



Voor een gelijkmatige opkweek

Monitoring van de horizontale temperatuurverschillen bij
plantenkwekerij Van der Lugt

Marcel Raaphorst



Referaat

De horizontale temperatuurverdeling in een afdeling van een opkweekbedrijf van groenteplanten is gedurende een maand gemonitord. Het temperatuurverschil tussen de warmste en de koudste plek bedroeg gemiddeld niet meer dan 1 °C. De belangrijkste oorzaak van de verschillen lag bij de warmteafgifte van de verdeelleidingen.

De windrichting had geen invloed op de temperatuurverdeling, waarschijnlijk doordat de afdeling geen buitengevels heeft en de wind daardoor minder drukverschillen kan creëren. Ook bleken schermkieren niet te leiden tot ongewenste horizontale luchtbewegingen, mogelijk door de relatief kleine oppervlakte van de afdeling (5000 m²).

Abstract

The horizontal temperature distribution in a compartment of a nursery company is monitored during a month. The temperature difference between the warmest and the coldest place averaged no more than 1 °C. The main cause of the differences laid in the heat transfer from the distribution pipes. The wind direction had no influence on the temperature distribution, probably because the compartment has no outside gables, so the wind can't create much pressure differences. Also small screen openings did not to lead to undesirable horizontal air movements, possibly because of the relatively small area of the compartment (5000 m²).

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

Wageningen UR Glastuinbouw

Adres : Violierenweg 1, Bleiswijk
: Postbus 20, 2265 ZG Bleiswijk
Tel. : 0317-485606
E-mail : glastuinbouw@wur.nl

Internet : www.glastuinbouw.wur.nl

Inhoudsopgave

	Samenvatting	5
1	Inleiding	7
2	Bedrijf en metingen	9
	2.1 Eigenschappen afdeling 15	9
	2.1.1 Warmtebronnen afdeling 15	10
	2.2 Infrarood metingen	10
	2.2.1 Vloer	10
	2.2.2 Verwarming	10
	2.2.3 Schatting van verwarmend vermogen	11
	2.3 Rookproeven	11
3	Metingen met draadloze sensoren	13
	3.1 Resultaten draadloze sensoren	14
	3.1.1 Gemiddelde temperatuur en RV	16
	3.1.2 Verticale temperatuurverschillen	17
	3.1.3 Invloed straling	18
	3.1.4 Invloed scherm	18
	3.1.5 Invloed ventilatoren	19
	3.1.6 Invloed buitentemperatuur	21
	3.1.7 Invloed belichting	22
	3.1.8 Invloed buistemperatuur	23
	3.1.9 Invloed windrichting	23
	3.2 Discussie	24
4	Conclusies en aanbevelingen	25
	4.1 Conclusies Van der Lugt	25
	4.2 Discussie temperatuurverschillen bij kleine compartimenten	25
	4.3 Aanbevelingen	25
Bijlage I	Theorie invloed op kasluchtbeweging	29
Bijlage II	Voorbeeld ventilatoren	31

Samenvatting

Temperatuurverschillen binnen een opweekafdeling geven een inhomogeen product en kunnen leiden tot een te hoog energieverbruik. Daarom zijn bij Plantenkwekerij Van der Lugt B.V. in opdracht van het programma Kas als Energiebron door Wageningen UR metingen gedaan naar de horizontale en verticale temperatuurverschillen in een representatieve afdeling. Hierbij is gedurende een maand (december 2011) gebruik gemaakt van een set draadloze sensoren die de temperatuur en de luchtvochtigheid in de kas op 27 verschillende plaatsen meet en op afstand online in te zien zijn. Daarnaast zijn van de betreffende afdeling de kastemperatuur, de schermstanden, de buistemperaturen, de belichtingsintensiteit en de ventilatorstanden bijgehouden. Ter controle zijn ook van de aanliggende afdelingen de temperatuur geregistreerd en zijn de meteodata (temperatuur, straling, windsnelheid, windrichting) uit de klimaatcomputer gehaald.

Bovendien zijn eenmalig rookproeven gedaan om de luchtstromingen in de afdeling te bepalen en zijn met een infraroodmeter de buistemperaturen en de temperatuurverdeling van de betonvloer bepaald.

Na analyse van de meetresultaten bleken de volgende punten:

1. Tussen 30 november en 20 december was de gemiddelde delta T (verschil kastemperatuur en buitentemperatuur) 14,2 °C.
2. De temperatuurverschillen in de kas bleven gemiddeld beperkt tot 1°C tussen de warmste en de koudste plek van de afdeling.
3. Natuurlijke luchtbeweging onder een gesloten doek met brandende lampen, vond vooral in verticale richting plaats, zelfs bij een hoge windsnelheid buiten. Horizontale temperatuurverschillen werden dus niet veroorzaakt door trek.
4. De windrichting had geen meetbare invloed op de horizontale temperatuurverdeling.
5. Het trekken van een schermkier had geen meetbare invloed op de horizontale temperatuurverdeling.
6. Tijdens belichte uren was de temperatuur meestal egalier verdeeld dan tijdens de donkere periode.
7. De ventilatoren gaven een goede luchtmenging in de lengterichting van de worp, maar in de dwarsrichting vond veel minder menging plaats.
8. Bij aangeschakelde ventilatoren was de temperatuurverdeling meestal egalier dan bij uitgeschakelde ventilatoren.
9. De berekende warmte-afgifte van het verwarmingssysteem was groter bij de verdeelleidingen.
10. De betonvloer gaf hogere horizontale temperatuurverschillen te zien dan de kaslucht.

Hieruit is geconcludeerd dat de temperatuurverschillen het meest aannemelijk kunnen worden verklaard door de invloed van verdeelleidingen in de kas, onder de betonvloer en onder het betonpad. De invloed van ongecontroleerde luchtbeweging in de afdeling door wind of afschot van de kas wordt veel kleiner geacht. Dat deze natuurlijke horizontale luchtbeweging in de afdeling zo klein is, kan worden verklaard door de geringe grootte van de afdeling en het ontbreken van buitengevels. Door ventilatoren kan de horizontale luchtbeweging in de afdeling wel groot worden.

Bij bedrijven met kleinere compartimenten is het, nog sterker dan bij grotere afdelingen, aan te bevelen er voor te zorgen dat de warmte-afgifte gelijkmatig is verdeeld. Dit geldt in eerste instantie tijdens het ontwerpen van de verdeel- en de verwarmingsleidingen. Na de installatie kunnen gevonden afwijkingen nog worden verkleind door pleksgewijze isolatie van de leidingen. Ook kunnen ventilatoren helpen met enige egalisatie, maar dit zal niet leiden tot opheffing van de temperatuurverschillen.

1 Inleiding

Klimaatverschillen in kassen leiden tot verlies aan kwaliteit en productie. Uit het project Het Nieuwe Telen voor opkweek bedrijven [Kromdijk en de Gelder, 2011] blijkt dat dit probleem een belangrijk knelpunt is op deze bedrijven. Uit andere onderzoeken en contacten [Campen en de Gelder, 2007] is bekend dat dit probleem speelt bij vele gewassen. Deze kennis komt uit een aantal monitoringsprojecten die hebben gelopen of nog lopen en vanuit de waarnemingen die ondernemers met meerdere meetboxen hebben gedaan.

Deze temperatuurverschillen leiden tot (of worden veroorzaakt door) drukverschillen in kassen waardoor er ongewenste luchtstromingen ontstaan. De temperatuurverschillen veroorzaken plaatselijk problemen met te geringe vochttafvoer en verdamping. Daarnaast veroorzaken lage gewastemperaturen vertraagde groei en ontwikkeling (lengte, gewicht, cyclusduur). Dit alles leidt tot een inhomogeen product en een intensiever gebruik van middelen voor gewasbescherming.

Het probleem treedt vooral op bij lagere buitentemperaturen: begin oktober tot medio maart. Een cruciale periode voor de opkweek van groentepplanten. De indruk bestaat dat het verhogen van de kassen, de grotere oppervlakten van een afdeling en het intensiever belichten (en afschermen van dat licht) het probleem hebben vergroot. Bij de opkweek bedrijven zijn de compartimenten gemiddeld kleiner dan bij de normale productie bedrijven, maar de verschillen bij de start van de teelt zijn wel ingrijpend voor de uniformiteit en gewenste plantkwaliteit.

In het verleden is al veel onderzoek [Esmeyjer *et al.* 2000] gedaan naar het opheffen van de verschillen in horizontale temperatuur verschillen en zijn er ook richtlijnen voor het opsporen en adviezen voor aanpakken van deze verschillen gegeven. Toch blijkt deze problematiek nog steeds een actueel onderwerp te zijn.

Wat de zaak nog complexer maakt is dat de situatie van moment tot moment kan verschillen door windrichting, buitentemperatuur, gebruik van raam en scherm. Bovendien kan de temperatuur in aanliggende afdelingen variëren en daarmee de temperatuurverdeling doen veranderen.

Uit de proeven met de toevoer van buitenlucht via slurven onder het gewas in combinatie met het meer gesloten houden van het scherm is bij een aantal gewassen al gebleken dat de temperatuurverschillen kleiner worden [Raaphorst en Voermans, 2010]. De ervaring met het verwarmen van de kas met behulp van dezelfde slurven zijn daarentegen negatief [Gieling *et al.* 2010]. Omdat de lucht in de slang onderweg afkoelt levert dit juist permanente temperatuurverschillen op. Het gebruik van ventilatoren heeft in sommige gevallen een positief effect [van der Kolk en de Veld, 2011].

Bij de opkweek bedrijven leeft de vraag wat ze in hun specifieke situatie kunnen doen. Daarbij wordt vooral gedacht aan het plaatsen van plastic schotten om luchtstromen te onderbreken, lokaal aanpassen van de verwarmingscapaciteit en anders luchten (verhouding windzijde, luwe zijde aanpassen) en schermen. Maar ook de mogelijkheid om gecontroleerde ventilatie, bewust inbrengen van tot kasluchttemperatuur opgewarmde buitenlucht, de ongelijkheid te verminderen. De vraag is wel hoe dit binnen de logistiek op de bedrijven kan worden toegepast.

Met financiering van het programma Kas als Energiebron (Productschap Tuinbouw en Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie) heeft Wageningen UR Glastuinbouw onderzocht welke maatregelen kunnen worden toegepast om de temperatuurverschillen bij kleine compartimenten te beperken. Hiervoor zijn in een afdeling van Plantenkwekerij Van der Lugt draadloze sensoren geplaatst en rookproeven gedaan.

Doelstellingen

Het onderzoek heeft de volgende doelstellingen gekregen:

1. Het in kaart brengen van horizontale en verticale temperatuur- en luchtvochtigheidsverschillen op een opkweekbedrijf met betonvloer, hoe deze verschillen samenhangen met de luchtstromen en hoe deze verschillen zijn te verkleinen.
2. Een advies over eventueel te plaatsen schotten, ventilatoren en het gebruik van schermen en luchtramen om ongewenste luchtstromingen tegen te gaan.

3. Door het verkleinen van de temperatuur en vochtverschillen kan er beter met schermen en belichting worden gewerkt en moet er een energie besparing van 10% zijn te realiseren.
4. Door de betere uniformiteit van de af te leveren partijen neemt de energie efficiëntie per plant eveneens toe, omdat er minder planten als mindere kwaliteit uit de partij worden weggehaald.
5. Door een uniforme temperatuurverdeling een bijdrage te leveren aan de toepasbaarheid van energiebesparende maatregelen als 'Het Nieuwe Telen' beter toepasbaar.

2 Bedrijf en metingen

Plantenkwekerij Van der Lugt B.V. kent zoals alle opkweekbedrijven vele afdelingen. De meeste afdelingen hebben een oppervlakte van 5000 m², welke alle gebouwd zijn in 2005. De metingen hebben plaatsgevonden in afdeling 15 (zie Figuur 1.).



Figuur 1. Snapshot (Google Maps) van Plantenkwekerij Van der Lugt met afdeling 15 en aanliggende afdelingen.

2.1 Eigenschappen afdeling 15

Afdeling 15 bestaat uit 5 tralies van drie kappen à 4,27 m (64 m) met een lengte van 17 vakken à 4,50 m (76,5 m). Daarmee komt de totale beteembare oppervlakte op 4900 m². De poothoogte is 5,3 m. De noordzijde wordt begrensd door de corridor. Zowel ten westen als ten oosten van afdeling 15 loopt een betonpad. Beide paden komen uit op de corridor en hebben aan een zijde een schuifwand. Zo heeft het pad aan de westkant een schuifwand tegen afdeling 15 en het pad aan de oostkant een schuifwand tegen afdeling 21. Het pad aan de oostkant maakt daarmee deel uit van afdeling 15. De schuifwanden kunnen goed sluiten, maar zijn soms gedeeltelijk geopend.

Afdeling 15 heeft drie schermen, waarvan scherm¹ (PH 88) geschikt is tegen lichtuitstoot en scherm 3 (PH Super) een helder energiedoek is. Scherm 2 (PH 44) wordt alleen als zonnenscherm gebruikt op het bovenbed en is tijdens de metingen niet gebruikt. Ook zijn er ventilatoren aanwezig. Acht ventilatoren verdeeld over de afdelingen met een worp in de lengterichting van de kappen en drie ventilatoren langs de tussengevel tegen afdeling 10, 19 en 11, met een worp dwars op de kappen (zie ook Figuur 3.).

2.1.1 Warmtebronnen afdeling 15

De verwarming van afdeling 15 vindt plaats via meerdere wegen:

- Bovenverwarming: Per tralie 4 buizen van 63 mm op ± 3 meter hoogte.
- Hijsverwarming: Per tralie 16 buizen van 27 mm op wisselende hoogte (veelal 1 m hoogte).
- Vloerverwarming.
- De paden tussen de afdelingen worden apart verwarmd met koelwater van de WKK.
- De verdeelleidingen zijn grotendeels geïsoleerd, maar het oppervlak ervan is groot. De verdeelleiding van de gewasverwarming hangt bij de schuifbare gevel tegen afdelingen 11, 19 en 10. De verdeelleiding van de bovenverwarming hangt bij het pad tegen afdeling 21.
- Langs de gevel tegen de corridor en langs het pad tegen afdeling 21 loopt een centrale leiding (de 'stadsverwarming' genoemd).
- Belichting: De lampen hangen op ± 4 meter hoogte.

2.2 Infrarood metingen

2.2.1 Vloer

Op 5 december is rond 17:00 uur met een infraroodmeter de temperatuur van de kasvloer nagelopen. De infraroodmeter had een resolutie van 0,5°C. De resultaten van de metingen zijn weergegeven in Figuur 2.).

Opvallend is hierbij de hoge temperatuur langs de corridor en vooral afdeling 21. Dit patroon komt zelfs duidelijker naar voren dan via de gemeten luchttemperaturen op dat moment (zie Figuur 6.). De hogere temperaturen zijn waarschijnlijk veroorzaakt doordat daar onder de betonvloer verdeelleidingen liggen. Met name bij de plek die 24,5 °C aangaf, ligt een concentratie van verdeelleidingen.

Ook is te zien dat de temperatuur tegen afdeling 16 $\pm 2^\circ\text{C}$ hoger ligt dan in het midden van de afdeling. Dit is veroorzaakt doordat in dat deel van de afdeling bewust de vloerverwarming is aangezet in verband met het aldaar geplaatste ras.

	Afd 11				Afd 19		Afd 10		
Afd 16	21,5	22,0	20,0	20,5	21,5	21,0	22,0	22,5	Corridor
	21,5	21,5	19,0	19,5	20,0	20,0	21,5	22,0	
	21,5	21,5	19,5	19,0	19,5	20,0	21,0	21,5	
	22,0	21,5	19,5	19,5	20,0	20,5	21,0	21,5	
	21,5	22,0	19,5	19,5	20,0	20,5	21,0	21,5	
	21,5	22,0	20,0	19,5	20,5	21,0	21,0	21,5	
		23,0	21,0	21,0			22,0	22,5	
	22,5	23,5	23,5	23,5	24,0	24,5	23,5	23,5	
	Afd 21								



Figuur 2. Temperatuurmetingen (°C) van de kasvloer op 5 december 1700 uur.

2.2.2 Verwarming

Op woensdag 7 december zijn na het openen van het scherm met infraroodmetingen de buizen gecontroleerd. Op dat moment waren de buizen warm om de kouval vanaf het koude kasdek te compenseren. Bij een aanvoertemperatuur van 59°C om 10:00 uur, afnemend naar 54°C om 10:30 uur, bleek de retourtemperatuur van de hijsverwarming af te nemen van 49°C naar 44°C. Er waren nauwelijks verschillen tussen de retourtemperaturen onderling, waarmee wordt geconcludeerd dat alle buizen van de hijsverwarming evenveel warmte afgeven.

2.2.3 Schatting van verwarmend vermogen

Toevoer van warmte bij een watertemperatuur van 50°C en een kasttemperatuur van 22°C:

- bovenverwarming: 20 W/m².
- hijsverwarming: 42 W/m².
- Het verwarmend vermogen van de vloer is sterk afhankelijk van de vochtigheid. Een droge vloer die 2°C warmer is dan de kaslucht geeft 12 W/m² af. Een natte vloer zal bij verwarming meer gaan verdampen en daarmee meer warmte onttrekken aan de vloerverwarming.
- Op vol vermogen verbruiken de lampen en de armaturen ± 42 W/m² aan elektriciteit. Dit wordt deels omgezet in latente warmte (verdamping) en deels in voelbare warmte.
- De verdeelleidingen bevinden zich met name langs de tussengevel tegen afdelingen 11, 19 en 10. Deze zijn grotendeels geïsoleerd. Wel wordt de hijsverwarming met aluminiumverf beklede tubieleenslangen met de verdeelleidingen verbonden. Bij verwarmingswater van 50°C is de buitenkant van de geïsoleerde verdeelleidingen nog steeds 3°C warmer dan de kasttemperatuur. Dit betekent dat langs de gevel ongeveer 30 Watt per strekkende meter gevel aan extra warmte wordt toegevoerd. De tubieleenslangen hebben door de aluminiumverf een iets lagere emissiecoëfficiënt (geschat wordt 0,7 i.p.v. 0,9) en geven bij een watertemperatuur van 50°C ongeveer 40 Watt per strekkende meter gevel.

Afvoer van warmte

De warmte wordt vrijwel alleen via het kasdek afgevoerd en nauwelijks via de tussengevels. Het temperatuurverschil met een aangrenzende afdeling is namelijk hooguit 2°C geweest. Alleen in afdeling 10 is na 10 december tot 6°C koeler geteeld.

Bij een buitentemperatuur van 7°C en een kasttemperatuur van 22°C (gemiddelde waarden in december) is de warmteafvoer bij een open scherm (k-waarde ϵ 8 W/m².°C) ± 120 W/m².

Stel dat de extra 70 Watt/m langs de tussengevel alleen invloed heeft op het eerste vak (4,5 m), dan zou dit eerste vak bij een k-waarde van 8 met $70/8/4,5=1,9$ °C warmer zijn. De verdeelleidingen kunnen dus een grote (negatieve) invloed hebben op de temperatuurverdeling.

Invloed beplanting

Omdat langs de randen van afdeling 15 vaak een hogere temperatuur wordt gerealiseerd en de planten zich daar dus te snel ontwikkelen, wordt daar soms niet geplant. Dit heeft tot gevolg dat langs de randen minder verdamping en dus minder afkoeling plaatsvindt. Verdamping kan wel 50% van de aangevoerde warmte afvoeren. Als er geen verdamping is, maar de aangevoerde warmte (buizen, lampen en zon) blijft bestaan, ontstaat het risico dat de planten langs de onbeplante randen alsnog aan een hogere temperatuur worden blootgesteld.

2.3 Rookproeven

Op 5 december is rond 17:30 uur met rookproeven bekeken hoe de luchtstromen zich gedragen in afdeling 15. Onder verschillende omstandigheden is pluksgewijs rook gegenereerd en geanalyseerd in welke richting en met welke snelheid de rook werd verspreid. Tijdens de proeven stond de assimilatiebelichting aan. De overige omstandigheden waren:

Situatie 1: schermdoek 3 gesloten, ventilatoren uit.

Situatie 2: schermdoek 3 gesloten, ventilatoren aan (stand 30 Hz=60%).

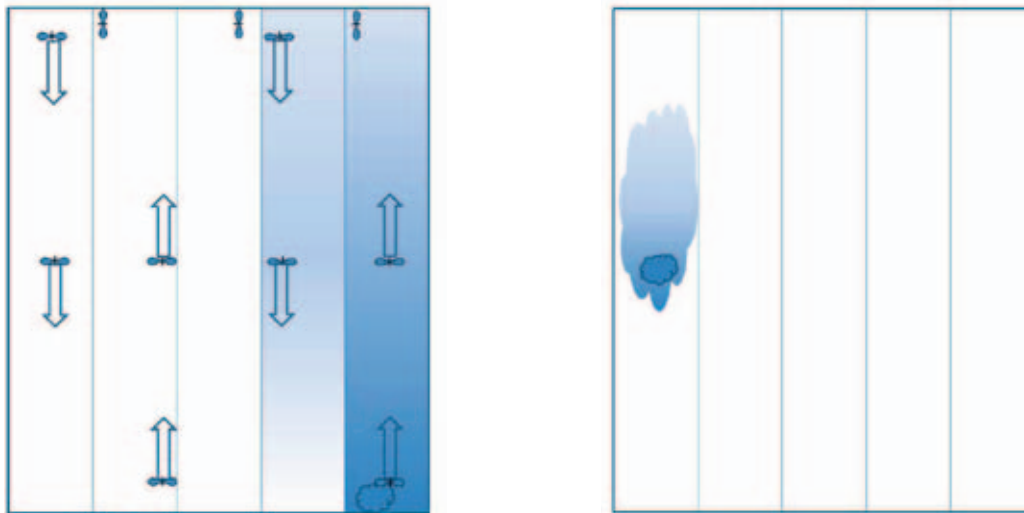
Situatie 3: schermdoek 3 op een kier (4%), ventilatoren uit.

Resultaten rookproeven

In situatie 1 is op twee plaatsen rook gegenereerd. Er bleek nauwelijks horizontale luchtstroming te zijn. Wel was er opgaande lucht ($\pm 0,2$ m/s) richting de assimilatiebelichting en dalende lucht tussen de lampen in.

In situatie 2 bleken de ventilatoren de lucht goed te verspreiden. De rook werd bij 60% stand tot de volgende ventilatoren gebracht. De rook werd echter niet door de gehele kas verspreid, maar bleef hangen in de worprichting van de ventilatoren. Dwars op de worprichting vond nauwelijks verspreiding plaats. In afdeling 15 hangen aan de gevel ook ventilatoren die dwars op de kaprichting kunnen blazen, maar deze ventilatoren waren op 5 december uitgeschakeld. Opvallend was, dat de rook niet door de ventilatoren, maar langs de ventilatoren werd gezogen. De effectieve luchtverplaatsing is dus veel groter dan de luchtverplaatsing van de ventilator alleen.

Geconcludeerd wordt, dat de ventilatoren bij een 60% stand voldoende luchtcirculatie geven om de kaslucht in de worprichting te mengen. Dwars op de worprichting vindt nauwelijks luchtmenging plaats.



Figuur 3. Verspreiding van de rook bij 60% draaiende ventilatoren (links) en bij een schermkier (rechts).

In situatie 3 bleek na het kieren van het scherm de rook versneld te verdwijnen. Waarschijnlijk heeft de harde wind buiten daar aan bijgedragen. De daarna ingeblazen lucht bleek $\pm 0,1$ m/s richting afdeling 11 te stromen. Dit was tegengesteld aan de mogelijkheid van een optredend schoorsteeneffect. Bij een schoorsteeneffect zou namelijk de lucht stromen naar het hoogste deel van de afdeling met een scherm onder afschot. Blijkbaar heeft de windrichting bij gekierde schermen meer invloed op de luchtstroming in de relatief kleine afdelingen bij opkweekbedrijven. In Bijlage 1 worden de effecten van windrichting en afschot toegelicht.

3 Metingen met draadloze sensoren

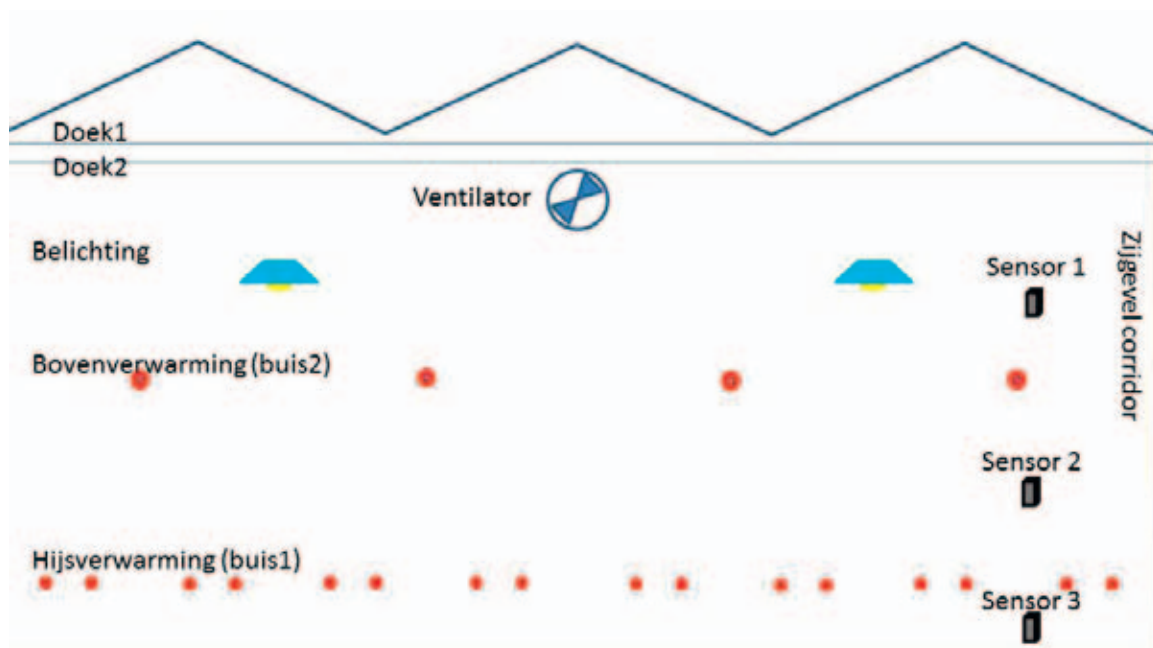
In afdeling 15 zijn gedurende enkele maanden temperatuur en RV metingen uitgevoerd. 27 sensoren (01 t/m 27) zijn op 9 plaatsen in de kas op drie hoogten opgehangen. Op 20 cm hoogte, op 200 cm hoogte en op 350 cm hoogte. Twee andere sensoren (28 en 30) zijn tussen 20 cm hoogte tussen de gemeten plaatsen neergezet.

Vanaf het begin bleken sensoren (01, 06 en 12) defect te zijn. In de loop van het meettraject 10 december zijn sensoren 15 en 27 ook uitgevallen.

	Afd11		Afd19	Afd10	
Afd 16	Boven25	Boven16		Boven07	Corridor
	Midden26	Midden17		Midden08	
	Onder27	Onder18	Onder30	Onder09	
	Boven22	Boven13		Boven04	
	Midden23	Midden14		Midden05	
	Onder24	Onder15		Onder06	
	Boven19	Boven10		Boven01	
Midden20	Midden11		Midden02		
Onder21	Onder12	Onder28	Onder03		
	Afd21				

Figuur 4. Positie van de sensoren (rood betekent uitgevallen), de afdelingsnummers en de tussengevels (vette lijnen).

De bovenste sensoren hangen ongeveer ter hoogte van de lampen (zie Figuur 5.) en worden daardoor niet direct door het lamplicht geraakt. Dit in tegenstelling tot de middelste en de onderste sensoren, die wel direct licht van de lampen ontvangen.



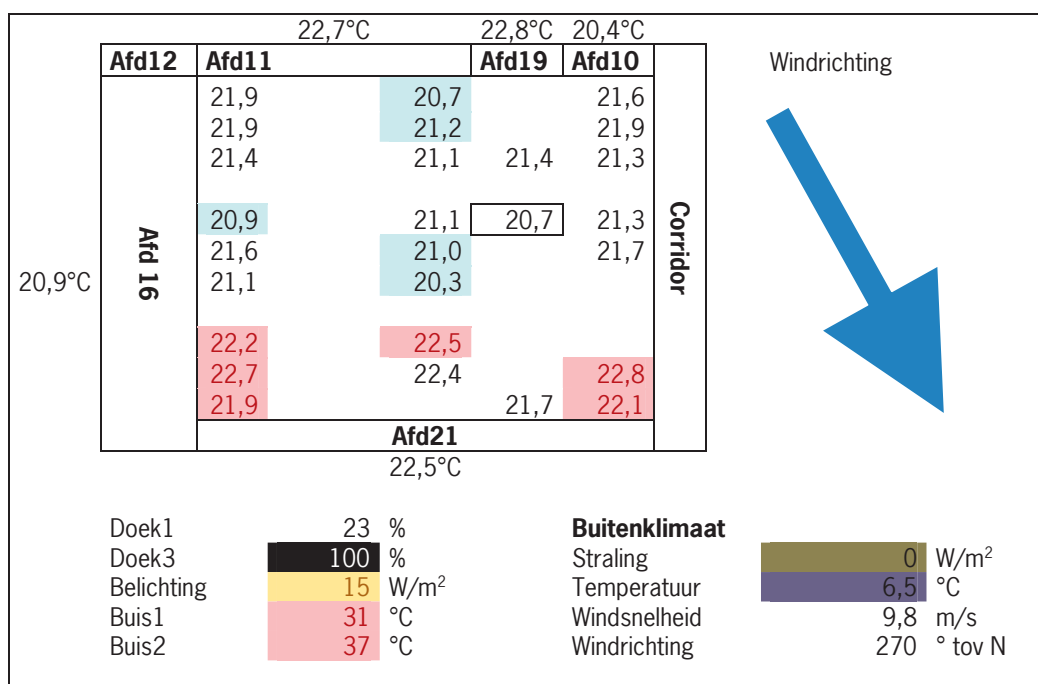
Figuur 5. Zijaanzicht van de eerste tralie naast de corridor en de positie van de sensoren 1, 2 en 3 ten opzichte van de verwarmingsbuizen, de schermdoeken, de ventilatoren en de lampen.

3.1 Resultaten draadloze sensoren

De eerste maand hebben de sensoren nog geen nuttige data opgeleverd. Dit had twee oorzaken. Ten eerste was het verzenden van de data aan storingen onderhevig en ten tweede bleek de afdeling 15 tot eind november te moeten worden gebruikt voor meerdere kleinere partijen, waardoor van een homogeen klimaat sowieso geen sprake kon zijn. De data van na 30 november zijn verzameld in een Excel model, dat is gebruikt voor de communicatie en de analyses in de projectgroep. Een momentopname van dit Excel model is weergegeven in Figuur 6. Hierin zijn ook momentane waarden weergegeven van:

- de gemeten kasttemperatuur van de meetbox van afdeling 15 en de omliggende afdelingen,
- de toestand van de belichting, de schermdoeken en de buizen,
- het buitenklimaat.

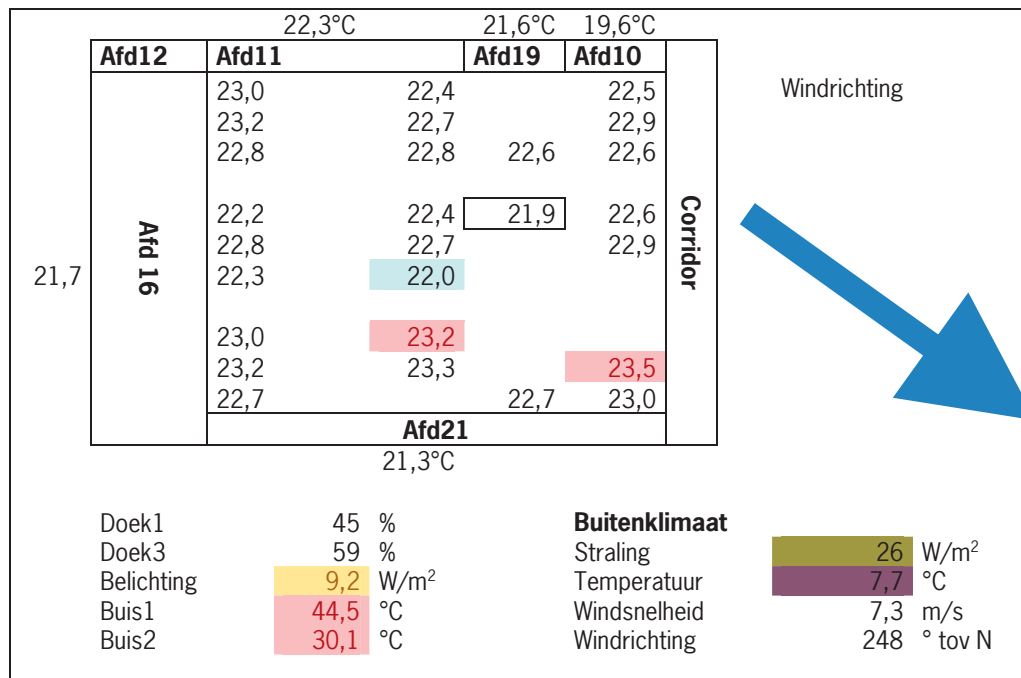
In Figuur 6. zijn de waarden van de draadloze sensoren weergegeven. Indien de temperatuur van een sensor meer dan 0,5 °C afwijkt van de gemiddelde waarden van de sensoren op dezelfde hoogte, dan kleurt deze lichtrood (warm) of lichtblauw (koud). Zo blijkt de laagste temperatuur van de onderste sensoren in het midden van de afdeling te zitten (20,3 °C). De hoogste temperatuur is in de hoek tegen afdeling 21 en de corridor (22,1°C). De meetbox geeft 20,7°C aan. Dit is iets lager dan de draadloze sensoren in het midden van de afdeling aangeven. De wind (9,8 m/s) komt uit het westen bij een buitentemperatuur van 6,5°C. De belichting staat volledig aan (vergelijkbaar met 15 W/m² globale straling) en doek 3 is 100% gesloten. Doek 1 is net begonnen met sluiten (nu nog 23%) en beide buizen worden afgebouwd vanwege de gesloten schermen en de belichting (nu 31 en 37°C). De hoge temperaturen tegen afdeling 21 worden niet verklaard door de hoge temperatuur in de afdeling aldaar (22,5°C), maar eerder door de hoofdleiding die daar onder de betonvloer loopt en doordat het pad tegen afdeling 21 door de rookgascondensator van de WKK wordt verwarmd tot een temperatuur van ±27°C.



Figuur 6. Temperaturen van de draadloze sensoren vergeleken met gegevens uit de klimaatcomputer op 5 december 17.00 uur.

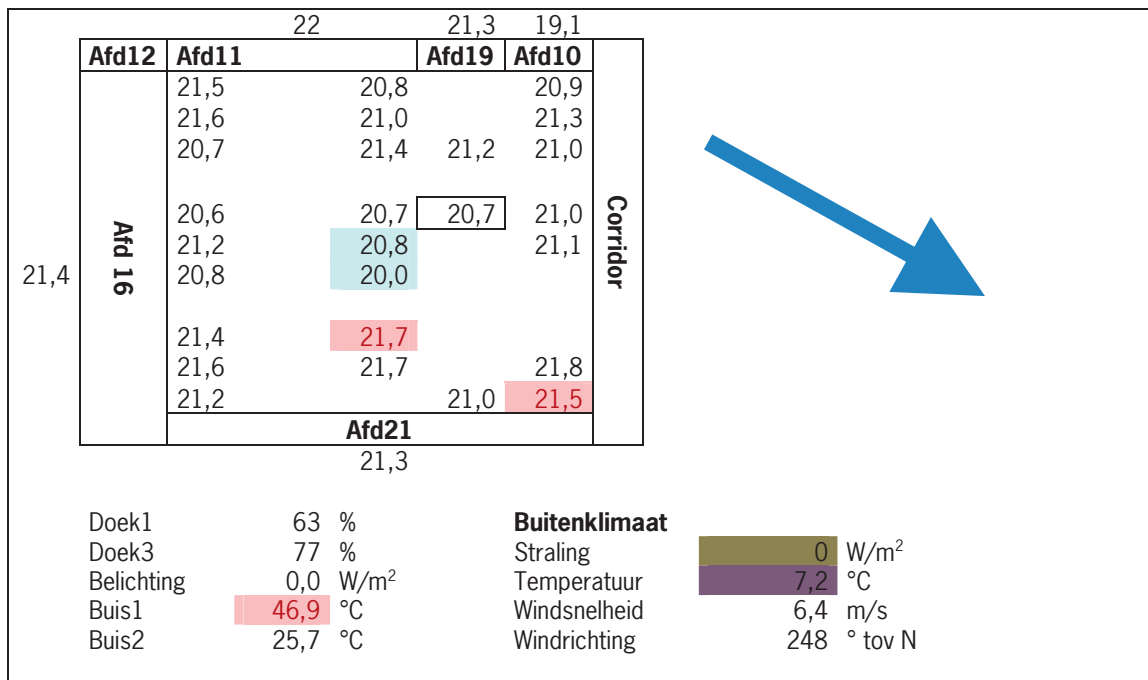
In Figuur 7. zijn alle gemiddelde waarden weergegeven tussen 30 november en 20 december. De twee schermen zijn respectievelijk 45% en 59% van de tijd gesloten geweest, en de belichting heeft voor 9,2/15= 61% van de tijd gebrand. De gemiddelde buitentemperatuur was 7,7°C en de gemiddelde kasttemperatuur 21,9 °C. Hiermee komt de gemiddelde delta T (verschil binnentemperatuur en buitentemperatuur) op 14,2 °C.

Van de onderste sensoren blijkt dat de koudste sensor in het midden van de afdeling 22,0 °C, en de warmste sensor in de hoek tegen afdeling 21 en de corridor 23,0 °C aangeeft. Van de middelste en de bovenste sensoren is het verschil tussen de hoogste en de laagste waarde ook klein (respectievelijk 0,8 en 1,0 °C verschil). Deze verschillen zijn minder groot dan tijdens de momentopname van 5 december (Figuur 6.). Tijdelijk grote temperatuurverschillen worden zichtbaar op langere termijn uitgemiddeld.



Figuur 7. Temperaturen van de draadloze sensoren vergeleken met gegevens uit de klimaatcomputer gemiddeld tussen 30 november en 20 december.

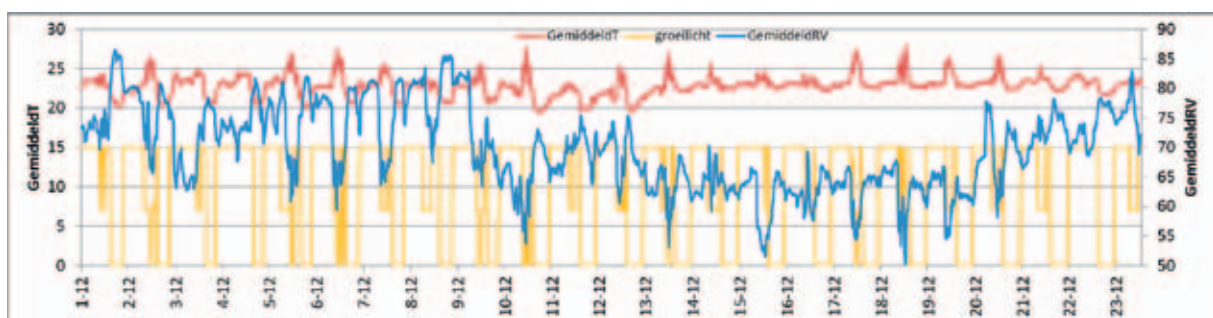
Voordat de belichting wordt aangeschakeld (23:00 uur of later) worden de grootste temperatuurverschillen gerealiseerd. In Figuur 8. wordt een cyclisch gemiddelde weergegeven van alle waarden rond 22:00 uur tussen 30 november en 20 december. Hier blijken de temperatuurverschillen tussen de warmste en koudste sensor bijna 2 °C te zijn.



Figuur 8. Temperaturen van de draadloze sensoren vergeleken met gegevens uit de klimaatcomputer cyclisch gemiddeld om 22.00 uur tussen 30 november en 20 december.

3.1.1 Gemiddelde temperatuur en RV

Van alle sensoren is in Figuur 9. tussen 1 en 23 december de gemiddelde temperatuur en RV weergegeven. Zoals te verwachten, gaat een hoge temperatuur gepaard met een lage RV. Verder is te zien dat na 9 december de RV veel lager is. Dit komt doordat op 9 december een nieuw (en dus nog minder verdampend) gewas is geplaatst. Op sommige momenten (bijvoorbeeld 1, 8, 10, 20 december) is aan de piek in de RV duidelijk te zien dat er water is gegeven of gespoten. Bij 21°C betekent 1°C temperatuurverschil ongeveer 5% RV-verschil. Op de koude plekken kon de RV oplopen tot wel 90%.

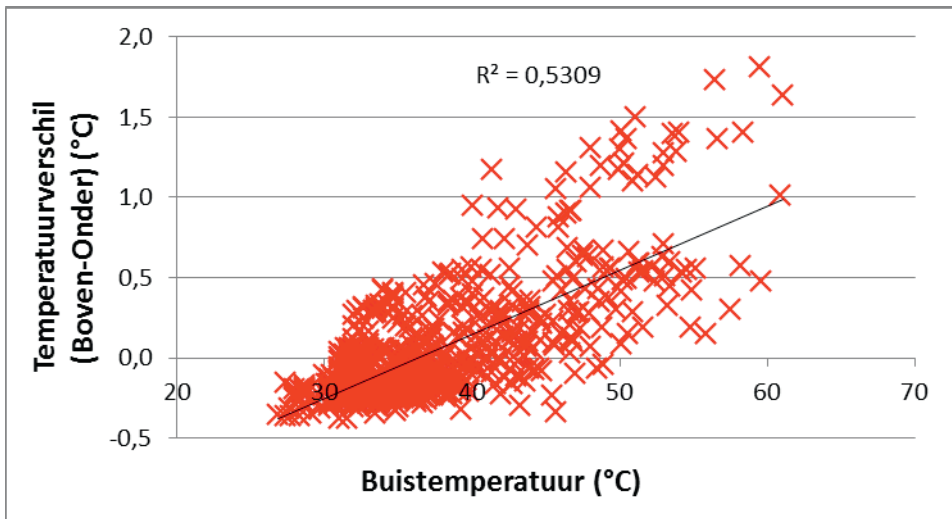


Figuur 9. Verloop van de gemiddelde temperatuur en RV van de draadloze sensoren vergeleken met de momenten met aanvullend groeilicht.

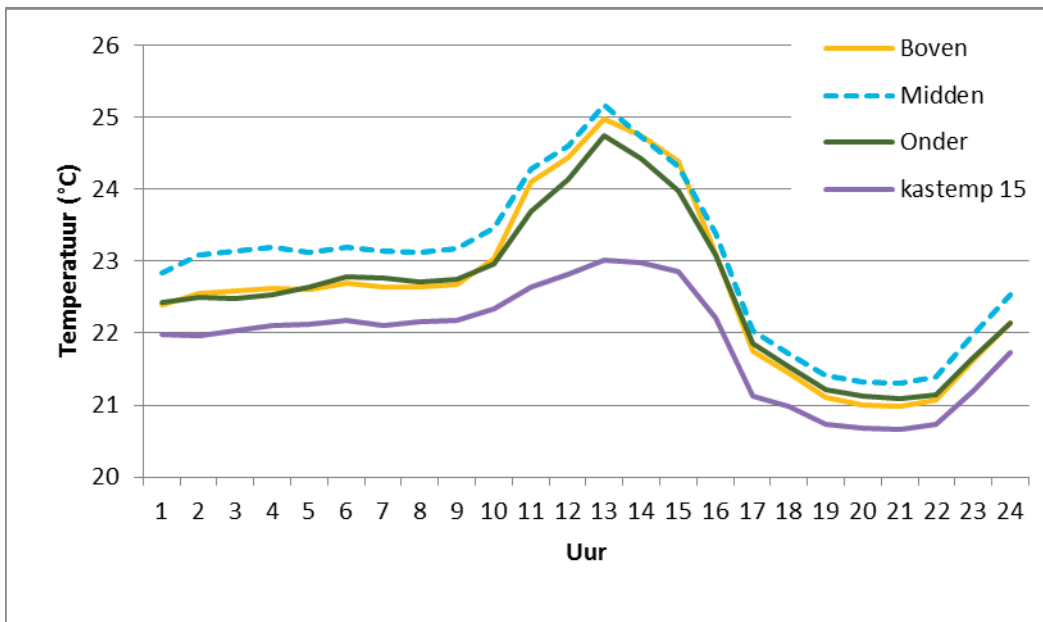
3.1.2 Verticale temperatuurverschillen

De niet geventileerde sensoren blijken te kunnen worden beïnvloed door de warmte van de buizen. Zo geven de bovenste sensoren (± 50 cm boven buis 2 (bovenverwarming) en ± 250 cm boven buis 1 (hijverwarming)) een duidelijk ($R^2=0,34$) hogere waarde dan de onderste sensoren bij warme buizen (zie Figuur 10.).

De sensoren die bovenin de afdeling hangen geven gemiddeld een even hoge temperatuur aan als de sensoren op gewasniveau. De sensoren op halve hoogte geven gemiddeld een $0,4^\circ\text{C}$ hogere waarde. Dit wordt deels verklaard doordat deze dicht bij de hijverwarming hangen (zie Figuur 10.) en bovendien meer worden beïnvloed door de straling van de assimilatiebelichting.



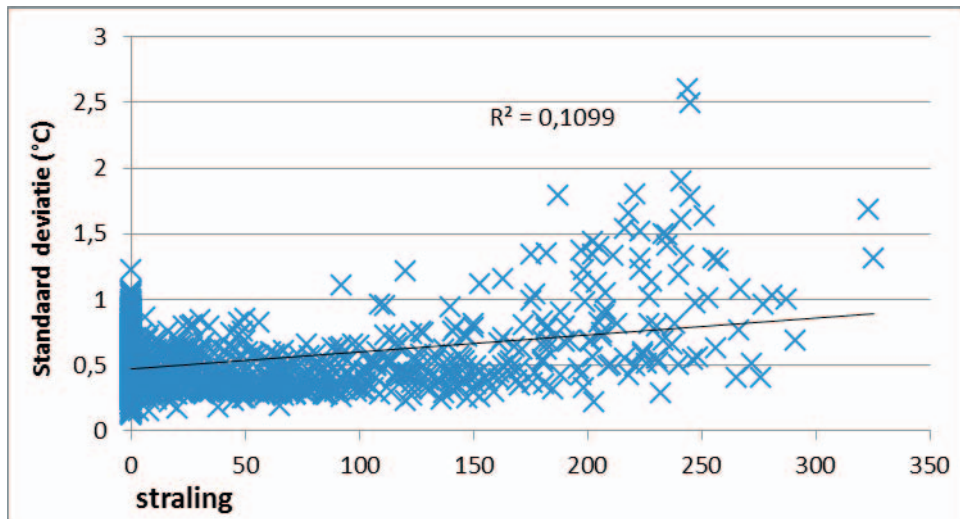
Figuur 10. Invloed van de buistemperatuur bovenverwarming op de temperatuur van de bovenste sensoren ten opzichte van de onderste sensoren ($^\circ\text{C}$) 's nachts.



Figuur 11. Cyclisch etmaalgemiddelde tussen 1 en 20 december van de sensoren boven, midden en onder, vergeleken met de meetbox in afdeling 15

3.1.3 Invloed straling

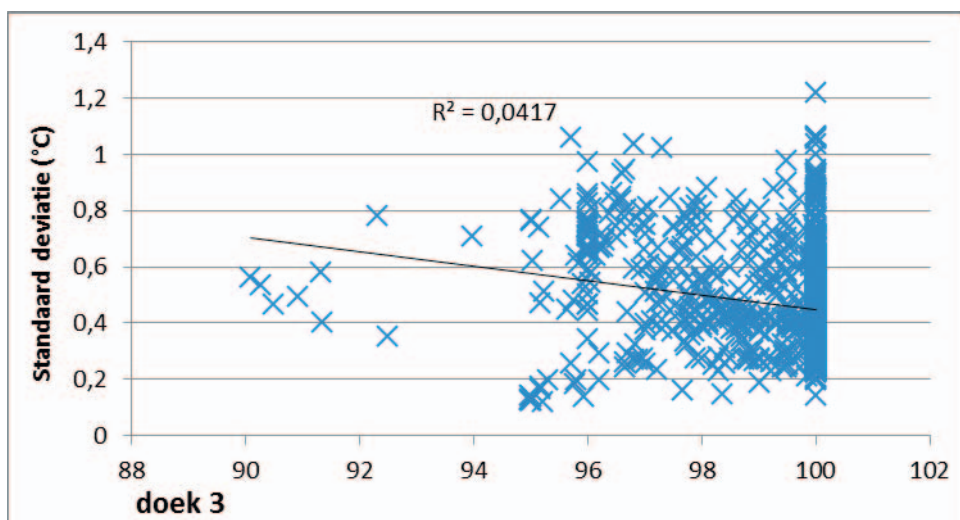
Aangezien de sensoren niet geventileerd zijn, geven zij bij straling op de sensor een hogere temperatuur aan dan de omgevende kasluchttemperatuur. Niet iedere plaats in de afdeling krijgt op ieder moment even veel straling binnen. Zo kunnen sommige sensoren in de schaduw (van bijvoorbeeld gevels) een lagere temperatuur geven dan de sensoren in het directe zonlicht. Uit Figuur 12. blijkt zelfs dat de standaard deviatie van de onderste sensoren bij hoge instraling kan oplopen tot meer dan 1,5 °C. Om deze verstoringen van verschillen in zonnestraling uit te filteren, wordt in de volgende paragrafen meestal uitgegaan van data in de nacht (globale straling lager dan 7 W/m²).



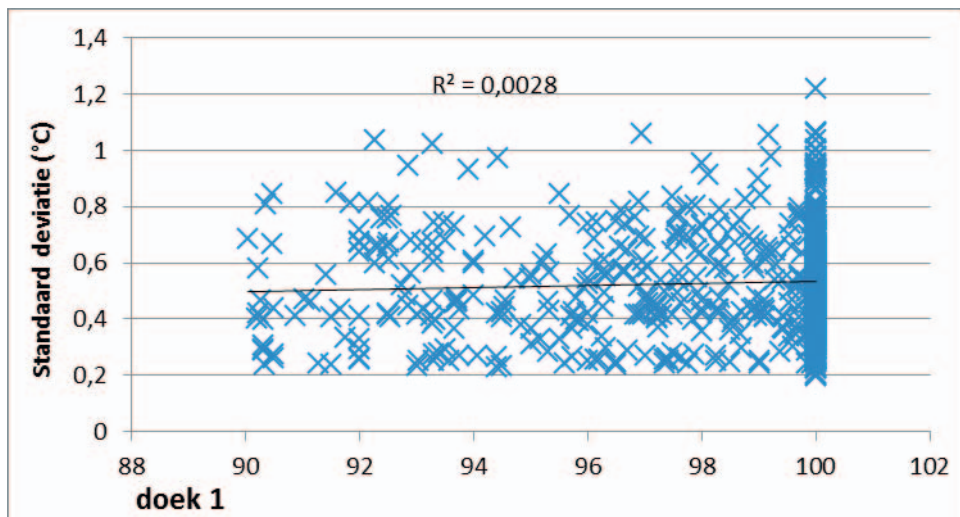
Figuur 12. Invloed van zonnestraling (W/m²) op de standaard deviatie (°C) van de onderste sensoren.

3.1.4 Invloed scherm

Een schermkier kan trek veroorzaken en daardoor de horizontale temperatuurverdeling doen verslechteren. Volgens Figuur 13. lijkt het hebben van een schermkier in doek 3 slechts in lichte mate ($R^2=0,04$) samen te vallen met een grotere standaard deviatie van de lage temperatuursensoren. In Figuur 14. blijkt dat echter niet voor doek 1. Hieruit wordt geconcludeerd dat het hanteren van een schermkier nauwelijks invloed heeft op de horizontale temperatuurverdeling in afdeling 15. Ook is geen verband gevonden tussen het al of niet geopend zijn van het scherm en de temperatuurverdeling.



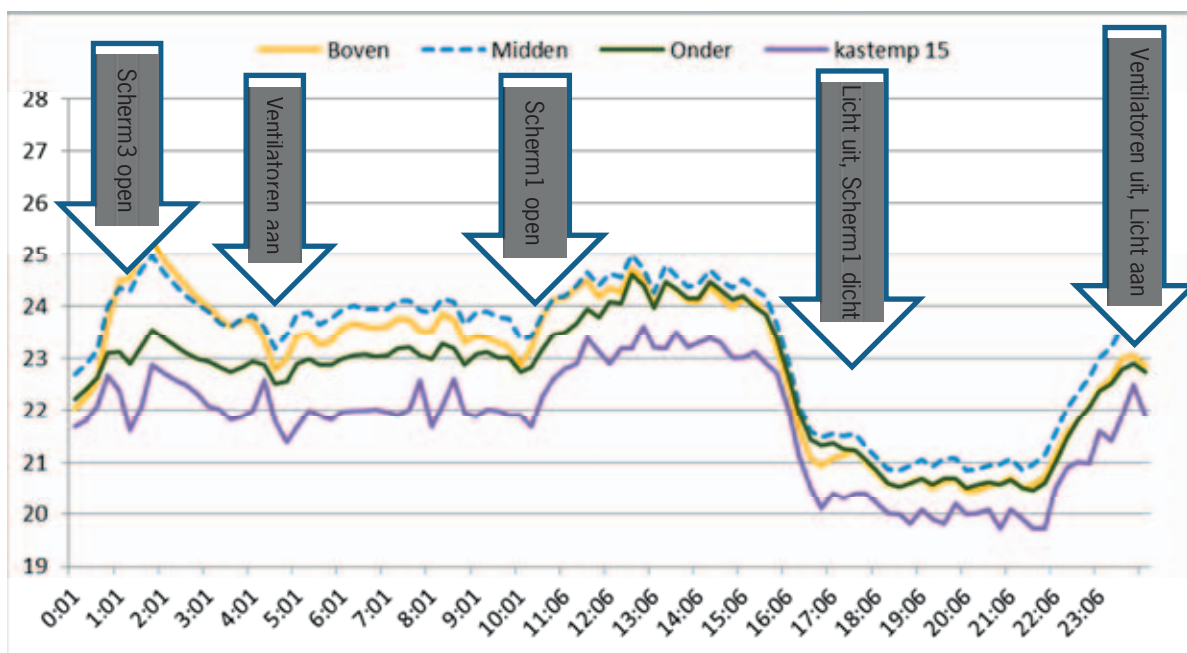
Figuur 13. Invloed van een schermkier in doek 3 op de standaard deviatie van de onderste sensoren.



Figuur 14. Invloed van een schermkier in doek 1 op de standaard deviatie.

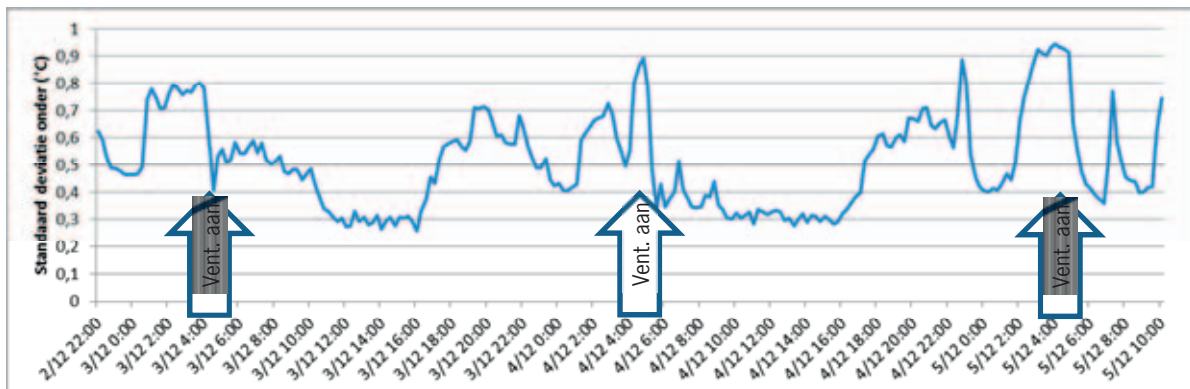
3.1.5 Invloed ventilatoren

Op 3 december hebben de ventilatoren uitgestaan van 23:00 tot 4:30 uur. Daarna hebben ze een stand van 30 Hz (60%) gekregen tot 's avonds 23:00 uur. De lampen hebben gebrand van 23:00 uur tot 17:00 uur. In Figuur 15. is te zien dat bij uitgeschakelde ventilatoren (tot 4:30 uur) de temperatuur van de bovenste en middelste sensoren ver boven die van de meetbox (kastemp 15) uit komen. Bij het aanschakelen van de ventilatoren om 4:30 uur, komen de temperaturen van de sensoren tijdelijk dicht bij elkaar. Door de hoge temperatuur van de meetbox wordt er zelfs tijdelijk een schermkier (scherm¹) getrokken. Na stabilisering van de klimaatregeling, wordt de temperatuur bovenin lager ten opzichte van de temperatuur midden. Het lijkt erop dat de bovenste (ongeventileerde) sensoren meer dan de middelste sensoren worden afgekoeld door de ventilatoren. Op 17 december, wanneer de schermen op een kier staan, blijkt dit niet op te gaan (zie Bijlage 2)



Figuur 15. Gemiddelden van de bovenste, middelste en onderste sensoren in vergelijking met de meetbox van afdeling 15 op 3 december.

Ook als wordt gekeken naar de horizontale verdeling, dan blijken ventilatoren een vereffenend effect te hebben. De standaard deviatie van de sensoren onder in de afdeling zakt aanzienlijk als de ventilatoren worden aangeschakeld (zie Figuur 16.). Het moment dat de ventilatoren worden uitgeschakeld (rond 23:00 uur), geeft een minder duidelijk effect, mogelijk omdat dit moment samenvalt met het aanschakelen van de belichting.



Figuur 16. Standaard deviatie (°C) van de onderste sensoren (n=9) van 2 tot 5 december.

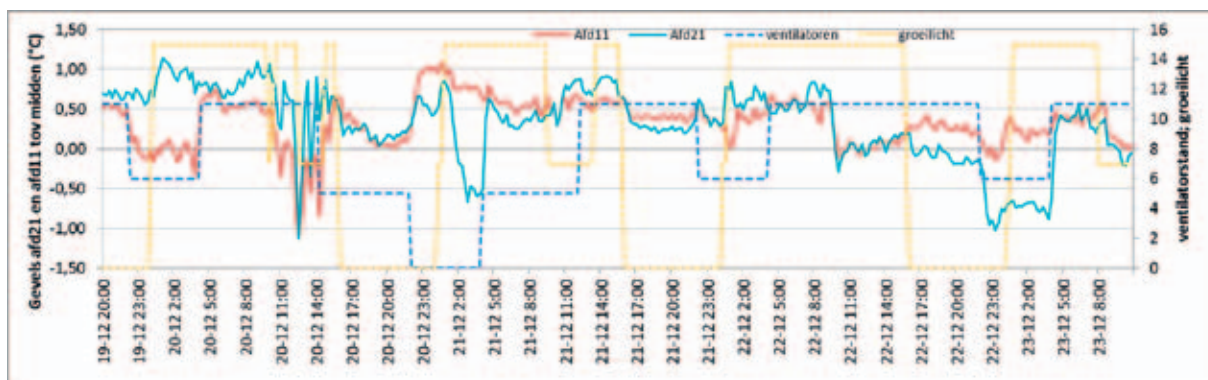
In Figuur 17. is het verschil tussen de temperatuur bij twee tegenoverliggende gevels (afdeling 11 en afdeling 21) en het midden van afdeling 15, vergeleken met de hoeveelheid groeilicht en de ventilatorstand. Hierbij zijn de volgende ventilatorstanden onderscheiden.

0. Alle ventilatoren uit
3. Recirculatieventilatoren op 60% stand
5. Recirculatieventilatoren op 100% stand
6. Recirculatieventilatoren uit; gevelventilatoren aan
9. Recirculatieventilatoren op 60% stand; gevelventilatoren aan
11. Recirculatieventilatoren op 100% stand; gevelventilatoren aan.

Daarnaast is ook de hoeveelheid groeilicht weergegeven. De buitentemperatuur liep tussen 19 en 22 december op van 2°C tot 10°C. De temperatuurverschillen gaven een onregelmatig patroon te zien:

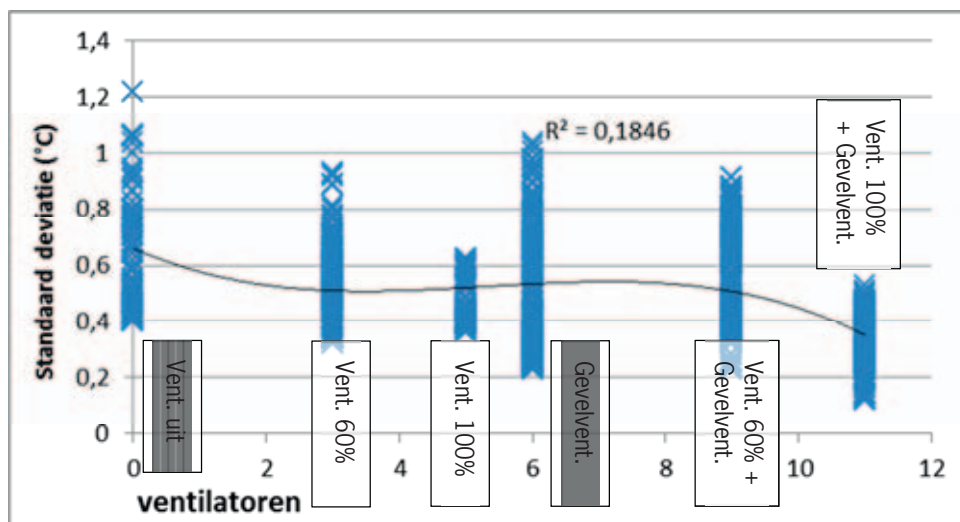
1. Gemiddeld waren de sensoren langs beide gevels warmer dan in het midden van afdeling 15.
2. In de nacht van 19 op 21 december hebben de circulatieventilatoren gedurende 6 uur niet gedraaid. Dit ging gepaard met een kleiner temperatuurverschil tussen de sensoren langs afdeling 11 en de sensor in het midden van afdeling 15. De temperatuur bij de gevel van afdeling 21 bleef wel hoog en ging nog verder omhoog nadat de belichting werd aangeschakeld.
3. In de nacht van 20 op 21 december hebben de gevelventilatoren niet gedraaid. Dit ging in de avond gepaard met een klein temperatuurverschil tussen de gevels en het midden. Toen om 23:00 uur ook de circulatieventilatoren gedurende 6 uur werden uitgezet, werd het temperatuurverschil veel groter. Nadat de belichting werd aangeschakeld, zakte het temperatuurverschil en werd het zelfs kouder langs de gevel van afdeling 21. Vooral in de hoek tegen de corridor (niet zichtbaar in Figuur 17.), normaliter de warmste plek van de kas, werd het kouder. Het uitschakelen van de ventilatoren, heeft in dit geval dus een positief effect gehad op de gemiddelde horizontale temperatuurverdeling.
4. De ventilatorinstellingen in de nacht van 21 op 22 december waren gelijk aan de instellingen van de nacht van 19 op 21 december. Nu had het uitschakelen van de ventilatoren nauwelijks effect op de temperatuurverdeling.
5. Bij het openen van het schermdoek in de ochtend van 22 december werd de sensor in het midden vrijwel even warm als de sensoren bij de gevels. 's Avonds werd om 22:00 uur de circulatieventilator uitgeschakeld, terwijl de temperatuur langs de gevel van afdeling 21 sterk daalde.

Uit deze analyse wordt geconcludeerd dat de ventilatoren vaak leiden tot een egalisatie, maar soms ook tot een verslechtering van de temperatuurverdeling.



Figuur 17. Temperatuurverschil tussen de gevels tegen afdelingen 11 en 21 en het midden van afdeling 15 (°C), vergeleken met de ventilatorstand en de hoeveelheid belichting van 19 december tot 23 december.

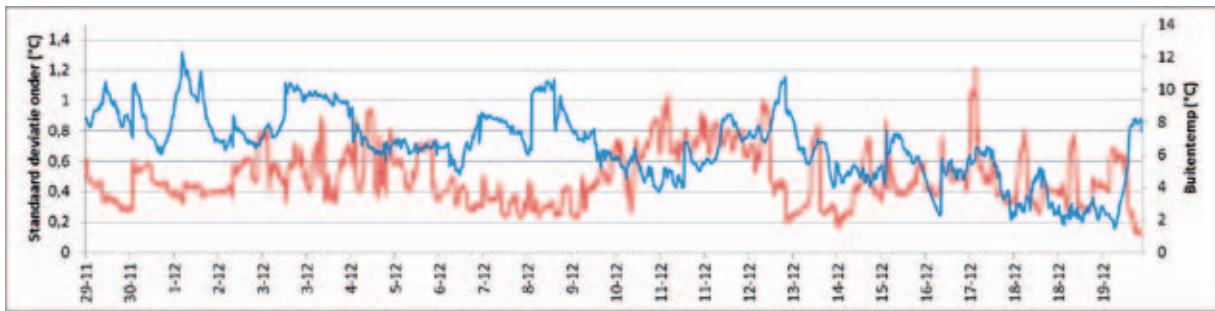
In Figuur 18. zijn de standaarddeviaties van de onderste sensoren gegroepeerd per ventilatorstand. Uit de grafiek blijkt dat de ventilatoren de standaard deviatie en daarmee de horizontale temperatuurverschillen gemiddeld genomen doen verkleinen.



Figuur 18. Standaard deviatie (°C) van de onderste sensoren (n=9) gedurende de nachten van 30 november tot 20 december, afhankelijk van de ventilatorstand.

3.1.6 Invloed buitentemperatuur

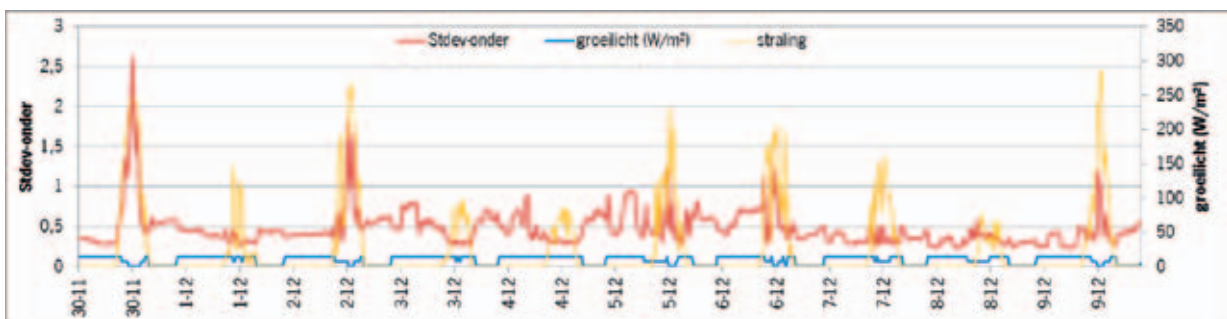
Hoe lager de buitentemperatuur is, hoe groter de te verwachten standaarddeviatie van de temperatuursensoren is. In Figuur 19. lijkt deze stelling gedeeltelijk op te gaan. Zo is er van 7 tot 9 december een hoge buitentemperatuur en een lage standaard deviatie, waarna een dalende buitentemperatuur gepaard gaat met een stijgende standaard deviatie. Na 18 december blijkt een dalende buitentemperatuur echter niet gepaard te gaan met een stijgende standaard deviatie.



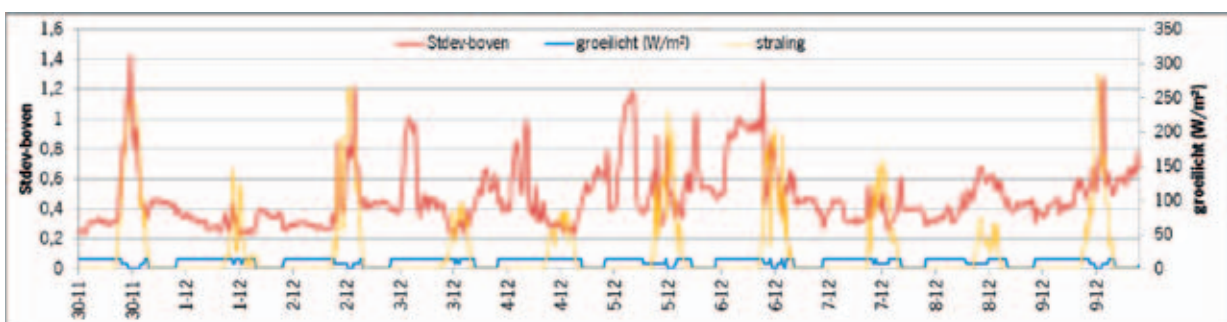
Figuur 19. Verloop van de standaard deviatie (rood) van de horizontale temperatuurverdeling ten opzichte van de buitentemperatuur (blauw) gedurende de nachten.

3.1.7 Invloed belichting

In Figuur 20. is de standaard deviatie van de onderste temperatuursensoren vergeleken met het al of niet aangeschakeld zijn van de belichting. Telkens blijkt de standaard deviatie na het aanschakelen van de belichting kleiner wordt. Hieruit kan geconcludeerd worden dat belichting de horizontale temperatuurverdeling verbetert. Om na te gaan of de directe straling van de belichting op de ongeventileerde sensoren verstorend heeft gewerkt, is ook gekeken naar de standaard deviatie van de bovenste sensoren (Figuur 21.). De bovenste sensoren hangen naast en niet onder de lampen, zodat deze minder door straling van de lampen worden beïnvloed (zie Figuur 5.). Uit Figuur 21. blijkt dat de standaard deviatie van de bovenste sensoren ook telkens iets kleiner wordt bij het aanschakelen van de belichting. Wel kan tijdens de belichtingsperiode de standaard deviatie soms sterk oplopen. Deze verslechtering van de temperatuurverdeling valt samen met het uitschakelen van de ventilatoren (zie paragraaf 3.1.5).



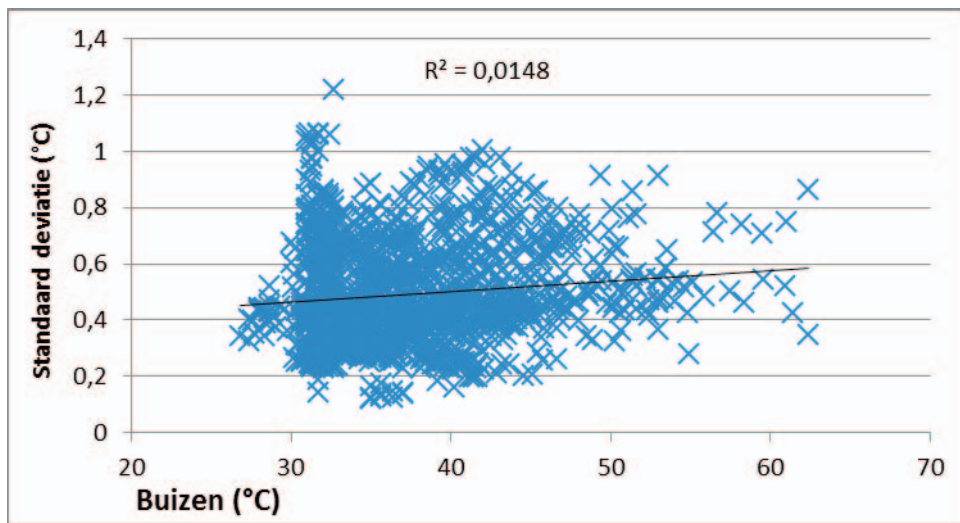
Figuur 20. Verloop van de standaard deviatie van de onderste sensoren (rood) ten opzichte van de belichting (blauw) en de buitenstraling (geel).



Figuur 21. Verloop van de standaard deviatie van de bovenste sensoren (rood) ten opzichte van de belichting (blauw) en de buitenstraling (geel).

3.1.8 Invloed buistemperatuur

Een hogere buistemperatuur gaat meestal gelijk op met grotere horizontale temperatuurverschillen. Deze relatie is in afdeling 15 slechts in zeer lichte mate ($R^2=0,01$) aangetoond (zie Figuur 22.).

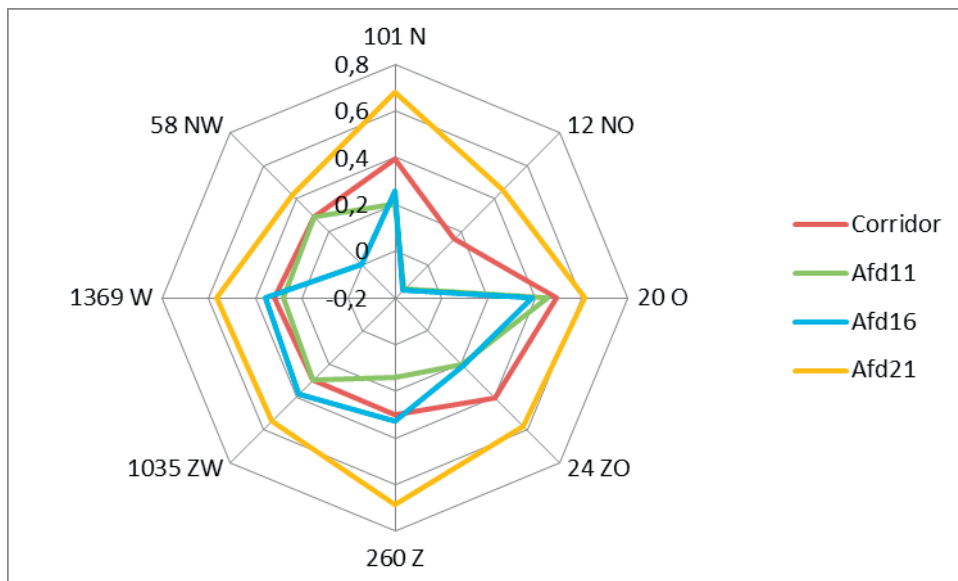


Figuur 22. Verloop van de standaard deviatie van de horizontale temperatuurverdeling ten opzichte van de buistemperatuur (gemiddelde buis1 en buis2 in °C) gedurende de nachten.

3.1.9 Invloed windrichting

De hoek waar de wind vandaan komt is bij veel telers het warmste gedeelte van de kas omdat de luchtstromingen in de kas veelal tegengesteld zijn aan de windrichting (zie Bijlage 1). Om de invloed van de windrichting te toetsen zijn de temperaturen langs de gevels vergeleken met de temperaturen van de sensoren in het midden van de kas. Figuur 23. geeft per windrichting aan hoe vaak (aantal kwartieren) deze is voorgekomen tussen 30 november en 20 december. Per windrichting is de gemiddelde temperatuur aangegeven van de sensoren tegen de vier gevels van afdeling 15 ten opzichte van de sensoren in het midden van de afdeling. Hieruit blijkt dat vooral de gevel tegen afdeling 21 onafhankelijk van de windrichting gemiddeld 0,5 tot 0,7 °C warmer is dan het midden van de afdeling. De andere gevels zijn bij de meest voorkomende windrichtingen (Zuid tot West) 0,2 tot 0,4 °C warmer dan het midden van de afdeling. Tijdens de 12 kwartieren dat er noordoostenwind was, waren de verschillen van alle gevels met het midden kleiner. De gevel tegen afdeling 16 was dan zelfs kouder dan het midden. Het aantal momenten met noordoostenwind (12) is echter te klein om daar conclusies uit te trekken. Verder geeft de gevel tegen afdeling 16 een afwijkend beeld doordat deze bij noordwestenwind (58 kwartier) een even lage temperatuur als het midden te zien geeft. Afdeling 16 ligt ten zuidzuidwesten van afdeling 15, dus dit afwijkende beeld is moeilijk met windrichting te verklaren.

Geconcludeerd wordt, dat de windrichting geen meetbare invloed heeft gehad op de horizontale temperatuurverschillen. De geringe variatie in windrichtingen heeft de meetbaarheid mede beperkt. Overigens komt een geringe invloed van de windrichting overeen met de geringe luchtbeveging in afdeling 15 als de ventilatoren niet aan staan.



Figuur 23. Gemiddelde temperaturen (°C) van de sensoren tegen de corridor, afdeling 11, afdeling 16 en afdeling 21 ten opzichte van de drie sensoren in het midden van afdeling 15, afhankelijk van de windrichting. De getallen bij de windrichting geven aan hoeveel kwartier iedere windrichting is voorgekomen.

3.2 Discussie

Aan analyses met ongeventileerde sensoren zijn risico's gebonden. Zo is het aannemelijk dat door straling de sensoren een hogere temperatuur aangeven dan de kasluchttemperatuur. Dit betekent dat belichting, warme buizen en ventilatoren de temperatuur van de sensoren sterk kunnen beïnvloeden. In dit onderzoek is aangenomen dat deze invloed voor alle sensoren op dezelfde hoogte gelijk is. Wel is er rekening mee gehouden dat de bovenste sensoren meer worden beïnvloed door de verwarming en de ventilatoren en de middelste en de onderste sensoren meer worden beïnvloed door de belichting. De invloed van direct zonlicht, dat niet altijd gelijk over de afdeling is verdeeld is zo veel mogelijk uitgeschakeld door alleen de perioden met weinig of geen zonlicht te analyseren.

De suggestie dat tijdens belichting de temperatuur bovenin veel hoger is dan onderin, is met de ongeventileerde sensoren niet aangetoond. De sensoren bovenin gaven tijdens belichting een gelijke temperatuur te zien als de onderste en een lagere dan de middelste sensoren. Wel is in Figuur 15. te zien dat de temperatuur bij de meetbox stijgt als de ventilatoren worden aangezet, maar dat kan ook zijn veroorzaakt doordat de meetbox op de koudste plek van afdeling 15 (het midden) hangt. Ook kunnen de ventilatoren zorgen voor meer warmte-afgifte van de buizen.

De zijgevels naar afdeling 11 en afdeling 21 bestaan uit schuifdeuren die meestentijds gesloten zijn. Het volledig sluiten van deze gevels is echter niet gegarandeerd. Hoewel de temperatuurverschillen met de aangrenzende afdelingen in december altijd klein zijn geweest, kunnen geopende schuifdeuren wel zorgen voor meer luchtbeweging en daarmee de horizontale temperatuurverdeling beïnvloeden. In de nacht van 6 mei zijn de schuifdeuren naar afdeling 11 open geweest. Dat gaf een lagere temperatuur langs deze gevel. Het is niet meer te achterhalen of er meer momenten zijn geweest dat de schuifdeuren (gedeeltelijk) open zijn geweest.

De betonpaden langs afdeling 11 en afdeling 21 zijn aangesloten op het condensornet van de WKK en daardoor soms verwarmd tot $\pm 27^{\circ}\text{C}$. De temperatuurgegevens deze verwarming zijn niet achterhaald, maar kunnen een grote invloed hebben op de temperatuurverdeling in afdeling 15.

4 Conclusies en aanbevelingen

4.1 Conclusies Van der Lugt

Het temperatuurverschil tussen de warmste en de koudste bemeten plaats in afdeling 15 is, gemiddeld tussen 30 november en 20 december, kleiner geweest dan 1°C. Bij een gemiddelde delta T van 14,2 °C, is dat niet uitzonderlijk veel. De laagste temperaturen in afdeling 15 worden gerealiseerd in het midden van de afdeling en halverwege de gevel tegen afdeling 16. De hoogste temperaturen zijn gerealiseerd in de hoek van de corridor en afdeling 21.

De temperatuurverschillen kunnen het meest aannemelijk worden verklaard door de invloed van verdeellicingen in de kas, onder de betonvloer en onder het betonpad. Een rookproef tijdens harde wind buiten, heeft maar weinig horizontale luchtstromen in de kas aangetoond. Waarschijnlijk is dat mede te danken aan de geringe grootte van de afdeling, en het ontbreken van buitengevels. De luchtbeweging veroorzaakt door de ventilatoren is vele malen groter dan de natuurlijke luchtbeweging in de kas.

Het gebruik van de ventilatoren geeft vaker een verkleining dan een vergroting van de temperatuurverschillen. In dit onderzoek is niet achterhaald waardoor het effect van ventilatoren soms ook negatief is.

De huidige positie van de 8 recirculatieventilatoren heeft als effect dat voornamelijk luchtmenging in de kaprichting wordt gerealiseerd. Dwars op de kaprichting vindt nauwelijks luchtmenging plaats. De gevelventilatoren hebben, indien ingeschakeld, waarschijnlijk wel een bijdrage aan luchtmenging dwars op de kaprichting.

Belichting heeft vaker een positief dan een negatief effect op de horizontale temperatuurverdeling. Dit kan zijn veroorzaakt doordat de belichtingsinstallatie gelijkmatiger is verdeeld dan de verwarmingsinstallatie.

De invloed van gesloten schermen of schermkieren op de temperatuurverdeling is niet aangetoond.

4.2 Discussie temperatuurverschillen bij kleine compartimenten

Het is aannemelijk dat de conclusies die hierboven zijn getrokken over de temperatuurverschillen bij Van der Lugt, ook voor andere bedrijven met kleine compartimenten gelden. Bedrijven met kleine compartimenten werken immers met relatief veel verdeellicingen, waardoor een egale warmte-afgifte kan worden bemoedilijkt. Ook zullen ongewenste luchtstromingen bij kleine afdelingen minder sterk zijn dan bij grote afdelingen. Het plaatsen van tussenschotten ligt daarmee bij kleine afdelingen niet voor de hand.

4.3 Aanbevelingen

Bij bedrijven met kleine compartimenten, zoals opkweekbedrijven is het, nog sterker dan bij grote afdelingen, aan te bevelen er voor te zorgen dat de warmte-afgifte gelijkmatig is verdeeld. Dit geldt in eerste instantie tijdens het ontwerpen van de verdeel- en de verwarmingsleidingen. Na de installatie kunnen gevonden afwijkingen nog worden verkleind door pleksgewijze isolatie van de leidingen. Ook kunnen ventilatoren leiden tot egalisatie, maar niet tot compensatie van de temperatuurverschillen.

Een groot deel van de teeltperiode, en vooral bij een klein gewas is de RV lager dan 80%. Tijdens die droge perioden is het risico op vochtproblemen en Botrytis gering. Echter als de RV hoger wordt dan 85 tot 90% dient men alerter te zijn op een goede horizontale temperatuurverdeling (minder dan 1°C temperatuurverschil).

Referenties

- Campen, J.B., en de Gelder, A. (2007): *Horizontale variatie*. Rapport / Plant Research International;131. Plant Research International. Wageningen.
- Esmeijer, M., Tuin, R., en van der Meer, M. (2000): *Het oplossen van horizontale temperatuurverschillen op siergewassenbedrijven*. Rapport / Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente;262. Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente, Vestiging Naaldwijk. Naaldwijk.
- Gieling, T.G., Bruins, M.A., Campen, J.B., Janssen, H.J.J., Kempkes, F.L.K., Raaphorst, M.G.M., en Sapounas, A. (2010): *Monitoring technische systemen in semi-gesloten kassen*. Rapport GTB;1008. Wageningen UR Glastuinbouw. Wageningen.
- van der Kolk, J.P., en de Veld, P. (2011): *Consultancy effect uitstraling en T-verdeling op Botrytis Chrysant*. DLV Plant. Wageningen.
- Kromdijk, W., en de Gelder, A. (2011): *Het Nieuwe Telen voor groente-opkweek*. Wageningen UR Glastuinbouw. Bleiswijk.
- Raaphorst, M., en Voermans, J. (2010): *Monitoring ClimecoVent-systeem in de praktijk : technisch, teeltkundig en economisch onderzoek naar een energiezuinige kas bij kwekerij Grenspaal B.V.* Wageningen UR Glastuinbouw. Bleiswijk.

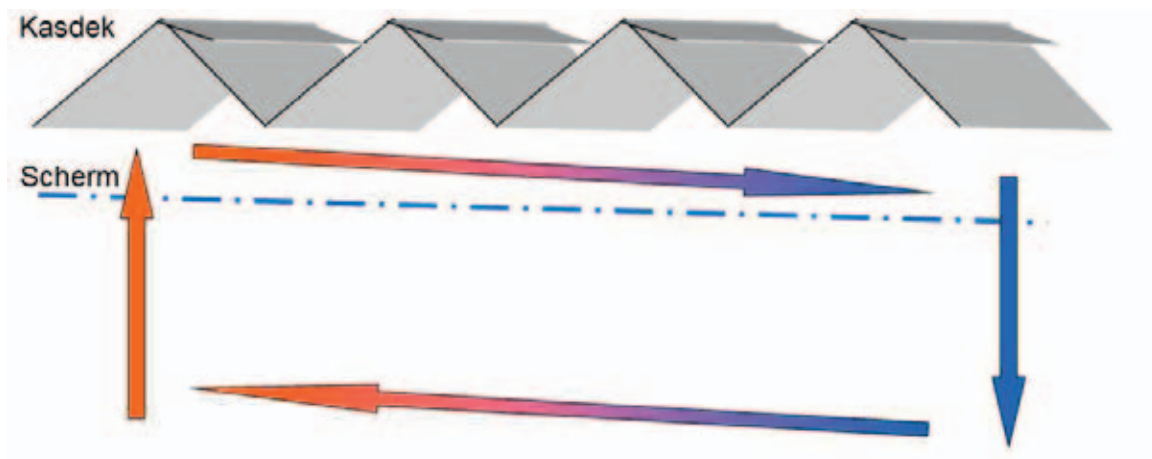
Bijlage I Theorie invloed op kasluchtbeweging

De kasluchtbewegingen zijn aan verschillende invloeden onderhevig. In deze bijlage worden het schoorsteeneffect en de wind (buiten) behandeld.

Het schoorsteeneffect wordt veroorzaakt door verwarming van de kas en komt vooral voor bij het gebruik van schermen die enigszins onder afschot staan. Onder het scherm trekt de verwarmde kaslucht naar het hoogste punt van de kas. Daar trekt het via kieren door het scherm naar boven. Het koude kasdek zorgt voor afkoeling van deze lucht, waardoor het naar het laagste punt boven het scherm trekt. Via kieren komt de lucht door het scherm naar beneden, waardoor daar een koude plek ontstaat (zie Figuur 24.).

Het schoorsteeneffect wordt versterkt door:

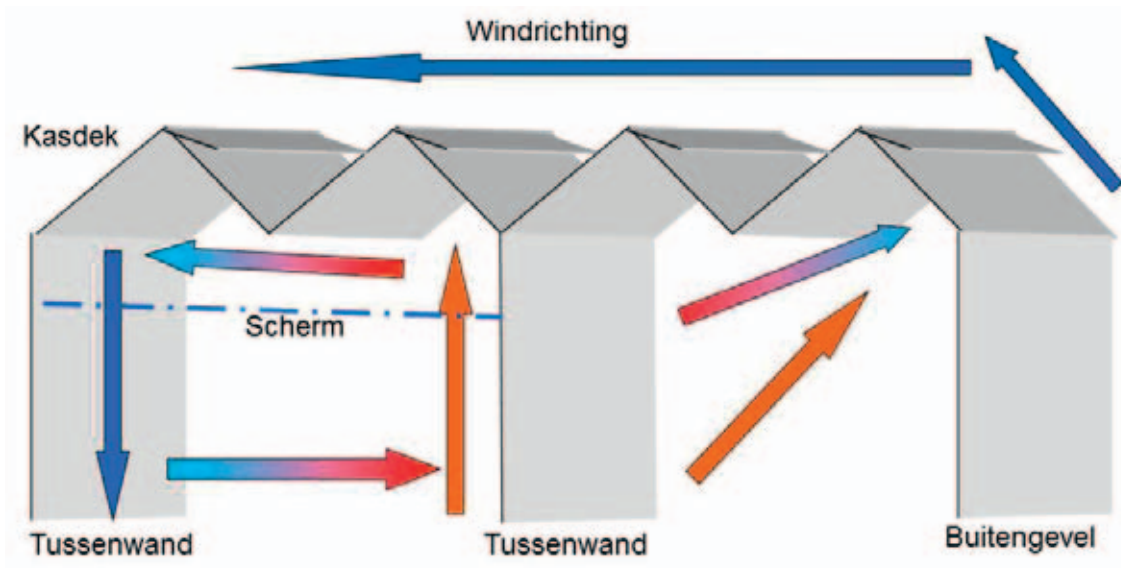
- een sterk afschot van het scherm,
- grote afdelingen in de kas
- veel ruimte tussen het scherm en het kasdek
- veel verwarming,
- een poreus of gekierd scherm.



Figuur 24. Schoorsteeneffect bij een scherm met kieren.

Het windrichtingseffect is minder goed voorspelbaar. Hier worden twee factoren behandeld, die de luchtstromen in de kas beïnvloeden en elkaar kunnen tegenwerken.

1. De wind neemt de lucht boven het scherm mee in de windrichting. Als deze tegen een tussenwand of gevel komt zal de lucht van boven het scherm naar beneden worden gedrukt. Onder het scherm zal de kaslucht een tegengestelde richting krijgen dan de wind. Deze situatie is in Figuur 25. links weergegeven.
2. De wind die tegen de gevel waait, zal naar boven worden afgebogen, waardoor daar een onderdruk ontstaat. De kaslucht zal daar naar buiten worden gezogen. Ook hier zal de kaslucht tegen de windrichting in bewegen. Dit is in Figuur 25. rechts weergegeven.



Figuur 25. Windrichtingseffect bij een kas met tussenwanden.

Bijlage II Voorbeeld ventilatoren

Op 17 december werden de circulatieventilatoren 's nachts tussen 1:00 en 4:00 uur uitgeschakeld. Het aanschakelen had daarna tot gevolg dat de temperatuur bij de meetbox steeg van 21,6 naar 22,3 °C. Het idee hierbij is, dat de warme lucht van boven in de kas mengt met de lucht beneden. Toch is dat niet te zien aan de draadloze sensoren (zie Figuur 26.): de bovenste temperaturen worden gemiddeld nauwelijks beïnvloed door de ventilatorstand, terwijl vooral de middelste ventilatoren kouder worden en de onderste warmer. Het is hiermee waarschijnlijk dat de ventilatoren de ongeventileerde sensoren beïnvloeden. Door nabijheid van verwarmingsbuizen en door directe bestraling door belichting, worden de middelste sensoren warmer dan de kaslucht. Door geforceerde convectie van de ventilatoren koelen de middelste sensoren weer iets af.

Het aanschakelen van de ventilatoren heeft tevens tot gevolg dat zelfs de (geventileerde) meetbox warmer wordt. De opwarming bij de meetbox kan zijn veroorzaakt doordat deze op een relatief koude plaats hangt en dat na het aanschakelen van de ventilatoren daar warmere lucht van elders uit de kas komt. Aangezien alle sensoren warmer worden na het aanschakelen van de ventilatoren kan de opwarming ook zijn veroorzaakt doordat de warmte-afgifte van de buizen groter wordt door een grotere convectie.

Conclusie: Ventilatoren zorgen voor een vereffening van de horizontale temperatuurverdeling in de kas. Met de ongeventileerde sensoren kan niet worden aangetoond dat ventilatoren zorgen voor een betere verticale temperatuurverdeling.

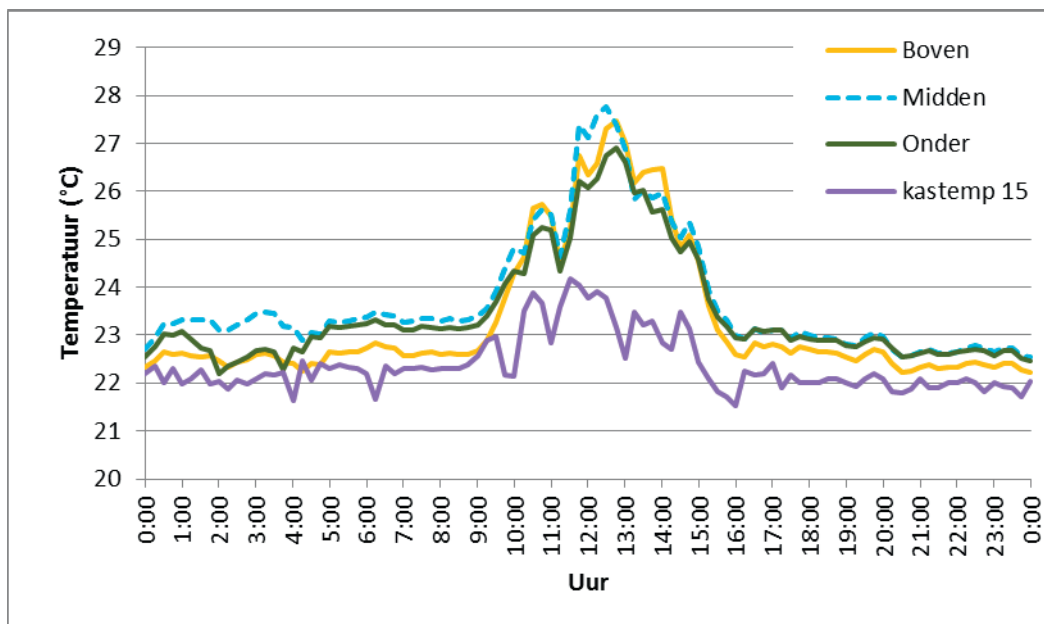
Ventilatoren uit

17-12 4:00		22,17	21,02	19,12		
	Afd12	Afd11	Afd19	Afd10	Corridor	
21,8		21,8	21,4	21,4		
		22,5	22,3	22,2		
			22,0	21,9		22,4
		22,3	22,8	21,64		22,9
		23,1	23,1			23,4
		22,4				
		23,3	23,3			
		23,8	23,8			24,2
		23,1		23,8		23,4
			Afd21			
		20,81				
Doek1	99	%	Buitenklimaat			
Doek3	99,23	%	Straling	0 W/m ²		
Belichting	15	W/m ²	Temperatuur	6,5 °C		
Buis1	35,69	°C	Windsnelheid	6,1 m/s		
Buis2	25	°C	Windrichting	1		
Vent	0		Windhoek	0 ° tov N		
Vent deur	0					

Ventilatoren aan

17-12 5:00	21,98	21,08	18,97	
	Afd12	Afd11	Afd19	Afd10
21,9		22,4	22,9	22,7
		23,0	23,4	23,2
			23,6	23,0
				23,3
	Afd 16	21,9	22,6	22,3
		22,8	23,0	23,4
		22,2		
		22,9	22,9	
		23,4	23,4	24,0
		22,8		23,8
		Afd21		
		20,8		
			Corridor	

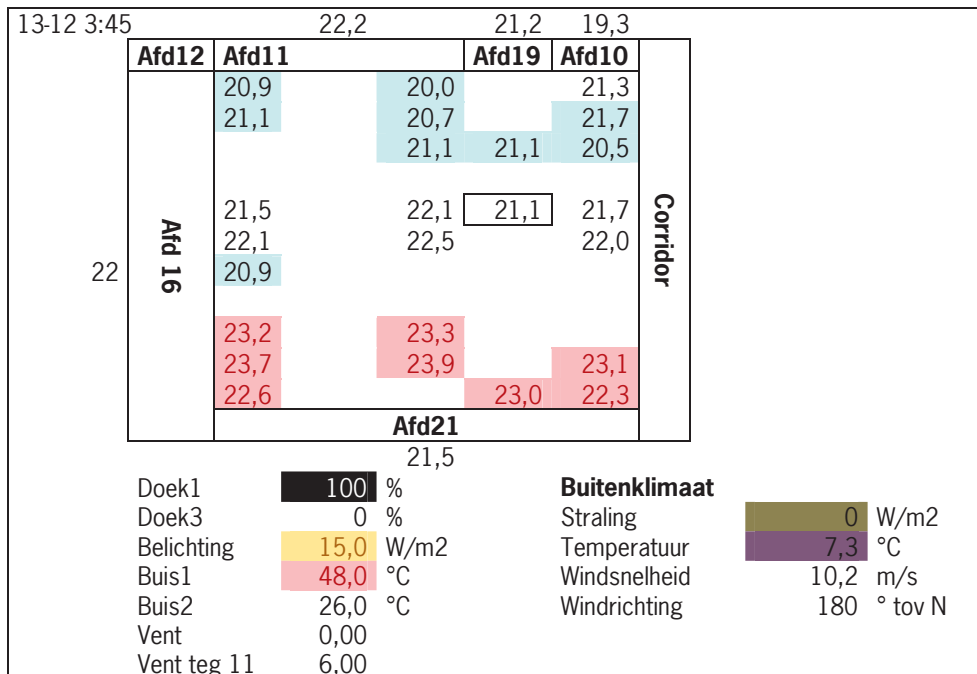
Doek1	96	%	Buitenklimaat	
Doek3	98	%	Straling	0 W/m2
Belichting	15	W/m2	Temperatuur	6,2 °C
Buis1	34,84	°C	Windsnelheid	4,1 m/s
Buis2	25	°C	Windrichting	1
Vent	3		Windhoek	0 ° tov N
Vent deur	0			



Figuur 26. Verloop van de gemiddelde temperatuur van de bovenste, middelste en onderste sensoren en de meetbox op 17 december 2012

Ook op 13 december bleek het uitschakelen van de ventilatoren ook een grote invloed te hebben gehad op de temperatuurverdeling. Na het inschakelen werden de temperatuurverschillen kleiner, al bleef het tegen afdeling 21 nog steeds warmer dan tegen afdeling 11.

Ventilatoren uit



Ventilatoren aan

