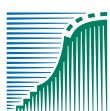
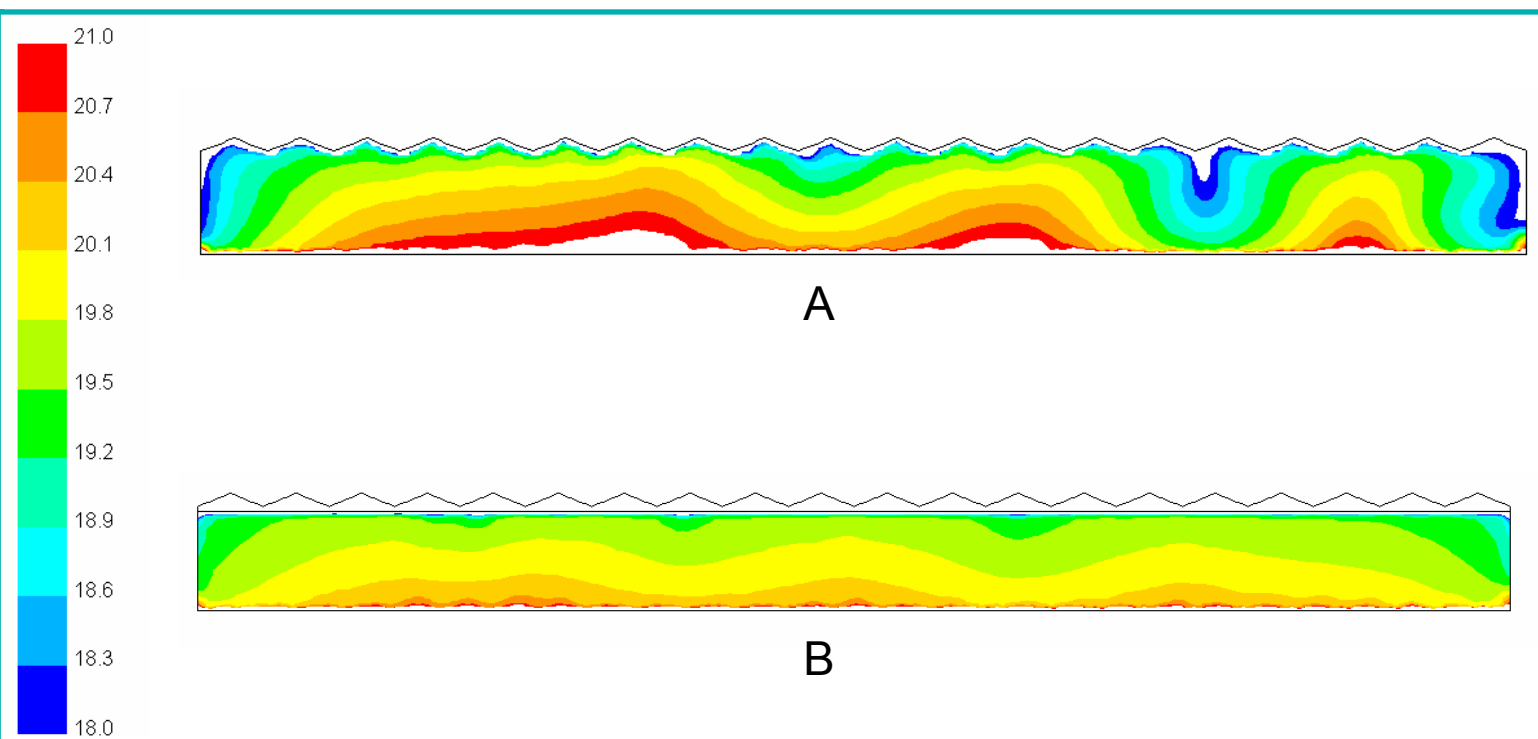




Horizontale variatie

J.B. Campen & A. de Gelder





Horizontale variatie

J.B. Campen & A. de Gelder

© 2007 Wageningen, Plant Research International B.V.

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 Plant Research International B.V.

Exemplaren van dit rapport kunnen bij de (eerste) auteur worden besteld. Bij toezending wordt een factuur toegevoegd; de kosten (incl. verzend- en administratiekosten) bedragen € 15 per exemplaar.

Plant Research International B.V.

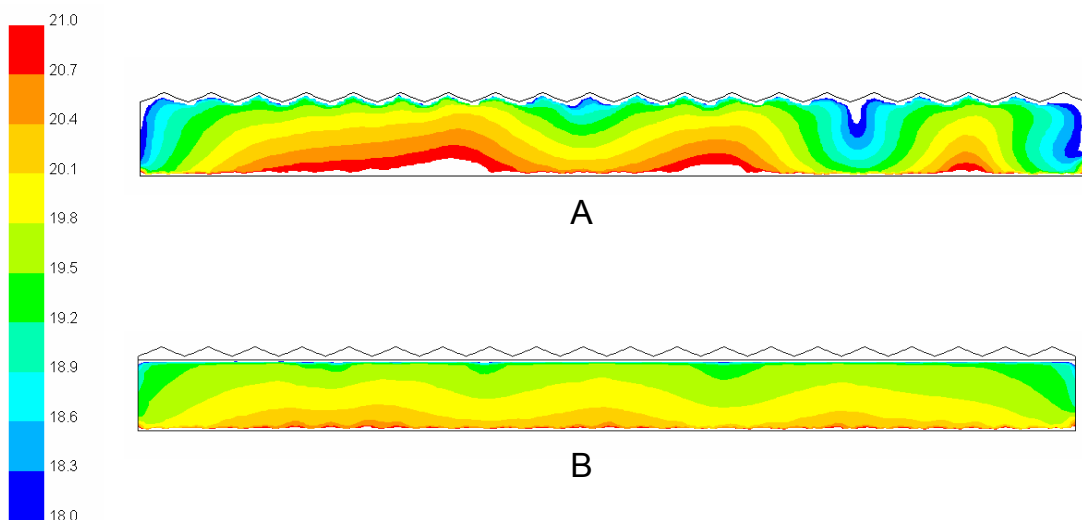
Adres : Droevendaalsesteeg 1, Wageningen
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen
Tel. : 0317 - 47 70 00
Fax : 0317 - 41 80 94
E-mail : info.pri@wur.nl
Internet : www.pri.wur.nl

Inhoudsopgave

	pagina
Tuinder's samenvatting	1
Technische oorzaken van klimaatverschillen	2
Locatie van de meetbox	2
Productie-effecten	2
Conclusie	3
1. Inleiding	4
2. Horizontale temperatuurverschillen	6
2.1 Ontstaan horizontale temperatuurverschillen	6
2.1.1 Fysische grondslag van horizontale verschillen	6
2.1.2 Oorzaken horizontale temperatuurverschillen in de praktijk	7
2.2 Vaststellen van horizontale verschillen	9
2.3 Vermindering van horizontale temperatuurverschillen	9
2.4 Effecten op het gewas van temperatuurverschillen	10
2.5 Conclusies	12
3. Benutten van horizontale variatie	14
Literatuur	15

Tuinder's samenvatting

Het klimaat in een verwarmde kas is nooit helemaal homogeen. Het is onvermijdelijk dat er lokaal koudere of warmere plekken aanwezig zijn. Dit heeft te maken met fundamentele natuurkundige principes van transportprocessen in gassen en de plaats van de verwarming in de kas. De kas wordt onderin verwarmd en verliest zijn warmte bovenin aan het kasdek. Warme lucht is lichter en zal daardoor omhoog stromen. Lucht nabij het kasdek is koud en daardoor relatief zwaarder en stroomt daardoor naar beneden. Hierdoor ontstaan luchtcirculaties in de kas. De grootte van deze luchtcirculaties wordt door vele factoren bepaald waaronder het temperatuurverschil tussen de kaslucht- en buitentemperatuur, de hoogte van de kas, vorm en dichtheid van het gewas en de kasconstructie. Hoe het temperatuurverloop in de kas er uitziet hangt af van toeval en is daarmee niet voorspelbaar. Het temperatuurprofiel op een willekeurig moment dat door dit proces ontstaat in de kas is in onderstaande figuur zichtbaar gemaakt.



Figuur 1. Temperatuurprofiel in de kas met een buitentemperatuur van 0°C zonder scherm (A) en met een scherm (B).

De temperatuurverschillen op gewasniveau voor een glazen kas zonder scherm bedragen tussen 20% á 25% van het temperatuurverschil tussen de kaslucht en de buitenlucht. Het percentage hangt af van de buitenomstandigheden, bij veel wind en een heldere hemel zal het percentage een hogere waarde hebben. Het temperatuurprofiel verandert voortdurend waardoor warme en koude plekken zich op verschillende plaatsen in de kas bevinden. Gemiddeld over de dag zullen de lokale variaties in de kas daardoor veel kleiner zijn.

De temperatuurverschillen zijn te voorkomen door de verwarming dichter te plaatsen bij de plek waar het warmteverlies plaatsvindt, in dit geval het kasdek. In woningen bijvoorbeeld wordt ook de verwarming nabij een deur of raam geplaatst. Echter in de glastuinbouw waar licht de belangrijkste factor voor de productie is, is het niet wenselijk verwarmingsbuizen bij het kasdek te plaatsen. Overigens kost het ook meer energie als de warmtebron direct bij het raam geplaatst wordt omdat het temperatuurverschil groter wordt tussen de lucht vlakbij het dek en het dek. In de tuinbouw kost bovenverwarming 5% meer energie dan verwarming van onderaf.

De horizontale temperatuurverschillen zijn wel te verkleinen door de verticale temperatuurverschillen te verkleinen. Dit houdt in dat het warmteverlies naar buiten wordt verkleind. In de figuur is ook de situatie weergegeven waarbij een energiescherm wordt gebruikt, hierdoor worden de temperatuurverschillen kleiner.

Technische oorzaken van klimaatverschillen

Temperatuurverschillen ontstaan niet alleen door een koud kasdek boven en een verwarming beneden maar ook door technische imperfecties. Oorzaken van horizontale temperatuurverschillen die nog vaak voorkomen in kassen zijn:

- padverwarming die niet regelbaar is
- onvoldoende sluiting (gevel)scherm
- natte plek in de kas door slechte drainage en overlopende teeltgoten
- onjuiste afstelling van meerdere verwarmingsgroepen, wordt soms opgevangen door inzet ventilatoren.
- ontbreken gevelscherm bij gebruik van een horizontaal bovenscherm
- slecht sluitende luchtramen
- kapotte ramen
- niet meelopende verwarmingsspiralen.

Bovenstaande oorzaken zijn technisch te verhelpen en moeten daarom ook zoveel mogelijk worden voorkomen. Bij de Groen Label certificering wordt er speciaal op deze punten gelet als het om de temperatuurverdeling in de kas gaat.

Voor verschillende factoren in de kas is niet duidelijk of deze zorgen voor horizontale temperatuurverschillen of niet. Hierbij moet bijvoorbeeld gedacht worden aan hangende goten en het afschot van de kas. In een vervolg studie zal de bijdrage van deze factoren aan temperatuurverschillen worden vastgesteld. De effectiviteit van recirculatieventilatoren zal hierbij ook nauwkeuriger worden gekwantificeerd.

Locatie van de meetbox

In de praktijk wordt het kasklimaat geregeld op een 'representatief gedacht' punt in de kas. Dat is de plek waar 'toevallig' de meetbox hangt. Dit is niet de koudste of natste maar waarschijnlijk een gemiddelde plek. Indien bij de teler bekend is dat er aanmerkelijke horizontale variatie in de kas aanwezig is, zal hij er met de setpoints voor de klimaatregeling rekening mee houden. Het gevolg van de heterogeniteit in klimaat is dat het energieverbruik stijgt, dat de gewasontwikkeling niet meer synchroon loopt, dat de lokale ziektedruk te hoog wordt, dat vruchtgroottes of de stengellengte van bloemen gaan variëren, dat de groeisnelheid iets gaat afwijken, etc. Afwijkende plekken bevinden zich niet altijd op dezelfde plek, al doen ze dit meestal wel omdat de oorzaak veelal in de technische installaties gezocht moet worden. Indien de systematische afwijkingen zijn verholpen wordt de temperatuur bij de meetbox bepaald door toeval waarbij de afwijking in de rest van de kas tot maximaal 25% kan afwijken van deze temperatuur. Meer meetpunten in de kas geven een indicatie of de temperatuur bij de meetbox hoog of laag is.

Productie-effecten

Indien de temperatuur op een bepaalde locatie in de kas afwijkt van de rest van de kas hoeft dit niet schadelijk te zijn voor het gewas en daarmee de productie. Diverse temperatuurintegratie studies laten een grote tolerantie van het gewas voor temperatuur zien. Echter deze locale afwijking moet niet systematisch zijn. Systematische afwijkingen worden veroorzaakt door technische mankementen zoals een niet goed sluitend raam. Indien deze mankementen worden verholpen zullen de temperatuurverschillen door toeval ontstaan en daardoor niet altijd op dezelfde plek optreden. Er is wel een grens met betrekking tot de minimum- en ook maximumtemperatuur die een gewas kan ondervinden zonder dat er schade optreedt. Deze grens is gewasafhankelijk. Indien de technische fouten uit het systeem zijn, is de kans dat de temperatuur buiten de tolerantie van het gewas komt zeer gering zelfs als de buitentemperatuur tot zeer lage waarden daalt. Gebruik maken van een scherm of folie maakt de verschillen in klimaat nog kleiner, uiteraard als wel gelijkwaardige (isolerende) maatregelen aan de gevel als aan het dek zijn genomen omdat bij eenzijdige maatregelen het horizontale klimaat juist zal verslechteren.

Langdurig een lage temperatuur op een specifieke locatie zorgt er ook voor dat de zwaardere delen van het gewas geheel koud worden. De kans op natslag van deze delen is groot als de verdamping van het gewas toeneemt en daarmee het absolute vochniveau in de kas.

Conclusie

Momentane temperatuurverschillen in kassen zijn niet te voorkomen maar wel minimaal en niet locatie gebonden te maken door technische mankementen aan te pakken. Het is van belang de systematische temperatuurverschillen tot een minimum te beperken omdat deze tot productieverlies kunnen leiden. Temperatuurverschillen zijn verder te verkleinen door toepassing van een scherm of een isolerend kasdek.

De volledige rapportage zal binnenkort op www.tuinbouw.nl te downloaden zijn. Het onderzoek is gefinancierd door productschap tuinbouw en het ministerie van LNV in het kader het energieprogramma.

1. Inleiding

Het klimaat in een kas is nooit helemaal homogeen. Het is onvermijdelijk dat er lokaal koudere of warmere plekken aanwezig zijn, dat de CO₂-concentratie varieert, dat de verdeling van de luchtvochtigheid niet uniform is, etc. Dit heeft te maken met fundamentele natuurkundige principes van transportprocessen in gassen. Lucht is een samengesteld gas, met de natuurkundige eigenschappen die daarbij horen.

In de praktijk wordt het kasklimaat geregeld op een 'representatief gedacht' punt in de kas. Dat is de plek waar 'toevallig' de meetbox hangt. Dit is niet de koudste of natste maar waarschijnlijk een gemiddelde plek. Indien bij de teler bekend is dat er aanmerkelijke horizontale variatie in de kas aanwezig is, zal deze er met de setpoints voor de klimaatregeling rekening mee houden. Het gevolg van de heterogeniteit in temperatuur is dat het energieverbruik stijgt, dat de gewasontwikkeling niet meer synchroon loopt, dat de lokale ziektedruk te hoog wordt, dat vruchtgroottes of de stengellengte van bloemen gaan variëren, dat de groeisnelheid iets gaat afwijken, etc. Afwijkende plekken hoeven zich niet steeds op dezelfde plek te bevinden, al doen ze dit veelal wel omdat de oorzaak meestal in de technische installaties gezocht moet worden. Als gevolg van bijvoorbeeld scherm- of ventilatieregime, of veranderende windrichting kunnen afwijkende plekken door de kas 'wandelen'.

De eerste publicaties over de effecten van horizontale temperatuurverschillen werden geschreven in de jaren 80 (Koop, 1983; Van Holsteijn & De Vogel, 1984). De grote economische gevolgen van temperatuurverschillen kwamen uit deze studies ook duidelijk naar voren. Nijs (1997) constateerde dat een graad hoger stoken om koude plekken te compenseren 10% meer energie kost.

Bij PPO is uitgebreid onderzoek gedaan naar horizontale variatie in kassen. Hieruit is gebleken dat heterogeniteit van het kasklimaat vaak aanwezig is, maar dat dit ook in veel gevallen door de telers als een gegeven wordt ervaren waar niets aan gedaan kan worden. Wat niet terecht hoeft te zijn. (Esmeijer, 1998; Esmeijer & Nijs, 2000; Esmeijer & Tuin, 2001; Esmeijer *et al.*, 2000)

Een gelijkmatig horizontale temperatuur is om diverse redenen van belang: (Bloem, 2000)

- Om de gewasontwikkeling zo gelijk mogelijk te laten verlopen.
- Om te koude plekken te voorkomen, waar condensatie op het gewas op kan treden.
- Om te warme plekken te voorkomen.

Een voorlichtend artikel over plantsensoren (van Gastel, 2003) besluit met de volgende conclusie: 'De belangrijkste overweging blijft echter de schaal waarop telers tot nu toe het klimaat en de watergift kunnen regelen. Temperatuur, luchtvochtigheid en watergift kunnen nog steeds niet per plant ingesteld worden. Voor een betrouwbare regeling mogen horizontale temperatuur verschillen binnen een kas maximaal 4 graden bedragen. Zover zijn nog niet veel bedrijven.'

Een voorlichtend artikel van twee onderzoekers (Kempkes & Van de Braak, 2003) besluit met de tekst: 'Om het risico van productieverlies te vermijden, worden in de praktijk meestal ruime veiligheidsmarges aangehouden bij de klimaatinstellingen. Om deze te kunnen verkleinen moet er een homogeen klimaat in de kas zijn. Horizontale klimaatverschillen verdienen dan ook voortdurende aandacht.'

Zeker nu door de gestegen energiekosten met de klimaat- en vocht-regelingen meer op het scherpst van de snede gestuurd wordt, zullen koude plekken sneller tot condensatie op gewasdelen leiden, met alle gevolgen van dien. In de voorwaarden voor de erkenning als Groen label kas zijn voor de horizontale variatie specifieke eisen opgenomen (Milieukeur, 2006). De horizontale verschillen in temperatuur van de kaslucht zijn kleiner dan 1.5 °C gemeten op een hoogte van 1.5 m, in één stookafdeling bij een vaste buistemperatuur van 60 °C (of bij een lager maximum) in een situatie met het binnenscherm geopend en met binnenscherm dicht. (Certificatieschema Groen Label Kas, basiseis 1.7.7 van GLK.7)

Deze zijn er op gericht om in moderne kassen de onnodige oorzaken van horizontale variatie te voorkomen.

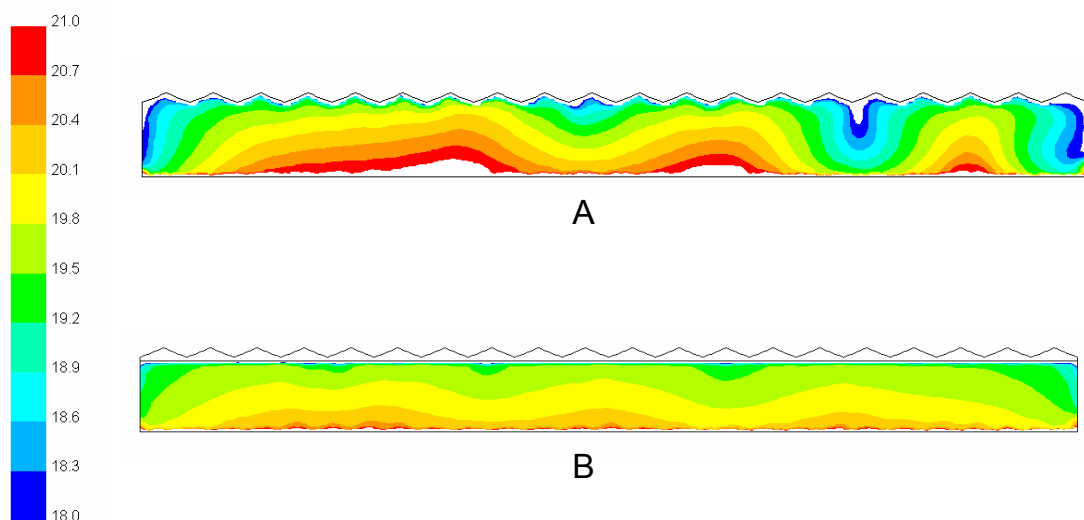
Juist het aanhouden van veiligheidsmarges is een reden dat niet de maximale energiebesparing wordt behaald met de huidige installaties. Daarom wordt steeds gepleit voor het terugdringen van deze variatie. Omgekeerd kan de vraag worden gesteld of horizontale variatie nuttig kan worden gebruikt. In dit rapport wordt eerst de kennis over horizontale variatie samengevat. Vervolgens wordt stil gestaan bij de vraag of deze is te benutten.

2. Horizontale temperatuurverschillen

2.1 Ontstaan horizontale temperatuurverschillen

2.1.1 Fysische grondslag van horizontale verschillen

Horizontale temperatuur verschillen ontstaan door verticale temperatuurverschillen. Dit is als volgt te verklaren. De kas wordt onderin verwarmd en verliest zijn warmte bovenin aan het kasdek. De warme lucht onderin de kas stroomt naar boven waar het zijn warmte afstaat aan het dek en stroomt afgekoeld vervolgens weer naar beneden. Dit gebeurt niet op dezelfde plaats. Aangezien de verwarming van een tuinbouwkas meestal van onderuit gebeurt, is het niet te voorkomen dat er temperatuurverschillen optreden in de kas. Bij de bouw van huizen of fabrieken wordt de verwarming daar geplaatst waar het warmteverlies optreedt. Dit voorkomt grote temperatuurgradiënten in de ruimte. In een tuinbouwkas zou bij deze aanpak de verwarming bij het dek geplaatst moeten worden, dit is echter niet wenselijk vanwege het lichtverlies dat hierbij optreedt. Het kost meer energie als de warmtebron direct bij het raam geplaatst wordt omdat het temperatuurverschil groter wordt tussen de lucht vlakbij het dek en het dek. In de tuinbouw kost bovenverwarming 5% meer energie dan verwarming van onderaf. De temperatuurverdeling in een kas tijdens verwarmen is in onderstaande figuur te zien.



Figuur 2. Temperatuurprofiel in de kas met een buitentemperatuur van 0°C zonder scherm (A) en met een scherm (B).

In de kas ontstaan warme en koude plekken waar tussen de lucht zich zal verplaatsen. De hoeveelheid warme en koude plekken in de kas en de locatie van deze plekken is van verschillende factoren afhankelijk:

- De hoogte van de kas.
- De hoogte van het gewas.
- De weerstand van het gewas op de lucht.
- De ruimte onder het gewas door bijvoorbeeld het gebruik van hangende goten.
- De homogeniteit van het verwarmingsstelsel.
- Lekkage in het dek.
- De temperatuurverschillen tussen de kaslucht, de buitenlucht en het verwarmingsstelsel.

De horizontale temperatuurverschillen nemen toe als het verticale temperatuurverschil toeneemt zoals in bovenstaande figuur te zien is. De horizontale temperatuurverschillen kunnen worden verkleind door de verticale verschillen te verkleinen bijvoorbeeld door gebruik te maken van een scherm zoals in bovenstaande figuur (B) te zien is.

Indien er geen variaties zijn in het kasdek, het verwarmingssysteem etc. zal de temperatuurverdeling in de kas door toeval ontstaan. De koude en warme plekken in de kas zullen zich steeds op verschillende plekken in de kas bevinden welke niet te voorspellen zijn. Dit wordt ook wel de chaostheorie genoemd.

Voor een glazen kas zonder scherm geldt dat de horizontale temperatuurverschillen op gewas niveau 20 tot 25% van de verschiltemperatuur tussen de buitenlucht en de kaslucht is. Deze verschillen zijn niet te voorkomen. Het percentage hangt af van de buitenomstandigheden, indien er veel wind staat of het is onbewolkt dan zal het percentage hoger liggen. Het verhogen van de gemiddelde temperatuur in de kas, wat vaak wordt gedaan als er verschillen worden waargenomen, zorgt ook voor een vergroting van de horizontale verschillen.

2.1.2 Oorzaken horizontale temperatuurverschillen in de praktijk

In 1986 werd er al een scriptie geschreven over horizontale temperatuurverschillen (Vijverberg, 1986). De oorzaken die in dit rapport worden beschreven zijn momenteel nog steeds actueel.

Uit een recent artikel over nieuwe kassen (Vrieze, 2003) blijkt dat er nog steeds veel horizontale temperatuurverschillen in de kas voorkomen. De oorzaken zijn vergelijkbaar met die in het verleden genoemd zijn:

- padverwarming die niet regelbaar is;
- slechte afstemming gevelnet en verwarming;
- onvoldoende sluiting gevelscherm;
- natte plek in de kas door slechte drainage en overlopende teeltgoten;
- onjuiste afstelling van meerdere verwarmingsgroepen, wordt soms opgevangen door inzet ventilator;
- ontbreken gevelscherm;
- slecht sluitende schermdoeken;
- slecht sluitende luchtramen;
- kapotte ramen;
- niet mee-loopende verwarmingsspiralen (Knies, 2000);
- locatie van de meetbox.

Bovenstaande punten komen naar voren als er een Groen Label certificering wordt aangevraagd. Voor de certificering wordt de temperatuurverdeling in de kas gemeten tijdens verwarmen. Fouten in het systeem zoals hierboven gegeven komen tijdens deze meting naar voren.

Naast deze technische problemen, die oplosbaar zijn, is aandacht besteed aan een aantal andere factoren:

Wind

Bakker en Holsteijn (Bakker & Holsteijn, 1989) tonen voorbeelden van de invloed van windrichting en van gevelschermen op de temperatuurgradiënt in kassen. Maar zij stellen wel dat 'no significant effect of wind direction on temperature distribution was found'. Met verwijzing naar het jaarverslag van PTOG over 1986 wordt als belangrijkste oorzaak van ongelijke temperatuurverdeling de lekkage door het dek en door slecht sluitende luchtramen genoemd. Dat windrichting heeft nauwelijks invloed heeft op temperatuurverschillen wordt in een later onderzoek bevestigd (Esmeijer & Tuin, 2001).

De temperatuur bij de gevel wordt wel beïnvloed door wind. De gevel waar de wind tegen blaast verliest meer warmte dan de overige gevels. Hierdoor kunnen temperatuurverschillen in de kas nabij de gevel ontstaan. Dit kan worden voorkomen door het gevelnet regelbaar te maken of een regelbaar gevelscherm te gebruiken (Campen, 2004).

Geometrie van de kas en de inrichting

De afmetingen van de kas hebben een grote invloed op het klimaat in de kas. Hoe groter de kas hoe kleiner de invloed van de gevels is. Het afschot van het kasdek ten behoeve van de regenwaterafvoer kan er ook voor zorgen dat de luchtstroming in de kas een bepaalde richting heeft. Dit werd waargenomen in CFD berekeningen (Campen, 2006b) maar ook in de praktijk (Anonymous, 1987).

Verwarming

Ten gevolge van de verwarming in de kas ontstaat er een temperatuurverschil. Temperatuurverschillen van meer dan vijf graden Celsius komen voor binnen een afdeling (Esmeijer *et al.*, 2000). Een belangrijke oorzaak is de verwarming welke een ongelijkmatige warmteafgifte heeft. Geen gebruik van isolatie bij een menggroep, het niet rekening houden met de aanwezigheid van een schuur of het niet goed sluiten van een raam worden als oorzaken gegeven. Deze verschillen zijn door de juiste aanpassing van de installatie te verhelpen.

De aanwezigheid van temperatuurverschillen doet veel tuinders besluiten de gemiddelde temperatuur in de kas te verhogen. De motivatie hiervoor is dat de minimum temperatuur in de kas hierdoor ook omhoog gaat en daarmee gewasschade kan worden voorkomen. Door meer verwarming toe te passen nemen ook de temperatuurverschillen in de kas toe aangezien het temperatuurverschil tussen het kasdek en de verwarming toeneemt wat de temperatuurverschillen in de kas juist veroorzaakt.

Schermen

Als een energiescherm wordt gesloten, neemt de warmteoverdracht naar het dek af. Indien geen gevelscherm wordt gebruikt zal langs de gevels de temperatuur lager zijn dan in de rest van de kas. De temperatuuurdaling bij de gevels is te voorkomen door deze te schermen of door extra verwarming langs die gevels te plaatsen, waarbij verwarmingsspiralen worden geopend indien het horizontale scherm sluit. Plaatsen van een vaste folie in de periode dat het energiescherm wordt gebruikt kan ook koude plekken voorkomen echter hierdoor kan de temperatuur bij een open scherm langs de gevel te hoog worden.

Het belang van een regelbaar gevelnet bij schermen is door (Van Holsteijn, 1987b) vastgesteld. Van Holsteijn (1987a) concludeert dat met een goed energiescherm inclusief gevelscherm, de horizontale temperatuurverschillen worden verkleind.

Schermgebruik kan ervoor zorgen dat er temperatuurverschillen rond de gevels ontstaan (Ouweland, 2001). Dit werd ook duidelijk in een studie naar een regelbare gevelverwarming (Campen, 2004). Ook het type scherm kan invloed hebben. Zo is bekend dat het gebruik van energieschermen met bandjes eruit op een groot aantal bedrijven hebben geresulteerd in een ongewenste toename van horizontale variatie (Campen, 2006a).

Bij het gebruik van schermen speelt het afschot van de kas ook vaak een rol. Het scherm verdeelt de kas in twee horizontale compartimenten. Lucht onder het scherm is warm en zal naar het hoogst gelegen punt stromen en lucht boven het scherm zal naar het laagste punt in dit compartiment stromen. Om het moment dat er een opening in het scherm wordt gemaakt door bijvoorbeeld te gaan kieren zal de lucht op het laagste punt door het scherm naar beneden zakken en op het hoogste punt omhoog gaan. De luchtstroming die daardoor ontstaat zorgt voor een horizontaal temperatuurverschil. Het afschot van de kas zorgt ervoor dat de laagste temperatuur vaak wordt gemeten bij de gevels waar de lucht van boven het scherm naar onderen komt. En de hoogste temperatuur bij het pad waar de lucht door het scherm omhoog gaat.

Belichting

Belichten verkleint de horizontale verschillen mits het ondernet wordt gebruikt om de warmteverliezen naar de grond te compenseren. De warmtebron bevindt zich nu dichterbij de plek waar de warmteverliezen optreden waardoor een gelijkmatiger klimaat onder de belichting kan ontstaan. Echter door het gebruik van schermen ten behoeve van de verduistering wordt het effect weer grotendeels teniet gedaan (Arkesteyn, 2006). De warmteproductie van het ondernet en de lampen is meestal groter dan de warmteverliezen door het scherm waardoor er kieren moet worden getrokken wat lokale koude plekken veroorzaakt.

Het onderzoek is niet altijd eenduidig over bovenstaande factoren en ook tuinder zijn onderling niet eensgezind over de oorzaken van temperatuurverschillen. De kouval bijvoorbeeld die bij schermen vaak als een groot probleem wordt ervaren wordt niet door alle tuinders als een probleem gezien of treedt bij sommige helemaal niet op. Deze vaak conflicterende ideeën worden voor een deel veroorzaakt door het feit dat ze zijn gebaseerd op gevoel en niet op een gedegen meting. In een vervolg project moet de temperatuurverdeling in een kas nauwkeurig in beeld gebracht kan worden door gedegen metingen. Deze metingen zijn in dit project nog niet uitgevoerd. Een gedegen meting kan het effect van bepaalde oorzaken op temperatuurverschillen kwantificeren en ook het effect van oplossingen zoals in paragraaf 2.3 beschreven, toetsen.

2.2 Vaststellen van horizontale verschillen

Holsteijn (Van Holsteijn & Van de Meijs, 1987) vergeleek verschillende methodes om horizontale temperatuurverschillen in beeld te brengen zoals thermometers, waterbuisjes, thermokoppels en thermografie. De meting van de temperatuur met de waterbuisjes bleek het meest eenvoudig en nivelleerde temperatuurschommeling op een kleine tijdschaal.

Van Schaik (Schaik & Schevers, 2003) heeft voor het akoestisch meten van temperatuurverdelingen veel werk gedaan bij Aerts in de komkommer. Hij ziet duidelijk patronen in het verloop van de temperatuur en concludeert: het sterk golvende temperatuurbeeld in de kas vraagt om nadere modelvorming om het energiebesparingspotentieel in combinatie met temperatuurintegratie voldoende te kunnen onderbouwen. Onduidelijk is of hij momentane golven in temperatuur bedoeld of de combinatie van plaatselijke verschillen met variatie in de loop van 24 uur. Duidelijk is wel dat hij grote temperatuur variaties meet.

Een recente studie van Van Os en andere (Van Os *et al.*, 2006) naar de behoefte aan een online draadloos meet-systeem bestaande uit minisensoren waardoor klimaatverschillen gemakkelijker zijn op te sporen liet zien dat tuinders hier inderdaad behoefte aan hebben.

De mate waarin oorzaken genoemd in voorgaande paragraaf bijdragen aan de temperatuurverschillen in de kas is niet duidelijk. Tuinders zijn ook niet eenduidig over de oorzaken en ook niet over de oplossingen die in de volgende paragraaf worden gegeven. Om meer inzicht te krijgen in de oorzaken en de oplossingen van temperatuurverschillen zal in een vervolproject met een draadloos meetsysteem worden gemeten.

2.3 Vermindering van horizontale temperatuurverschillen

Een deel van de oorzaken van horizontale temperatuurverschillen kunnen door aanpassingen aan de constructie en inrichting van kas (verwarming, schermen, ramen etc.) worden weggenomen. Opsporing van deze oorzaken en de mogelijke oplossingen zijn uitvoerig beschreven in het werk van Esmeijer en Nijs (2000). Vermindering van het warmteverlies naar de omgeving verkleint de temperatuurverschillen zoals in de eerste paragraaf van dit hoofdstuk is getoond. Hiertoe kan men de isolatiewaarde van het kasdek vergroten of een scherm installeren.

Plaatsing van de verwarming nabij het kasdek zorgt ook voor minder temperatuurverschillen in de kas maar is niet wenselijk door de lichtonderschepping en een toename van het energieverbruik.

Tenslotte kan een tuinder nog ventilatoren inzetten om de temperatuurverschillen te verkleinen. Dat deze oplossing als laatste moet worden ingezet wordt door meerdere publicaties onderschreven (Visser, 2004; Visser, 2006).

De eerste literatuur over het gebruik van ventilatoren komt ook uit de jaren 80 (Goeijenbier, 1984). De werking van ventilatoren wordt beperkt bevonden (Van Holsteijn & Van der Meijs, 1987). Ventilatoren hebben een hoog energieverbruik en het effect is niet altijd even duidelijk, het blijft daarom een noodoplossing (Kamminga, 2000). In een simulatiestudie (Telle *et al.*, 1997) wordt aandacht besteed aan het energieverbruik door het gebruik van ventilatoren. Er wordt een gastoename van maximaal 2% berekend en een elektriciteittoename tot 50%.

Modelmatig is het effect van ventilatoren op het kasklimaat berekend (Visser, 2004). Voor de plaatsing van ventilatoren bij Duijvesteijn zijn ook berekeningen gedaan door Flowmotion (Stijger, 2005). De plaatsing van de ventilatoren onderling bleek van invloed.

De belangrijkste redenen voor het gebruik van recirculatieventilatoren (Van Leipsig, 2006):

- Door de luchtbeweging en egalisatie van de temperatuur in de kas ontstaat er een betere regeling van de klimaatcomputer. Veel meetboxen meten namelijk vanuit het midden. Als er geen ventilatoren aanwezig zouden zijn, ontstaat er dus een temperatuurverschil dat zelfs kan uitmonden in groeiverschillen. Ventilatoren kunnen dit ondervangen. Ze kunnen door luchtverplaatsing de temperatuur egaliseren.
- Het klimaat van de kas wordt beter en egalier. Dat beperkt productieverlies en leidt in veel gevallen zelfs tot productiestijging. Die is uiteraard afhankelijk van de teelt en de gebruikte ventilatiestrategie.
- De luchtbeweging langs de bladeren van een gewas kan bij verschillende teelten ziektes voorkomen doordat het vocht dat door de plant wordt geproduceerd effectiever wordt afgevoerd.

Ventilatoren zorgen voor kleinere temperatuurverschillen en een hogere luchtsnelheid langs het dek. Beide factoren hebben een negatieve invloed op het energieverbruik aangezien de warmteoverdracht hiermee wordt vergroot. Dit verlies en het gebruik van elektriciteit zijn uit het oogpunt van energiebesparing negatief.

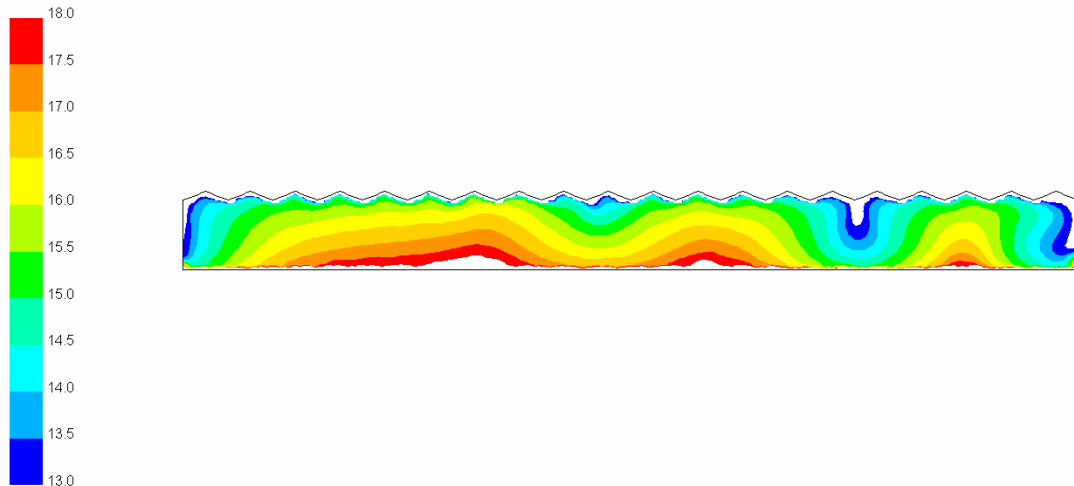
Recent zijn in de Aircokas® proeven gedaan met verticale ventilatoren die lucht van boven in de kas naar onderen brengen. Met deze ventilatoren wordt enerzijds voorkomen dat er een 'dood klimaat' ontstaat in de kas waarvoor tuinders nu vaak een minimumbuis of minimum raamstand inzetten. En anderzijds om warme lucht die boven in de kas aanwezig is bij zonsopkomst, naar beneden te brengen zodat de kas ook onderin wordt verwarmd. Deze ventilatoren zorgen er niet voor dat de horizontale variatie wordt verkleind.

Door het aantal verwarmingsgroepen te vergroten kunnen verschillen ten gevolge van bijvoorbeeld wind worden verkleind. Voor het op meer plaatsen kunnen regelen van de kasluchttemperatuur is wel een extra investering nodig. De economische meerwaarde van regelgroepen kleiner dan 1 ha zoals momenteel gebruikelijk zal gering zijn. Het aantal meetboxen in de kas wordt ook bepaald door het aantal regelgroepen (schermen, ramen en verwarming). Door meer meetboxen te plaatsen is het wel mogelijk de verschillen in een regelgroep te zien en bijvoorbeeld op de meetbox met de laagste temperatuur te gaan regelen. Op welke onderlinge afstand de meetboxen moeten hangen om het temperatuurverschil te meten hangt van teveel factoren af om daar een eenduidig antwoord op te geven. In figuur 2 is te zien dat de warme en koude plekken niet altijd op dezelfde afstand van elkaar liggen en deze afstand wordt ook nog bepaald door o.a. de kashoogte en de temperatuurverschillen tussen het kasdek en de verwarming.

2.4 Effecten op het gewas van temperatuurverschillen

Indien alle horizontale temperatuurverschillen worden geminimaliseerd door technische aanpassingen blijven er verschillen in het klimaat die momentaan optreden. Deze verschillen bevinden zich willekeurig in de kas. Uiteindelijk gaat het om de gewas temperatuur maar deze is uiteraard sterk gerelateerd aan de kasluchttemperatuur. De gewas temperatuur sterk afwijken van de kasluchttemperatuur zoals gemeten door Baas en Warmenhoven (Baas & Warmenhoven, 2003) op basis van metingen o.a. met infraroodsensoren en thermografie. Zij vinden vrij grootte variatie is planttemperatuur, maar melden daarbij ook dat deze in de praktijk wel kunnen oplopen tot 7 °C. Deze grote afwijkingen kunnen alleen optreden door zonnestraling of belichting.

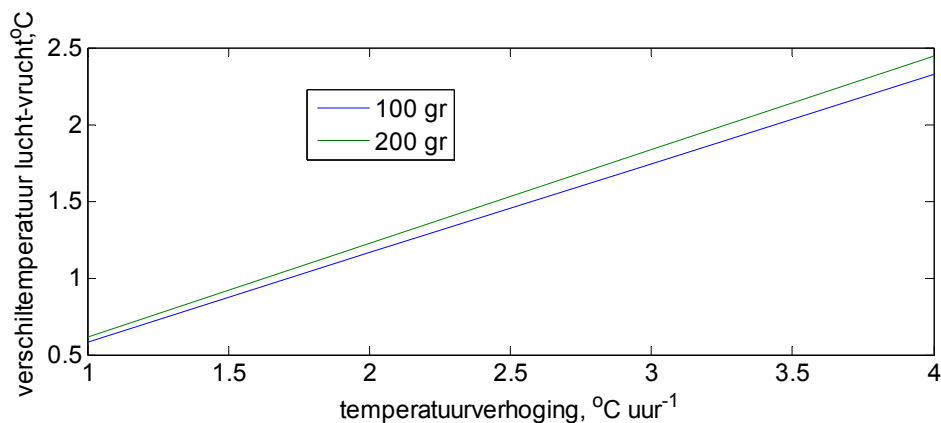
De gevolgen van temperatuurschommelingen op het gewas zijn veelvuldig onderzocht bij de toepassing van temperatuur integratie (Buwalda, 1996). In vervolgstudies naar temperatuurintegratie wordt de tolerantie van gewassen voor lagere temperaturen empirisch bepaald omdat het theoretisch moeilijk te bepalen is (Buwalda *et al.*, 1999). De range van 13 tot 30 °C lijkt fysiologisch veilig voor tomaat, terwijl 7 tot 37 °C voor afwijkingen van korte duur toelaatbaar (of in ieder geval niet rampzalig) lijkt te zijn (Berg *et al.*, 2001). Van tolerantiegrenzen voor temperatuur van allerhande afzonderlijke gewassen is heden ten dage ook nog weinig bekend (Dieleman *et al.*, 2003). Uit een studie naar het effect van een tijdelijke temperatuurverlaging op groei, ontwikkeling en productie bij tomaat (Dieleman *et al.*, 2005) kwam naar voren dat een tijdelijke verlaging van de temperatuur geen effect had op het gewas bij vrucht dragende planten. Langduriger de temperatuur laag houden heeft wel effect op de productie (Kaarsemaker & Rijssel, 2003). De bandbreedte voor temperatuurintegratie bij sla en Freesia kan tot 8°C worden ingesteld met een minimumtemperatuur van 4°C (Buwalda *et al.*, 2006).



Figuur 3. Temperatuurverdeling in de kas in het extreme geval dat het -20°C buiten is en de gemiddelde kasluchttemperatuur 16°C is.

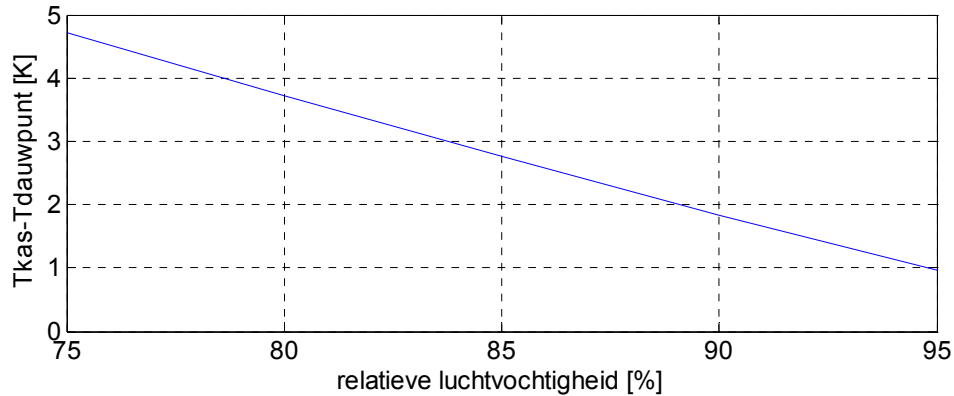
Bovenstaande berekening laat de temperatuurverdeling zien in een extreme situatie dat de buitentemperatuur daalt tot -20°C . De temperatuurverschillen in de kas ter hoogte van het gewas zijn in dit geval ongeveer 5 graden. Geconcludeerd mag worden dat deze temperatuurverschillen waarschijnlijk geen schade geven aan het gewas. Hierbij wordt er vanuit gegaan dat er geen temperatuurverschillen ten gevolge van het systeem aanwezig zijn. De koude en warme plekken zullen zich willekeurig door de kas bewegen waardoor het gewas op bepaalde locaties niet langdurig aan een extreem wordt blootgesteld. De etmaaltemperatuur zal voor de verschillende plekken daarom gemiddelde gelijk uitkomen.

Met name voor de zwaardere delen van het gewas is het van belang dat de temperatuur variaties in de tijd gering blijven in verband met de kans op natslag (Houter *et al.*, 2005). Indien de temperatuur op een bepaalde locatie achterblijft ten opzichte van de rest van de kas waarna deze variatie weer wordt opgeheven bestaat de kans op natslag op deze locatie. Het absolute vochniveau in de lucht bepaald bij welke temperatuur er condensatie optreedt. Een verhoging van de kasluchttemperatuur leidt op zichzelf niet tot meer condensatie echter door de temperatuurverhoging neemt de verdamping toe en daarmee de absolute luchtvochtigheid.



Figuur 4. Verschiltemperatuur tussen de kaslucht en de vrucht als functie van de temperatuurverhoging van de kaslucht in $^{\circ}\text{C}/\text{uur}$.

Bovenstaande figuur laat de verschiltemperatuur tussen de lucht en het oppervlak van de vrucht als functie van de temperatuurverhoging van de kaslucht zien. Bij een temperatuurstijging van 4 K per uur blijft de temperatuur van het oppervlak van de vrucht bijna 2.5 K achter. Dit temperatuurverschil kan ervoor zorgen dat er condensatie optreedt.



Figuur 5. *Vershiltemperatuur tussen de kaslucht en het dauwpunt als functie van de relatieve luchtvochtigheid.*

Bovenstaande figuur laat de verschiltemperatuur tussen de kaslucht en het dauwpunt als functie van de relatieve luchtvochtigheid bij een kasluchttemperatuur van 20°C zien. Bij een relatieve luchtvochtigheid van 85% treedt er condensatie op als de temperatuur van het oppervlak meer dan 2.6 K onder de kasluchttemperatuur komt. Dit is het geval als de kasluchttemperatuur sneller toeneemt als 4 K per uur bij een gelijk blijvende relatieve luchtvochtigheid.

2.5 Conclusies

Temperatuurverschillen in de kas zijn niet te voorkomen. Temperatuurverschillen door technische imperfecties moeten worden voorkomen omdat deze zorgen voor een voorspelbaar temperatuurpatroon in de kas. Bepaalde plekken in de kas wordt het regelmatig te koud of te warm. Zonder deze imperfecties wordt de temperatuurverdeling willekeurig en zal een toevallige temperatuurafwijking in de tijd worden gecompenseerd. De onvermijdelijke temperatuurvariatie bedraagt 20 tot 25% van de verschiltemperatuur tussen de kaslucht en de buitenlucht. Door warmteverliezen te beperken met bijvoorbeeld een energiescherm, kunnen de onvermijdelijke verschillen worden verkleind. De voornaamste oorzaken van temperatuurverschillen zijn:

- Temperatuurverschil tussen verwarming en buitenlucht
- Geen goede afdichting
- Kieren of gaten in schermen
- Verkeerde installatie verwarming

Temperatuurverschillen kunnen worden verkleind door:

- Isoleren kasdek en/of gebruik van schermen
- Afdichten van de kas
- Goede homogene distributie van de warmte
- Gevelschemer bij het gebruik van een horizontaal bovenscherm
- Aparte verwarmingsgroepen
- Goed isoleren verdeelpunten
- Goed sluiten van scherm
- Gebruik ventilatoren

Het verdient aanbeveling deze technische aanpassingen te doen omdat deze ervoor zorgen dat het patroon van hoge en lage temperatuur vaak hetzelfde is. Op bepaalde locaties in de kas kan hierdoor productieschade onder- vinden. Indien deze technische problemen zijn geminimaliseerd dan zal het temperatuurprofiel in de kas door toeval worden bepaald en daardoor zullen de koude en warme plekken steeds op verschillende plekken zijn. Bij een Groen Label certificering komen bovenstaande oorzaken naar voren en kunnen worden opgelost.

Onderzoeksvragen die niet met de huidige literatuur kunnen worden beantwoord:

- Invloed raamtype en ventilatie op horizontale variatie.
- Invloed van kashoogte (In 2006 is er een project gestart waar de invloed van kashoogte op het klimaat wordt onderzocht).
- Effect van hangende goten In 2000 toen de hangende goten werden ontwikkeld gaf dit ook meer aanleiding tot temperatuurverschillen in de kas (Groenten en Fruit, 2000).
- Invloed van de afschot van de kas. Tuinders voeren het afschot van de kas vaak op als een oorzaak van hori- zontale temperatuurverschillen maar onderzoek is hier nog niet naar gedaan.
- Hoe goed werken ventilatoren? De literatuur is hier niet eenduidige over en ook tuinder hebben verschillende meningen over het effect van ventilatoren.
- Kunnen temperatuurverschillen ervoor zorgen dat er jaarrond (meer) geproduceerd kan worden? Een spreiding van de productie door klimaatsverschillen wordt beoogt bij het project Paprigrow.
- Tijdens belichten schermen om lichthinder te voorkomen levert temperatuurverschillen op (Arkesteijn, 2006). In de airco kas wordt aan dit punt aandacht besteed.
- Hoe groot zijn de absolute vochtverschillen?

In het algemeen zijn er nog een hoop vragen over temperatuurverdelingen in kassen en de oorzaken hiervan. Veel veronderstellingen zijn gebaseerd op gevoel. De effecten van compartiment grootte, schermkieren, afschot van de kas op temperatuurverdeling dienen beter te worden onderbouwd en vertaald in een advies voor de teler. Gedegen metingen zijn nodig om dit advies te kunnen geven. Zoals eerder gemeld moet in een vervolgstudie op basis van metingen op een groot aantal plaatsen (minimaal 50) meer duidelijkheid worden verkregen in deze problematiek en kunnen bovenstaande vragen worden beantwoord.

3. Benutten van horizontale variatie

Deze stelling druist eigenlijk in tegen alle voorlichtingsboodschappen en onderzoeken tot nu toe: 'voorkom variatie'. Voor benutting is het nodig de variatie te beheersen. Maar de vraag: 'Is de variatie te beheersen?' is eigenlijk hetzelfde als is de variatie op te heffen. Als de variatie is op te heffen is de variatie ook gericht te sturen.

Tuinders van bepaalde gewassen bijvoorbeeld chrysant, sla en radijs die het product in één keer volledig oogsten kunnen absoluut geen horizontale variatie gebruiken. Zij willen immers al hun producten in één keer voor de voet op oogsten met een minimum aan verschillen. Gewassen als tomaat en roos waarvan het oogstproces over een langere periode loopt, kunnen de horizontale variatie in hun kas ten gevolge van bijvoorbeeld het verwarmingsysteem zelfs benutten. De afrijping van het product vindt niet op hetzelfde moment plaats door de temperatuur verschillen. Soms wordt dit tegengegaan door de stromingsrichting in de groeibuis om te keren. Deze spreiding van de productie kan positief zijn voor de levering die meer gespreid kan plaatsvinden en gunstig is voor de inzet van arbeid. Sturen van horizontale variatie heeft echter ook een mate van onzekerheid. De omstandigheden van een systeem en gewas kunnen zodanig zijn dat de gewenste variatie niet wordt bereikt. Het bewust aanbrengen van temperatuur verschillen om productie te sturen kan beter per compartiment worden gedaan aangezien het proces dan beter controleerbaar is. Een dergelijke aanpak wordt ook nagestreefd in het project Paprigrow. Belangrijk is wel dat de totale productie door deze maatregelen niet minder wordt. Aangezien de kastemperatuur optimaal geregeld wordt zal dit bij de toepassing van bewuste temperatuurverschillen niet altijd positief uitpakken.

Conclusie van deze inventarisatie is dat het niet zinvol is om te streven naar het bewust benutten van horizontale temperatuurverschillen. De strategie van beperken van variatie is helder voor de teler en draagt bij aan een optimaal energiegebruik.

Literatuur

- Anonymous, 1987.
Effecten van afschot. Vakblad voor de bloemisterij 42: 44-45.
- Arkesteijn, M., 2006.
Warmteoverschot is hét knelpunt bij belichting met de schermen dicht: proeven met bovenafscherming bij roos n tomaat. Onder glas 3: 4-5.
- Baas, R. & M. Warmenhoven, 2003.
Planttemperatuur in relatie tot omgevingsfactoren: metingen voor mogelijke toepassing in klimaatregeling. 41600067. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Naaldwijk.
- Bakker, J.C. & G.P.A. v. Holsteijn, 1989.
Horizontal temperature distribution in heated glasshouses: causes and effects. Acta Horti 245: 226-231.
- Berg, G.A. v.d., F. Buwalda & E.C. Rijpsma, 2001.
Praktijkdemonstratie Meerdaagse Temperatuurintegratie. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Naaldwijk.
- Bloem, L., 2000.
Schermen in de glastuinbouw. Energie- en teeltaspecten. Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente. Aalsmeer/Naaldwijk.
- Buwalda, F., 1996.
Mogelijkheden voor energiebesparing door temperatuurintegratie bij siergewassen. Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente, Aalsmeer.
- Buwalda, F., A. Pronk & A. Dieleman, 2006.
Temperatuurverlaging in de ochtend. Plant Research International, Wageningen.
- Buwalda, F., A.A. Rijdsdijk, G.J.L. v. Leeuwen, A. Hattendorf & J.V.M. Vogelesang, 1999.
Mogelijkheden voor energiebesparing door temperatuurintegratie bij siergewassen. Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente, Aalsmeer.
- Campen, J.B., 2004.
Betere temperatuurverdeling door regelbare gevelverwarming 90-6754-768-9. Agrotechnology & Food Innovations, Wageningen.
- Campen, J.B., 2006a.
Effect van maatregelen ter voorkoming van temperatuurverschillen in de kas bij gebruik van energieschermen met open bandjes. Nota 411. Plant Research International, Wageningen.
- Campen, J.B., 2006b.
Gecontroleerde vochtafvoer bij schermen, pp. 33. Plant Research International.
- Dieleman, J.A., E. Raaijmakers & E. Meinen, 2005.
Temperatuuronderzoek bij tomaat: effect van een tijdelijke temperatuurverlaging (DROP) op groei, ontwikkeling en productie. Plant Research International, Wageningen.
- Dieleman, J.A., E. Meinen, G. Trouwborst & L.F.M. Marcelis, 2003.
Temperatuurintegratie bij Roos. Plant Research International, Wageningen.
- Esmeijer, M., 1998.
Eenvoudig horizontale klimaatverschillen opsporen en verhelpen. Vakblad voor de bloemisterij 53: 41.
- Esmeijer, M. & L. Nijs, 2000.
Handleiding voor het opsporen en oplossen van horizontale klimaatverschillen, herziene versie. Rapport 112. Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente, Naaldwijk.
- Esmeijer, M. & R. Tuin, 2001.
Het kan vriezen, het kan dooien. Horizontale temperatuurverdeling in kassen kan nog een stuk beter. Vakblad voor de bloemisterij 56: 42-43.
- Esmeijer, M.H., R. Tuin & M. v.d. Meer, 2000.
Horizontale temperatuurverschillen op siergewasbedrijven. Rapport 262. Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente, Naaldwijk.
- Gastel, T. van, 2003.
'Plant aan de knoppen' nog ver weg : klimaat. Groenten + Fruit: 18-19.

- Goeijenbier, P. 1984.
Ventilatoren tegen verschillen in temperatuur. Groenten en fruit 40: 52-53, 55.
- Holsteijn, G.P.A. van, 1987a.
Beweegbaar gevelscherm noodzaak voor temperatuurverdeling. Vakblad voor de bloemisterij 42: 56-57.
- Holsteijn, G.P.A. van, 1987b.
Met energiescherm op weg naar kleinere temperatuurverschillen. Vakblad voor de bloemisterij 42: 26-29.
- Holsteijn, G.P.A. van & A.H. de Vogel, 1984.
Kleine verschillen grote gevolgen. De tuinderij [: vakblad voor de intensieve tuinbouw] 64: 34-37.
- Holsteijn, G.P.A. van & E. van de Meijs, 1987.
Naar een betere warmteverdeling : Zichtbaar maken van temperatuurverschillen. De tuinderij [: vakblad voor de intensieve tuinbouw] 67: 17-19.
- Holsteijn, G.P.A. van & E. van der Meijs, 1987.
Temperatuurverschillen in kassen een oplosbaar probleem. Vakblad voor de bloemisterij 42: 51-53.
- Houter, B., E.C. Rijpsma, J.B. Campen, A. de Gelder & F.L.K. Kempkes, 2005.
Resultaten van kasexperimenten. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Business Unit Glastuinbouw, Naaldwijk.
- Kaarsemaker, R. & E. v. Rijssel, 2003.
Temperatuurgrenzen bij Tomaat. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Naaldwijk.
- Kamminga, H., 2000.
Ventilator: veel geld voor een beetje wind. Vakblad voor de bloemisterij 55: 34-35.
- Kempkes, F. & N. van de Braak. 2003.
Meer besparen met temperatuurintegratie én scherm. Groenten + Fruit: 20-21.
- Knies, P., 2000.
Voorkom schipperen met de klimaatbeheersing : temperatuurverschillen in de kas opsporen en voorkomen.
Vakblad voor de bloemisterij 55: 36-37.
- Koop, L., 1983.
Kleine temperatuurverschillen hebben grote gevolgen in de productie. De tuinderij [: vakblad voor de intensieve tuinbouw] 63: 24-27.
- Leipziger, J. van, 2006.
De blazende hulp van de glasgroenteteler. Groenten + Fruit: 46-47.
- Milieukeur, S., 2006.
Certificatieschema Groen Label Kas.
- Os, E.A. van, M.A. Bruins & B.A.J. van Tuijl, 2006.
Meting van ruimtelijke verdeling van temperatuur en RV met behulp van draadloze minisensoren (Smart Dust).
Plant Research International, Wageningen.
- Schaik, W.H.J. v. & M.L.H. Schevers, 2003.
Ruimtelijk Temperatuurmeten in kassen met Climaview TM resultaten en bevindingen. Innovation Handling,
Eindhoven.
- Stijger, H., 2005.
Andere positie ventilatoren voorkomt 'dood klimaat'. Onder glas 2: 12-13.
- Telle, M.G., J.J.G. Breuer, M.J.M. Wagemans, J.C. Bakker & N.J. v.d. Braak, 1997.
De invloed van recirculatieventilatoren op het gas- en elektriciteitsverbruik in tuinbouwkassen.
IMAG-DLO, Wageningen.
- Vijverberg, E.L.M., 1986.
Horizontale temperatuurverschillen; gevolgen, oorzaken en oplossingen. Hogeschool Tuinbouw,
's-Hertogenbosch.
- Visser, P., 2004.
Ventilatoren blazen niet zomaar effectief. Groenten + Fruit: 24-25.
- Visser, P., 2006.
Ventilator steeds belangrijker. Groenten + Fruit: 26.
- Vrieze, L., 2003.
Ook nieuwe kassen hebben koude plekken. Vakblad voor de bloemisterij 58: 38-39.