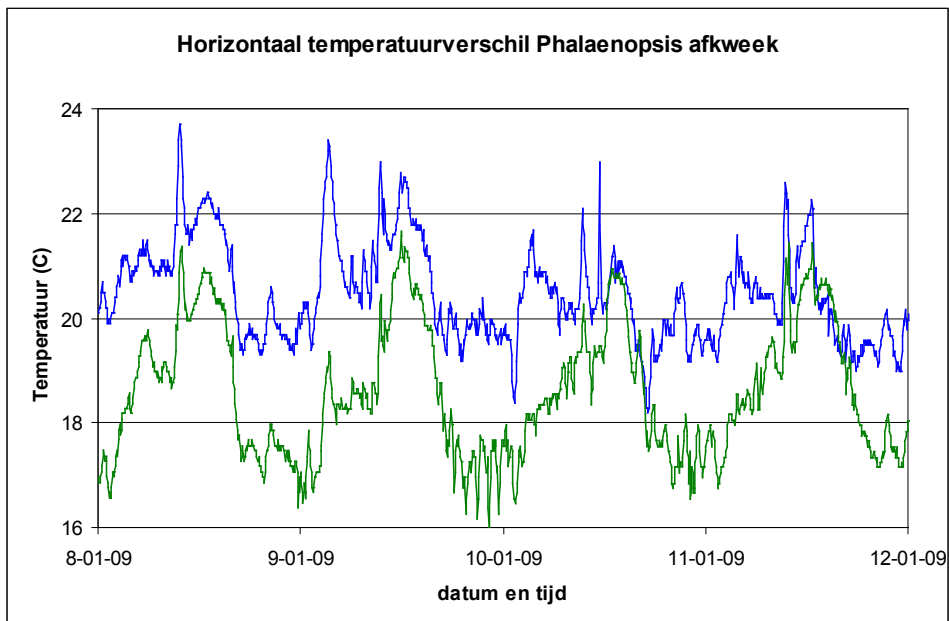


Figuur 14. Temperatuur- en vochtdeficitverdeling tijdens koelen waarbij de ventilatoren op maximale capaciteit draaien.

Bovenstaande figuur laat de temperatuurverdeling zien op het moment dat het systeem voluit aan het koelen is. De koude lucht uit de ventilatoren blijft onder de tafels tot het de koude lucht die vanuit de ventilatoren aan de andere zijde tegenkomt. Onder de goot komt de koude lucht vervolgens omhoog. Door de hoge stand van de ventilatoren is het maximum temperatuurverschil over de tafel beperkt tot 1 graad.



Figuur 15. Temperatuur bij de meetbox in de warme afdeling (opkweek) van de kas.



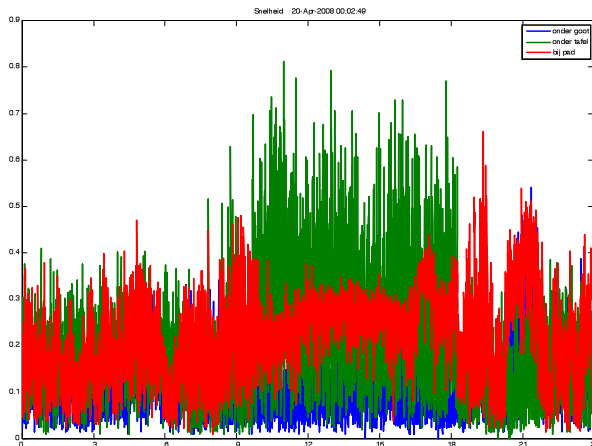
Figuur 16. Temperatuur bij de meetbox in de koude afdeling (afkweek) van de kas op locaties zoals aangegeven in figuur 7.

Bovenstaande figuren laten zien dat de temperatuurverdeling over de hele kas ook niet optimaal is. Een duidelijke reden voor deze verschillen is niet te geven. Vermoedelijk verschilt de verwarmings/koelings capaciteit afhankelijk van de locatie in de kas.

Conclusies:

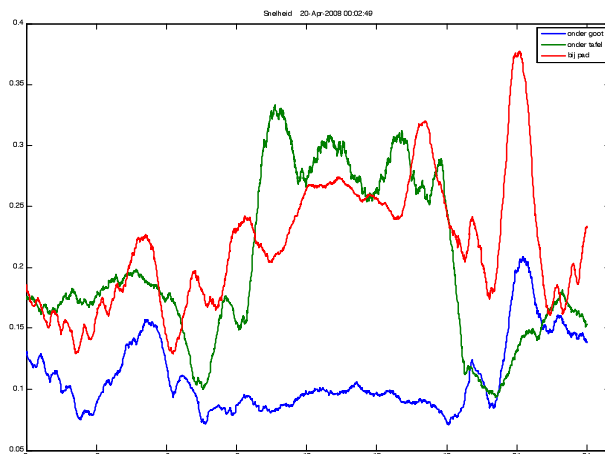
- Temperatuurverschillen over de tafel zijn het grootste op het moment dat het systeem wordt ingezet voor verwarming.
- Indien koeling wordt toegepast blijft de koude lucht onder de tafel tot het moment dat het de koele lucht van de tegenovergestelde kant tegenkomt.
- De temperatuur verdeling over de gehele kas is niet uniform.

4.2 Luchtsnelheidsmetingen



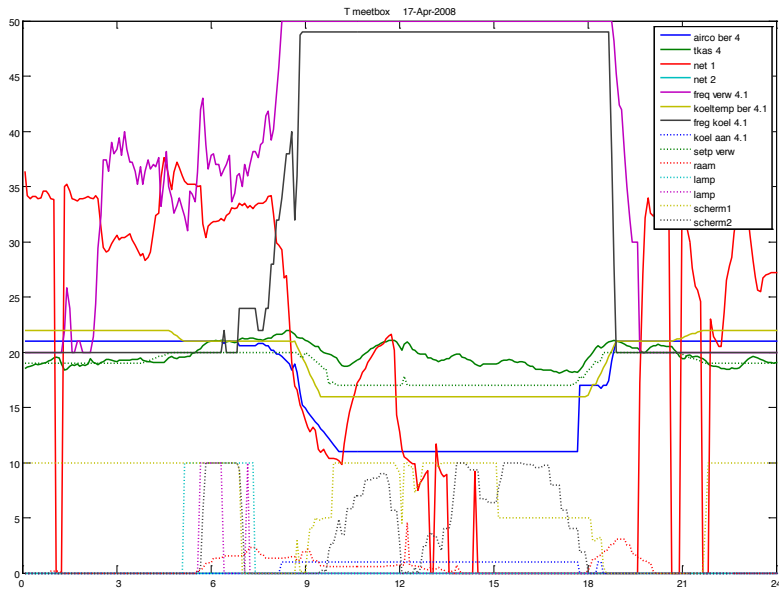
Figuur 17. Resultaat akoestische luchtsnelheidsmetingen over een gehele dag waar bij de blauwe lijn de snelheid boven de tafel nabij de goot weergeeft, de groene lijn de snelheid onder de tafel en de rode lijn de snelheid boven de tafel nabij het looppad.

Bovenstaande figuur laat het resultaat van een akoestische luchtsnelheidsmeting zien. Wat opvalt is de mate van turbulentie. In de nachtelijke uren wanneer het systeem op een lage frequentie draait blijft de luchtsnelheid onder de 40 cm/s. Overdag op het moment dat de ventilatoren harder draaien neemt vooral de luchtsnelheid onder de tafel toe en wordt de luchtsnelheid nabij het looppad iets stabiel. Toch is de invloed van de ventilatoren zeer gering boven de tafels.



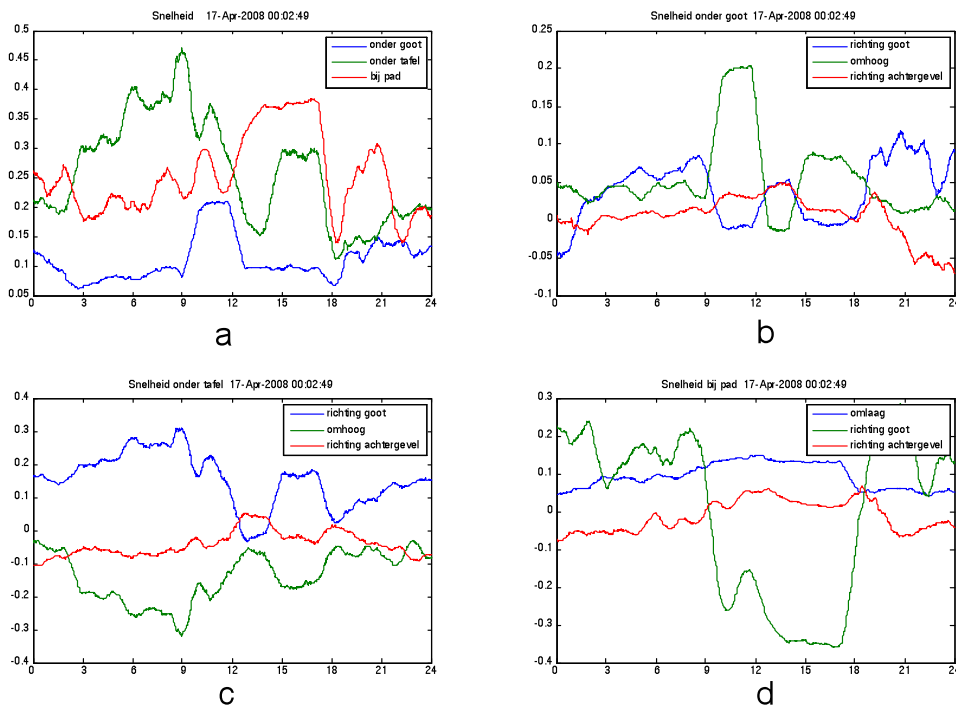
Figuur 18. Uurlijkse gemiddelde waarden van de voorgaande figuur

Bovenstaande figuur laat de snelheden zien waarbij uurlijkse gemiddelde zijn genoemd van de snelheid waardoor de fluctuaties worden genivaleerd. Uit deze figuur is duidelijk te concluderen dat invloed van de ventilatoren op de luchtsnelheid onder de goot boven de tafel minimaal is.



Figuur 19. Gegevens uit de klimaatcomputer op 18 april 2008

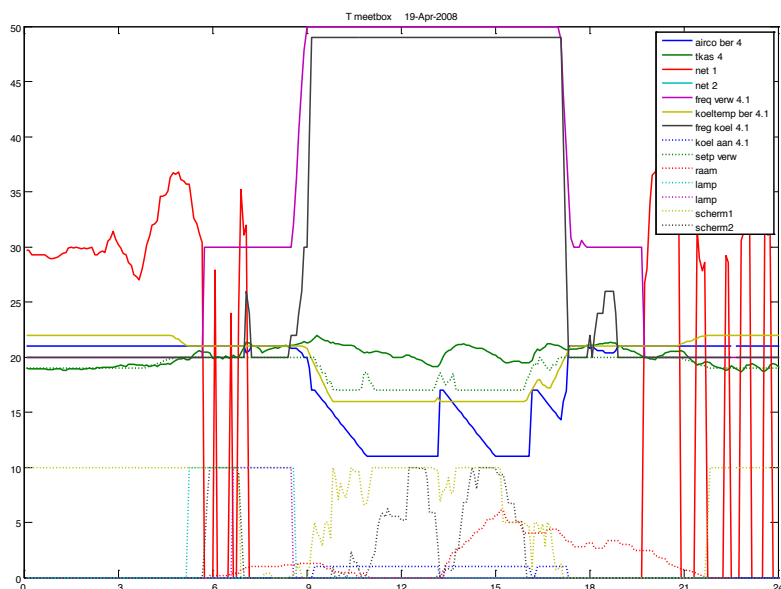
Bovenstaande figuur laat de gegevens uit de klimaatcomputer zien op 18 april 2008. Uit deze figuur valt af te leiden met welke frequentie de ventilatoren draaien (parse en zwart lijn) en de overige parameters van de regeling.



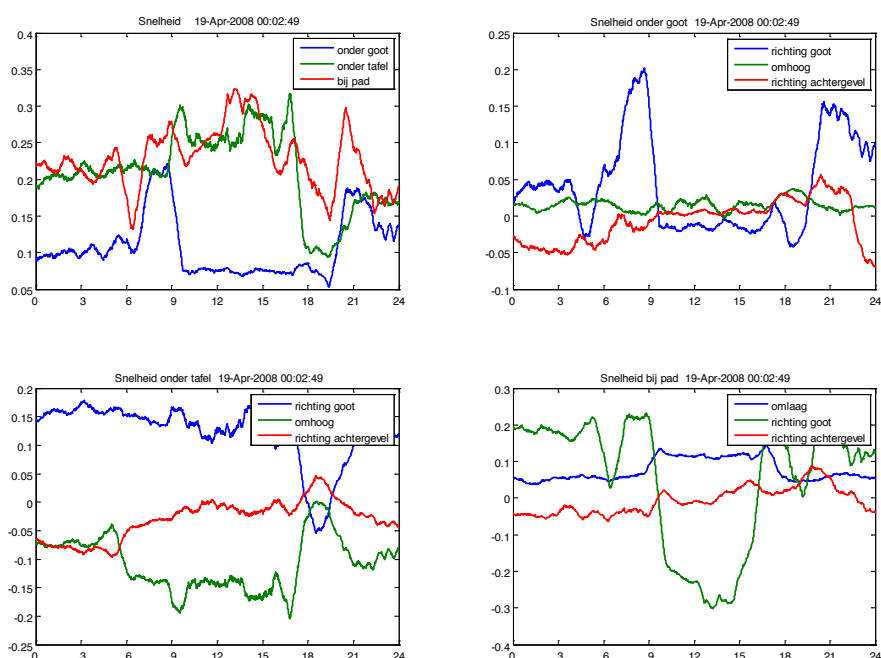
Figuur 20. Gegevens van de luchtsnelheidsmeters op 18 april 2008. A: Gemiddelde luchtsnelheid van de drie sensoren, b: de drie snelheidscomponenten nabij de goot, c: de drie snelheidscomponenten onder de tafel, d: de drie snelheidscomponenten bij het pad.

Bovenstaande figuren laten de gegevens uit de klimaatcomputer zien en de luchtsnelheid zoals die met de drie akoestische luchtsnelheidssensoren is vastgesteld. De sensor die onder de tafel hangt (groene lijn in figuur 12a en alle lijnen in figuur 12c). laat de hoogste snelheden zien tussen 6 en 9 uur 's morgens.

Uit de gegevens van de klimaatcomputer is niet af te leiden waarom in deze specifieke periode van de dag de snelheid hoger is vergeleken met de overige periode. De ramen staan in deze periode iets verder open en het scherm is in de ochtend opengegaan. De stand van het scherm lijkt op de overige locaties waar de luchtsnelheid is gemeten ook een invloed te hebben. De invloed van de geforceerde luchtbeweging is alleen terug te vinden in de metingen nabij het pad op het moment dat de ventilatoren op 50Hz draaien. De stroomrichting is op dat moment richting het pad. Zodra de ventilatoren weer worden teruggeregeld naar 20Hz draait de stroomrichting om en is de invloed van de ventilatoren weg. Nabij het pad is de stroomrichting altijd naar beneden gericht.



Figuur 21. Gegevens uit de klimaatcomputer op 19 april 2008



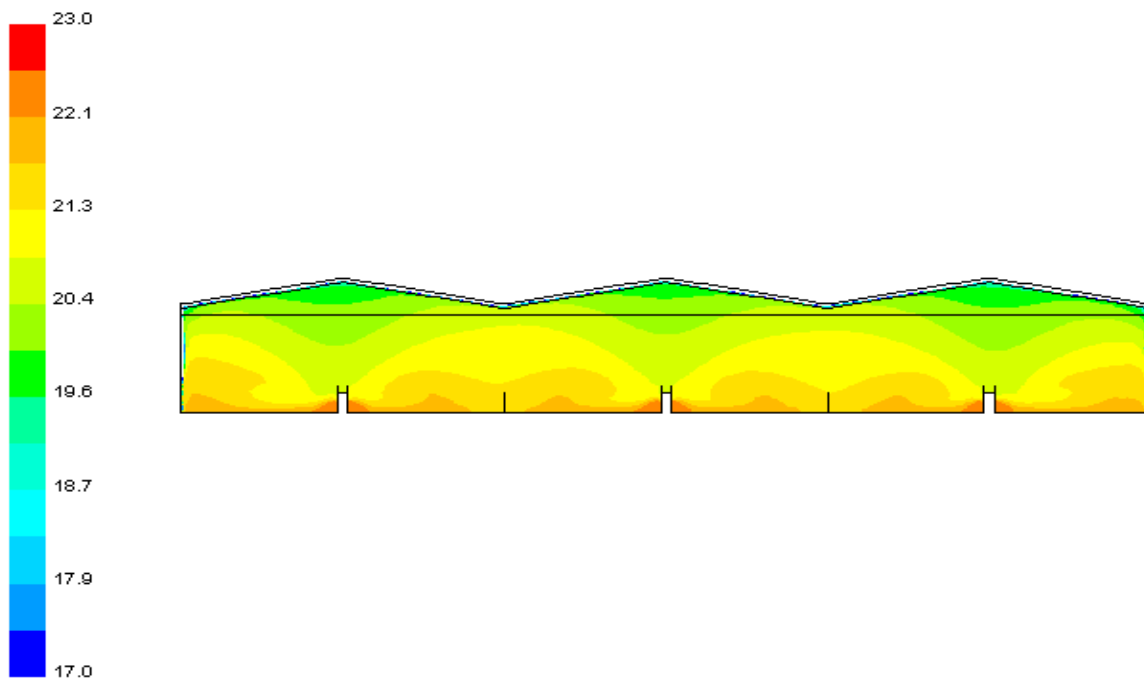
Figuur 22. Gegevens van de luchtsnelheidsmeters op 19 april 2008. A: Gemiddelde luchtsnelheid van de drie sensoren, b: de drie snelheidscomponenten nabij de goot, c: de drie snelheidscomponenten onder de tafel, d: de drie snelheidscomponenten bij het pad.

De luchtsnelheid onder de goot neemt toe op het moment dat de verwarming aangaat en het scherm open is. De lucht beweegt zich dan op deze locatie omhoog. Ook op deze dag is de invloed van de ventilatoren nabij het pad te zien bij een ventilatorstand van 50Hz.

Conclusies:

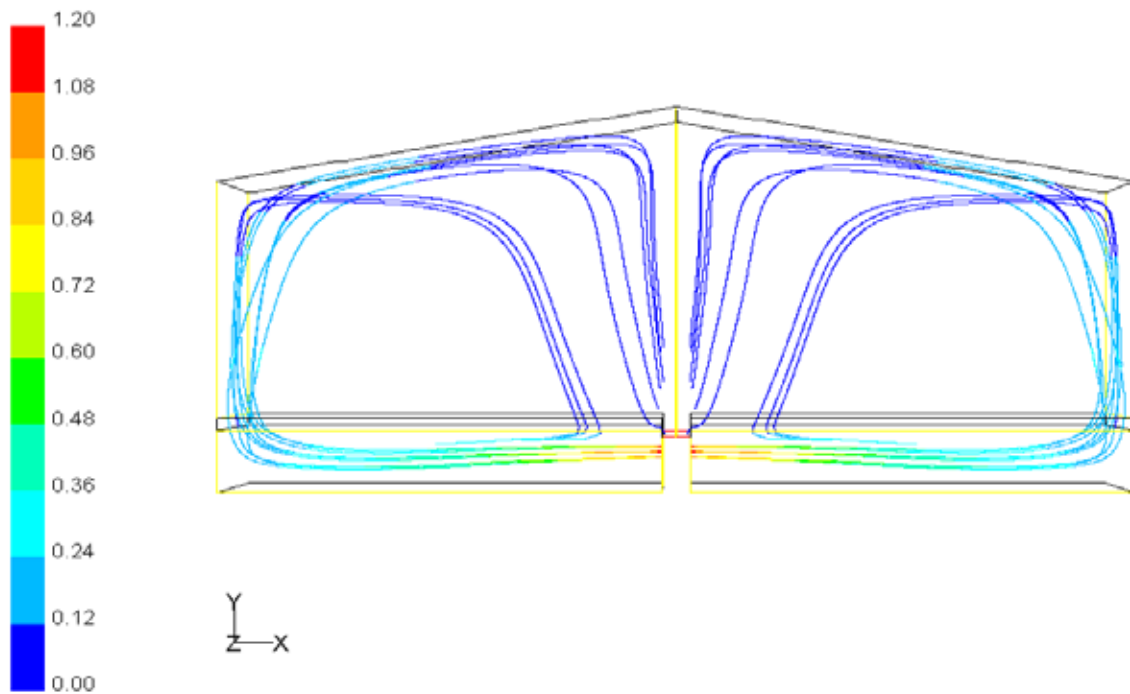
- De luchtstroming is zeer turbulent (verandert constant van richting en grootte)
- Gemiddelde luchtsnelheden zijn klein (minder dan 40 cm/s)
- De invloed van de ventilatoren op de luchtstroming is nauwelijks terug te vinden in de metingen. Alleen nabij het pad is de invloed te zien op het moment dat de ventilatoren op 50Hz draaien.
- Patronen in luchtbeweging zijn niet direct te koppelen aan systeeminstellingen.

4.3 CFD berekeningen



Figuur 23. Temperatuurverdeling tijdens verwarmen

Bovenstaande figuur laat de temperatuurverdeling tijdens verwarmen zien. De patronen komen overeen met de metingen. Ook hier komt de warme lucht centraal omhoog.



Figuur 24. Pad welke door de lucht wordt gevolgd nadat het uit de ventilatoren is gekomen

Bovenstaande figuur laat het pad zien dat de lucht aflegt nadat het uit de ventilatoren is gekomen. Uit deze berekening wordt duidelijk dat een groot deel van de lucht wordt gerecirculeerd in de kas. De lucht wordt meegevoerd door de lucht die uit de ventilatoren komt. Dit verklaart ook de temperatuurverschillen tijdens het koelen. De warme kas lucht wordt door een deel van de tafel naar beneden gevoerd. De koude lucht wordt door het andere deel van de tafel omhoog gevoerd. Ook de luchtsnelheidsmeter die nabij het pad geplaatst was liet zien dat er een duidelijk snelheid naar beneden gericht was.

4.4 Rookproeven

De invloed van het systeem op de luchtbeweging in de kas blijkt gering. Zelfs op het moment dat de schermen en de ramen gesloten zijn. Natuurlijke trek domineert de luchtbeweging in de kas.



Figuur 25. Resultaat van een rookproef waarbij de ventilatoren op de maximale capaciteit draaien en het scherm en de ramen gesloten zijn

De verdeling van de lucht over de tafel is gelijkmatig zoals uit bovenstaande foto's te zien is. Door de openingen tussen de tafels onder de goot gaat relatief iets meer lucht dan door de tafels en de planten maar het verschil is niet zo groot dat hier maatregelen voor genomen moeten worden.

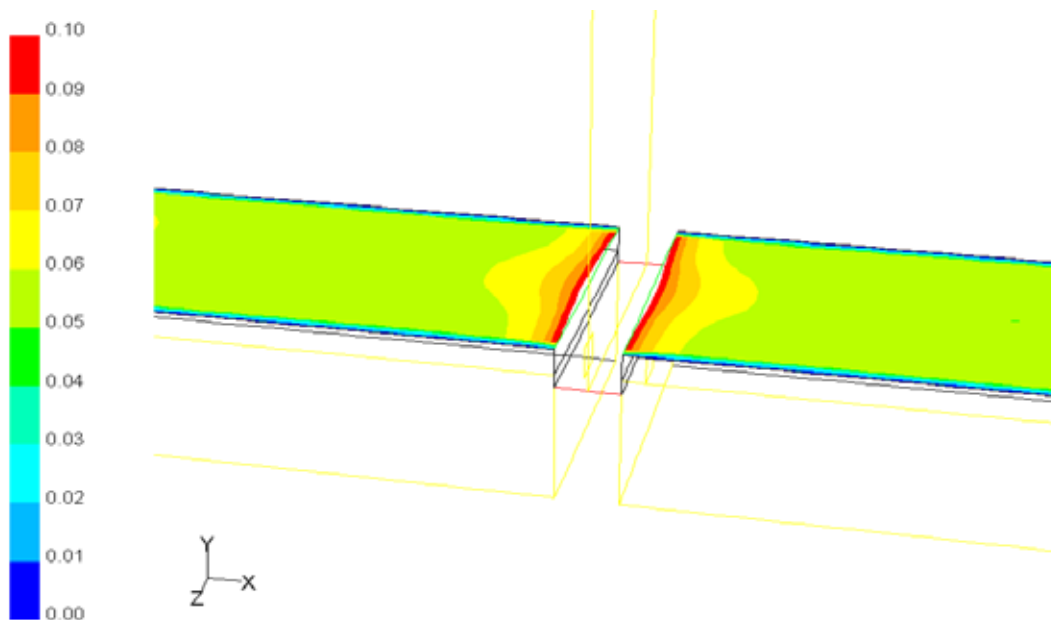
Bovenstaande foto's laten rookproeven zien op het moment dat de ventilatoren op vol vermogen draaien en het scherm en de ramen gesloten zijn. Een duidelijk stromingsprofiel waarbij de lucht door de tafels komt en dan weer richting het pad stroomt is hier niet te zien. Wel komt de lucht redelijk gelijkmatig door de tafels omhoog.

4.5 Effect van plaatsing schotjes

De uitdroging nabij het pad is groter waarschijnlijk ten gevolge van de grotere lichtsnelheid. Maurice van den Hoorn dacht met schotjes langs de wanden deze luchtstroom nabij het pad te verminderen. Met CFD berekeningen is gekeken naar de effectiviteit van deze oplossing.

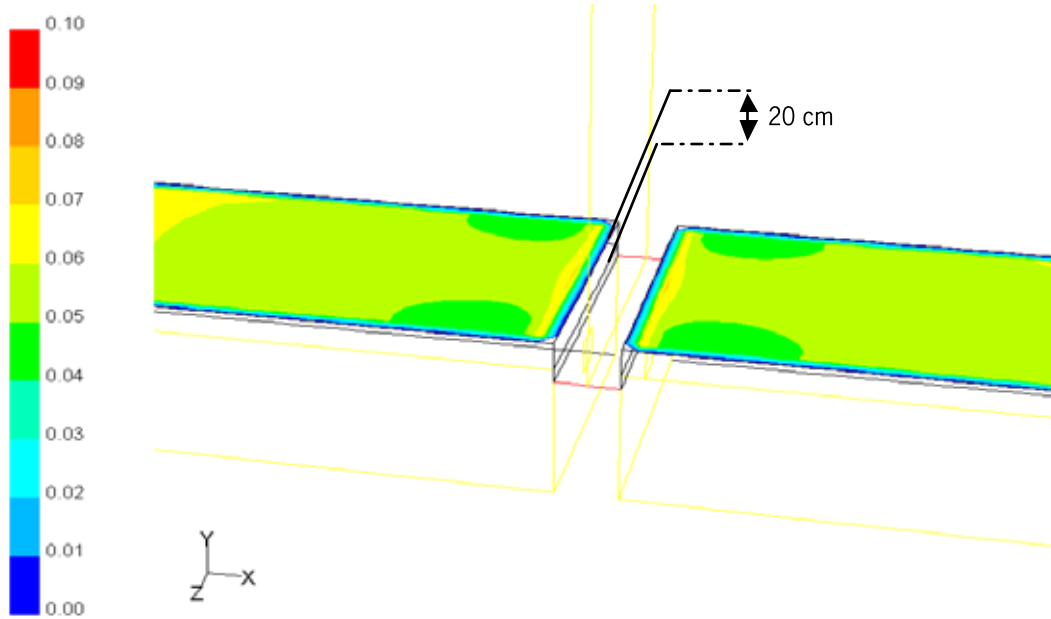
Configuraties van gewas tafel (berekeningen zijn gedaan voor luchtstroom per onderdeel 550 m³/h)

Configuratie	Hindernis	
Configuratie-0	zonder schot	referentie geval
Configuratie-1	Schot van 20 cm	
Configuratie-2	Schot van 25 cm	
Configuratie-3	Schot van 30 cm	
Configuratie-4	Schot van 35 cm	
Configuratie-5	Schot van 40 cm	
Configuratie-6	Schot van 45 cm	



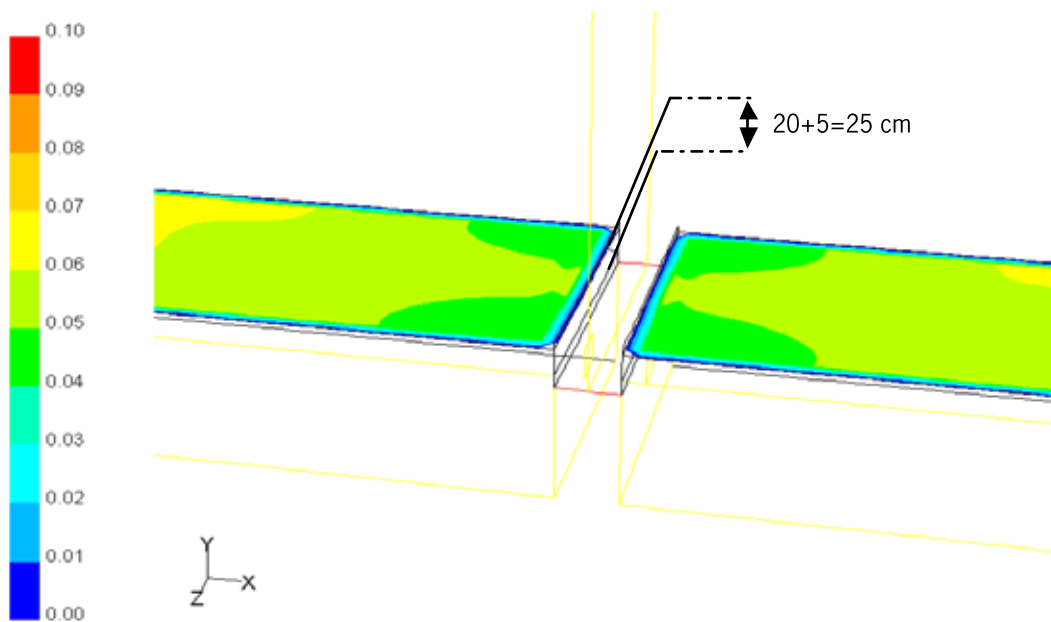
Figuur 26. Configuratie-0 (referentie geval), zonder hindernis, lucht snelheid 0-0.1 m/s

Voorals vlakbij de rand van de tafels is de lichtsnelheid hoger voor het standaard geval.

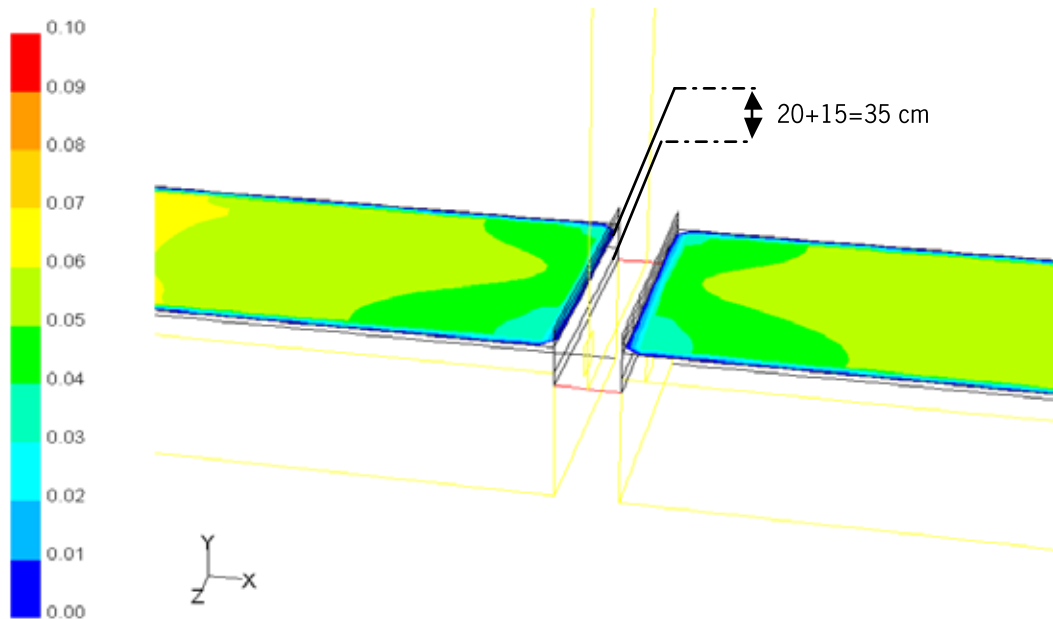


Figuur 27. Configuratie-1, schot 20 cm, lucht snelheid 0-0.1 m/s

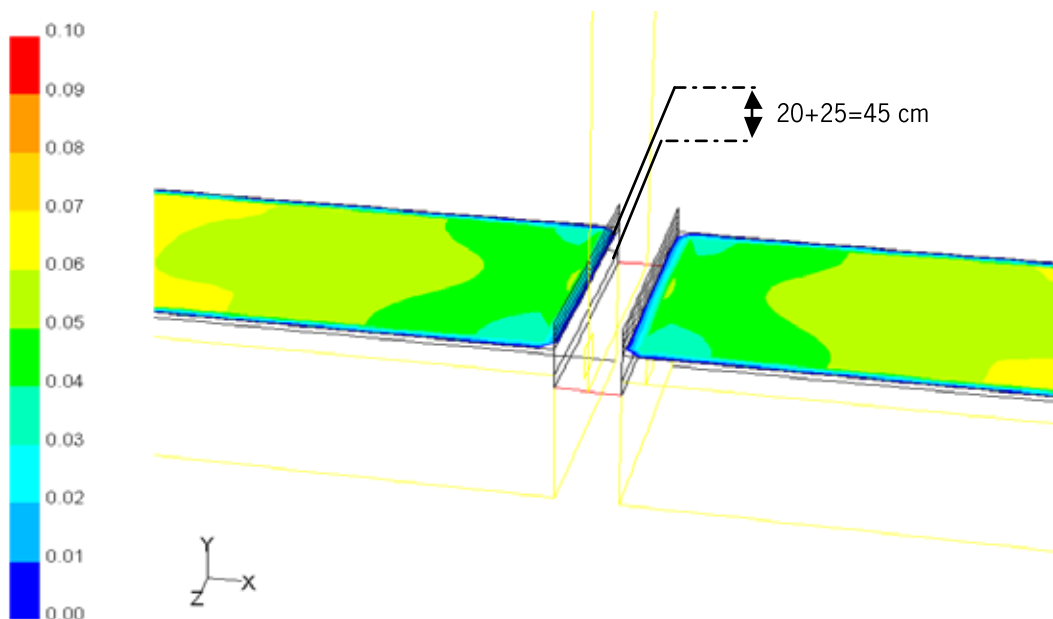
Indien een schot wordt geplaatst van 20 cm dan neemt de luchtsnelheid aan de rand van de tafel af.



Figuur 28. Configuratie-2, schot 25.0 cm, lucht snelheid 0-0.1 m/s

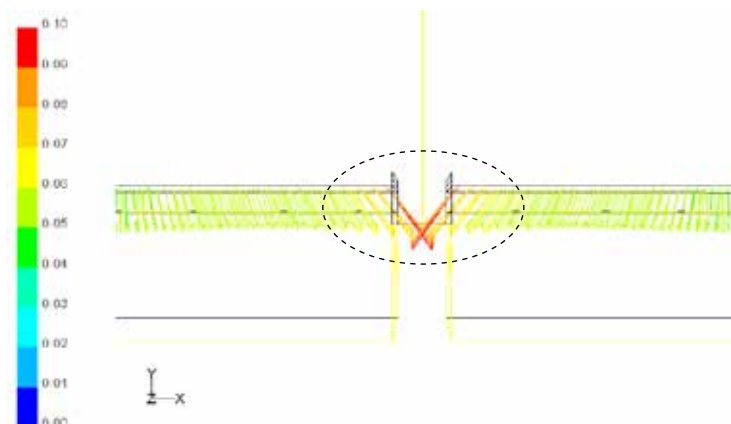


Figuur 29. Configuratie-4, schot 35.0 cm, lucht snelheid 0-0.15 m/s



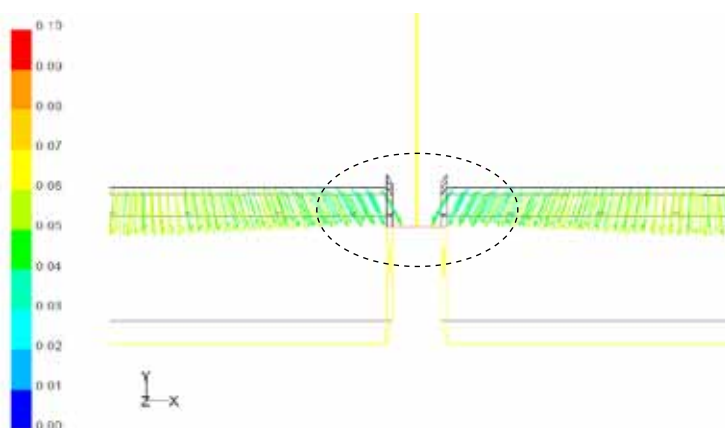
Figuur 30. Configuratie-6, schot 45.0 cm, lucht snelheid 0-0.15 m/s

Verhoging van het schot van meer dan 25 cm heeft nauwelijks nog effect.



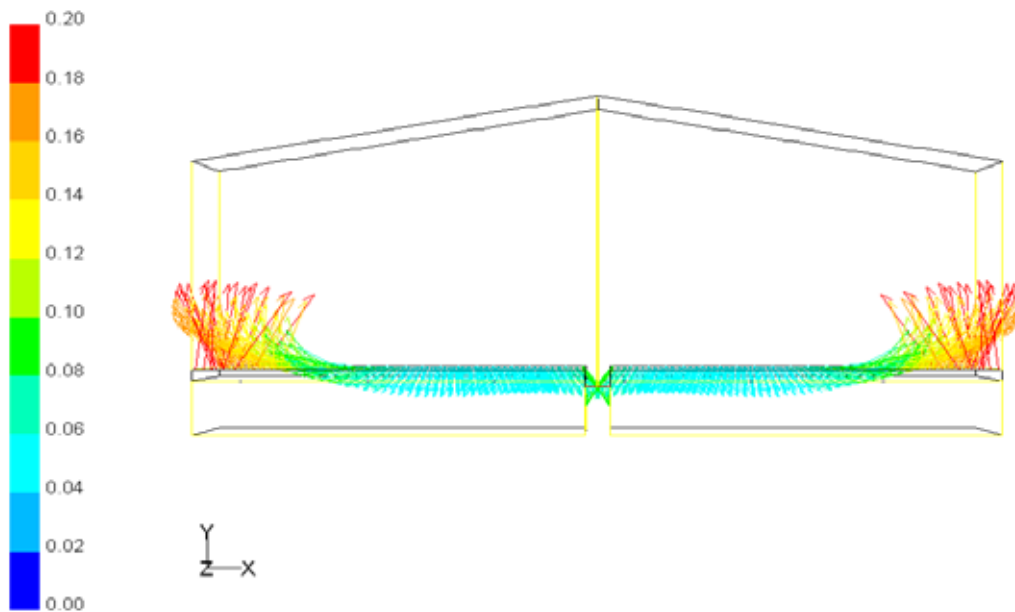
Figuur 31. Detail van de luchtsnelheidsvectoren in de referentie situatie

Bovenstaande figuur laat de richting van de snelheidsvectoren zien in de referentie situatie. Duidelijk is te zien dat niet alleen vlak bij het pad de luchtstroom neerwaarts is maar ook verder op de tafel. De hoogste luchtsnelheden zijn nabij het pad.



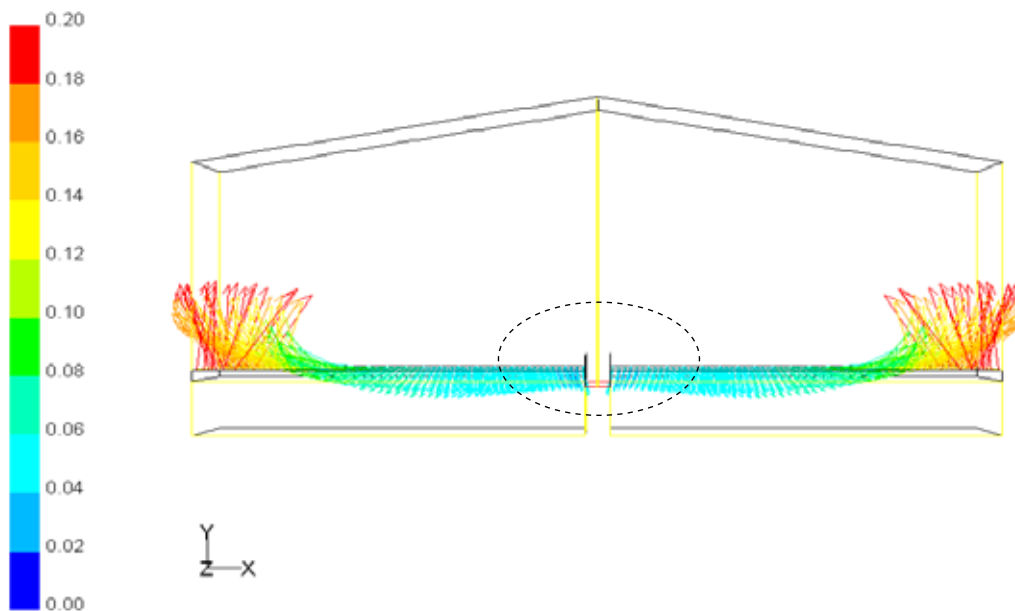
Figuur 32. Detail van de luchtsnelheidsvectoren bij een schot van 30 cm

Indien een schot van 30 cm wordt geplaatst dan neemt de luchtsnelheid dichtbij het pad af.



Figuur 33. Configuratie-0, de referentie situatie.

Bovenstaande figuur laat het gehele snelheids patroon zien op het moment dat de ventilatoren maximaal draaien. Duidelijk is te zien dat over het grootste deel van de tafel de luchtsnelheid neerwaarts is. In de praktijk is dit effect minder sterk dan hier weergegeven in de berekeningen. Dit valt af te leiden uit de rookproeven die zijn gedaan. De verklaring is dat de karakteristiek van de ventilator niet in de berekening is meegenomen. De lucht die uit de ventilatoren komt draait rond en veroorzaakt daardoor een grote hoeveelheid turbulentie. Hierdoor wordt de lucht sneller afgeremd in de praktijk. In de berekening is uitgegaan van het feit dat de ventilator een gerichte luchtstroming veroorzaakt welke minder wordt afgeremd waardoor het effect van de aanzuiging van de omgevingslucht groter is.



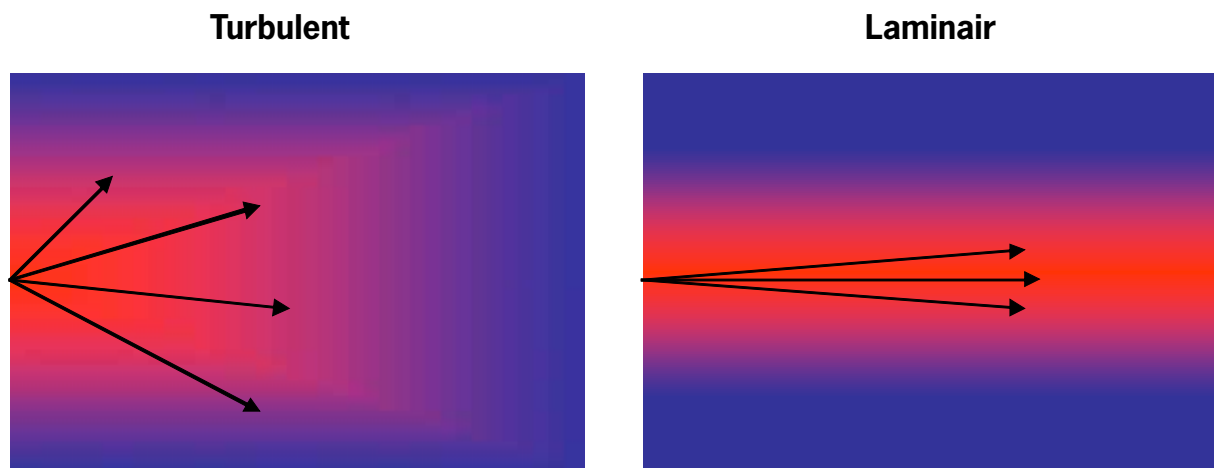
Figuur 34. Configuratie-5, hindernis 25.0 cm

De vergelijking van figuur 26 en 27 laat zien dat het plaatsen van schotten alleen effect heeft nabij het pad.

5 Conclusies

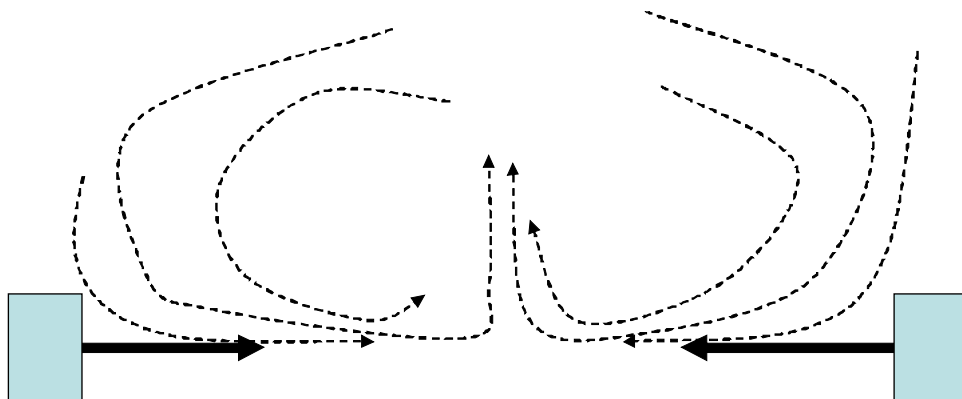
Het gebruik van een warmtepomp maakt dat men met geforceerde luchtbeweging moet werken om voldoende warmteoverdracht te krijgen. Door luchtbeweging worden in het algemeen klimaatverschillen verkleind. Luchtbeweging zorgt voor opmenging van de lucht. Echter de effectiviteit van deze opmenging is afhankelijk van verschillende factoren:

- De hoeveelheid turbulentie waarmee de lucht in de ruimte wordt geblazen. Indien de lucht met weinig turbulentie (wervelingen) uit de ventilator komt dan zal de lucht de neiging hebben bij elkaar te blijven, zoals weergegeven in onderstaande figuur. In het geval van warme lucht zal de luchtstroom zich dan geleidelijk omhoog gaan bewegen indien daar de ruimte voor is. Bij een koude lucht stroom juist naar beneden. In het geval van de “kas zonder gas” komt de lucht turbulent uit de LBK omdat de ventilatoren achter de warmtewisselaar zijn geplaatst. De uitstromende lucht wordt hierdoor voor een groot deel gemengd met de overige lucht onder de tafel. De turbulentie kwam ook duidelijk de luchtsnelheidsmetingen naar voren.



Figuur 35. Verschil tussen een turbulente en laminaire luchtstroom

- De hoeveelheid ruimte waar de luchtstroom in wordt geblazen bepaalt ook sterk hoe de lucht zich verdeelt. Indien de lucht in een nauw kanaal wordt geblazen zal er geen invloed zijn met de omgeving. Indien de lucht in een open ruimte wordt geblazen dan gaat de omringende lucht zich ook mee bewegen en zal er ook uitwisseling zijn met de ruimte lucht.
- De snelheid waarmee de lucht de ventilator verlaat bepaalt hoeveel lucht hij zal meezuigen. Tijdens het koelen waarbij de ventilator op een hoge stand draaide was uit de analyse van de temperatuurverdeling te concluderen dat de omgevingslucht werd meegezogen door de lucht uit de ventilatoren. Dit werd later door CFD berekeningen bevestigd.



Figuur 36. Recirculatie stromen die meegevoerd worden door de uitstromende lucht

- Het temperatuurverschil tussen de uitgeblazen lucht en de omringende lucht bepaald of de luchtstroom omhoog of naar beneden zal zijn. De snelheid waarmee de lucht uit de ventilator komt bepaald mede hoe de luchtstroom zal zijn. Indien de lucht langzaam uit het systeem stroomt dan zal deze eerder van richting veranderen.
- De afstand waarover de lucht vrij kan wegstromen heeft ook effect op de verdeling. Indien de luchtstroom is gericht op een muur of zoals in dit geval een tegengestelde luchtstroom dan wordt de luchtstroom richting hierdoor veranderd.

In het algemeen kan worden gesteld dat de warmte of kou verdeling zo optimaal mogelijk moet worden gedaan voordat het in de buurt van het gewas komt.

De volgende conclusies kunnen worden getrokken naar aanleiding van deze studie:

- Als er nauwelijks koel of verwarmbehoefte is zijn de klimaatverschillen gering. Dit is logisch aangezien de temperatuurverschillen op dat moment klein zijn.
- Tijdens verwarmen ontstaan temperatuurverschillen tot 4 K bij een verwarmingstemperatuur van 40 gr. De luchtsnelheid is tijdens het verwarmen laag waardoor de werp en opmenging gering zijn. Deze grote temperatuurverschillen zijn niet wenselijk voor de productie alhoewel de effecten over de tafels niet direct zichtbaar zijn.
- Tijdens koelen komt koude lucht onder de goot omhoog. Dit heeft te maken met het feit dat de koude lucht laag blijft tot dat het een obstakel tegenkomt waardoor het wel omhoog moet in dit geval de lucht die in tegenovergestelde richting komt.
- De luchtsnelheid rond het gewas fluctueert ten gevolge van de turbulentie veroorzaakt door de ventilator. De invloed van het systeem op de luchtsnelheid direct boven de tafel is gering.
- Rookproeven laten alleen een duidelijk stromingsprofiel ten gevolge van de installatie zien op het moment dat de schermen en ramen gesloten zijn.
- Een deel van de lucht die in de kas circuleert gaat niet door de ventilator maar wordt in beweging gebracht door de hoge luchtsnelheid waarmee de lucht uit de ventilatoren komt waardoor de omringende lucht wordt meegezogen.
- Het klimaat over de gehele kas is ook niet uniform.

De voornaamste conclusie is het systeem een minder gelijkmatig klimaat verzorgt nabij het gewas dan aanvankelijk gedacht. De invloeden van het systeem op het lokale klimaat zijn gering op het moment dat er een interactie is met de buitenomstandigheden door bijvoorbeeld het openen van het raam of scherm. Het klimaat wordt dan hoofdzakelijk gemaakt door drukverschillen ten gevolge van de wind en temperatuurverschillen over de kas.

Mogelijke systeem- en regelingsverbeteringen

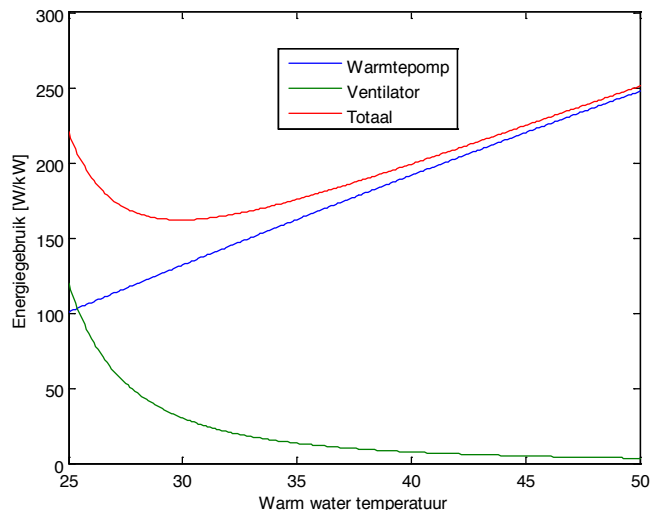
Een goed microklimaat is het doel van een klimaatsysteem. Een goede microklimaat bestaat uit:

1. Voldoende luchtbeweging ($> 5 \text{ cm/s}$)
2. Een goede temperatuur en verdeling
3. Een goede luchtvochtigheid en verdeling

Het microklimaat wordt bepaald door verschillende factoren. In het geval van de "Kas zonder Gas" zijn deze het klimaat systeem, de belichting, het watergeven, de schermen, het buitenklimaat en de hoeveelheid zonneinstraling. De luchtbeweging is voldoende op het moment dat de ventilatoren aanstaan zo blijkt uit de luchtsnelheidsmetingen. De verdeling van het vocht en de temperatuur zijn niet goed.

De warme lucht die uit de ventilatoren komt tijdens het verwarmen moet beter worden verdeeld over de tafel. Dit kan enerzijds door de luchtweerstand van de tafel te verhogen en anderzijds door de lucht meer te mengen met de lucht onder de tafel. Vergroten van de weerstand van de tafels kan door een doek op de tafel te leggen waar vervolgens de planten op worden gezet. Belangrijk is wel dat de overige gaten waardoor lucht van onder de tafel omhoog kan stromen (dus bij de randen van de tafel) ook worden afgesloten. Dit is niet eenvoudig en zal ook tot meer energiegebruik leiden. De ventilatoren op een hoger toerental laten draaien zal wel een positief effect hebben aangezien de luchtsnelheid en de turbulentie hiermee omhoog gaat en daarmee de opmenging. Daarnaast kan de temperatuur van het verwarmingswater lager worden aangezien de warmteoverdracht groter wordt. Dit zorgt ook voor een minder groot temperatuurverschil en

de COP van de warmtepomp gaat omhoog. Indien de temperatuur aan de warme zijde van de warmtepomp bijvoorbeeld daalt van 50 naar 40 graden dan gaat de COP van 3.6 naar 4.5. Wel zal het energiegebruik van de ventilatoren toenemen door deze maatregel. De COP van de ventilator ligt in de orde van 30 waardoor deze maatregel in totaal geen extra energie kost. Figuur 35 laat zien dat bij dat bij een warm water temperatuur van 30 graden een minimum energiegebruik wordt gehaald. Dit hangt sterk af van de specificaties van het systeem en zal dus niet altijd bij dezelfde temperatuur zijn. De homogeniteit verbeteren over de gehele kas zal waarschijnlijk moeten gebeuren door systeemaanpassingen. Mogelijk verschilt de aanvoerwatertemperatuur waardoor de verwarming/ koeling capaciteit verschilt.



Figuur 37. Energiegebruik van de warmtepomp, de ventilator van de luchtbehandelingskast en beide als functie van de temperatuur van het warme water

Ontvochtigen in deze kas kan door ventilatie met buitenlucht of door het water in de LBK een temperatuur onder het dauwpunt te geven waardoor condensatie in de LBK optreedt. Deze laatste methode werkt alleen op het moment dat er ook gekoeld wordt aangezien het systeem niet kan koelen en verwarmen op hetzelfde moment. Op het moment dat de LBK's worden ingezet voor de verwarming zal de ontvochtiging door ventilatie moeten gebeuren. De buitenlucht die door de ramen wordt aangevoerd moet zich opmengen met de lucht die rond de planten stroomt. Door schermen en het ronddraaien van de lucht door de LBK's gebeurt dit niet voldoende. Dit kan worden verbeterd door de ramen en de schermen verder te openen waardoor de luchtbeweging onder het scherm toeneemt. Deze oplossing is echter niet goed controleerbaar en zorgt ook voor horizontale temperatuurverschillen. Deze methode moet alleen worden toegepast op het moment dat er veel vocht moet worden afgevoerd. Dit is nodig na het watergeven. Een meer gecontroleerde manier van buitenlucht aanvoeren is middels het gebruik van ventilatoren. In de bestaand kas zouden luchtslangen onder de tafels geplaatst kunnen worden en ventilatoren in de gevels die de buitenlucht naar binnen brengen. Een alternatieve oplossing is om aparte koelunits (LBK's) onder de tafel te plaatsen waardoor water met een temperatuur lager dan de dauwpuntstemperatuur wordt gepompt. Door condensatie in deze koelunits wordt het vocht afgevoerd. De condensatiewarmte kan via de warmtepomp weer terugworden gevoerd naar de kas. Ten slotte zou moeten worden bekeken of het huidige vochniveau dat wordt gehandhaaft (75%) wel zo laag moet zijn. Een hoger vochniveau bespaart veel energie.

De temperatuurverschillen tijdens het koelen worden enerzijds veroorzaakt door de recirculatie stromen en anderzijds door het tegen elkaar botsen van de luchtstromen. De recirculatie stromen kunnen worden verkleind door de luchtsnelheid te verlagen. Dit zal echter ten koste gaan van de koelcapaciteit. Indien de koude lucht uit de koelers meer wordt gemengd met de lucht onder de tafel dan zal het temperatuurverschil over de tafel ook kleiner zijn. De uitstroopeningen moet zoveel mogelijk om en om worden aangelegd zodat de tegengesteld luchtstromen niet direct op elkaar zijn gericht. Tijdens het verwarmen zal dit minder effect hebben aangezien de lucht reeds halverwege de tafel omhoog komt. Hierdoor ontstaat ook meer een circulatie onder de tafels welke de opmenging ten goede komt. De lampwarmte tijdens belichten kan ook beter worden benut door deze met ventilatoren naar beneden te bewegen. Hierdoor hoeft ook minder verwarmd te worden.

Het moment waarop de ventilatoren moeten worden ingezet wordt in eerste instantie bepaald of er een verwarmings of koelbehoefte is. Dit is ook primair waarom de ventilatoren worden gebruikt. Daarnaast kunnen de ventilatoren zorgen voor meer luchtbeweging om hiermee het microklimaat te verbeteren rond de plant. De metingen laten zien dat dit alleen nut heeft op het moment dat de ramen gesloten zijn en op koude dagen ook de schermen. Dus op momenten dat de warmtevraag en de koelbehoefte nihil zijn en de ramen geopend dan zouden de ventilatoren uitgeschakeld moeten worden.

Een belangrijk punt wat verder naar voren kwam tijdens het onderzoek is het feit dat een systeem zoals gebeurt bij de "kas zonder gas" veel tijd kost om in te regelen. Omdat de techniek die wordt gebruikt nieuw is weet een installateur en de leverancier van de klimaatcomputer niet welke uitgangspunten er gehanteerd moeten worden. De tuinder is ook nieuw met deze techniek en weet niet exact wat er nu allemaal geregeld kan worden. Dit gebeurt ook bij andere kassen waar een nieuwe techniek wordt geïntroduceerd. Prominent bijvoorbeeld heeft in het afgelopen jaar (2008) regelmatig contact gehad met Priva over de klimaatregeling. Een gevoel krijgen wat het systeem doet op welk moment speelt hierbij een belangrijke rol. Meer begeleiding voor de tuinder bij dit proces zou goed zijn. Een tuinder heeft meestal al voldoende zorgen om het moment dat een nieuwe kas wordt opgeleverd en daarom zou hij bij deze zorg een goede adviseur kunnen gebruiken. Dit gebrek aan kennis kan aanleiding geven tot een onnodig energiegebruik zoals het te hard draaien van pompen of een te hoge ventilatorstand.

