



Planttemperatuur als stuurparameter in kasklimaatregelingen.

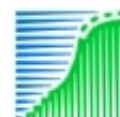
deelverslag: Resultaten van kasexperimenten

Bert Houter¹, Edwin Rijpsma¹, Jouke Campen², Arie de Gelder¹ en Frank Kempkes²

¹ PPO Glastuinbouw

² A&F

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.
Business Unit Glastuinbouw
augustus 2005
PPO 416.16018



© 2005 Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vervaelvoudigd, 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 Praktijkonderzoek Plant & Omgeving.

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

Dit onderzoek is gefinancierd vanuit het Energieprogramma PT/LNV.



**landbouw, natuur en
voedselkwaliteit**

Projectnummer: 41616018
PT-nummer: 11695

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Business Unit Glastuinbouw

Adres : Kruisbroekweg 5, 2671 KT Naaldwijk
: Postbus 8, 2670 AA Naaldwijk
Tel. : 0174 – 63 67 00
Fax : 0174 – 63 68 35
E-mail : infoglastuinbouw.ppo@wur.nl
Internet : www.ppo.wur.nl

Inhoudsopgave

pagina

| | |
|---|----|
| INHOUDSOPGAVE | 3 |
| SAMENVATTING..... | 5 |
| 1 INLEIDING | 8 |
| 1.1 Aanleiding | 8 |
| 1.2 Doelstelling | 8 |
| 1.3 Projectinvulling | 9 |
| 2 MATERIAAL EN METHODE | 10 |
| 2.1 Kascomplex | 10 |
| 2.2 Teelt..... | 10 |
| 2.3 Meetapparatuur | 11 |
| 2.3.1 Algemeen..... | 11 |
| 2.3.2 Meetboxen | 11 |
| 2.3.3 CO ₂ -meting..... | 12 |
| 2.3.4 IR-planttemperatuursensoren | 12 |
| 2.3.5 Weeggoten..... | 12 |
| 2.3.6 Artificiële vruchten | 13 |
| 2.4 Behandelingen..... | 14 |
| 2.4.1 Hoofdbehandelingen in winter t/m zomer..... | 14 |
| 2.4.2 Hoofdbehandelingen in najaar | 15 |
| 2.4.3 Kortlopende behandelingen..... | 15 |
| 2.5 Klimaatregeling..... | 15 |
| 2.5.1 Overzicht | 15 |
| 2.5.2 Regeling op planttemperatuur | 17 |
| 2.5.3 Verwarmings- en ventilatieregeling..... | 17 |
| 2.5.4 Schermregeling | 17 |
| 2.5.5 Vochtregeling | 17 |
| 2.5.5.1 Vochtstrategie | 17 |
| 2.5.5.2 Vochtafhankelijke vochtkier in scherm..... | 19 |
| 2.5.5.3 Vochtafhankelijke minimum raamstand..... | 19 |
| 2.5.5.4 Vochtafhankelijke minimum buistemperatuur | 19 |
| 2.5.6 CO ₂ -regeling | 19 |
| 2.6 Watergift en bemesting | 19 |
| 2.7 Gewaswaarnemingen | 20 |
| 2.8 Energieberekening | 20 |
| 2.9 Dataregistratie en -verwerking | 20 |
| 3 RESULTATEN | 21 |
| 3.1 Vooraf..... | 21 |
| 3.2 Buitenklimaat..... | 21 |
| 3.3 Hoofdbehandelingen in winter t/m zomer..... | 22 |
| 3.3.1 Klimaatinstellingen | 22 |
| 3.3.2 Temperatuurregeling..... | 22 |
| 3.3.2.1 Ervaringen..... | 22 |
| 3.3.2.2 Meetresultaten van gehele periode..... | 23 |
| 3.3.3 Schermregeling | 29 |

| | | |
|-----------|--|----|
| 3.3.4 | Vochtregeling | 30 |
| 3.3.5 | Energiegebruik | 30 |
| 3.4 | Hoofdbehandelingen in najaar | 31 |
| 3.4.1 | Klimaatinstellingen | 31 |
| 3.4.2 | Temperatuurregeling | 31 |
| 3.4.2.1 | Ervaringen | 31 |
| 3.4.2.2 | Meetresultaten van gehele periode | 32 |
| 3.4.3 | Schermgeregeling | 38 |
| 3.4.4 | Vochtregeling | 39 |
| 3.4.5 | Energiegebruik | 40 |
| 3.5 | Gewas | 40 |
| 3.5.1 | Gewasontwikkeling | 40 |
| 3.5.2 | Infectieziekten | 40 |
| 3.5.3 | Productie en kwaliteit | 41 |
| 3.6 | Kortlopende behandelingen | 43 |
| 3.6.1 | Algemeen | 43 |
| 3.6.2 | 's Morgens eerder scherm openen (volgnr. 1) | 43 |
| 3.6.3 | Sneller opstoken in voorjaar (volgnr. 2) | 45 |
| 3.6.4 | Sneller opstoken in najaar (volgnr. 3) | 47 |
| 3.6.4.1 | Sneller opstoken in najaar - ongeschermd (volgnr. 3a) | 47 |
| 3.6.4.2 | Sneller opstoken in najaar - geschermd (volgnr. 3b) | 49 |
| 3.6.5 | 's Nachts niet schermen (volgnr. 4) | 51 |
| 3.6.5.1 | In vergelijking met schermen met geringe vochtier (volgnr. 4a) | 51 |
| 3.6.5.2 | In vergelijking met schermen met grote vochtier (volgnr. 4b) | 53 |
| 3.6.5.3 | Beide ongeschermd (volgnr. 4c) | 55 |
| 3.6.5.4 | Vergelijking van volgnr. 4a t/m 4c | 57 |
| 3.6.6 | Schermen op zomerse dagen (volgnr. 5) | 58 |
| 3.6.7 | Vochtsparen (volgnr. 6) | 60 |
| 3.6.7.1 | Principe | 60 |
| 3.6.7.2 | Vochtsparen op 7 juni | 60 |
| 3.6.7.3 | Vochtsparen op 8 juni | 62 |
| 3.6.7.4 | Vochtsparen op 9 augustus | 64 |
| 3.6.7.5 | Samenvatting van vochtsparen | 66 |
| 4 | DISCUSSIE | 67 |
| 4.1 | Vooraf | 67 |
| 4.2 | Meting van planttemperatuur | 67 |
| 4.3 | Regelen op planttemperatuur | 68 |
| 4.3.1 | Processen die planttemperatuur beïnvloeden | 68 |
| 4.3.2 | Regelen op planttemperatuur bovenin gewas | 69 |
| 4.3.3 | Regelen op planttemperatuur onderin en bovenin gewas | 71 |
| 4.4 | Temperatuur van specifieke plantdelen | 71 |
| 4.5 | Andere parameters voor vochtregelen | 72 |
| 4.6 | Mogelijkheden voor energiebesparing | 74 |
| 5 | CONCLUSIE | 77 |
| 6 | BRONVERMELDING | 79 |
| BIJLAGE 1 | KLIMAATINSTELLINGEN | 80 |
| BIJLAGE 2 | BEREKENING VAN AARDGASVERBRUIK | 85 |

Samenvatting

De temperatuur is een belangrijke factor die de ontwikkelingssnelheid van een plant beïnvloedt. Het gaat daarbij om de planttemperatuur en niet om de kasluchttemperatuur. Inmiddels is het al 6 jaar geleden dat de firma Brinkman de planttemperatuur in de glastuinbouw heeft geïntroduceerd. Met deze sensor wordt op basis van infrarood de gemiddelde planttemperatuur van een oppervlak van 5 tot 10 m² gemeten. Sindsdien wordt de sensor in de praktijk gebruikt, waarbij alle gangbare klimaatcomputersystemen in de Nederlandse glastuinbouw de noodzakelijke aansluitmogelijkheden bieden. Enkele klimaatcomputersystemen hebben ook de mogelijkheid om regelingen door de planttemperatuur te laten beïnvloeden. Echter daar wordt in de praktijk nauwelijks gebruikt van gemaakt. Is dit dan zo moeilijk? In een onderzoek bij tomaat heeft PPO in Naaldwijk in samenwerking met A&F antwoord op deze vraag gegeven. In dit onderzoek is ook gekeken hoe op basis van aanvullende sensoren natslag op het gewas kan worden voorkomen en hoe op basis van deze sensoren een energiezuinige vochtregeling ontwikkeld kan worden.

- opzet van onderzoek

In twee afdelingen is op basis van IR-planttemperatuur de verwarming, de ventilatie en het energiedoek geregeld. De meetbox-temperatuur is daarbij buiten beschouwen gelaten. In één van deze twee afdelingen werd alleen geregeld op een IR-planttemperatuursensor van boven gericht op het gewas. Dit is de gangbare wijze zoals ook in de praktijk de planttemperatuur wordt gemeten. In de andere afdeling werd geregeld op het gemiddelde van twee IR-planttemperatuursensoren: de ene sensor van boven op het gewas gericht en de andere sensor van onder schuin naar boven gericht. Op deze wijze wordt de gemiddelde gewastemperatuur bepaald. Ter vergelijking werd één afdeling traditioneel op meetbox-temperatuur geregeld. De centrale vraag bij de afdelingen die regelden op planttemperatuur was: hoe moeten de regelingen worden ingesteld? Om die vraag te kunnen beantwoorden is het goed om te kijken naar de omgevingsfactoren die de planttemperatuur beïnvloeden.

- invloed van omgevingsfactoren op planttemperatuur

Diverse omgevingsfactoren beïnvloeden die planttemperatuur. Zonlicht warmt het gewas direct op. Vervolgens warmt het gewas de kaslucht op. De bovenzijde van het gewas straalt meer warmte uit naar het kasdek dan plantdelen onderin het gewas. Buizen onderin het gewas stralen meer warmtestraling uit naar plantdelen onderin het gewas dan naar de bovenzijde van het gewas. Warme lucht van de buizen warmt het gewas op. Onderin het gewas zal dit sterker zijn dan bovenin het gewas. De planttemperatuur aan de bovenzijde van het gewas reageert direct op koude buitenlucht als gevolg van ventilatie. Daarmee wijkt de planttemperatuur af van de kasluchttemperatuur. Dit betekent dat regeling anders ingesteld moeten worden als op planttemperatuur wordt geregeld.

Overdag tussen 9 en 18 uur is de planttemperatuur aan de bovenzijde van het gewas gemiddeld 1 tot 1.5 °C hoger dan de kasluchttemperatuur. Dit neemt toe bij meer instraling. Als de luchtramen verder geopend worden, daalt dit temperatuurverschil. De planttemperatuur onderin het gewas komt vrijwel overeen met de kasluchttemperatuur. Gedurende de nacht tussen 22 en 4 uur is de planttemperatuur aan de bovenzijde van het gewas gemiddeld 0.5 tot 1 °C lager dan de kasluchttemperatuur. Onderin het gewas is de planttemperatuur gemiddeld 0.5 °C hoger dan de kasluchttemperatuur door directe opwarming van de buizen.

In het onderzoek is proefondervindelijk vastgesteld hoe de streefwaarden van de regelingen op basis van planttemperatuur aangepast moeten worden. De stand van het gewas was daar een belangrijke parameter voor. Verder is gekeken naar de gemiddelde kasluchttemperatuur ten opzichte van de traditionele regeling met de meetbox.

- instellen van regelingen

Uit het onderzoek volgde dat als alleen op de bovenste planttemperatuur geregeld wordt, dat dan globaal de volgende aanpassingen nodig zijn ten opzichte van het regelen op meetboxtemperatuur:

- De verwarmingstemperatuur 's nachts kan 1 °C lager ingesteld worden, doordat de planttemperatuur aan de bovenzijde van het gewas gemiddeld genomen ongeveer 1 °C lager is dan de meetboxtemperatuur. Dit hangt samen met de mate van uitstraling.
- Om dezelfde reden kan de ventilatietemperatuur 's nachts 0.5 tot 1 °C lager worden ingesteld. Dit is alleen van belang als voor het gewas een lagere nachttemperatuur gewenst is.
- Overdag kan zowel bij de verwarmings- als ventilatietemperatuur 1 °C stralingsverhoging worden toegepast. Deze stralingsaanpassing geldt alleen over het traject van 0 tot 100 – 200 W/m². Immers de zon warmt het gewas op. Indien bij het regelen op meetboxtemperatuur al een stralingsaanpassing wordt toegepast, dan deze stralingsaanpassing met 1 °C verhogen.
- Het opstookmoment van nacht naar dag met 1 uur vervroegen, omdat 1 °C meer temperatuurverschil overbrugd moet worden. Rustiger opstoken geeft minder kans op natslag.

Dit resulteerde op weekbasis in vergelijkbare dag-, nacht- en etmaalgemiddelden van kaslucht en vergelijkbare gewasopbouw en productie als bij de behandeling die op meetboxtemperatuur geregeld werd.

Als geregeld wordt op basis van het gemiddelde van de planttemperatuur onder en boven het gewas, dan komt dit min of meer neer op regelen op basis van kasluchttemperatuur. Aanpassingen ten opzichte van het regelen op meetboxtemperatuur zijn dan ook niet direct noodzakelijk.

Beide afdelingen op basis van planttemperatuur gaven een vergelijkbare productie en productkwaliteit als de afdeling die traditioneel geregeld werd op meetboxtemperatuur.

- mogelijkheden voor de praktijk

Op grond van dit onderzoek en praktijkervaringen kunnen de volgende voordelen voor het regelen op planttemperatuur aan de bovenzijde van het gewas worden gegeven:

- In het vroege voorjaar kan voorzichtiger worden gelucht. De kop van het gewas zal bij koude buitenomstandigheden vrij snel in temperatuur dalen als geventileerd wordt, sneller dan de meetboxtemperatuur. Er wordt daarmee voorkomen dat op het ene moment te veel gelucht wordt (doorluchten, de ramen worden te ver open getrokken) en op het andere moment de ramen weer dicht gestuurd worden. Daarmee zouden bladrandjes kunnen worden voorkomen. Hierbij sterven de randen van blaadjes af als gevolg van schokeffecten in het klimaat. Dit is in dit onderzoek niet bekeken, omdat bladrandjes in geen van de behandelingen voor kwamen. Naast minder infectiedruk van Botrytis bij afwezigheid van bladrandjes draagt ook een rustiger verwarmings- en ventilatieregeling bij aan een lagere energierekening.
- Door de planttemperatuur aan de bovenzijde van het gewas in de schermregeling te betrekken kan bij veel uitstraling (koude kop) het scherm eerder worden dichtgetrokken. Daarmee kan enkele procenten energie worden bespaard.
- Op zomerse dagen zal de temperatuur van het gewas snel oplopen als gevolg van de instraling. Hierop kan snel worden gereageerd met een planttemperatuurmeting, waarmee wordt voorkomen dat de etmaaltemperatuur te veel oploopt.
- Indien op zomerse dagen in de namiddag vocht gespaard wordt (minder ventileren), dan heeft het voordelen om op planttemperatuur te ventileren. Daarmee wordt voorkomen dat de planttemperatuur te sterk stijgt. Dit zou wel kunnen optreden als de maximum raamstand zou worden begrensd.

- Onder zomerse omstandigheden kunnen op basis van de planttemperatuur aan de bovenzijde van het gewas kasdeksproeiers of kasluchtbevochtigers worden aangezet of scherm worden gesloten.
- Ook is het mogelijk om op basis van de RV bij de planttemperatuur vocht te regelen zoals ook in dit onderzoek is gedaan. Dit kan een energiewinst opleveren ten opzichte van het regelen op de kaslucht RV.
- Als leerinstrument en bewaker van de groeiomstandigheden. Bijvoorbeeld tijdig alarmeren als de planttemperatuur te hoog of te laag is, of als de verdampingsdruk te hoog of te laag is. Daarmee wordt de continuïteit van de teelt mede verzekerd.

Regelen op het gemiddelde van planttemperatuurmetingen aan de onder- en bovenzijde van het gewas heeft vooralsnog niet direct voordelen. Wel kan de planttemperatuur onderin het gewas zinvol zijn bij het beter leren kennen van nieuwe teeltsystemen waar de verticale temperatuurgradiënt anders kan zijn dan bij een traditioneel teeltsysteem. Denk hierbij aan een gesloten kas of scherm in combinatie met belichten.

- inzet van kunstvruchten

De kans op natslag is het grootst op vruchten, omdat die het meeste naiten op de kasluchttemperatuur. Regelen van de luchtvochtigheid bij de gemeten vruchttemperatuur is daarom zinvol. Echter om temperatuurmetingen uit te voeren aan echte vruchten is onder praktijkomstandigheden te kwetsbaar en vergt te veel naloop. Toepassing van temperatuurmetingen aan kunstvruchten biedt de mogelijkheid om het meest kritisch op vocht te regelen. Daarbij kan gedacht worden aan 3 tot 5 kunstvruchten op diverse hoogten tussen het gewas, waarbij op de koudste vrucht vocht geregeld wordt. Op deze wijze is de kans op natslaan het kleinst en kan de hoogste energiewinst worden gehaald.

Het onderzoek heeft laten zien dat het regelen van de verwarming, ventilatie en scherm op basis van gemeten planttemperatuur aan de bovenzijde van het gewas goed mogelijk is en dat het niet moeilijk is. Aangezien de planttemperatuur een belangrijke factor is die de ontwikkelingssnelheid van een plant beïnvloedt, zou de tuinder daarom het klimaat eigenlijk kunnen regelen op basis van planttemperatuur in plaats van op kasluchttemperatuur. Verder heeft het onderzoek aangetoond dat vochtregeling op basis van de koudste temperatuur van diverse kunstvruchten tussen het gewas mogelijkheden biedt voor energiebesparing.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In 1999 heeft de firma Brinkman de planttemperatuurmeter in de glastuinbouw geïntroduceerd. Met deze sensor wordt op basis van infrarood de gemiddelde planttemperatuur van een oppervlak van 5 tot 10 m² gemeten. Sindsdien wordt de sensor in de praktijk gebruikt, waarbij alle gangbare klimaatcomputer-systemen in de Nederlandse glastuinbouw de noodzakelijke aansluitmogelijkheden bieden en op bescheiden schaal ook regelmogelijkheden.

Met een planttemperatuursensor heeft de tuinder een instrument in handen waarmee hij onder andere kritischer en selectiever de minimum buis kan inzetten ter voorkoming van condensatie op het gewas (natslag) of ter bevordering van de gewasactiviteit (verdamping). Daarnaast is er beïnvloeding mogelijk van de regeling van het schermdoek, waarbij bij een gesloten scherm, door beperking van uitstraling, een lagere kasttemperatuur aangehouden kan worden.

In het kader van het praktijknetwerken project (LNV 400-IV) kwam tijdens 2 workshops met tuinders het volgende duidelijk naar voren:

- Het regelen op planttemperatuur in plaats van op kaslucht- of buitentemperatuur is een proces dat een tuinder stap voor stap moet leren en doorvoeren. De klimaatcomputer zal anders ingesteld moeten worden. Dit zal in de praktijk worden ontwikkeld en getoetst. Hiervoor heeft LTO Groeiservice samen met PPO een studiegroep met tuinders begeleid (Veenman, 2005, en paragraaf 1.3).
- Het bepalen van de "speelruimte" voor het regelen op planttemperatuur kan vanwege de risico's niet in de praktijk worden onderzocht en zal in onderzoekskassen worden uitgevoerd. Dit punt vormt de basis voor het uitgevoerde onderzoek waar dit het verslag van is.

De huidige infrarood planttemperatuurmeter wordt gebruikt om de gemiddelde gewastemperatuur boven in het gewas te bepalen. Het voorkomen van condensatie is één van de hoofddoelen voor de toepassing van planttemperatuurmetingen (Baas *et al.*, 2002). Daarom is het van belang, naast meting van de gewastemperatuur boven in het gewas, een methode te ontwikkelen om de gewastemperatuur onder in het gewas te bepalen. Probleem daarbij is dat de huidige IR-meters door hun grote beeldoppervlak niet geschikt zijn (vanwege de invloed van buizen, kasdelen en achtergrondruis op de metingen) terwijl individuele IR-spotmetingen kostbaar zijn en onvoldoende gedistribueerde informatie opleveren. Verder zijn directe metingen met temperatuursensoren aan het gewas zeer onderhoudsgevoelig (Baas & Warmenhoven, 2003).

1.2 Doelstelling

Het project heeft tot doel een energie-efficiënte regeling te ontwikkelen waarbij het klimaat wordt geregeld op basis van gewastemperatuur met toepassing van infrarood meters en low cost sensoren voor meting van de temperatuur aan specifieke onderdelen van het gewas.

1.3 Projectinvulling

Het project is als volgt ingevuld:

Onderdeel 1: winter t/m zomer

- a) Kasexperiment waarin het kasklimaat met verwarming, ventilatie, minimum buis en energiedoek op basis van IR-planttemperatuur wordt geregeld. Dit bouwt voort op de recent ontwikkelde energie-efficiënte vochtregulatie (Houter *et al.*, 2004).
- b) Ontwikkeling van low cost plantsensoren voor meting van de temperatuur van specifieke plantendelen en het vervolgens testen van deze sensoren onder kasomstandigheden. Dit gedeelte is verwoord in het deelverslag *Ontwikkeling plant temperatuursensor* (Campen *et al.*, 2005).

Onderdeel 2: najaar

Vervolg van kasexperiment waarin het kasklimaat op basis van IR-planttemperatuur wordt geregeld met daarbij gebruik van geschikte specifieke plantsensoren uit onderdeel 1b voor specifiek de vochtregeling.

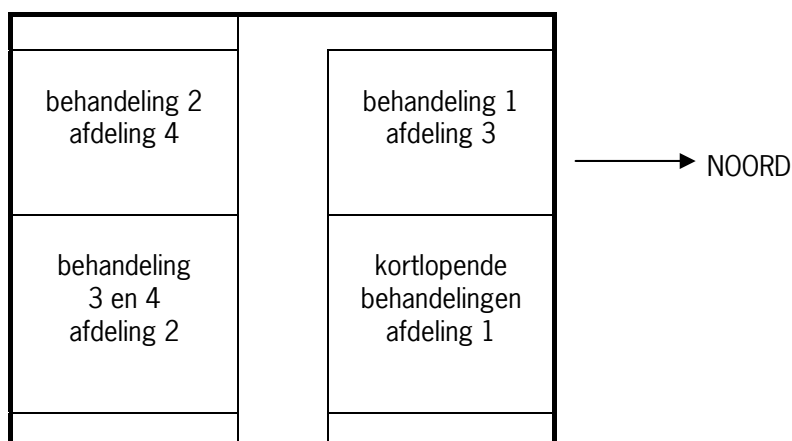
Dit verslag verwoordt de resultaten van onderdeel 1a en 2. Gelijktijdig aan dit project liep het project *Planttemperatuur in tomaat* van LTO-Groeiservice (Veenman, 2005). Deze studiegroep met 8 tuinders had het doel om kennis en inzichten over het gebruik van planttemperatuursensoren uit te wisselen. Het uiteindelijke doel was om het gebruik van de planttemperatuursensoren in de praktijk naar een hoger niveau te brengen. Hiertoe zijn vragen uit studiegroep ingebracht in het PPO-onderzoek en zijn resultaten uit het PPO-onderzoek met de studiegroep besproken.

2 Materiaal en methode

2.1 Kascomplex

De experimenten zijn uitgevoerd in kas 112 van het PPO in Naaldwijk (zie Figuur 1). Dit complex is opgebouwd uit 4 identieke afdelingen van 156 m² uitgerust met een buisrail van 2 buizen van 51 mm per 1.60 m en een groeiverwarming (hijsverwarming van 1 buis van 27 mm per 1.60 m). Verder was een vochtdoorlatend Phormium Super scherm geïnstalleerd. Dit is een gewezen acryldoek met een lichtdoorlatendheid van 85 % en levert volgens de leverancier een energiebesparing van 45 % in gesloten toestand op. Ter voorkoming van te veel vochtafvoer op de buitengevels, bestaande uit enkel glas, is een gesloten folie bevestigd. Bij de start van de teelt zijn bevoeiingsmatten in de looppaden neergelegd om de luchtvochtigheid in het begin van de teelt op niveau te houden. Hiervan is geen gebruik gemaakt, omdat de maanden december 2003 en januari 2004 tamelijk zacht waren, waardoor vochtafvoer tegen het kasdek gering was.

De groeibuis werd alleen in het begin van de teelt op 1.5 m hoogte actief gebruikt. Vanaf half februari is de buis op een hoogte van 0.5 m bevestigd, waarbij de buis alleen als aanvulling op het hoofdnet is gebruikt.



Figuur 1 Oriëntatie van afdelingen en corridors van kas 112.

2.2 Teelt

In alle afdelingen werd het losse tomaattype cv Aromata geteeld. De teelt is op een normale tijd gestart voordat de behandelingen van het experiment zijn aangebracht. Deze planten waren op 15 november 2003 gezaaid en op 15 december 2003 in de kas neergezet. De plantdichtheid was 2.5 planten per m². Aan het einde van de gewasrij was een extra plant geplaatst, wat het indraaien van de eerste stengels van de ene naar de andere gewasrij vergemakkelijkte. Op 16 januari 2004 werden de planten op het gat gezet om te bewortelen in de steenwol mat in een libra-bak met 4 plantrijen per kap van 3.20 m (dus geen V-systeem). De eerste trossen werden gebeugeld. Bij één op de drie planten werd half maart een extra stengel aangehouden. Vanaf 25 maart is er 2 maal per week geoogst. Op 8 september is de kop uit het gewas gehaald. De teelt werd op 4 november 2004 beëindigd.

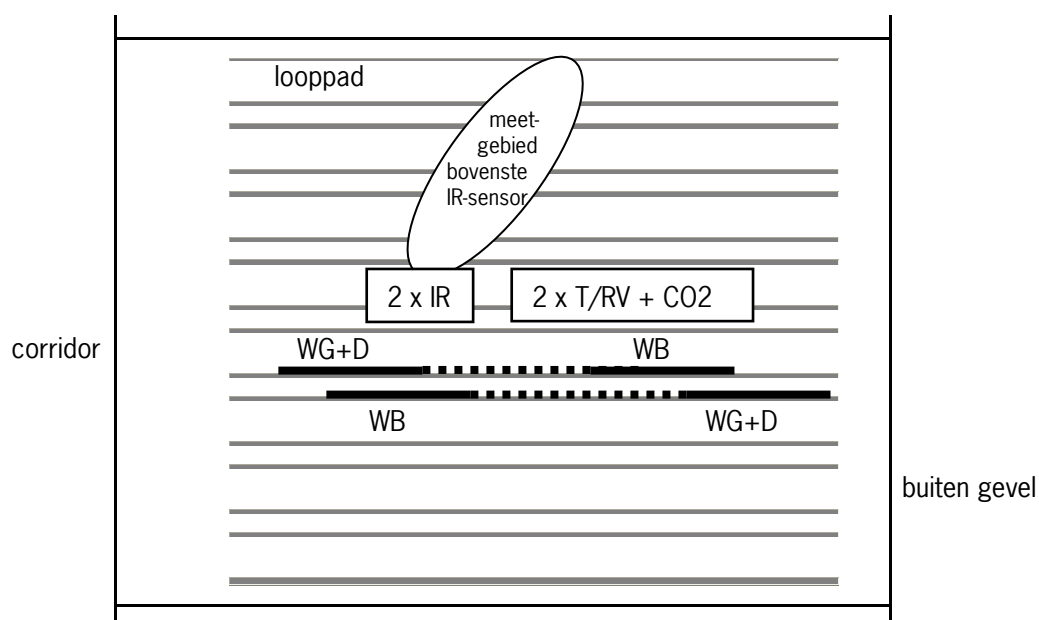
Leeggeplukte trossen zijn tot juli steeds van de plant afgetrokken. Wekelijks is blad gesneden. Om de kans op *Botrytis* te verkleinen zijn deze beide werkzaamheden zoveel mogelijk alleen 's morgens uitgevoerd. Soms was er bij drogend weer een uitloop tot 14:30 uur (zomertijd). Gewasresten zijn steeds na de gewashandelingen uit de afdelingen verwijderd.

De teelt werd begeleid door de heer J. Mulder namens de tomatencommissie. Eens in de 1 tot 2 weken werd daarbij samen met de bedrijfsleider en gewasonderzoeker tomaten de temperatuurstrategie voor verwarming en ventilatie eventueel bijgesteld. De stand van het gewas was daarbij uitgangspunt voor het temperatuurregime. Daarnaast heeft de Aromata studieclub waarin de teeltchef van PPO meedraaide de proef regelmatig bezocht. Verder heeft de LTO-Groeiservice studiegroep *Planttemperatuur in tomaten* een bezoek aan de proef gebracht. Commentaar van de beide studiegroepen is meegenomen bij de teelthandelingen en de klimaatbeheersing.

2.3 Meetapparatuur

2.3.1 Algemeen

In iedere afdeling was dezelfde meetapparatuur geïnstalleerd (zie Figuur 2).



Figuur 2 Indeling van afdeling met meetapparatuur.

Toelichting:

- Per afdeling 8 looppaden tussen de dubbele plantrijen.
- Per afdeling 2 meetboxen met temperatuur- en RV-meting. Verder een CO₂-aanzuigpunt.
- De beide IR-planttemperatuursensoren waren naar het noordwesten gericht ter voorkoming van directe instraling van de zon in de lens. Aangegeven is het meetgebied van de bovenste sensor. Deze sensoren zijn boven elkaar bevestigd (zie ook Figuur 3).
- WG+D is een weegmaat met drainmeting; WB is wegbalk. Met de stippellijn is aangegeven dat de WB het hangend plantgewicht meet van de planten die beworteld zijn in de matten van de WG. Zie ook paragraaf 2.3.5.

2.3.2 Meetboxen

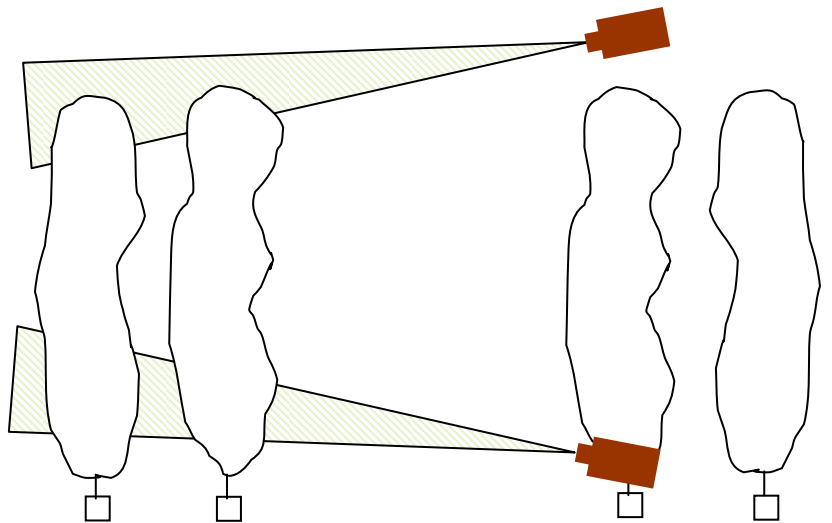
In elke afdeling is de temperatuur en luchtvochtigheid van de kaslucht met 2 meetboxen met droge en natte bol bepaald. Deze meetboxen hingen op vergelijkbare hoogte tussen het gewas, in het begin van de teelt met de kop van het gewas mee omhoog tot uiteindelijk op 1.8 m hoogte. Het klimaat is geregeld op het gemiddelde van beide meetboxen.

2.3.3 CO₂-meting

De CO₂-meting vond plaats met een centrale CO₂-meter op een multiplexer die lucht uit de 4 afdelingen zoog.

2.3.4 IR-planttemperatuursensoren

In elke afdeling zijn 2 IR-planttemperatuursensoren van het type Brinkman geïnstalleerd. Deze sensoren zijn gangbaar in de glastuinbouw. De ene sensor was circa 25 tot 50 cm boven de kop van het gewas bevestigd en schuin op de kop van het gewas gericht. Het oppervlak dat daarbij dan werd bemeaten was 0.40 tot 1.50 m² (handleiding Brinkman Tuinbouw Techniek, 2004). De andere sensor was op een hoogte van circa 40 cm vanaf het grondoppervlak schuin omhoog gericht. Deze sensor mat daarmee de temperatuur onderin het gewas. Voorafgaand aan de proef is de nauwkeurigheid van de IR-sensoren gecontroleerd met een zwartstraler met een gespecificeerde temperatuur van 39 °C. De verschillen tussen de sensoren waren maximaal 0.1 °C. De gebruikte zwartstraler was door de firma Brinkman voor deze controle beschikbaar gesteld.

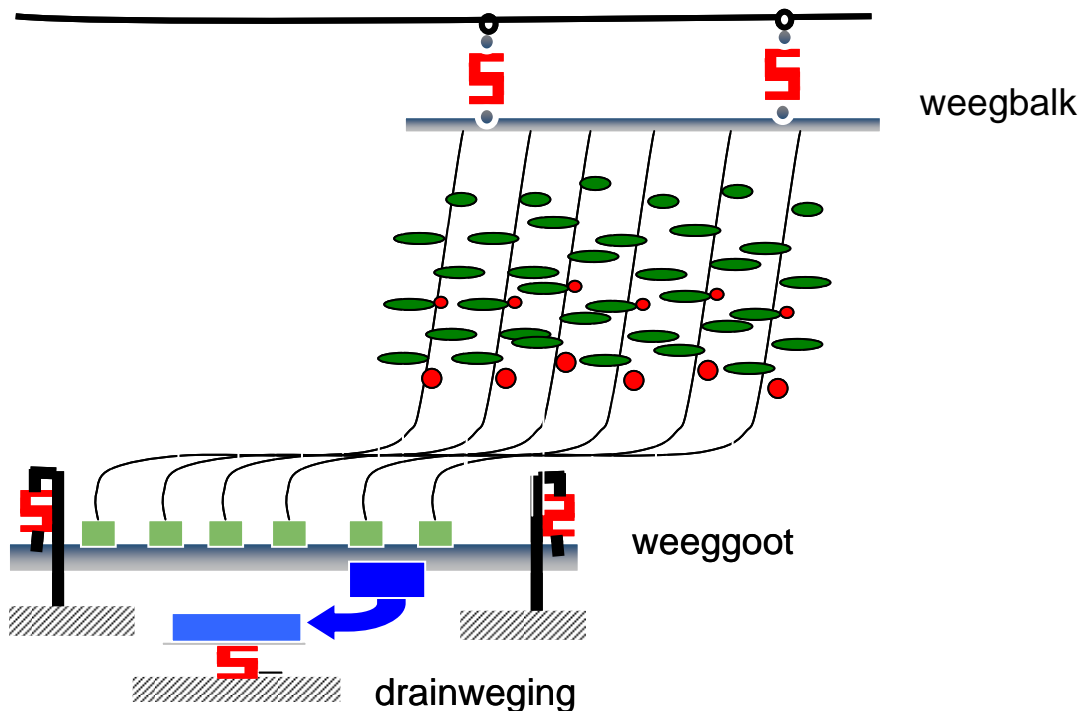


Figuur 3 Schematisch overzicht van IR-planttemperatuursensoren, zowel van onder als van boven op het gewas gericht.

2.3.5 Weeggoten

In elke afdeling zijn 2 weeggootinstallaties geïnstalleerd, aan beide zijden van de gewasrij een installatie. Daarmee konden effecten van west- en oostrij (zon of schaduw afhankelijk van het moment op de dag) afzonderlijk worden vastgesteld en eventueel worden weggemiddeld.

De installaties bestonden uit een weeggoot met daarop 6 planten, zie Figuur 4. Van deze goot werd continu het gewicht bepaald. De drain uit deze goot werd ook met een weeginstallatie bepaald. Verder hingen de 6 tot 8 stengels van deze 6 planten (afhankelijk van het moment in het seizoen) aan een weegbalk. Omdat de stengels van de tomatenplanten steeds langer werden, werd periodiek de weegbalk verschoven. Hingen de planten aan het begin van de teelt recht boven de weeggoot aan het begin van de gewasrij, aan het einde van de teelt hingen de planten aan het einde van de gewasrij.

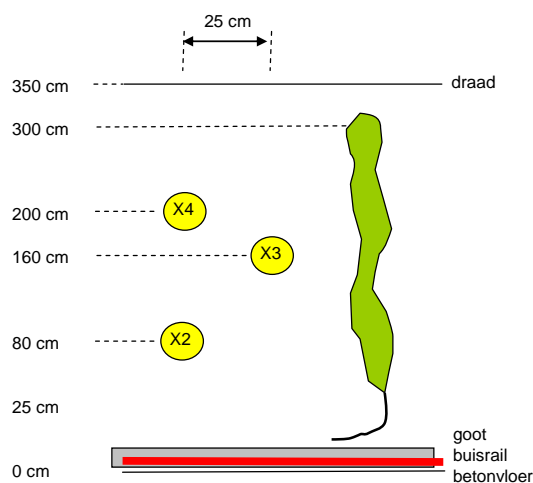


Figuur 4 Schematisch overzicht van weegopstelling.

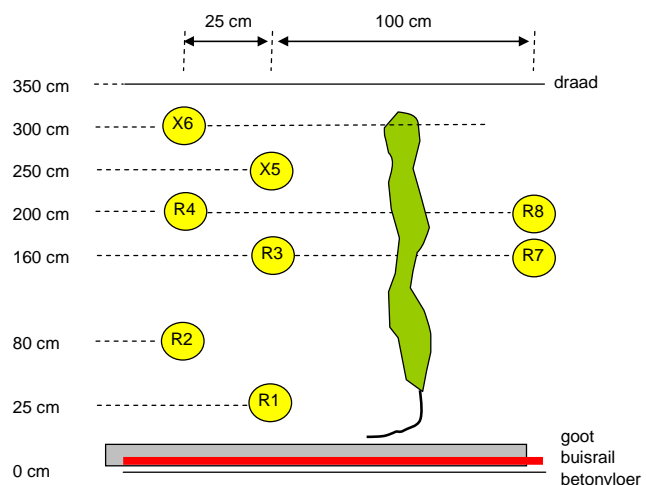
Van de weeginstallaties kunnen continue gegevens van watergift, drain, verdamping en groei worden afgeleid. De weeginstallaties waren door de afdelingen Technische Dienst en Informatica van PPO Glastuinbouw ontwikkeld.

2.3.6 Artificiële vruchten

In de tweede helft van september zijn bij behandeling 4 IR_{boven} & $RV_{koudste}$ 8 artificiële vruchten en bij behandeling 2 IR_{boven} 3 artificiële vruchten tussen het gewas gehangen (zie paragraaf 2.4.2). Dit was midden in de kas in de gewasrij waar ook de meetboxen hingen. Deze vruchten waren als volgt gepositioneerd:



Figuur 5 Overzicht van positie van artificiële vruchten bij behandeling 2 (X = niet gebruikt in regeling).



Figuur 6 Overzicht van positie van artificiële vruchten bij behandeling 4 (R = gebruikt in regeling; X = niet gebruikt in regeling).

Tabel 1 Diameter en gewicht van de gebruikte artificiële vruchten.

| type | diameter (mm) | gewicht (gram) | nummer van artificiële vrucht bij behandeling 2 | nummer van artificiële vrucht bij behandeling 4 |
|-------|---------------|----------------|---|---|
| klein | 60 | 108 | X2 | - |
| groot | 71 | 180 | R3 en R4 | R1 – R4, R7, R8, X5 en X6 |

De gebruikte artificiële vruchten waren van twee verschillende groottes (zie Tabel 1). Ter vergelijking, de grootste geoogste vruchten hadden half oktober een gewicht van 135 gram en een diameter van 67 mm. Het fysische gedrag van de artificiële vruchten was vergelijkbaar met dat van echte vruchten (zie deelvorslag *Ontwikkeling plant temperatuursensor*, Campen *et al.*, 2005). Op elke artificiële vrucht waren 2 temperatuursensoren bevestigd. Bij de gemeten temperatuur is aan de hand van de absolute luchtvochtigheid van de kaslucht de RV bij de vruchten berekend. Bij de koudste vruchttemperatuur sensor zal de RV het hoogste zijn. Deze RV wordt aangeduid met $RV_{koudste}$. Hierop is in behandeling 4 vocht geregeld (zie paragraaf 2.4.2). Hierbij is alleen gekeken naar de vruchten tussen het gewas (zie Figuur 5 en Figuur 6).

2.4 Behandelingen

2.4.1 Hoofdbehandelingen in winter t/m zomer

In de periode van winter tot 9 september zijn de volgende 3 behandelingen toegepast waarbij het regelen op basis van planttemperatuur uitgangspunt is:

- behandeling 1: kasklimaat regelen op kasluchttemperatuur. Dit is de referentie behandeling. De aanduiding van deze behandeling is *meetbox*.
- behandeling 2: kasklimaat regelen op gemeten planttemperatuur aan de bovenzijde van het gewas, waarbij het scherm eventueel eerder mag sluiten bij veel uitstraling. De aanduiding van deze behandeling is IR_{boven} .
- behandeling 3: kasklimaat regelen op gemeten planttemperatuur aan de bovenzijde en de onderzijde van het gewas, waarbij het scherm eventueel eerder mag sluiten bij veel uitstraling. De aanduiding van deze behandeling is $IR_{boven} & IR_{onder}$.

Met kasklimaat wordt bedoeld de regeling van verwarming, ventilatie, vocht en scherm. Voor de exacte invulling van de regelingen wordt verwezen naar paragraaf 2.5. De resultaten van deze hoofdbehandelingen worden in hoofdstuk 3 besproken.

2.4.2 Hoofdbehandelingen in najaar

Aangezien uit tussentijdse resultaten de meerwaarde van behandeling 3 onvoldoende naar voren was gekomen, is vanaf 9 september deze behandeling vervangen door behandeling 4. Behandeling 4 lijkt op behandeling 2 met de aanvulling dat de vochtregeling gebaseerd is op de RV bij de gemeten koudste artificiële vruchten. Vanaf 27 september is daadwerkelijk op de koudste vrucht vocht geregeld (zie Tabel 3). Voor alle duidelijkheid hieronder het totaaloverzicht van de behandelingen.

- behandeling 1: kasklimaat regelen op kasluchttemperatuur. Dit is de referentie behandeling. De aanduiding van deze behandeling is *meetbox*.
- behandeling 2: kasklimaat regelen op gemeten planttemperatuur aan de bovenzijde van het gewas, waarbij het scherm eventueel eerder mag sluiten bij veel uitstraling. De aanduiding van deze behandeling is IR_{boven} .
- behandeling 4: kasklimaat regelen op gemeten planttemperatuur aan de bovenzijde van het gewas, waarbij het scherm eventueel eerder mag sluiten bij veel uitstraling. De vochtregeling is gebaseerd op de RV bij de koudste artificiële vrucht. De aanduiding van deze behandeling is IR_{boven} & $RV_{koudste}$.

2.4.3 Kortlopende behandelingen

In de vierde afdeling zijn diverse kortlopende behandelingen uitgevoerd met het doel om inzicht op te doen van bepaalde klimaatsturingen op de planttemperatuur. Deze behandelingen worden met *kortlopend* aangeduid. De resultaten van deze behandelingen worden afzonderlijk in hoofdstuk 3 besproken.

Tabel 2 Overzicht van kortlopende behandelingen uitgevoerd in de vierde afdeling.

| volgnr. | behandeling | periode | vergelijking met |
|---------|---|---|------------------|
| 1 | scherm eerder openen (bij meer straling dan 10 W/m ² i.p.v. 100 W/m ²) | 27 februari t/m 12 maart | behandeling 1 |
| 2 | sneller opstoken: 45 minuten/C i.p.v. 90 minuten/C | 13 t/m 22 maart | behandeling 1 |
| 3 | sneller opstoken: 45 minuten/C i.p.v. 90 minuten/C | 12 okt. tot einde teelt | behandeling 2 |
| 4 | niet schermen | 23 maart t/m 12 april | behandeling 1 |
| 5 | scherm op zonnige middag dichttrekken | 18 en 19 mei; 19, 22, 23, 27, 29 en 30 juli | behandeling 2 |
| 6 | vochtsparen: namiddag ventilatietemperatuur verhogen | 7 en 8 juni; 9 augustus | behandeling 2 |

In deze afdeling zijn door A&F in het voorjaar de low cost plantsensoren geïnstalleerd. De opzet van dat onderzoek en de resultaten staan in een afzonderlijk verslag (Campen *et al.*, 2005).

2.5 Klimaatregeling

2.5.1 Overzicht

De regelingen van verwarming, ventilatie, scherm en vochtregulatie maken gebruik van diverse metingen en berekende waarden. Welke dat zijn hangt samen met de toegepaste behandeling. In onderstaande tabel wordt daar een overzicht van gegeven. In Tabel 4 worden de afkortingen van de gebruikte berekende en gemeten waarden toegelicht.

Tabel 3 Overzicht per behandeling met welke gemeten en berekende waarden de regelingen werken.

| behandeling (aanduiding) | verwarming | ventilatie | scherm | vocht |
|--|---|---|--|--|
| 1 = <i>meetbox</i> (= referentie) | meetbox | meetbox | buitentemperatuur en straling | ber.RVvrucht |
| 2 = IR_{boven} | Tpl.boven | Tpl.boven | buitentemperatuur, straling en Tpl.boven (zie paragraaf 2.3.4) | - tot 22/3: hoogste RV van RVpl.boven en ber.RVvrucht - na 22/3: hoogste RV van RVpl.boven -5 % en ber.RVvrucht |
| winter t/m zomer (tot 9/9): 3 = IR_{boven} & IR_{onder} | gemiddelde van Tpl.boven en Tpl.onder | gemiddelde van Tpl.boven en Tpl.onder | buitentemperatuur, straling en Tpl.boven (zie paragraaf 2.3.4) | - tot 22/3: hoogste RV van RVpl.boven, RVpl.onder en ber.RVvrucht - na 22/3 tot 9/9: hoogste RV van RVpl.boven -5 %, RVpl.onder en ber.RVvrucht |
| najaar (na 9/9): 4 = IR_{boven} & $RV_{koudste}$ | Tpl.boven | Tpl.boven | buitentemperatuur, straling en Tpl.boven (zie paragraaf 2.3.4) | - tot 27/9: hoogste RV van RVpl.boven -5 % en ber.RVvrucht - na 27/9: hoogste RV bij de koudste vruchten |
| 5 = <i>kortlopend</i> | afhankelijk van kortlopende behandeling (zie paragraaf 2.4.3) | afhankelijk van kortlopende behandeling (zie paragraaf 2.4.3) | afhankelijk van kortlopende behandeling (zie paragraaf 2.4.3) | afhankelijk van kortlopende behandeling (zie paragraaf 2.4.3) |

Tabel 4 Verklaring van gebruikte afkortingen van gemeten en berekende waarden.

| aanduiding | verklaring | bepaling |
|--------------|--|---|
| Tkas | gemeten kasttemperatuur | meetbox |
| RVkas | gemeten RV van kaslucht | meetbox |
| Tpl.boven | gemeten planttemperatuur aan bovenzijde van gewas | IR-sensor op bovenzijde van gewas (zie paragraaf 2.3.4) |
| RVpl.boven | gemeten RV bij gemeten Tpl.boven en RVkas. Dit geldt voor de bovenzijde van het gewas. | afgeleid uit Tpl.boven en RVkas |
| VPDpl.boven | gemeten VPD bij gemeten Tpl.boven en RVkas. Dit geldt voor de bovenzijde van het gewas. | afgeleid uit Tpl.boven en RVkas |
| Tpl.onder | gemeten planttemperatuur aan onderzijde van gewas | IR-sensor op onderzijde van gewas (zie paragraaf 2.3.4) |
| RVpl.onder | gemeten RV bij gemeten Tpl.onder en RVkas. Dit geldt voor de onderzijde van het gewas. | afgeleid uit Tpl.onder en RVkas |
| VPDpl.onder | gemeten VPD bij gemeten Tpl.onder en RVkas. Dit geldt voor de onderzijde van het gewas. | afgeleid uit Tpl.onder en RVkas |
| ber.Tvrucht | berekende vruchttemperatuur | afgeleid uit Tkas (zie Houter <i>et al.</i> , 2004) |
| ber.RVvrucht | berekende RV bij berekende vruchttemperatuur | afgeleid uit ber.Tvrucht, Tkas en RVkas |
| RVkoudste | berekende RV bij de koudste gemeten artificiële vruchttemperaturen | afgeleid uit koudste artificiële vruchttemperatuur Tkas en RVkas |
| Tregeling | temperatuur als zijnde de gemeten kasttemperatuur voor de verwarmings- en ventilatieregeling | afgeleid uit Tkas, Tpl.onder en/of Tpl.boven afhankelijk van de behandeling |
| RVregeling | RV als zijnde de gemeten RV voor de vochtregeling van scherm, minimum raam en minimum buis | afgeleid uit ber.RVvrucht, RVpl.boven en/of RVpl.onder afhankelijk van de behandeling |

2.5.2 Regeling op planttemperatuur

Voor het benutten van de IR-planttemperatuur in de regeling zijn de volgende aanpassingen gedaan:

- Elimineren van afwijkende metingen als gevolg van gewaswerkzaamheden in het meetveld van de IR-planttemperatuursensoren. Indien het temperatuurverschil tussen de IR-meting en de kasluchttemperatuur groter was dan 4 °C, dan werd het temperatuurverschil van 1 minuut daarvoor (of meest recente niet verstoorte meting) opgeteld bij de kasluchttemperatuur als zijnde de IR-meting.
- Aangezien uit eerder onderzoek van Houter *et al.* (2004) bleek dat de planttemperatuur sneller fluctueerde dan de kasluchttemperatuur, is de IR-meting met 50 % gedempt volgens:
$$T_{\text{plant voor regeling}_t} = T_{\text{plant voor regeling}_{t-1}} \times 50 \% + \text{IR-meting}_t \times 50 \%$$
- Vervolgens is afhankelijk van de behandeling (zie paragraaf 2.5.1) de waarde *Tplant voor regeling* bij de verwarmingsregeling en ventilatieregeling gebruikt als vervanger voor de meetboxtemperatuur.
- Het energiescherm werd eerder dichtgetrokken bij meer uitstraling (zie paragraaf 2.5.4).

2.5.3 Verwarmings- en ventilatieregeling

De verwarmings- en ventilatieregeling maken gebruik van een gemeten temperatuur (meestal van meetbox) die vergeleken wordt met ingestelde streefwaarden. Voor de behandeling *meetbox* was de gemeten temperatuur de door de meetbox gemeten kasluchttemperatuur. Indien op basis van de gemeten planttemperatuur werd geregeld, dan werd de gemeten planttemperatuur input voor de verwarmings- en ventilatieregeling.

2.5.4 Schermregeling

Het scherm werd tussen 1 uur voor zonsondergang en 9 uur (wintertijd) gesloten als het buiten kouder was dan 8 °C (buitentemperatuurgrens). 's Morgens werd het scherm voor 9 uur geopend als buiten meer dan 100 W/m² aan globale straling werd gemeten. Bij de behandelingen waarbij op basis van de planttemperatuur geregeld werd, kon het scherm als gevolg van meer uitstraling worden gesloten. De bepaling van dit criterium was als volgt:

- Het temperatuurverschil tussen T_{kas} en $T_{\text{pl. boven}}$ werd bepaald.
- Indien dit temperatuurverschil groter was dan 1 °C (temperatuurverschil-voorwaarde), dan werd dit verschil afgetrokken van de gemeten buitentemperatuur.
- Daardoor werd eerder de ingestelde temperatuurgrens bereikt waaronder het scherm gesloten werd.

Vanaf 9 september is de buitentemperatuurgrens van 8 °C verhoogd naar 12 °C en is de temperatuurverschil-voorwaarde van 1 °C verlaagd naar 0.5 °C, beide met het doel om meer uren te schermen.

2.5.5 Vochtregeling

2.5.5.1 Vochtstrategie

De toegepaste vochtstrategie van vochtkier in scherm, minimum raamstand en minimum buis is vergelijkbaar met die in Houter *et al.* (2004). Bij een oplopende luchtvochtigheid werd eerst een vochtafhankelijke vochtkier gebruikt, vervolgens een vochtafhankelijke minimum raamstand en tot slot een vochtafhankelijke minimum buis. Het enige verschil met Houter *et al.* (2004) was dat de schermkierregeling niet proportioneel was maar integrerend ten opzichte van een vochtstreefwaarde *vochtgrens vochtkier*.

Tabel 5 Ingestelde vochtstrategie bij behandelingen 1 t/m 3 en kortlopende behandelingen.

| regelorgaan | vochtgrens | vochttraject | regeltraject |
|---------------------|---|---|---|
| vochtmier in scherm | 85 % (11/2 - 19/2) 87 % (19/2 - 24/3) 89 % (vanaf 24/3) | | 0 – 4 % vochtmier met stapjes van 1 % open als boven grenswaarde en 1 % dicht als onder grenswaarde |
| raam | | 90 – 94 % (11/2 - 24/3) 91 – 96 % (24/3 - 1/6) 91 – 97 % (1/6 - 1/7) 91 – 96 % (vanaf 1/7) | 0 – 20 % raamstand (11/2 tot 1/6) 0 – 30 % raamstand (1/6 tot 21/7) 0 – 40 % raamstand (vanaf 21/7) |
| buis | | 93 – 97 % (11/2 - 24/3) 94 – 98 % (vanaf 24/3) | 0 – 40 °C buis |

Tabel 6 Ingestelde vochtstrategie bij behandeling 4 (vanaf 9 september).

| regelorgaan | vochtgrens | vochttraject | regeltraject |
|---------------------|--|---|---|
| vochtmier in scherm | 89 % (tot 27/9) 91 % (27/9 - 11/10) 92 % (vanaf 11/10) | | 0 – 4 % vochtmier met stapjes van 1 % open als boven grenswaarde en 1 % dicht als onder grenswaarde |
| raam | | 91 – 96 % (tot 27/9) 93 – 98 % (27/9 – 11/10) 94 – 99 % (vanaf 11/10) | 0 – 40 % raamstand |
| buis | | 94 – 98 % (tot 27/9) 96 – 100 % (27/9 – 11/10) 97 – 101 % (vanaf 11/10) | 0 – 40 °C buis |

Bovenstaande tabellen geven een overzicht van de toegepaste vochtstrategieën door de verschillende regelingen. Hieronder worden de afzonderlijke regelingen van vochtmier, minimum raamstand en minimum buis toegelicht. Bij behandeling 4 (Tabel 6) waarbij in het najaar op de RV van de koudste artificiële vrucht is geregeld, verschillen alleen de toegepaste vochtgrens en vochttraject ten opzichte van de andere behandelingen (zie Tabel 5). Het regeltraject is ongewijzigd gebleven.

In de experimenten van winter t/m zomer is geregeld op basis van de RV bij de berekende vruchttemperatuur, ber. RVvrucht, op dezelfde wijze als in Houter *et al.* (2004) is gedaan. Daarnaast is afhankelijk van de behandeling ook gekeken naar de RV bij de gemeten planttemperatuur (zie Tabel 3). Bij de behandelingen waarbij ook op de RVpl.boven geregeld werd, is op 22 maart het programma aangepast waarbij deze waarde met 5 % is verlaagd. Met andere woorden, er wordt aan de bovenzijde van het gewas een 5 % hogere luchtvochtigheid getolereerd, omdat anders de vochtregelingen te veel geactiveerd worden.

Vanaf 9 september is de opzet van behandeling 3 veranderd (zie Tabel 3). In eerste instantie is tot 27 september de vochtregeling hetzelfde als bij behandeling 2. Vanaf 27 september is de vochtregeling gebaseerd op de RV bij de koudste artificiële vrucht tussen het gewas. Deze behandeling is aangeduid met IR_{boven} & $RV_{koudste}$ (behandeling 4). De resultaten worden besproken in paragraaf 3.4.

De vochtregelingen bij de andere behandelingen zijn in het najaar ongewijzigd gebleven. De gemeten RV waarop geregeld wordt, wordt bij alle behandelingen met *RVregeling* aangeduid (zie Tabel 4).

2.5.5.2 Vochtafhankelijke vochtkier in scherm

De vochtafhankelijke vochtkier in het scherm werkte integrerend ten opzichte van de vochtgrens waarboven de vochtkier in kwam, *vochtgrens vochtkier*. Tabel 5 geeft een overzicht van de toegepaste vochtgrens. Als de *RVregeling* boven de *vochtgrens vochtkier* uitkwam, kwam 1% kier in het scherm. Vervolgens werd 3 minuten gewacht. Na die tijd werd elke minuut het vochtverschil tussen *RVregeling* en *vochtgrens vochtkier* gesommeerd. Als het gesommeerde vochtverschil groter werd dan 6 %, dan werd de vochtkier met 1 % vergroot. Indien het gesommeerde vochtverschil kleiner werd dan -6 %, dan werd de vochtkier met 1 % verkleind. De maximale vochtkier was 4 %.

2.5.5.3 Vochtafhankelijke minimum raamstand

De vochtafhankelijke minimum raamregeling werkte proportioneel: maximaal 20 % minimum raamstand (winter) tot 40 % in zomer en najaar aan de luwe zijde bij 4 tot 6 % vochtoverschrijding (*berekende RV_{vrucht}* t.o.v. streefwaarde minimum raam). Tussen de vochtafhankelijke raamverstellingen werd een wachttijd van 5 minuten aangehouden. Tabel 5 geeft een overzicht van het toegepaste vochttraject.

2.5.5.4 Vochtafhankelijke minimum buistemperatuur

De vochtafhankelijke minimum buisregeling werkte proportioneel: maximum 40 °C buistemperatuur van het hoofdnet bij 4 % vochtoverschrijding (*berekende RV_{vrucht}* t.o.v. streefwaarde minimum buis). Tussen de vochtafhankelijke buistemperatuurverstellingen werd een wachttijd van 5 minuten aangehouden. De vochtafhankelijke minimum buis wordt gerekend vanaf 0 °C. Tabel 5 geeft een overzicht van het toegepaste vochttraject.

Aangezien de vochttrajecten van het minimum raam en minimum buis elkaar deels overlaptten, is bij de vochtafhankelijke minimum buis een wachttijd van 15 minuten aangehouden na het actief worden van de vochtafhankelijke minimum raam.

2.5.6 CO₂-regeling

In de afdeling is overdag zuiver CO₂ gedoseerd. Afhankelijk van de raamstand is de CO₂-streefwaarde van 1000 tot 400 ppm afgebouwd.

2.6 Watergift en bemesting

De watergift werd per afdeling ingesteld en geregeld. Er werd op basis van een verdampingsmodel water gegeven. De watergift werd pas rond 2:30 uur na zonsopkomst gestart, omdat uit het onderzoek van Van Gurp & Dik (1996) volgde dat bij later starten de risico's van *Botrytis* worden verkleind. De laatste beurt werd rond 3 uur voor zonsondergang gegeven. Dit werd in de loop van het najaar vervroegd tot halverwege de middag. In het voorjaar en zomer werd een drainpercentage van circa 50 % nagestreefd. In de nazomer is dit verlaagd tot 30 tot 40 %. De laatste weken van de teelt is wat droger geteeld.

Het bemestingsschema was in alle behandelingen identiek en vergelijkbaar met wat in de praktijk wordt toegepast. Eens in de twee weken werden analysemonsters uit de matten genomen. Twee tot drie maal per week werden EC en pH in diverse matten, drain, voorraad- en voedingsbakken gecontroleerd.

2.7 Gewaswaarnemingen

Vanaf de eerste oogst (25 maart) is van 2 vaste paden per afdeling de kg-productie en kwaliteit (neusrot, zwelscheurtjes en goudspikkels) beoordeeld.

2.8 Energieberekening

Voor bepaling van het energiegebruik van de afzonderlijke behandelingen is gebruik gemaakt van de berekeningsmethode van Nawrocki (1985). Input hierbij zijn:

- kasluchttemperatuur
- aanvoertemperatuur van hoofd- en groeinet
- retourtemperatuur van hoofd- en groeinet

Deze methode is beschreven in bijlage 2.

2.9 Dataregistratie en -verwerking

Gedurende de proefperiode zijn 1-minuut gegevens van metingen en berekeningen in bestanden weggeschreven. Op grond van deze informatie is het dagelijkse verloop van de regelingen en het gedrag van de stelorganen (scherm, buizen en ramen) gevolgd.

Bij de dataverwerking zijn de 1-minuut gegevens gecomprimeerd tot 5-minuut gemiddelden. Deze data zijn gebruikt voor de verdere data-analyse die resulteerde in kwartier- en uurwaarden.

De resultaten van de winter t/m zomer worden gepresenteerd in figuren met weekgemiddelden; de figuren met de resultaten van het najaar hebben betrekking op etmaalgemiddelden.

3 Resultaten

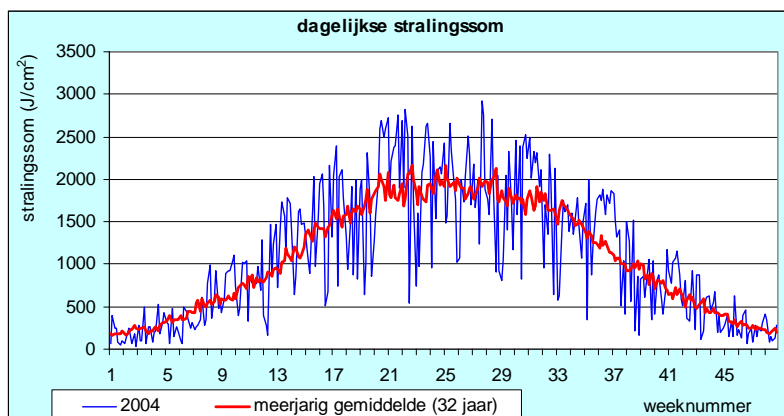
3.1 Vooraf

De resultaten zijn opgesplitst in:

- buitenklimaat (paragraaf 3.2);
- resultaten van hoofdbehandelingen in winter t/m zomer met nadruk op klimaat en energie in relatie tot het regelen op basis van planttemperatuur (paragraaf 3.3);
- resultaten van hoofdbehandelingen in najaar met nadruk op klimaat en energie in relatie tot het regelen op basis van planttemperatuur in combinatie met vochtregeling op artificiële vruchten (paragraaf 3.4);
- resultaten van het gewas van de gehele teelt (paragraaf 3.5);
- kortlopende behandelingen (paragraaf 3.6).

3.2 Buitenklimaat

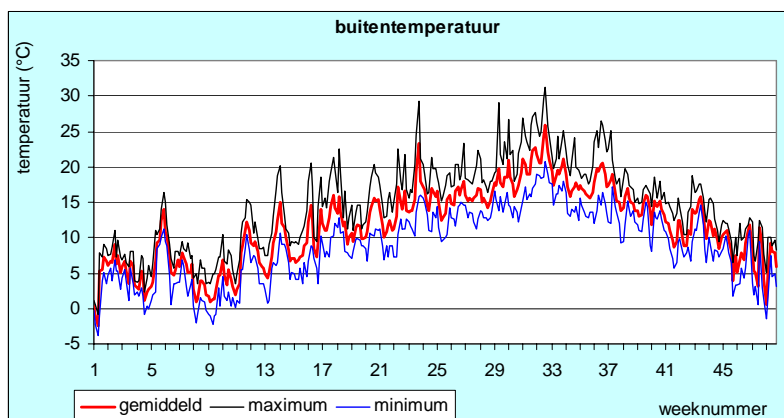
Het kasklimaat wordt voor een groot deel bepaald door het buitenklimaat. Vergelijken met het meerjarige gemiddelde van 32 jaren was 2004 in februari en begin mei (week 18 – 21) somberder (zie Figuur 7). Eind mei, eind juli tot begin augustus en eind augustus waren in 2004 zonniger.



Figuur 7

Dagelijkse stralingsom van 2004 en meerjarig gemiddelde van 32 jaar (meetlocatie PPO-Naaldwijk).

Eind februari/begin maart waren koud (zie Figuur 8). Verder waren er eind juli/begin augustus en eind augustus/begin september diverse zomerse dagen maxima boven de 25 tot zelfs 30 °C.



Figuur 8

Dagelijkse hoogste, gemiddelde en laagste buitentemperatuur (meetlocatie PPO-Naaldwijk).

3.3 Hoofdbehandelingen in winter t/m zomer

3.3.1 Klimaatinstellingen

Vanaf het moment van planten is het klimaat geregeld op de meetboxtemperatuur. Op 11 februari 2004 is besloten om de klimaatbehandelingen te starten zoals beschreven in paragraaf 2.4.1 en op basis van berekende en gemeten gegevens zoals weergegeven in Tabel 3. Om op basis van gemeten planttemperatuur te regelen is het noodzakelijk dat het gewas voldoende gesloten is, zodat de IR-planttemperatuursensoren geen bodem, buizen of gevels “zien”. Pas begin februari was dat het geval.

Vanaf dat moment zijn de regelingen op basis van gemeten planttemperaturen geactiveerd. Uitgangspunt voor behandeling 2 en 3 (resp. IR_{boven} en IR_{boven} & IR_{onder}) was het gerealiseerde temperatuurregime bij de referentie (behandeling 1). De temperatuurstrategie van de referentie behandeling werd indien nodig wekelijks bijgesteld aan de hand van de stand van het gewas, het gerealiseerde weer en het te verwachten weer (zie Tabel 1 en 2 in bijlage 1). De regelingen op basis van planttemperatuur bij behandeling 2 en 3 zijn in beginsel op dezelfde wijze ingesteld, waarbij een vergelijkbare dag-, nacht- en etmaaltemperatuur als de referentie werd nagestreefd. Na enkele dagen is gekeken of aanpassingen nodig waren, waarbij steeds ook een verklaring voor de mogelijke afwijkingen is gezocht. Vanaf week 12 (half maart) kon gezegd worden dat de noodzakelijke aanpassingen helder waren.

Opvallend was dat behandeling 3, IR_{boven} & IR_{onder} , waarbij op het gemiddelde van beide IR-planttemperatuursensoren geregeld werd, vrij goed overeenkwam met de regeling op basis van meetboxtemperatuur. Bij de behandeling 2, IR_{boven} , moesten wel aanpassingen worden doorgevoerd om vergelijkbare groei en groeiomstandigheden te hebben als bij regeling op basis van de meetboxtemperatuur. In Tabel 3 en 4 in bijlage 1 zijn de aanpassingen weergegeven en in het kort gemotiveerd.

Samenvattend kwamen de aanpassingen voor het regelen op Tpl.boven (behandeling IR_{boven}) neer op:

- Verlagen van de verwarmingstemperatuur met 1 °C gedurende de nacht. Door uitstraling is de Tpl.boven lager dan T_{kas} .
- Vervroegen van het opstooktijdstip naar de dagperiode met een uur. Immers de verwarmingstemperatuur is gedurende de nacht lager, dus er moet meer worden opgestookt.
- In de zomer is de ventilatietemperatuur gedurende de nacht met 0.5 °C verlaagd. De reden is vergelijkbaar als voor de verlaging van de verwarmingstemperatuur: Door uitstraling is de Tpl.boven lager dan T_{kas} . In de winter en het voorjaar is deze aanpassing niet nodig, omdat gedurende de nacht niet of nauwelijks op basis van temperatuur geventileerd wordt. In de zomer moet voorkomen dat de etmaaltemperatuur te hoog uit komt.
- Toepassen van (extra) stralingsaanpassing op verwarmings- en ventilatietemperatuur van 1 °C die al vanaf 0 W/m² proportioneel moet ingaan. De reden hiervoor is dat de inkomende straling het gewas aan de bovenzijde opwarmt. Vervolgens warmt het gewas de kaslucht op. Tpl.boven zal daardoor hoger zijn dan T_{kas} .

3.3.2 Temperatuurregeling

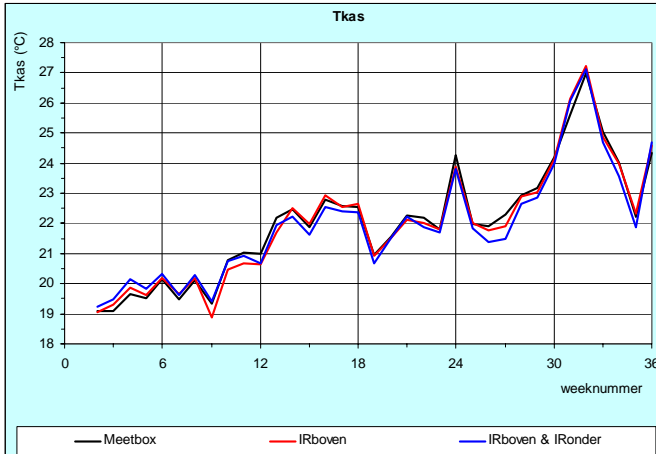
3.3.2.1 Ervaringen

Het regelen van de verwarming en de ventilatie op basis van de gemeten planttemperaturen heeft met de in paragraaf 2.5.2 beschreven regeling zonder problemen gewerkt. Voorwaarde is wel dat:

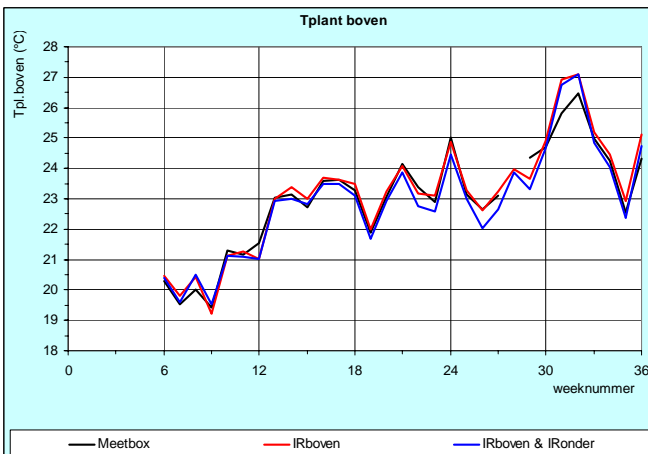
- de gemeten planttemperatuur gedempt wordt.
- kortstondige verstoringen van de metingen als gevolg van gewaswerkzaamheden opgevangen worden. Bij deze gewaswerkzaamheden kunnen storende objecten zich in het meetveld van de camera bevinden.

3.3.2.2 Meetresultaten van gehele periode

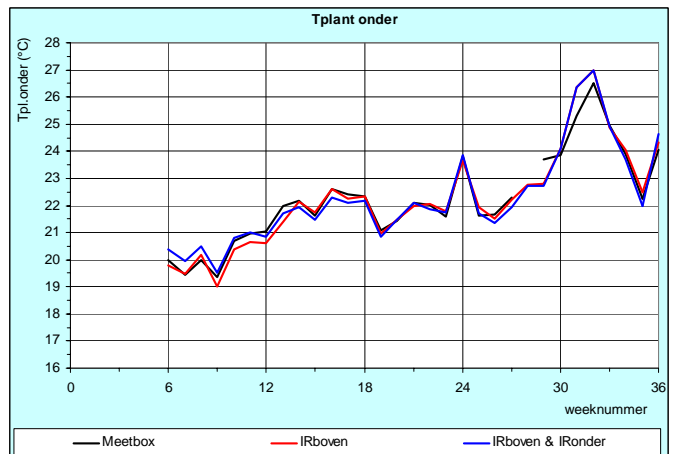
- dagperiode (9 – 18 uur)



Figuur 9 Gemiddelde kasluchttemperatuur gedurende de dag (9 - 18 uur) bij de 3 behandelingen.

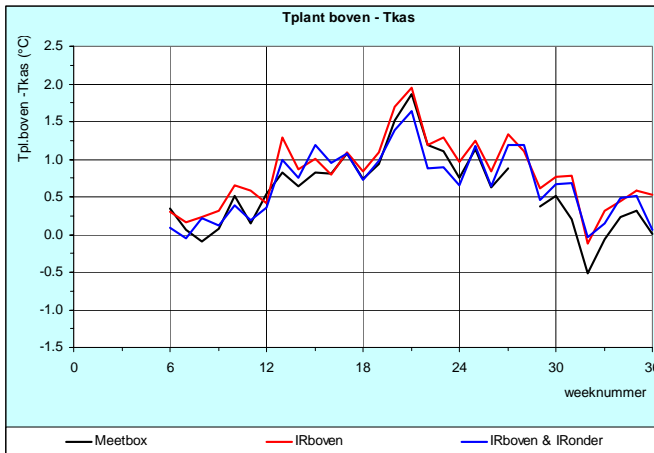


Figuur 10 Gemiddelde Tpl.boven gedurende de dag (9 - 18 uur) bij de 3 behandelingen.

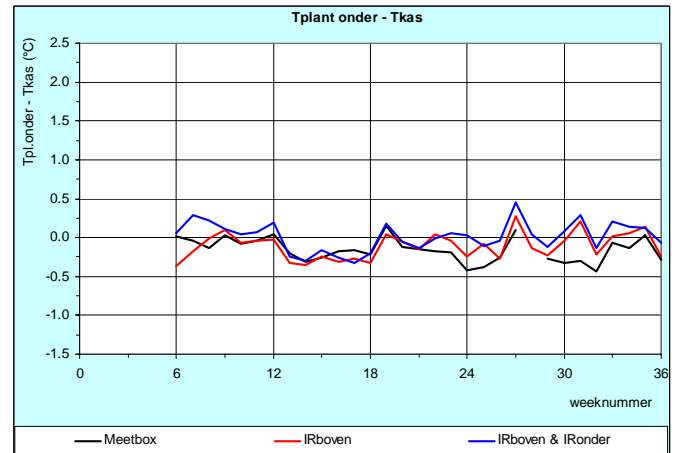


Figuur 11 Gemiddelde Tpl.onder gedurende de dag (9 - 18 uur) bij de 3 behandelingen.

De bovenstaande figuren geven aan dat gedurende de dagperiode van 9 tot 18 uur de verschillen tussen de verschillende behandelingen met betrekking tot de gerealiseerde kasluchttemperatuur en planttemperaturen gering zijn. Alleen in week 31 en 32 geeft de behandeling *meetbox* een iets lagere Tpl.boven en Tpl.onder dan de beide behandelingen die geregeld worden op planttemperatuur.



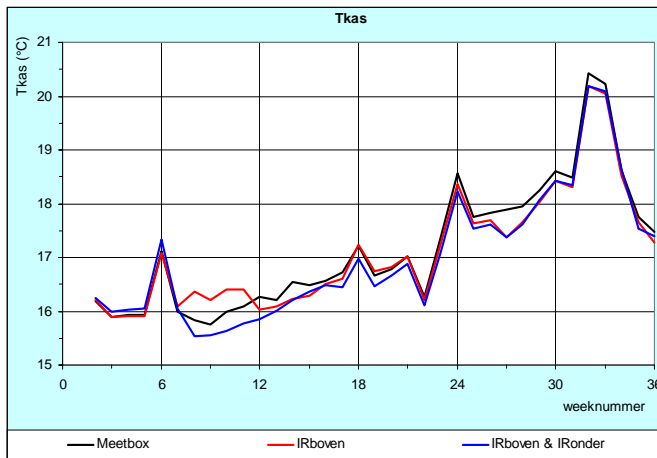
Figuur 12 Gemiddeld temperatuurverschil tussen Tpl.boven en Tkas gedurende de dag (9 - 18 uur) bij de 3 behandelingen.



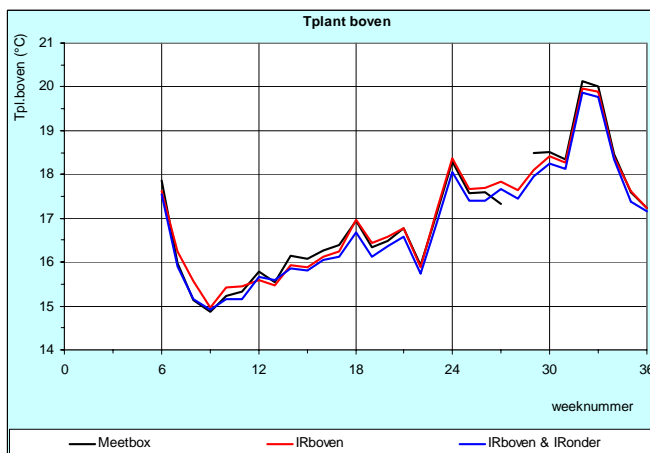
Figuur 13 Gemiddeld temperatuurverschil tussen Tpl.onder en Tkas gedurende de dag (9 - 18 uur) bij de 3 behandelingen.

Figuur 12 geeft aan dat overdag de Tpl.boven naar de zomer toe steeds warmer dan de kaslucht wordt. Dit komt door de toename van de instraling. Het gewas absorbeert een groot deel van deze straling en warmt op. Vervolgens zal het gewas die warmte aan de omgeving afstaan. Als de ventilatie beperkend is, met andere woorden de ramen zijn maximaal geopend, dan neemt het temperatuurverschil tussen Tpl.boven en kaslucht af (week 30 – 36). Onder in het gewas komt overdag de planttemperatuur vrijwel overeen met de kasluchttemperatuur, zeker in de koudere perioden tot week 12 (zie Figuur 13). Ook week 19 was koeler. In deze weken komt de warmte van de buizen. Het gewas wordt van onderen opgewarmd. In de minder koude perioden is de temperatuur van het gewas van onderen iets lager dan van de kaslucht. In de zomer zijn de verschillen gering. Dit komt door een flinke luchtstroming in de kas als gevolg van ventilatie.

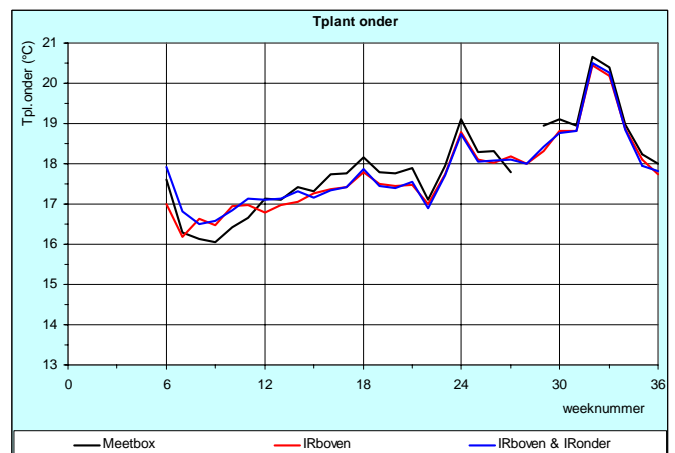
- nachtperiode (22 – 4 uur)



Figuur 14 Gemiddelde kasluchttemperatuur gedurende de nacht (22 - 4 uur) bij de 3 behandelingen.

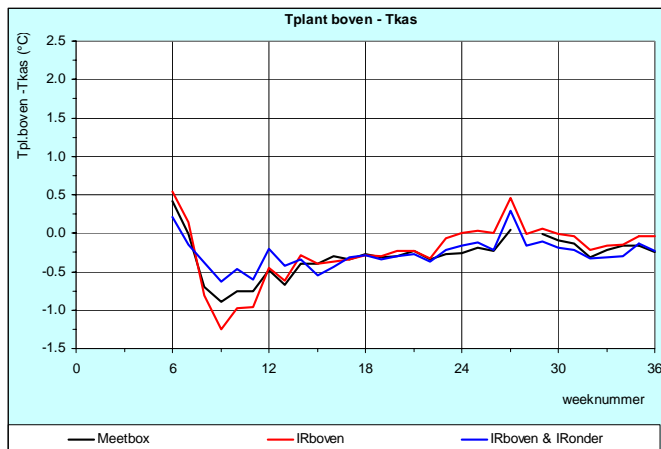


Figuur 15 Gemiddelde Tpl.boven gedurende de nacht (22 - 4 uur) bij de 3 behandelingen.

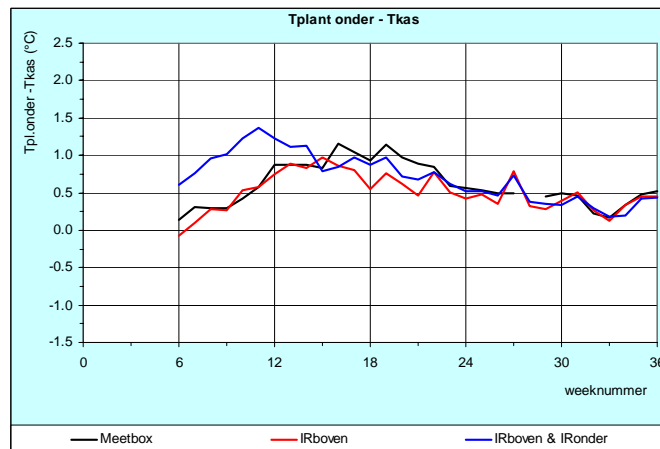


Figuur 16 Gemiddelde Tpl.onder gedurende de nacht (22 - 4 uur) bij de 3 behandelingen.

De bovenstaande figuren geven aan dat gedurende de nachtperiode de verschillen tussen de behandelingen gering zijn. In Figuur 14 is te zien dat rond week 10 de kasluchttemperatuur bij de behandeling *IRboven & IRonder* iets lager is dan de behandeling *meetbox*, terwijl de behandeling *IRboven* juist iets hoger ligt. De behandelingen hebben nauwelijks een effect op de gemeten Tpl.boven (zie Figuur 15). Bij gemeten Tpl.onder zijn de verschillen tussen de behandelingen geringer dan 0.5 °C (zie Figuur 16).



Figuur 17 Gemiddeld temperatuurverschil tussen Tpl.boven en Tkas gedurende de nacht (22 - 4 uur) bij de 3 behandelingen.

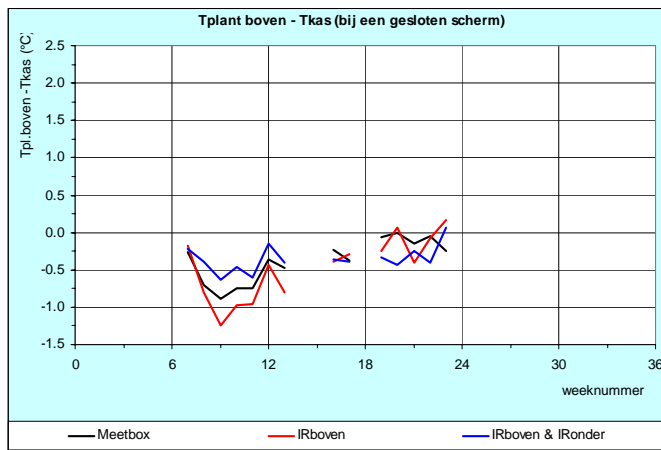


Figuur 18 Gemiddeld temperatuurverschil tussen Tpl.onder en Tkas gedurende de nacht (22 - 4 uur) bij de 3 behandelingen.

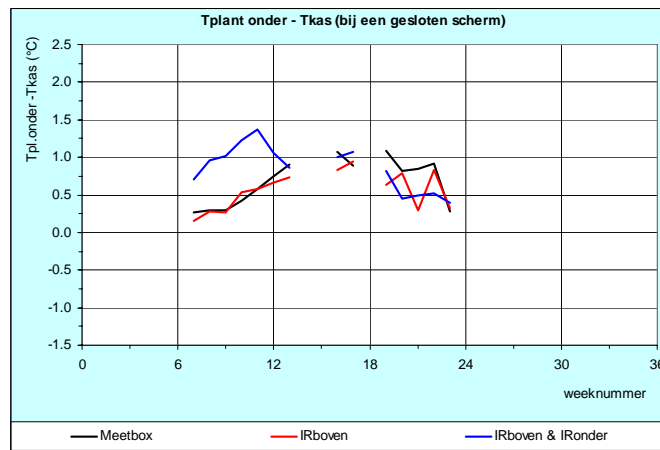
Figuur 17 geeft aan dat in de winter Tpl.boven bij de behandeling IR_{boven} 's nachts maximaal 1 °C lager is dan Tkas. De grootste verschillen ontstaan in de periode van koude (rond week 9, zie 3.2). Bij de behandeling IR_{boven} & IR_{onder} is het verschil slechts 0.5 °C. Naar de zomer toe is het verschil bij alle behandelingen iets minder dan 0.5 °C.

Bij de behandeling IR_{boven} & IR_{onder} is de Tpl.onder in de winter warmer dan de kaslucht, meer dan bij de andere behandelingen (zie Figuur 18). Naar de zomer toe zijn de temperatuurverschillen tussen Tpl.onder en Tkas marginaal.

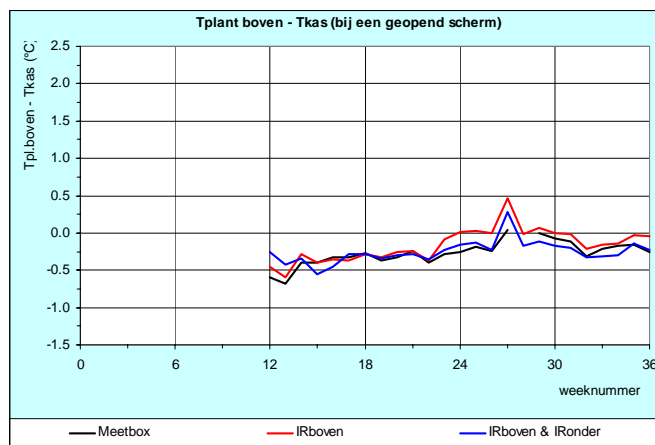
In de voorafgaande figuren (Figuur 17 en Figuur 18) is geen onderscheid gemaakt tussen momenten dat wel of niet geschermd is. In de onderstaande figuren is dat wel gedaan. Figuur 28 geeft een overzicht van het schermgebruik.



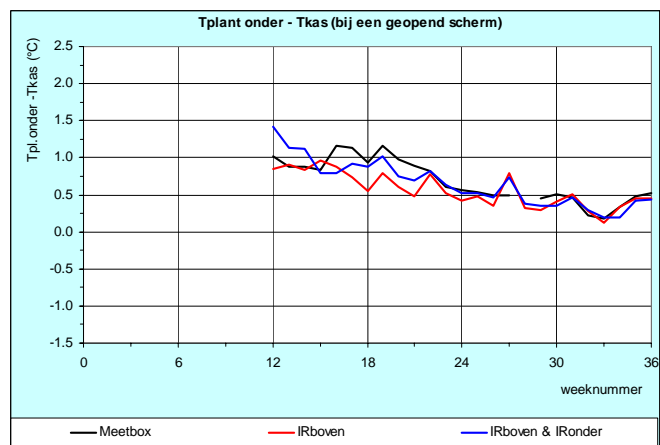
Figuur 19 Gemiddeld temperatuurverschil tussen Tpl.boven en Tkas bij een gesloten scherm (> 90 %) gedurende de nacht (22 - 4 uur) bij de 3 behandelingen.



Figuur 20 Gemiddeld temperatuurverschil tussen Tpl.onder en Tkas bij een gesloten scherm (> 90 %) gedurende de nacht (22 - 4 uur) bij de 3 behandelingen.



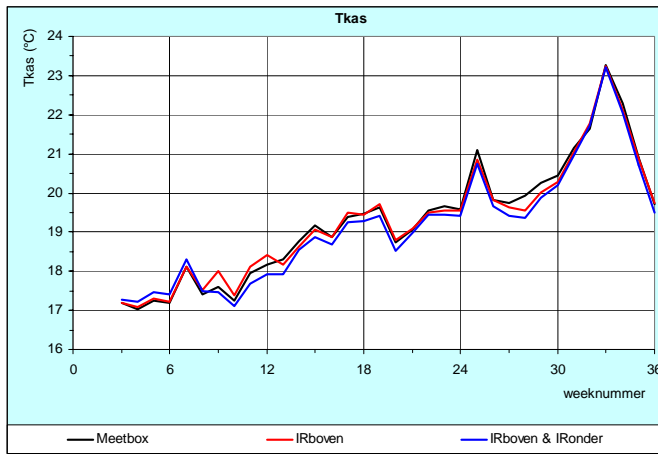
Figuur 21 Gemiddeld temperatuurverschil tussen Tpl.boven en Tkas bij een geopend scherm gedurende de nacht (22 - 4 uur) bij de 3 behandelingen.



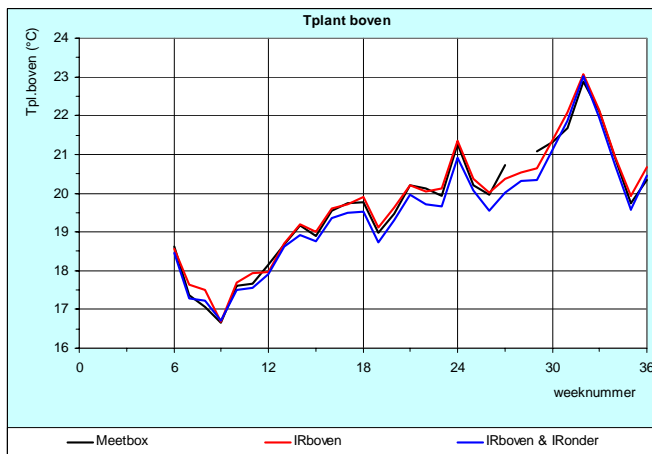
Figuur 22 Gemiddeld temperatuurverschil tussen Tpl.onder en Tkas bij een geopend scherm gedurende de nacht (22 - 4 uur) bij de 3 behandelingen.

Bij de vergelijking van Figuur 19 met Figuur 21 of Figuur 20 met Figuur 22 is geen verschil te zien in de orde van grootte van het temperatuurverschil tussen plant (zowel onder als boven) en kaslucht als het scherm gesloten is (> 90 %) of geopend. Mogelijk dat verschillen wel aan het licht komen als een vergelijking gemaakt kan worden tussen 2 afdelingen, waarbij gelijktijdig een afdeling wel en een andere afdeling niet wordt geschermd (zie kortlopende behandeling 4 in paragraaf 3.6.5).

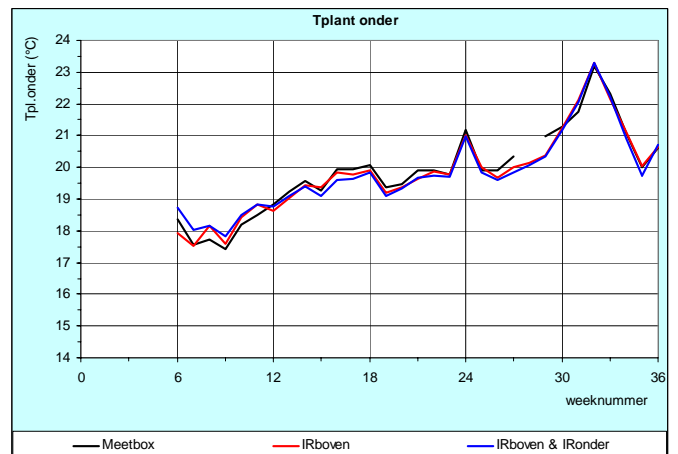
- etmaal (0 – 24 uur)



Figuur 23 Gemiddelde kasluchttemperatuur gedurende het etmaal bij de 3 behandelingen.

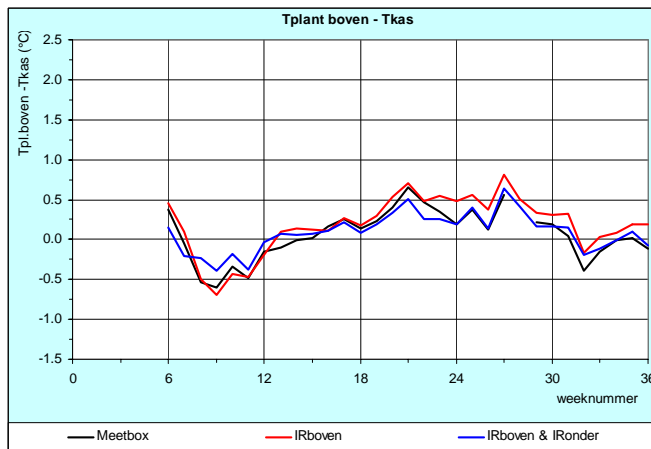


Figuur 24 Gemiddelde Tpl.boven gedurende het etmaal bij de 3 behandelingen.

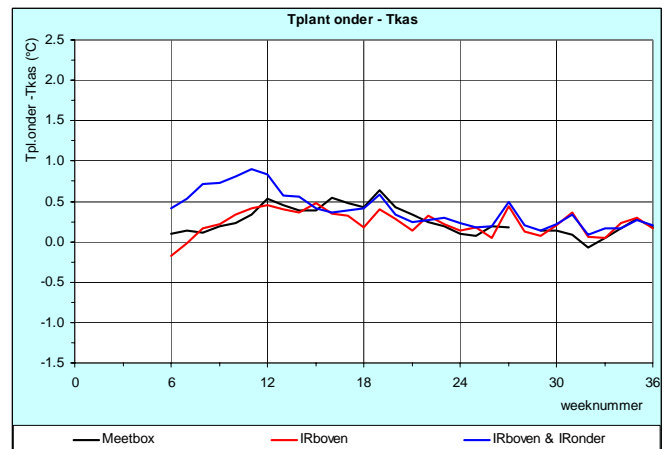


Figuur 25 Gemiddelde Tpl.onder gedurende het etmaal bij de 3 behandelingen.

De bovenstaande figuren geven aan dat gedurende het etmaal de verschillen tussen de behandelingen gering zijn.



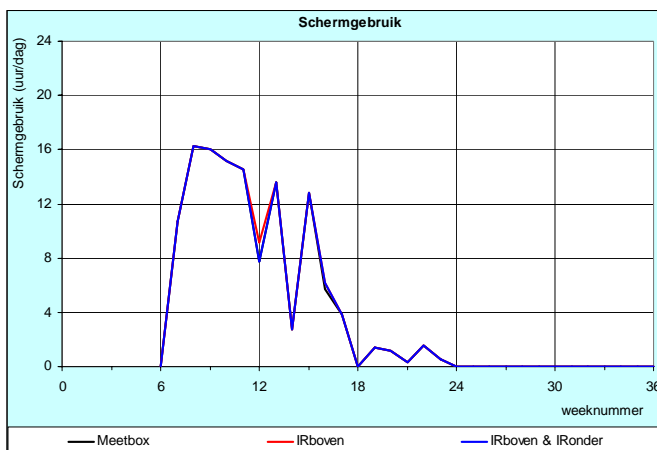
Figuur 26 Gemiddeld temperatuurverschil tussen Tpl.boven en Tkas gedurende het etmaal bij de 3 behandelingen.



Figuur 27 Gemiddeld temperatuurverschil tussen Tpl.onder en Tkas gedurende het etmaal bij de 3 behandelingen.

Figuur 26 geeft aan dat op etmaalbasis de Tpl.boven in de winter tot 0.5 °C onder de kasluchttemperatuur ligt en naar de zomer toe tot een 0.5 °C stijgt boven de kasluchttemperatuur. Op echte zomerse dagen (week 31 - 36) neemt het verschil af. Onder in het gewas ligt de planttemperatuur op etmaalbasis iets boven de kasluchttemperatuur (zie Figuur 27).

3.3.3 Schermregeling



Figuur 28 Gemiddeld aantal uren dat per etmaal is geschermd bij de 3 behandelingen.

Tabel 7 Schermgebruik van week 6 t/m 36 bij de 3 behandelingen.

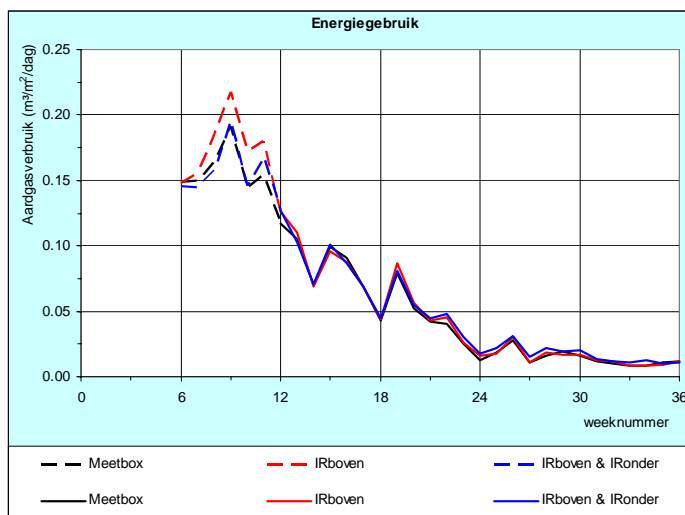
| behandeling | geschermd aantal uren |
|--|-----------------------|
| <i>meetbox</i> | 869 |
| <i>IR_{boven}</i> | 882 |
| <i>IR_{boven} & IR_{onder}</i> | 872 |

Het gemiddelde aantal uren dat geschermd is (schermstand > 90 %) lag in de winter op 16 uur. Naar de zomer toe werd dit steeds minder. In het voorjaar is in week 12 en 16 bij de behandelingen op basis van planttemperatuur het scherm eerder dicht getrokken dan op basis van de kasluchttemperatuur.

3.3.4 Vochtregeling

De schermkierregeling die integrerend werkte ten opzichte van een vochtstreefwaarde had een rustiger gedrag dan de proportionele regeling zoals die door Houter *et al.* (2004) werd gebruikt. De vochtgrens waarboven de schermkier in kwam, kon iets hoger liggen dan bij een proportionele regeling.

3.3.5 Energiegebruik



Tabel 8 Energiegebruik van week 12 t/m 36 bij de 3 behandelingen.

| behandeling | gesommeerd energiegebruik (m³/m²) | energiegebruik t.o.v. regelen op meetbox (%) |
|---|-----------------------------------|--|
| meetbox | 7.1 | 100.0 |
| IR _{boven} | 7.3 | 103.0 |
| IR _{boven} & IR _{onder} | 7.5 | 106.0 |

Figuur 29 Gemiddeld energiegebruik bij de 3 behandelingen (gestippeld is "leertraject").

Van week 6 tot 12 was een "leertraject": Hoe om te gaan met het regelen op planttemperatuur ten opzichte van het regelen op meetboxtemperatuur (zie paragraaf 3.3.1). Vanaf week 12 waren de noodzakelijke aanpassingen voor het regelen op basis van planttemperatuur in voldoende mate uit gekristalliseerd en doorgevoerd. Daarom is het reëel om vanaf week 12 de energiegebruiken tussen de behandelingen onderling te vergelijken.

De verschillen in energiegebruik zijn gering. Grote verschillen werden niet verwacht, omdat ongeveer dezelfde kasluchttemperaturen werden gerealiseerd. Dat de regelingen op basis van planttemperatuur iets hoger uitkomen, komt voort uit het feit dat bij deze behandeling ook vocht geregeld wordt op de RV bij de gemeten planttemperatuur (RVpl.boven en eventueel RVpl.onder). Achterafgezien zou het vochniveau bij deze behandeling iets hoger ingesteld kunnen worden.

3.4 Hoofdbehandelingen in najaar

3.4.1 Klimaatinstellingen

Vanaf 9 september zijn de behandelingen van het najaar ingezet. De aanpassingen voor het regelen van het kasklimaat op basis van planttemperatuur ten opzichte van het regelen op meetboxtemperatuur waren vergelijkbaar als toegepast in de periode van winter t/m zomer (zie paragraaf 3.3.1).

In hoofdlijnen komt dit neer op:

- Verlagen van de verwarmingstemperatuur met 1 °C gedurende de nacht. Door uitstraling is de Tpl.boven lager dan T_{kas}.
- Vervroegen van het opstooktijdstip naar de dagperiode met een uur.
- Verlagen van de ventilatietemperatuur gedurende de nacht met 0.5 °C.
- Toepassen van (extra) stralingsaanpassing op verwarmings- en ventilatietemperatuur van 1 °C die al vanaf 0 W/m² proportioneel moet ingaan.

Deze aanpassingen gelden voor de beide afdelingen die op planttemperatuur regelden (behandeling IR_{boven} en IR_{boven} & $RV_{koudste}$).

In bijlage 1 zijn de gebruikte klimaatinstellingen weergegeven voor de referentiebehandeling *meetbox* (tabel 1 en 2) en voor de regelingen op basis van planttemperatuur (tabel 3 en 4). Aangezien bij de behandeling met vochtregeling op basis van koudste artificiële vrucht (IR_{boven} & $RV_{koudste}$) iets kritischer op vocht wordt geregeld, zijn de vochtstreefwaarden iets verhoogd (zie Tabel 6).

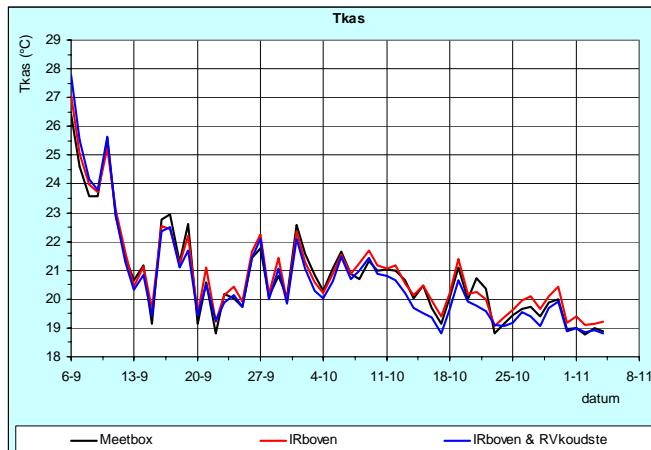
3.4.2 Temperatuurregeling

3.4.2.1 Ervaringen

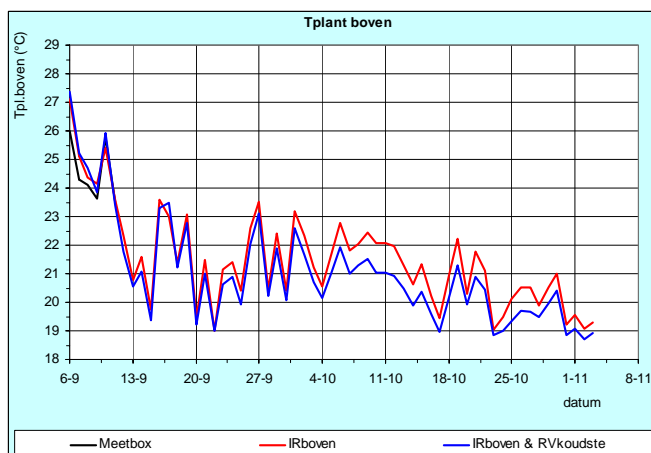
De ervaringen met het regelen van de verwarming en de ventilatie op basis van de gemeten planttemperaturen waren vergelijkbaar met de periode in winter t/m zomer (zie 3.3.2.1).

3.4.2.2 Meetresultaten van gehele periode

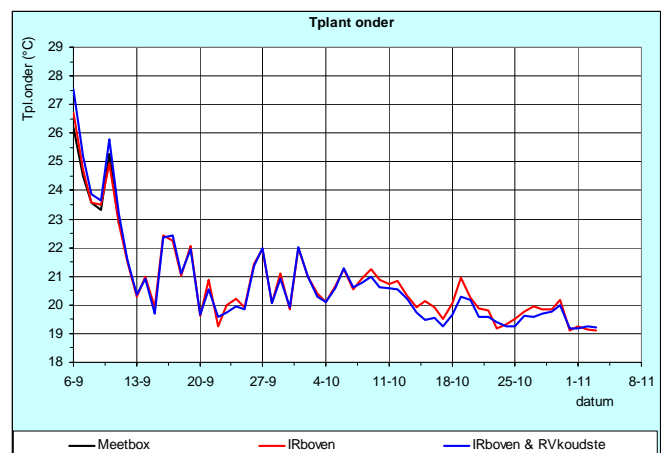
- dagperiode (9 – 18 uur)



Figuur 30 Gemiddelde kasluchttemperatuur gedurende de dag (9 - 18 uur) bij de 3 behandelingen.

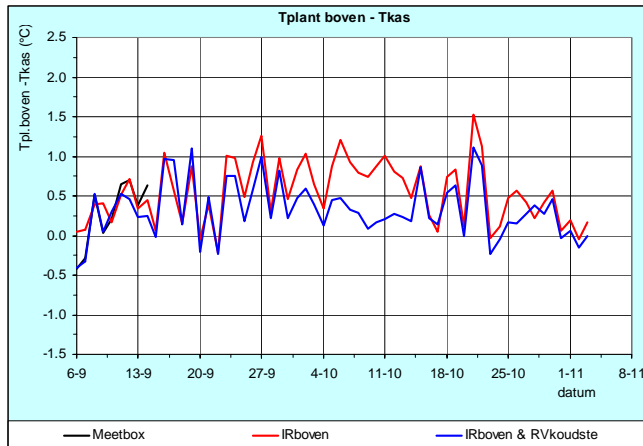


Figuur 31 Gemiddelde Tpl.boven gedurende de dag (9 - 18 uur) bij de 3 behandelingen.

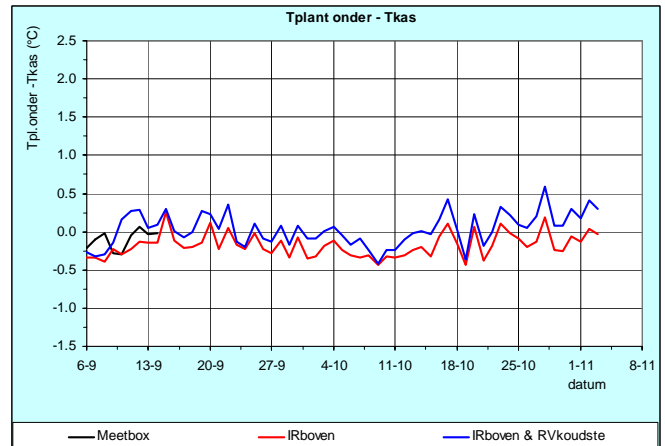


Figuur 32 Gemiddelde Tpl.onder gedurende de dag (9 - 18 uur) bij de 3 behandelingen.

De bovenstaande figuren geven aan dat gedurende de dagperiode van 9 tot 18 uur de verschillen tussen de verschillende behandelingen met betrekking tot de gerealiseerde kasluchttemperatuur en planttemperaturen gering zijn. Alleen op de dagen rond 11 oktober zijn de Tkas en Tpl.boven van behandeling IR_{boven} & $RV_{koudste}$ 0.5 tot 1 °C lager dan de overige behandelingen. Eind oktober geldt dit alleen voor de Tpl.boven van deze behandeling. Vanaf de tweede week van september waren geen meetgegevens meer van Tpl.boven en Tpl.onder van de behandeling *meetbox* beschikbaar.



Figuur 33 Gemiddeld temperatuurverschil tussen Tpl.boven en Tkas gedurende de dag (9 - 18 uur) bij de 3 behandelingen.

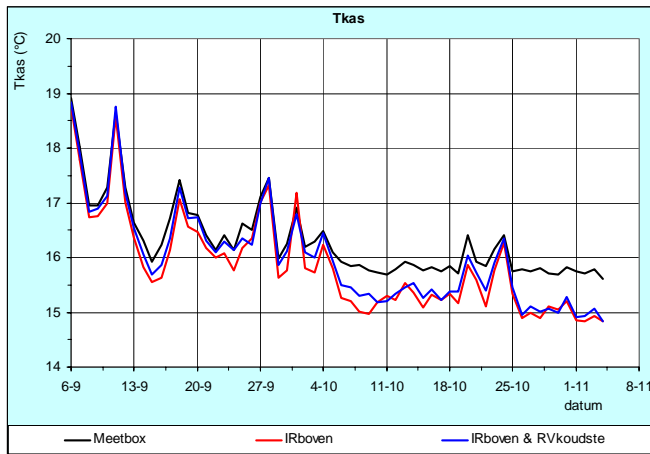


Figuur 34 Gemiddeld temperatuurverschil tussen Tpl.onder en Tkas gedurende de dag (9 - 18 uur) bij de 3 behandelingen.

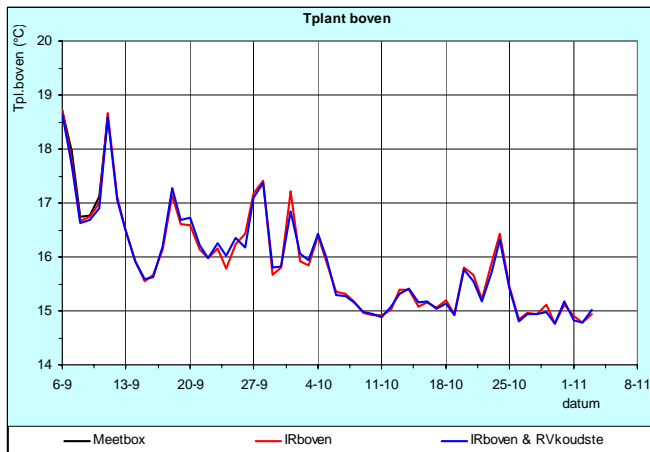
Figuur 33 geeft aan dat overdag de Tpl.boven in het algemeen gemiddeld enkele 0.1 °C tot maximaal 1.5 °C warmer is dan de kaslucht. Opvallend is dat op de dagen rond 11 oktober de Tpl.boven van de behandeling IR_{boven} & $RV_{koudste}$ minder van de kaslucht afwijkt dan bij de behandeling IR_{boven} .

Onder in het gewas komt overdag de planttemperatuur vrijwel overeen met de kasluchttemperatuur (zie Figuur 34).

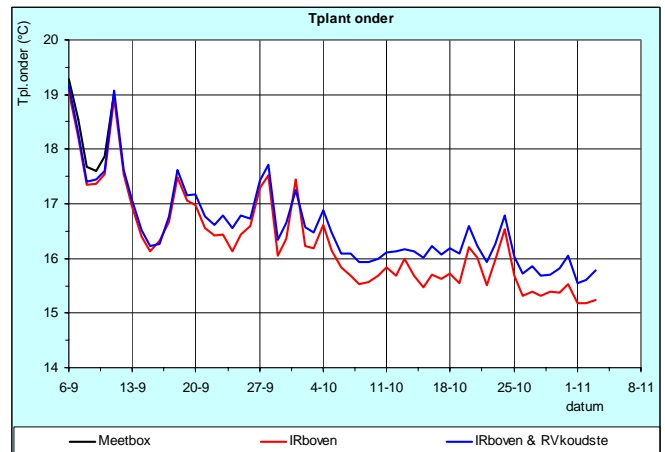
- nachtperiode (22 – 4 uur)



Figuur 35 Gemiddelde kasluchttemperatuur gedurende de nacht (22 - 4 uur) bij de 3 behandelingen.

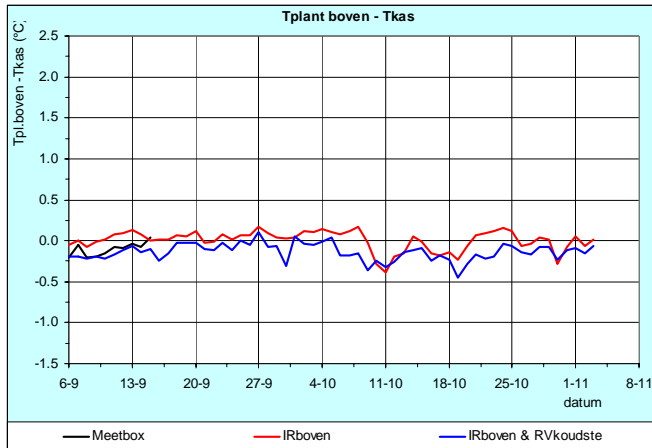


Figuur 36 Gemiddelde Tpl.boven gedurende de nacht (22 - 4 uur) bij de 3 behandelingen.

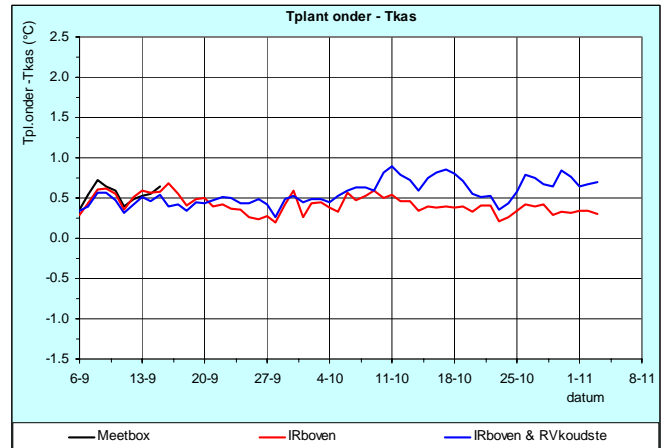


Figuur 37 Gemiddelde Tpl.onder gedurende de nacht (22 - 4 uur) bij de 3 behandelingen.

Gedurende de nachtperiode tot begin oktober zijn de gemeten kasluchttemperaturen van de drie behandelingen vergelijkbaar (zie Figuur 35). Vanaf het moment dat 's nachts meer wordt geschermd (vanaf 4 oktober, zie Figuur 49), verschillen de behandelingen die wel en die niet op planttemperatuur worden geregeld. De gemeten Tpl.boven van de behandelingen IR_{boven} en $IR_{boven} & RV_{koudste}$ vallen nagenoeg samen (Figuur 36). De gemeten Tpl.onder van de behandeling IR_{boven} is in de tweede helft van oktober iets lager dan die van de behandeling $IR_{boven} & RV_{koudste}$ (Figuur 37).



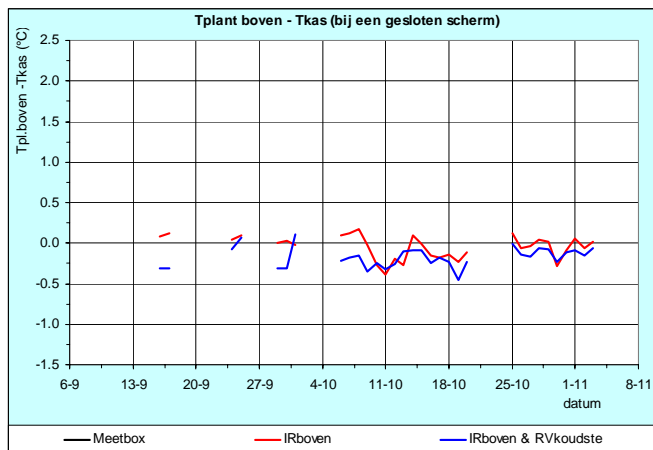
Figuur 38 Gemiddeld temperatuurverschil tussen $T_{pl.boven}$ en T_{kas} gedurende de nacht (22 - 4 uur) bij de 3 behandelingen.



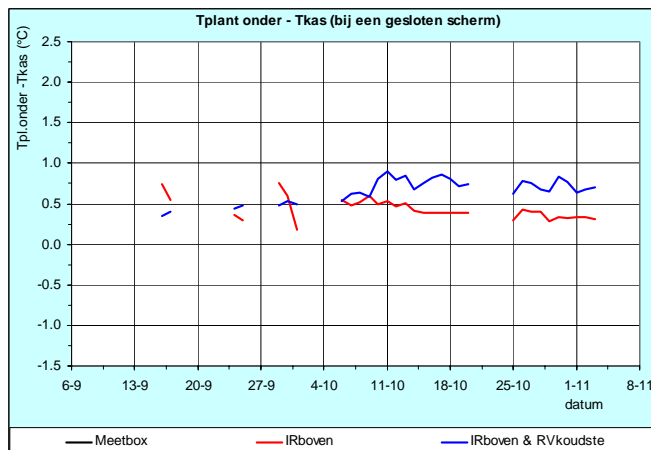
Figuur 39 Gemiddeld temperatuurverschil tussen $T_{pl.onder}$ en T_{kas} gedurende de nacht (22 - 4 uur) bij de 3 behandelingen.

Het gemiddelde temperatuurverschil tussen $T_{pl.boven}$ en T_{kas} is gedurende de nacht bij behandelingen IR_{boven} en $IR_{boven} & RV_{koudste}$ maximaal 0.4 °C (zie Figuur 38), waarbij $IR_{boven} & RV_{koudste}$ iets lager was dan IR_{boven} . Onderin het gewas is de planttemperatuur gemiddeld 0.5 °C hoger dan de kasluchttemperatuur. In de tweede helft van oktober wordt dit temperatuurverschil bij de behandeling $IR_{boven} & RV_{koudste}$ iets groter (zie Figuur 39).

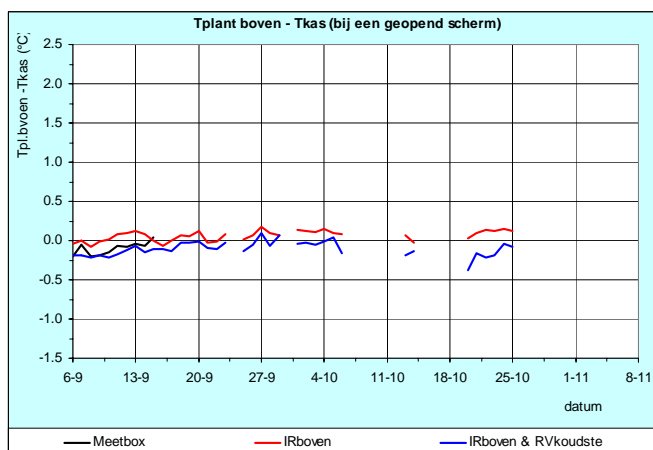
In de voorafgaande figuren (Figuur 38 en Figuur 39) is geen onderscheid gemaakt tussen momenten dat wel of niet geschermd is. In de onderstaande figuren is dat wel gedaan. Figuur 49 geeft een overzicht van het schermgebruik.



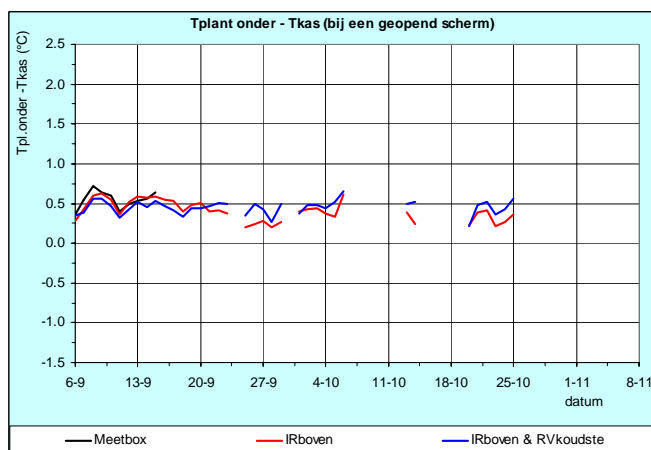
Figuur 40 Gemiddeld temperatuurverschil tussen Tpl.boven en Tkas bij een gesloten scherm (> 90 %) gedurende de nacht (22 - 4 uur) bij de 3 behandelingen.



Figuur 41 Gemiddeld temperatuurverschil tussen Tpl.onder en Tkas bij een gesloten scherm (> 90 %) gedurende de nacht (22 - 4 uur) bij de 3 behandelingen.



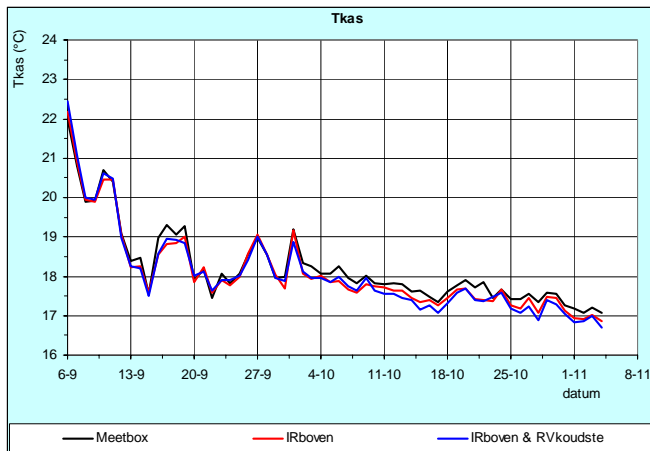
Figuur 42 Gemiddeld temperatuurverschil tussen Tpl.boven en Tkas bij een geopend scherm gedurende de nacht (22 - 4 uur) bij de 3 behandelingen.



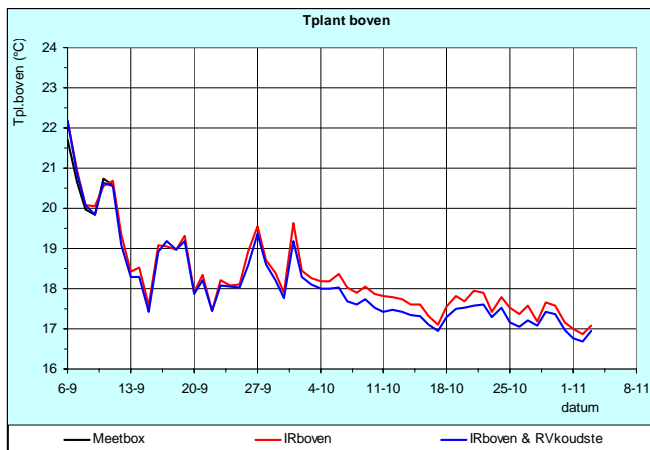
Figuur 43 Gemiddeld temperatuurverschil tussen Tpl.onder en Tkas bij een geopend scherm gedurende de nacht (22 - 4 uur) bij de 3 behandelingen.

Bij de vergelijking van Figuur 40 met Figuur 42 of Figuur 41 met Figuur 43 is geen verschil te zien in de orde van grootte van het temperatuurverschil tussen plant (zowel onder als boven) en kaslucht als het scherm gesloten is (> 90 %) of geopend. Mogelijk dat verschillen wel aan het licht komen als een vergelijking gemaakt kan worden tussen 2 afdelingen, waarbij gelijktijdig een afdeling wel en een andere afdeling niet wordt geschermd (zie kortlopende behandeling 4 in paragraaf 3.6.5).

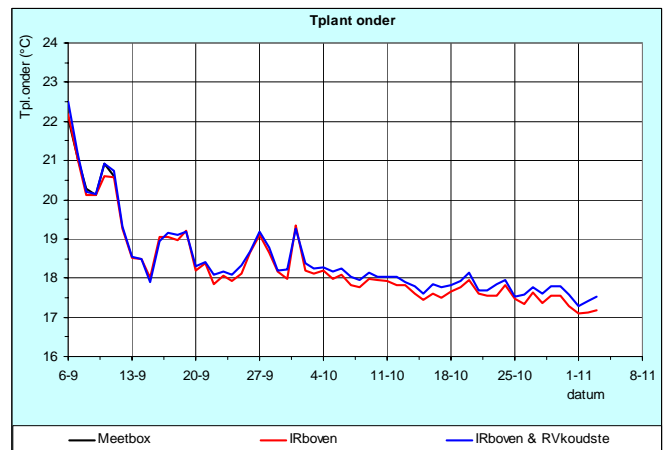
- etmaal (0 – 24 uur)



Figuur 44 Gemiddelde kasluchttemperatuur gedurende het etmaal bij de 3 behandelingen.

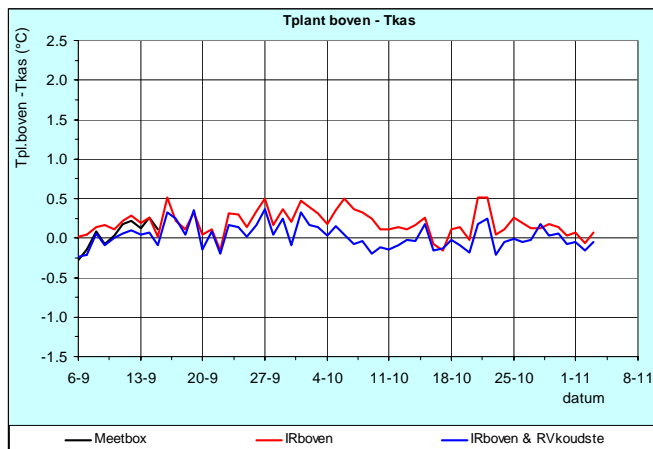


Figuur 45 Gemiddelde Tpl.boven gedurende het etmaal bij de 3 behandelingen.

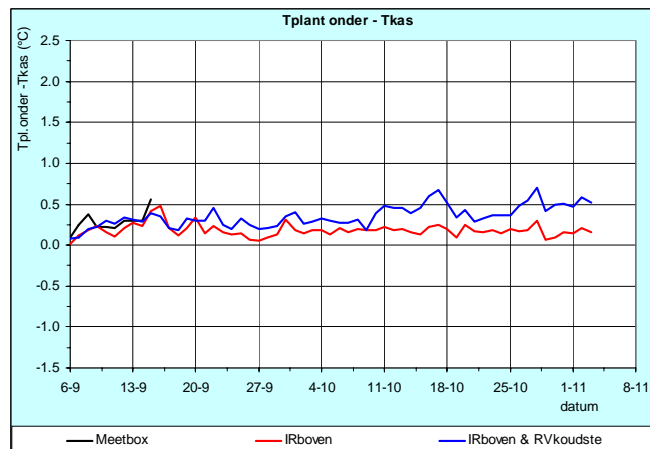


Figuur 46 Gemiddelde Tpl.onder gedurende het etmaal bij de 3 behandelingen.

De bovenstaande figuren geven aan dat gedurende het etmaal de verschillen tussen de behandelingen gering zijn.



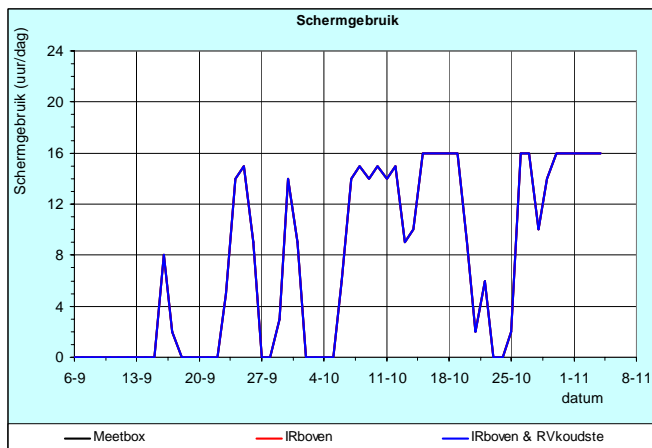
Figuur 47 Gemiddeld temperatuurverschil tussen $T_{pl.boven}$ en T_{kas} gedurende het etmaal bij de 3 behandelingen.



Figuur 48 Gemiddeld temperatuurverschil tussen $T_{pl.onder}$ en T_{kas} gedurende het etmaal bij de 3 behandelingen.

Figuur 47 geeft aan dat op etmaalbasis de $T_{pl.boven}$ enkele 0.1 °C afwijkt van de gemeten kasluchttemperatuur. Onder in het gewas ligt de planttemperatuur op etmaalbasis iets boven de kasluchttemperatuur (zie Figuur 48), bij de behandeling IR_{boven} & $RV_{koudste}$ enkele 0.1 °C meer dan bij de behandeling IR_{boven} .

3.4.3 Schermregeling



Figuur 49 Gemiddeld aantal uren dat per etmaal is geschermd bij de 3 behandelingen.

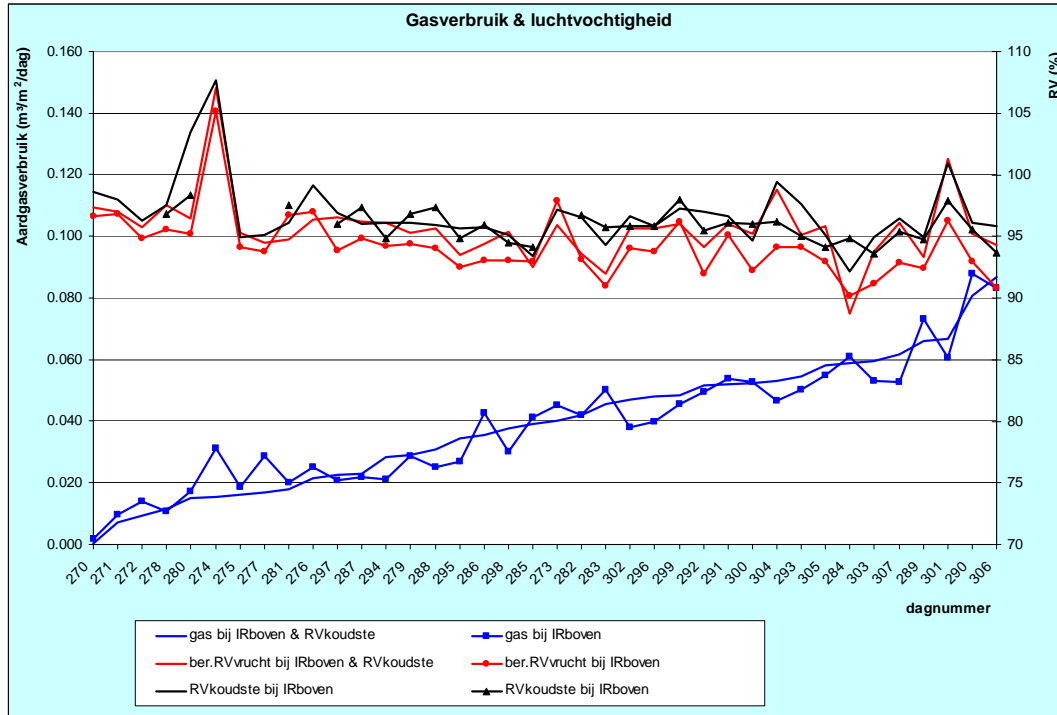
Tabel 9 Schermgebruik van 6 september t/m 4 november bij de 3 behandelingen.

| behandeling | geschermd aantal uren |
|-------------------------------|-----------------------|
| <i>meetbox</i> | 442 |
| IR_{boven} | 442 |
| IR_{boven} & $RV_{koudste}$ | 442 |

Bij de behandeling *meetbox* is alleen op nachten dat het buiten kouder was dan 12 °C geschermd. In september waren dat maar enkele uren van bepaalde nachten. Vanaf de tweede week van oktober is er zeer regelmatig 16 uur per nacht geschermd. Bij de behandelingen IR_{boven} en IR_{boven} & $RV_{koudste}$ kon het scherm eerder dicht getrokken worden indien de $T_{pl.boven}$ meer dan 0.5 °C lager was dan de kasluchttemperatuur. Bij de gesommeerde uren schermen (hierbij zijn alleen de uren meegenomen dat het gehele uur is geschermd), zijn geen verschillen zichtbaar (Tabel 9).

3.4.4 Vochtregeling

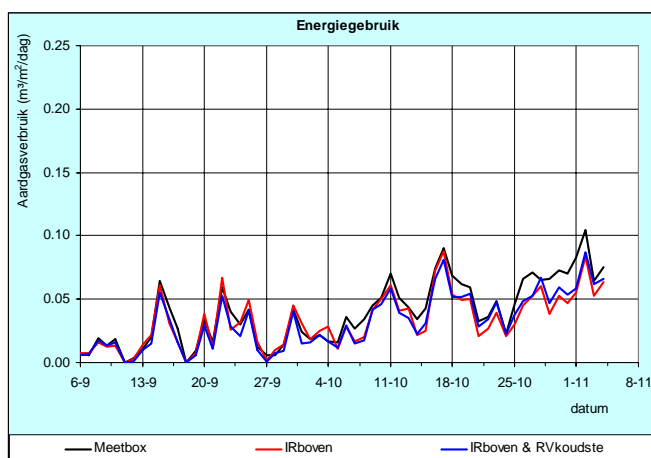
Om inzichtelijk te maken dat als op de temperatuur van artificiële vruchten vocht geregeld wordt en dat daarbij een hogere vochtstreefwaarde kan worden aangehouden, zijn in onderstaande figuur de hoogste RV-waarden per etmaal voor de artificiële vruchten en berekende vruchttemperatuur (ber. RVvrucht) gepresenteerd. Daarbij zijn de data geordend naar aardgasverbruik van de behandeling IR_{boven} & $RV_{koudste}$.



Figuur 50 Hoogste waarde per etmaal van RV bij koudste artificiële vruchten en berekende RVvrucht. De waarden zijn geordend naar aardgasverbruik van behandeling IR_{boven} & $RV_{koudste}$ (dag 270 = 27 september).

Uit bovenstaande figuur blijkt dat ondanks een hogere vochtstreefwaarde bij de behandeling IR_{boven} & $RV_{koudste}$ de berekende RVvrucht bij die behandeling hoger is dan bij de behandeling IR_{boven} terwijl de gemeten RV bij de koudste vrucht wel ongeveer vergelijkbaar zijn. Dit duidt erop dat bij de behandeling IR_{boven} & $RV_{koudste}$ op het juiste moment op vocht is geregeld, zonder dat het uit de hand is gelopen.

3.4.5 Energiegebruik



Tabel 10 Energiegebruik van 6 september t/m 4 november bij de 3 behandelingen.

| behandeling | gesommeerd energiegebruik (m ³ /m ²) | energiegebruik t.o.v. regelen op meetbox (%) |
|---|---|--|
| meetbox | 2.35 | 100.0 |
| IR _{boven} | 1.99 | 84.5 |
| IR _{boven} & RV _{koudste} | 1.94 | 82.5 |

Figuur 51 Gemiddeld energiegebruik bij de 3 behandelingen.

De beide behandelingen op basis van planttemperatuur verbruikten in het najaar iets minder energie dan de behandeling *meetbox*. Bij de behandeling *IR_{boven}* & *RV_{koudste}* werd de minste hoeveelheid energie gebruikt. Hier was de vochtregeling iets hoger, dus kritischer, ingesteld (zie paragraaf 2.5.5 en 3.4.4).

3.5 Gewas

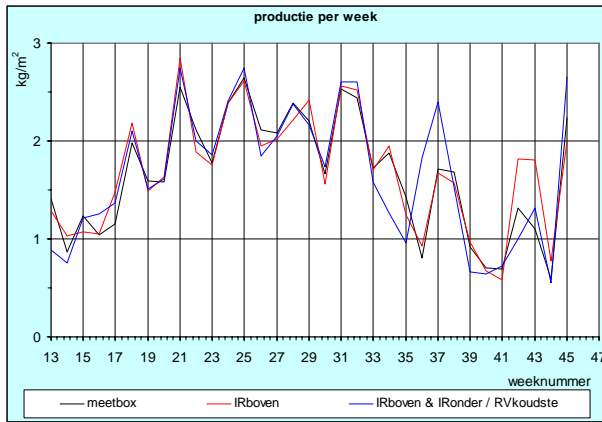
3.5.1 Gewasontwikkeling

De zetting van de eerste 2 trossen was moeilijk. Daarna kwam het gewas goed in balans. Dit was voor het moment dat de behandelingen werden ingezet. Er zijn gedurende de teelt geen verschillen in bladoppervlak en snelheid van trosontwikkeling tussen de behandelingen gezien.

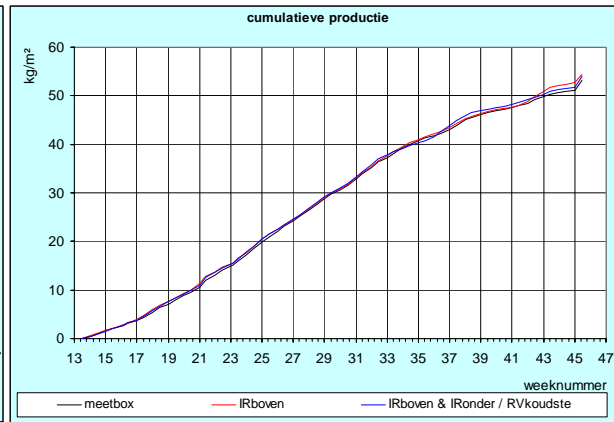
3.5.2 Infectieziekten

Tot juli zijn in totaal 3 stengelaantastingen met *Botrytis* gevonden. Twee van de drie plekken waren het gevolg van een beschadiging van de stengel. Begin september traden onverwachts op zonnige dagen symptomen van het pepino-mozaïek virus op. Analyses hebben de aanwezigheid van dit virus bevestigd. Het gevolg hiervan was dat in de tweede helft van september en oktober 5 tot 10 % van de planten is afgestorven. Voor alle duidelijkheid, de aanwezigheid van het virus heeft geen impact gehad op de vochtregeling op basis van artificiële vruchten en op de temperatuurregeling op basis van gemeten planttemperatuur. De uitval als gevolg van *Botrytis* was in het najaar gering, maar kon niet objectief worden waargenomen door de grote onregelmatige uitval als gevolg van het pepino-mozaïek virus.

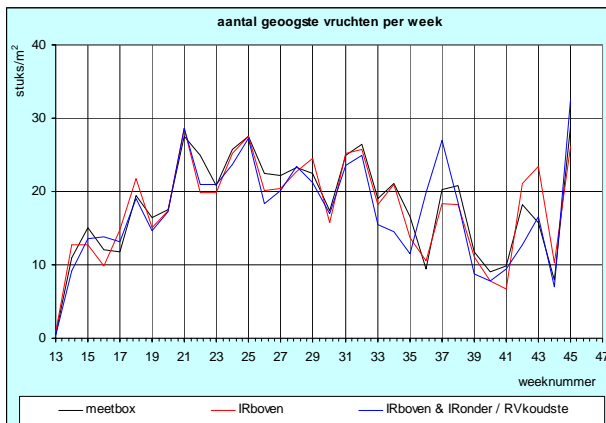
3.5.3 Productie en kwaliteit



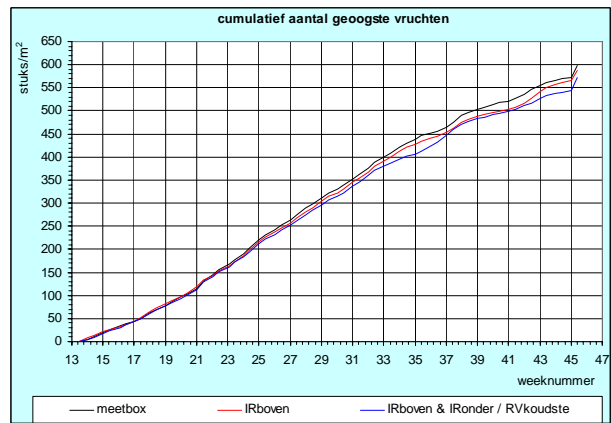
Figuur 52 Kg-productie per week bij de 3 behandelingen.



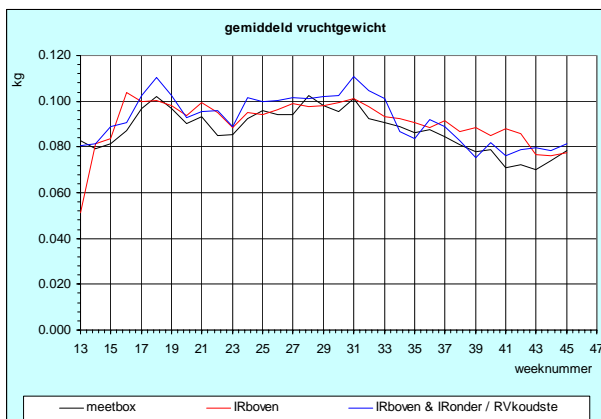
Figuur 53 Cumulatieve kg-productie bij de 3 behandelingen.



Figuur 54 Geoogst aantal vruchten per week bij de 3 behandelingen.



Figuur 55 Cumulatief geoogst aantal vruchten bij de 3 behandelingen.



Figuur 56 Gemiddeld vruchtgewicht.

De productie uitgedrukt in aantal kg en stuks was goed. De verschillen tussen de behandelingen waren gering (zie bovenstaande figuren). Als gevolg van aantasting en uitval door het pepino-mozaïek virus kunnen de producties van de behandelingen na september niet meer eerlijk met elkaar worden vergeleken.

De kwaliteit was tot in juli zondermeer goed. Daarna werden enkele vruchten met neusrot, zwelscheuren of goudspikkels gevonden. Alleen rond week 33 werd er bij de behandeling IR_{boven} & IR_{onder} een duidelijk tijdelijke toename gezien van vruchten met goudspikkels. Dit wijst erop dat de planten goed calcium hebben opgenomen en dat naar de vruchten hebben getransporteerd. Bij de andere behandeling werd deze toename niet gezien. Een verklaring kan hiervoor niet worden gegeven. Over de totale kg-productie was het totale percentage neusrot, zwelscheuren of goudspikkels met maximaal 3.0 % gering (zie onderstaande tabel).

Tabel 11 Totale productie en percentage klasse 2 vruchten met neusrot, zwelscheuren of goudspikkels).

| behandeling | totale kg-productie (kg/m ²) | klasse 2 (% van totale kg-productie) |
|--|--|--------------------------------------|
| <i>meetbox</i> | 53.2 | 1.0 |
| IR_{boven} | 54.4 | 1.3 |
| IR_{boven} & IR_{onder} en IR_{boven} & $RV_{koudste}$ | 54.1 | 3.0 |

3.6 Kortlopende behandelingen

3.6.1 Algemeen

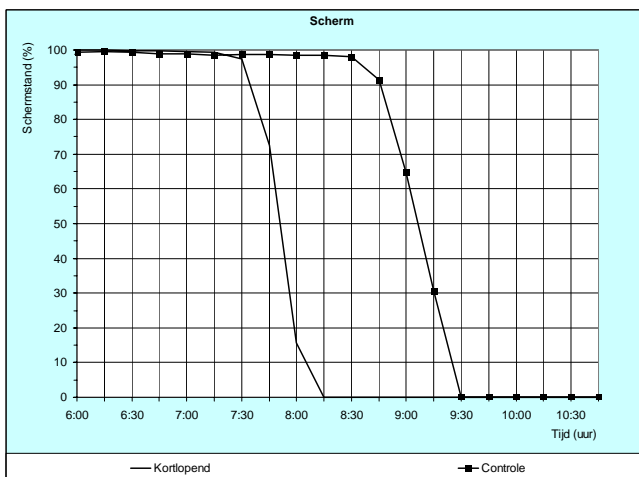
In de vierde afdeling zijn diverse kortlopende behandelingen uitgevoerd. Afhankelijk van de behandeling kunnen deze kortlopende behandelingen worden vergeleken met één van de hoofdbehandelingen (zie ook paragraaf 2.4.3). De resultaten worden hieronder besproken aan de hand van enkele specifieke dagen.

3.6.2 's Morgens eerder scherm openen (volgnr. 1)

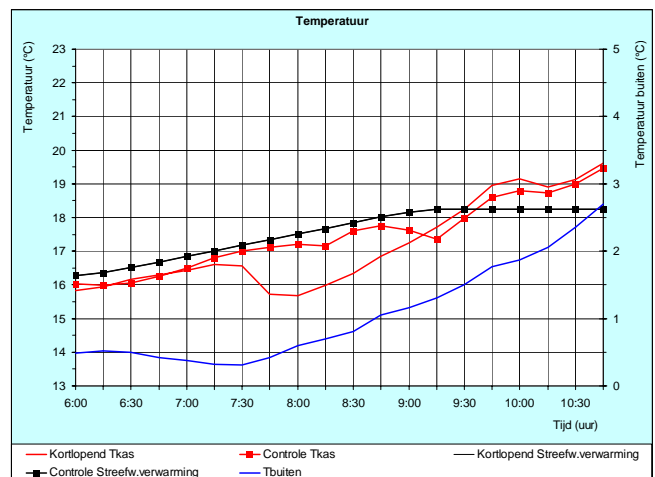
Opzet:

- Kortlopende behandeling: scherm openen bij meer straling dan 10 W/m^2
- Controle behandeling: scherm openen bij meer straling dan 100 W/m^2 (behandeling 1)
- Geanalyseerde dagen: 27 t/m 29 februari en 8 t/m 10 maart

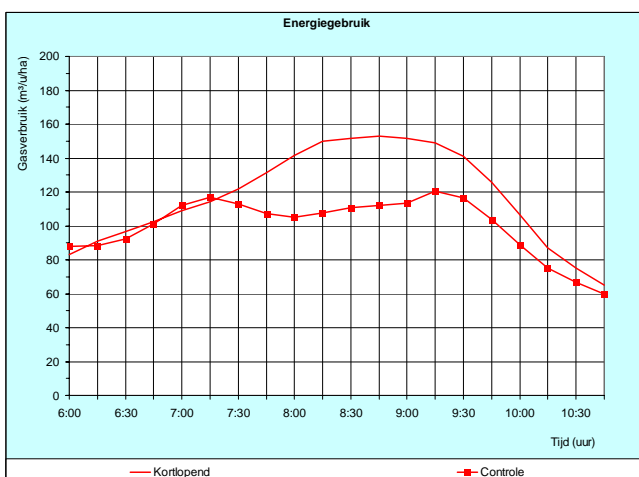
Resultaten:



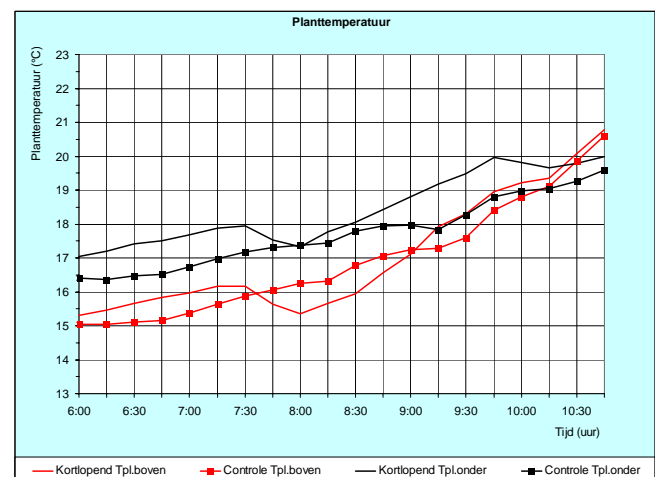
Figuur 57 Gemiddeld verloop van schermstand op de dagen van kortlopende behandeling 1.



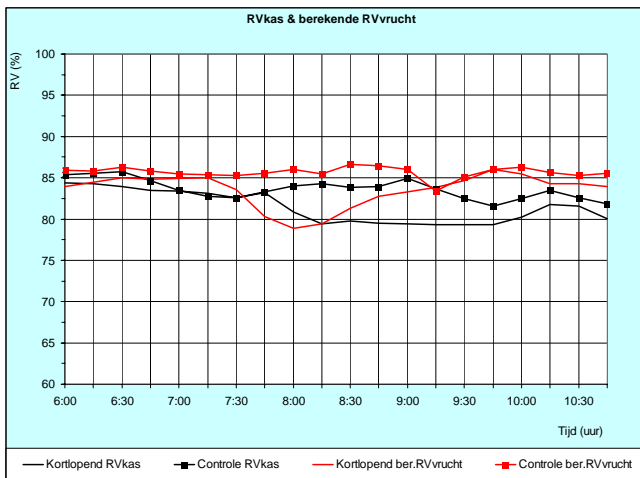
Figuur 58 Gemiddelde verloop van streefwaarde verwarming, temperatuur van kaslucht en buitentemperatuur op de dagen van kortlopende behandeling 1.



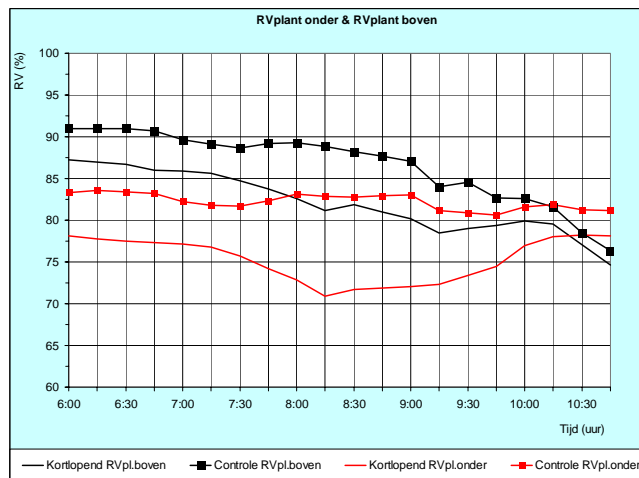
Figuur 59 Gemiddeld verloop van aardgasgebruik op de dagen van kortlopende behandeling 1.



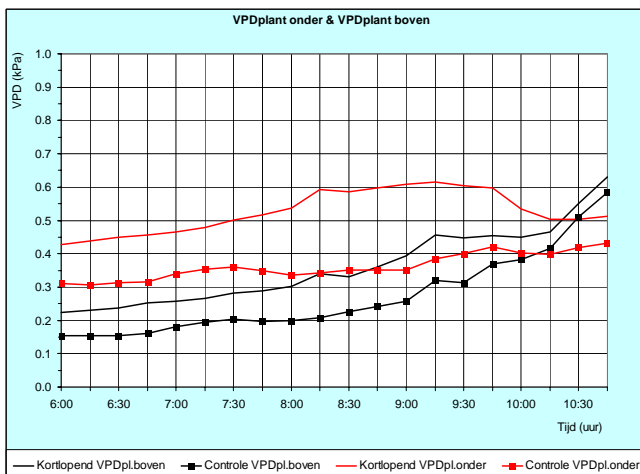
Figuur 60 Gemiddeld verloop van planttemperatuur op de dagen van kortlopende behandeling 1.



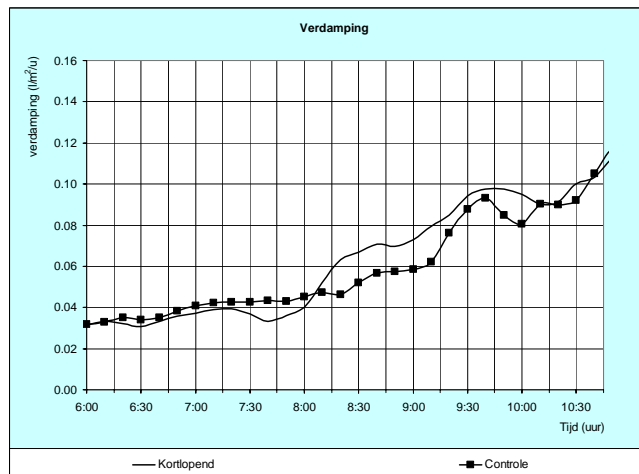
Figuur 61 Gemiddeld verloop van RV van kaslucht en bij de berekende vruchttemperatuur op de dagen van kortlopende behandeling 1.



Figuur 62 Gemiddeld verloop van RV bij de planttemperatuur onder en boven in gewas op de dagen van kortlopende behandeling 1.



Figuur 63 Gemiddeld verloop van VPD bij de planttemperatuur onder en boven in gewas op de dagen van kortlopende behandeling 1.



Figuur 64 Gemiddeld verloop van verdamping op de dagen van kortlopende behandeling 1.

Uit de bovenstaande figuren kan het volgende worden afgeleid:

- Het scherm liep bij de kortlopende behandeling circa 1 uur eerder open (Figuur 57).
- Bij de kortlopende behandeling leidt dit tot temperatuurval van meer dan 1 °C. Als het scherm later geopend wordt, is de kouval geringer (Figuur 58). De zon levert bij 100 W/m² instraling al een flinke bijdrage aan het opwarmen van de kas.
- Bij het vroeg openen van het scherm is meer energie nodig dan bij het laat openen (Figuur 59). Gemiddeld is bij de kortlopende behandeling over deze 5 uur 117.3 m³ aardgas per ha per uur verstoekt tegenover 100.0 m³/ha/uur bij het later openen van het scherm. Het energiegebruik bij de kortlopende behandeling is daarmee 17.3 % hoger dan bij de controle.
- De kouval bij de kop van de planten is groter dan onderin het gewas. Bij het later openen is de kouval bij het gewas ook geringer (Figuur 60).
- Door het eerder openen van het scherm daalt de RV van de kaslucht eerder dan bij het later openen. Ook de RV bij de berekende vruchttemperatuur is daardoor lager (Figuur 61).
- Door het eerder openen van het scherm daalt de RV bij de gemeten planttemperatuur onder en boven het gewas eerder dan bij het later openen van het scherm (Figuur 62).

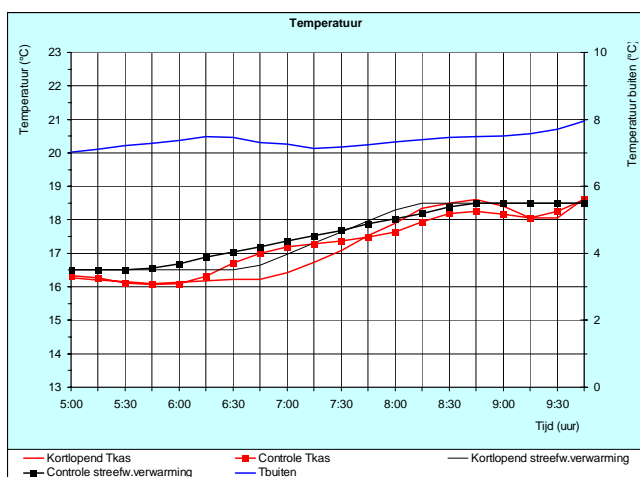
- Het eerder openen van het scherm heeft tot gevolg dat de VPD zeker onderin het gewas hoger wordt (Figuur 63). Dit komt mede doordat de noodzakelijke grotere warmteafgifte van de buizen bij deze behandeling.
- Deze toename van de VPD heeft ook geresulteerd in een geringe toename van de verdamping ten opzichte van de behandeling waar later het scherm werd geopend (Figuur 64).

3.6.3 Sneller opstoken in voorjaar (volgnr. 2)

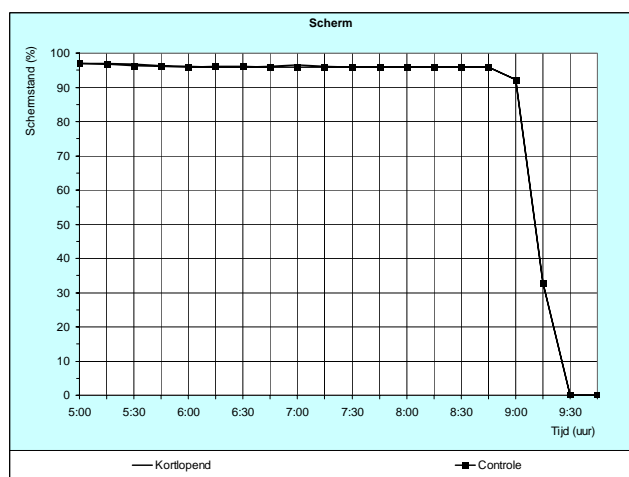
Opzet:

- Kortlopende behandeling: opstoken met 45 minuten per °C
- Controle behandeling: opstoken met 90 minuten per °C (behandeling 1)
- Geanalyseerde dagen: 13, 14 en 19 april

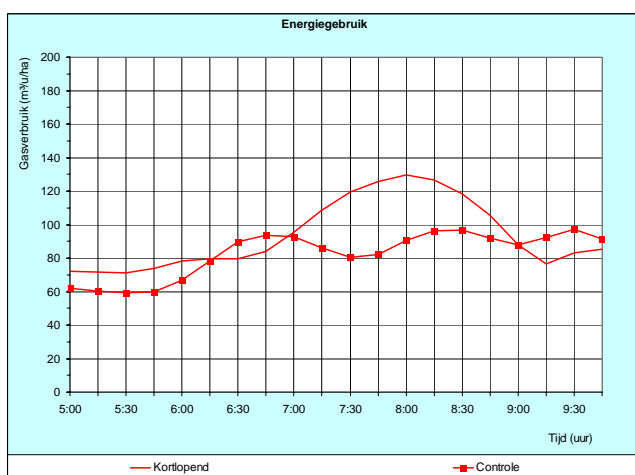
Resultaten:



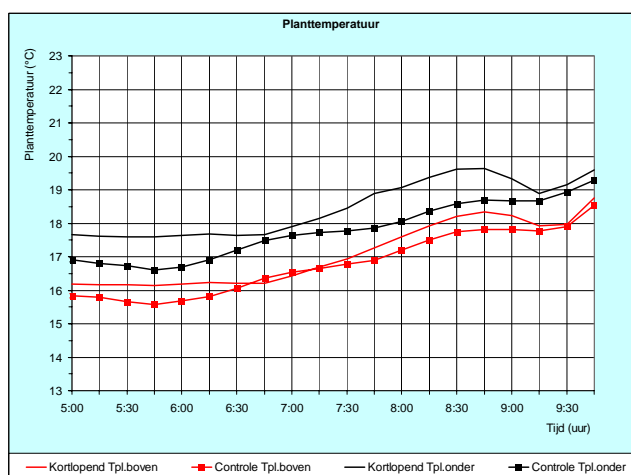
Figuur 65 Gemiddelde verloop van streefwaarde verwarming, temperatuur van kaslucht en buitentemperatuur op de dagen van kortlopende behandeling 2.



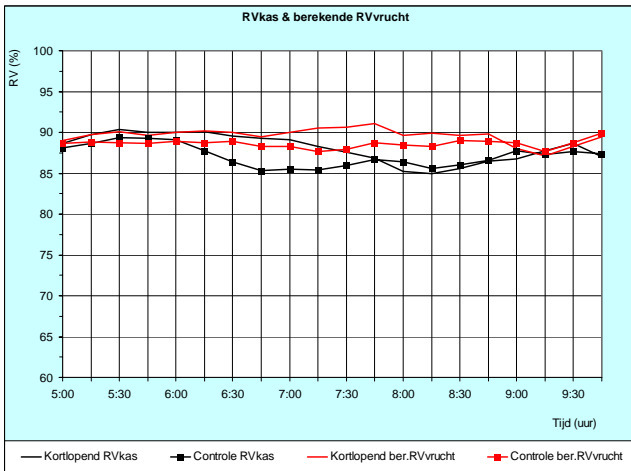
Figuur 66 Gemiddeld verloop van schermstand op de dagen van kortlopende behandeling 2.



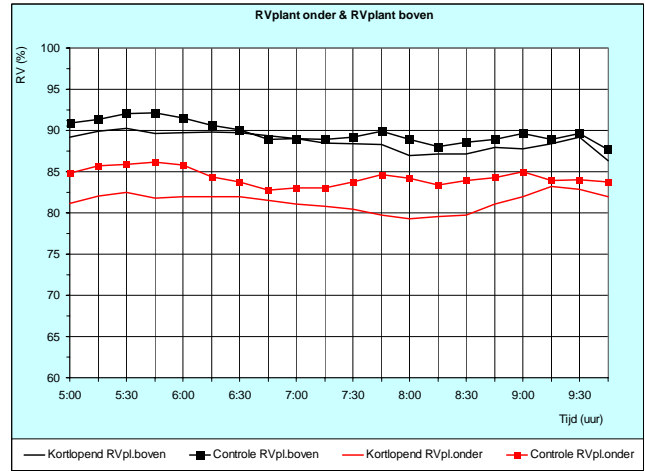
Figuur 67 Gemiddeld verloop van aardgasgebruik op de dagen van kortlopende behandeling 2.



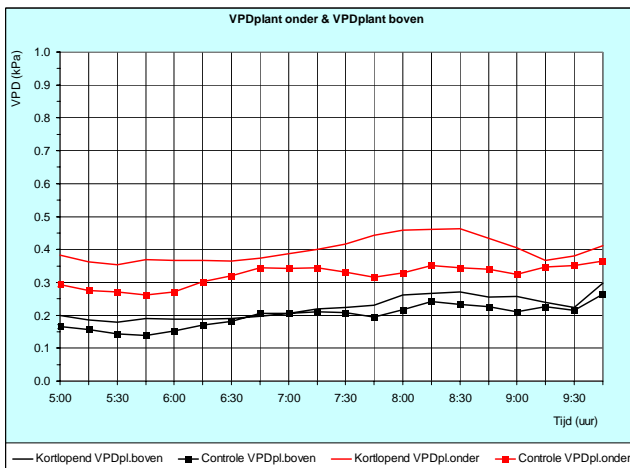
Figuur 68 Gemiddeld verloop van planttemperatuur op de dagen van kortlopende behandeling 2.



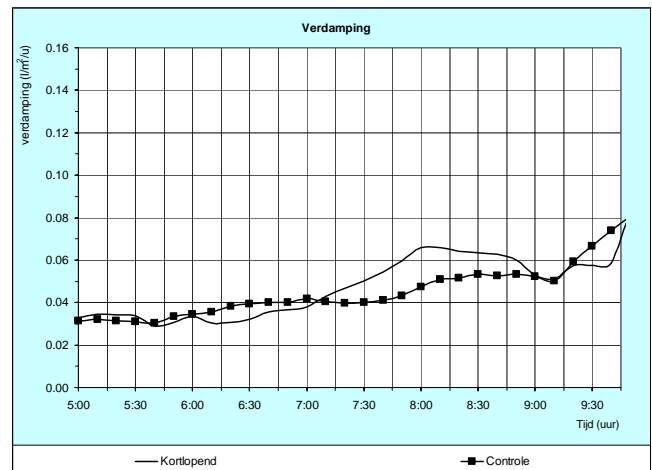
Figuur 69 Gemiddeld verloop van RV van kaslucht en bij de berekende vruchttemperatuur op de dagen van kortlopende behandeling 2.



Figuur 70 Gemiddeld verloop van RV bij de planttemperatuur onder en boven in gewas op de dagen van kortlopende behandeling 2.



Figuur 71 Gemiddeld verloop van VPD bij de planttemperatuur onder en boven in gewas op de dagen van kortlopende behandeling 2.



Figuur 72 Gemiddeld verloop van verdamping op de dagen van kortlopende behandeling 2.

Uit de bovenstaande figuren kan het volgende worden afgeleid:

- De temperatuur van de beide behandelingen lopen achter op de streefwaarden (Figuur 65).
- Bij het sneller opstoken komt de temperatuur uiteindelijk tijdelijk boven het trager opstoken te liggen (Figuur 65).
- De temperatuurval rond 9:15 uur is het gevolg van het openen van het scherm (Figuur 65 en Figuur 66).
- Het sneller opstoken kost tijdelijk meer energie (Figuur 67): over de 5 uur gemiddeld 93.5 m³/ha/uur bij de kortlopende behandeling en 82.8 m³/ha/uur bij de controle. Dit is 13.0 % meer.
- Doordat tijdelijk meer warmte geleverd wordt, is de planttemperatuur onderin het gewas ook tijdelijk hoger dan bij het trager opstoken (Figuur 68).
- De temperatuurval is als gevolg van het openen van het scherm is ook bij de planttemperatuur terug te zien (Figuur 68).

- Als eerder wordt gestart met het trager opstoken, dan daalt de RV van de kaslucht al eerder (Figuur 69). Verder heeft sneller opstoken tot gevolg dat de berekende RV bij de vruchten toeneemt. Aangezien er actief op vocht geregeld wordt, stijgt de RV bij de vruchten niet boven de 91 %.
- De RV op basis van de gemeten planttemperatuur onder en boven het gewas wordt niet duidelijk door de behandelingen beïnvloed. De verschillen die er zijn, waren al voor het moment van opstoken aanwezig (Figuur 70). Deze verschillen waren voor een groot deel veroorzaakt door verschillen in planttemperatuur (Figuur 68).
- Wel is er een invloed van het sneller opstoken op de VPD. Deze invloed is onder in het gewas sterker dan boven in het gewas (Figuur 71).
- De toename in VPD resulteert in een iets hogere verdamping als sneller wordt opgestookt (Figuur 72).

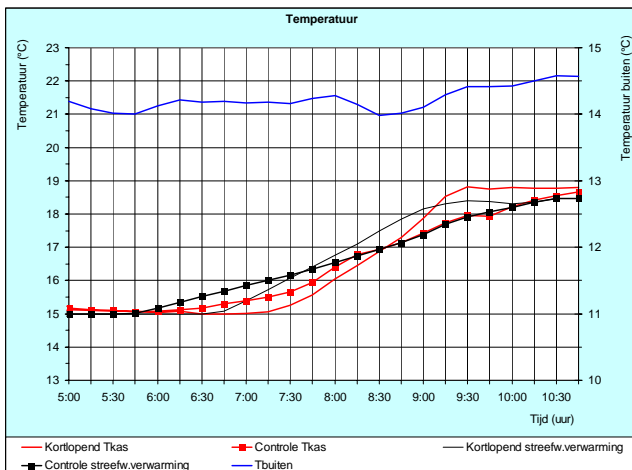
3.6.4 Sneller opstoken in najaar (volgnr. 3)

3.6.4.1 Sneller opstoken in najaar - ongeschermd (volgnr. 3a)

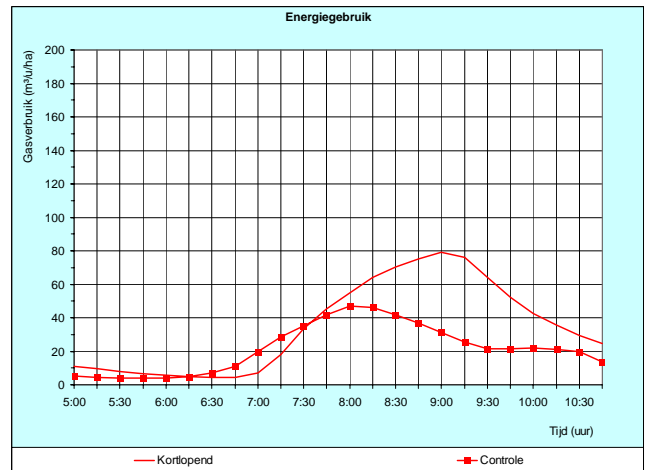
Opzet:

- Kortlopende behandeling: opstoken met 45 minuten per °C
- Controle behandeling: opstoken met 90 minuten per °C (behandeling 2)
- Geanalyseerde dagen: 23, 24, 25 en 29 oktober
- Specifiek: ongeschermden nachten

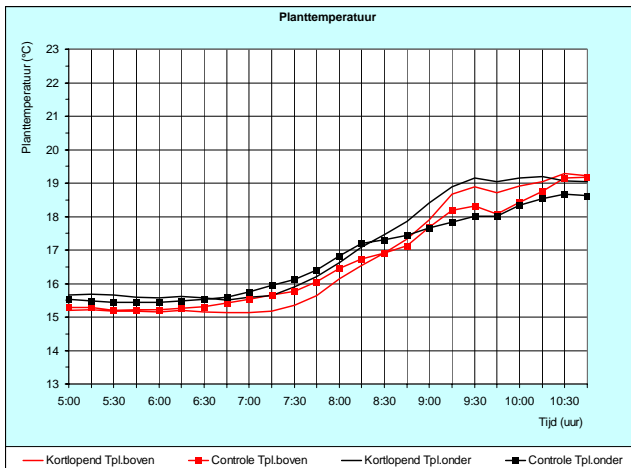
Resultaten:



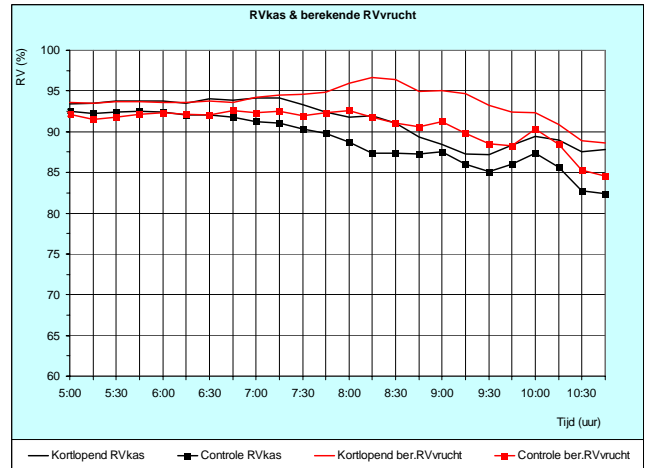
Figuur 73 Gemiddelde verloop van streefwaarde verwarming, temperatuur van kaslucht en buitentemperatuur op de dagen van kortlopende behandeling 3.



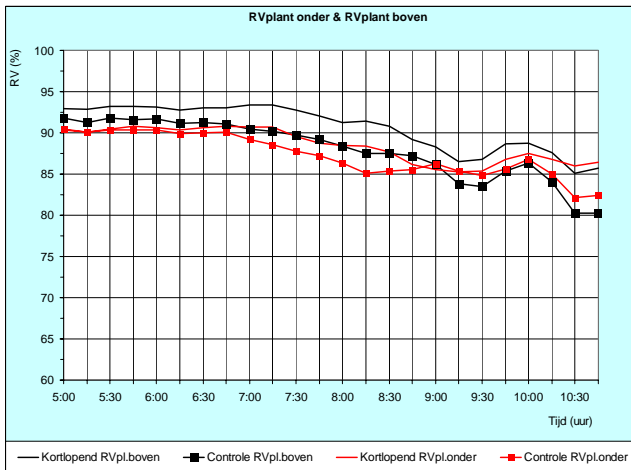
Figuur 74 Gemiddeld verloop van aardgasgebruik op de dagen van kortlopende behandeling 3.



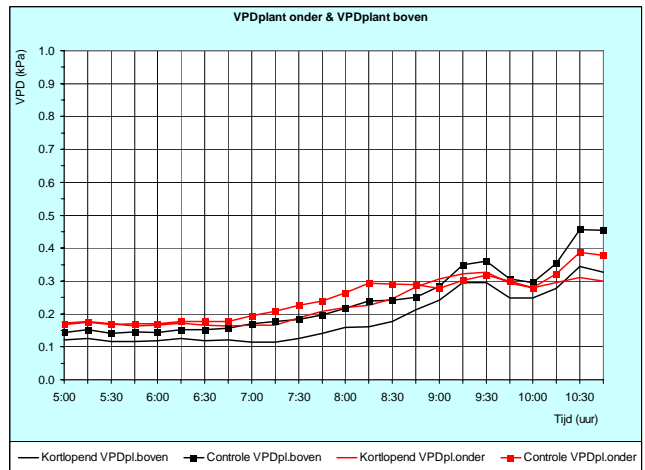
Figuur 75 Gemiddeld verloop van planttemperatuur op de dagen van kortlopende behandeling 3.



Figuur 76 Gemiddeld verloop van RV van kaslucht en bij de berekende vruchttemperatuur op de dagen van kortlopende behandeling 3.



Figuur 77 Gemiddeld verloop van RV bij de planttemperatuur onder en boven in gewas op de dagen van kortlopende behandeling 3.



Figuur 78 Gemiddeld verloop van VPD bij de planttemperatuur onder en boven in gewas op de dagen van kortlopende behandeling 3.

Uit de bovenstaande figuren kan het volgende worden afgeleid:

- Het sneller opstoken heeft tot gevolg dat de gerealiseerde kasluchttemperatuur uiteindelijk doorschiet boven de streefwaarde (Figuur 73). Dit komt doordat plotseling een vrij hoge buistemperatuur wordt gevraagd, die na enige tijd niet meer nodig is.
- Sneller opstoken kost meer energie (Figuur 74): over de 6 uur gemiddeld 34.5 m³/ha/uur bij de kortlopende behandeling en 21.6 m³/ha/uur bij de controle. Dit is 59.7 % meer.
- Het sneller opstoken heeft tot gevolg dat aan het einde van het opstooktraject de gemeten planttemperatuur onder en boven het gewas hoger is dan als trager wordt opgestookt (Figuur 75).
- De RV van de kaslucht en die bij de berekende vruchttemperatuur is bij het sneller opstoken hoger dan bij het trager opstoken. Bij het sneller opstoken stijgt de RV bij de vruchten zelfs tot waarden boven de 95 % (gemiddelde van 5 dagen) (Figuur 76).
- Sneller opstoken leidt tot een iets hogere RV bij de planttemperatuur onder en boven het gewas (Figuur 77).
- Op basis van de RV bij de gemeten planttemperaturen zijn de vochtproblemen minder groot dan op basis van de RV van de kaslucht en RV bij de berekende vruchttemperatuur (vergelijk Figuur 76 met Figuur 77).

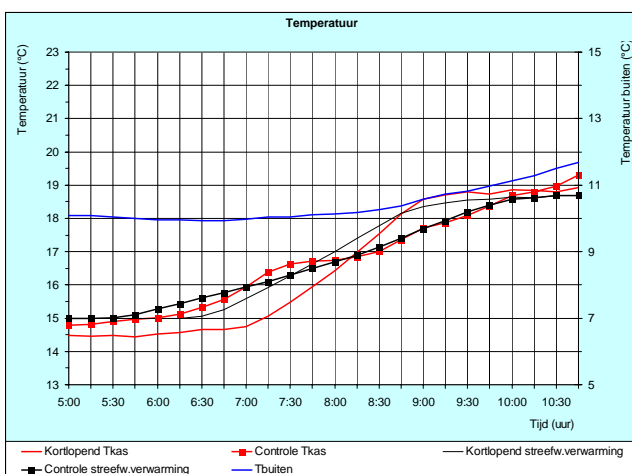
- Bij het sneller opstoken is de VPD onder en boven het gewas iets lager dan bij het trager opstoken. (Figuur 78). Bij deze dagen wordt de verdamping bij het sneller opstoken minder gestimuleerd. Dit is in tegenstelling tot het voorjaar (paragraaf 3.6.3).

3.6.4.2 Sneller opstoken in najaar - geschermd (volgnr. 3b)

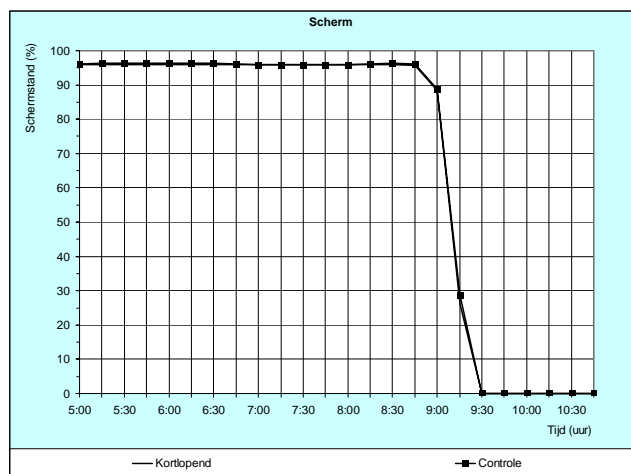
Opzet:

- Kortlopende behandeling: opstoken met 45 minuten per °C
- Controle behandeling: opstoken met 90 minuten per °C (behandeling 2)
- Geanalyseerde dagen: 13, 15 t/m 18, 20, 22 en 26 oktober
- Specifiek: geschermd nachten

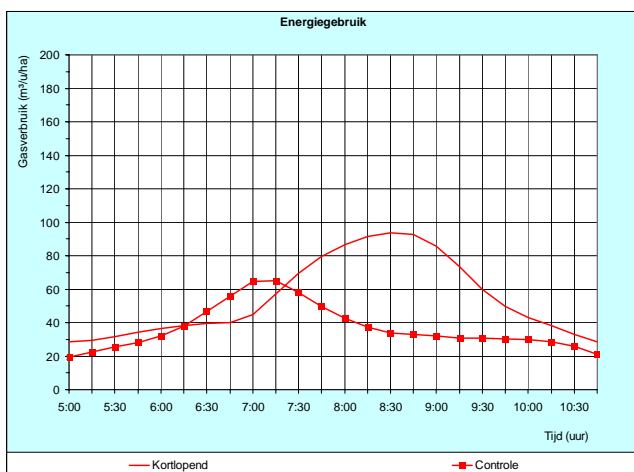
Resultaten:



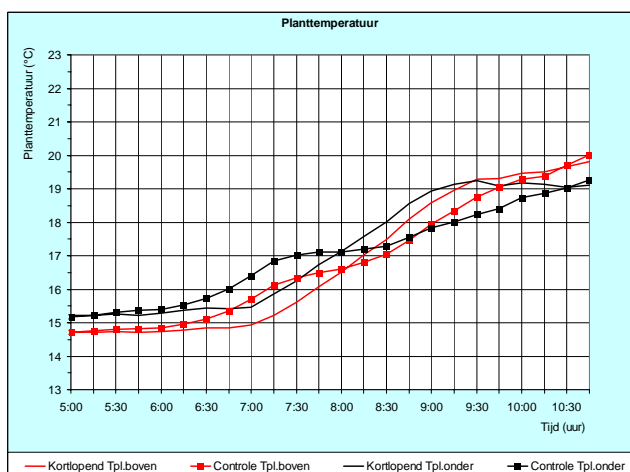
Figuur 79 Gemiddelde verloop van streefwaarde verwarming, temperatuur van kaslucht en buitentemperatuur op de dagen van kortlopende behandeling 3.



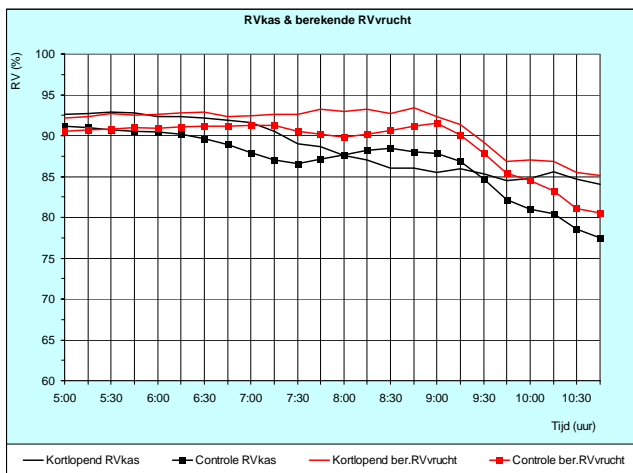
Figuur 80 Gemiddelde verloop van schermstand op de dagen van kortlopende behandeling 3.



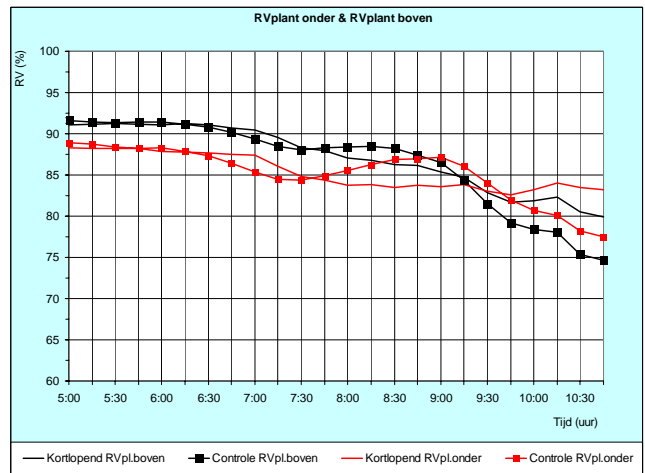
Figuur 81 Gemiddeld verloop van aardgasgebruik op de dagen van kortlopende behandeling 3.



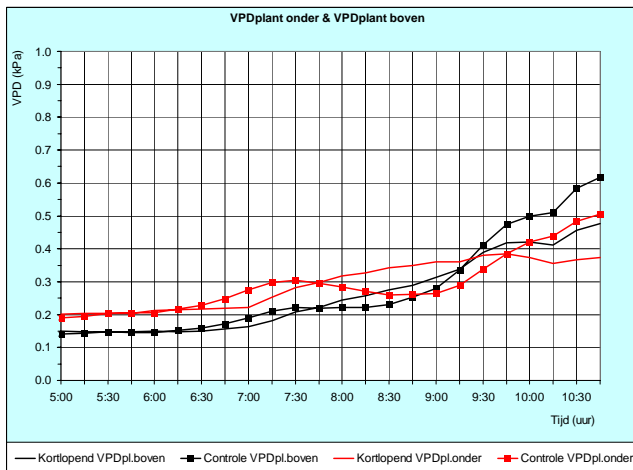
Figuur 82 Gemiddeld verloop van planttemperatuur op de dagen van kortlopende behandeling 3.



Figuur 83 Gemiddeld verloop van RV van kaslucht en bij de berekende vruchttemperatuur op de dagen van kortlopende behandeling 3.



Figuur 84 Gemiddeld verloop van RV bij de planttemperatuur onder en boven in gewas op de dagen van kortlopende behandeling 3.



Figuur 85 Gemiddeld verloop van VPD bij de planttemperatuur onder en boven in gewas op de dagen van kortlopende behandeling 3.

Uit de bovenstaande figuren kan het volgende worden afgeleid:

- In de situatie dat 's nachts geschermd wordt, zijn de effecten van het sneller opstoken voor een groot deel vergelijkbaar als in de situatie dat 's nachts niet wordt geschermd (paragraaf 3.6.4.1).
- Sneller opstoken kost meer energie (Figuur 74): over de 6 uur gemiddeld 54.4 m³/ha/uur bij de kortlopende behandeling en 36.8 m³/ha/uur bij de controle. Dit is 47.8 % meer.

Enkele opvallende punten:

- De vochtproblemen zijn groter (Figuur 83) dan bij niet schermen (paragraaf 3.6.4.1) en blijven bij het sneller opstoken langer aanwezig.
- Wat bij niet-schermen (paragraaf 3.6.4.1) niet bleek, kan nu wel de conclusie worden getrokken dat bij het sneller opstoken de verdamping meer wordt gestimuleerd (Figuur 85). Dit sluit aan bij de resultaten van het voorjaar (paragraaf 3.6.3).

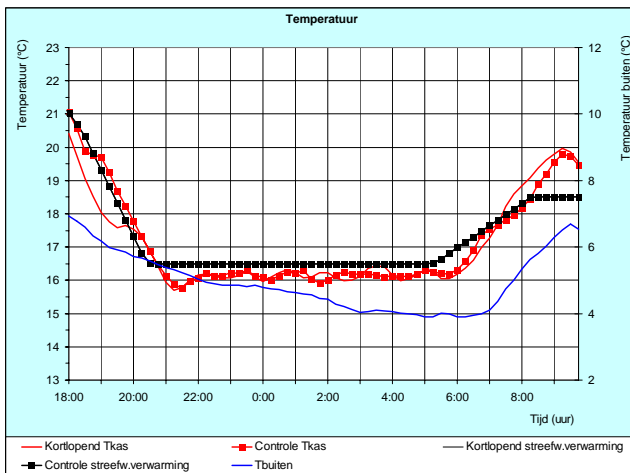
3.6.5 's Nachts niet schermen (volgnr. 4)

3.6.5.1 In vergelijking met schermen met geringe vochtier (volgnr. 4a)

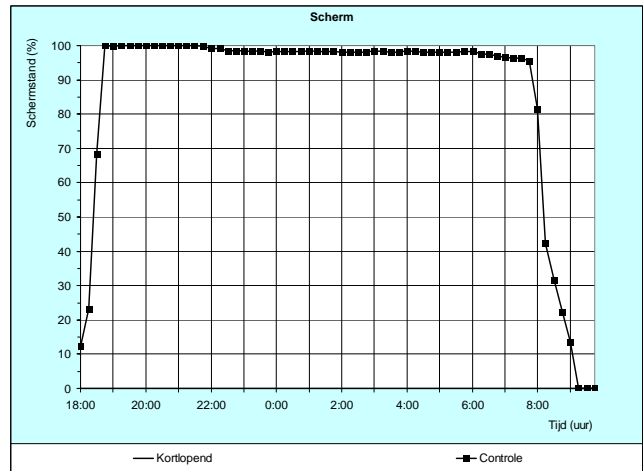
Opzet:

- Kortlopende behandeling: niet schermen
- Controle behandeling: schermen (behandeling 1)
- Geanalyseerde dagen: 24 t/m 30 maart
- Specifiek: in de tweede helft van de nacht is een geringe vochtier gebruikt

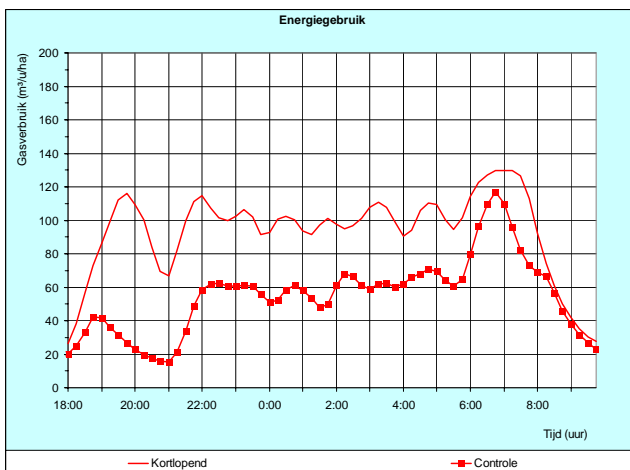
Resultaten:



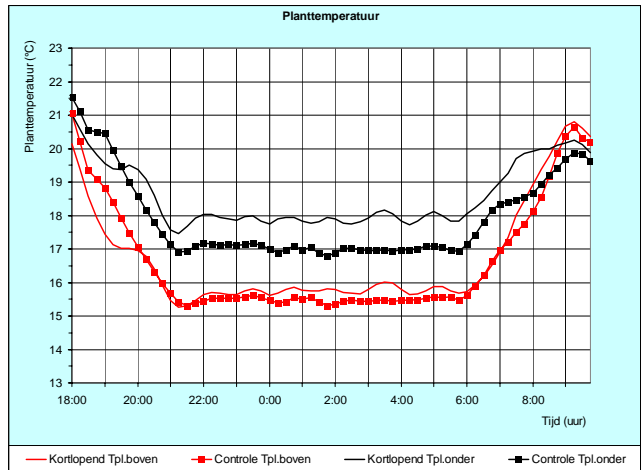
Figuur 86 Gemiddeld verloop van streefwaarde verwarming, temperatuur van kaslucht en buitentemperatuur op de dagen van kortlopende behandeling 4.



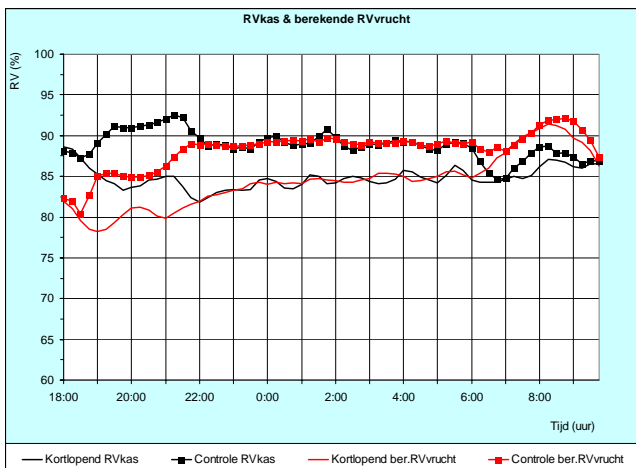
Figuur 87 Gemiddeld verloop van schermstand op de dagen van kortlopende behandeling 4.



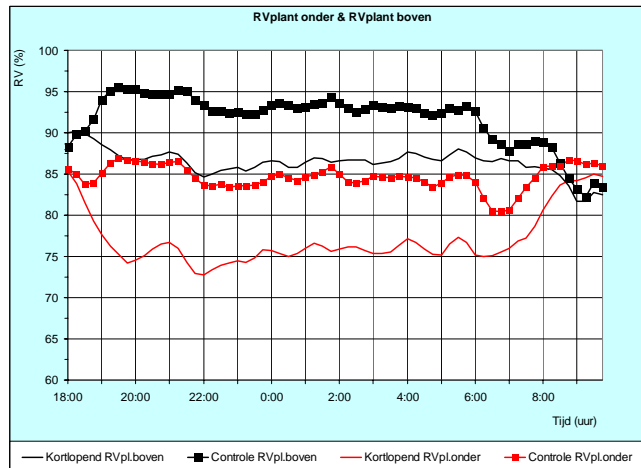
Figuur 88 Gemiddeld verloop van aardgasgebruik op de dagen van kortlopende behandeling 4.



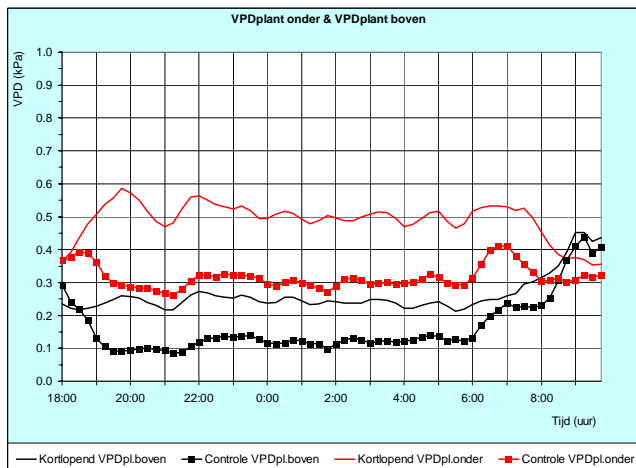
Figuur 89 Gemiddeld verloop van planttemperatuur op de dagen van kortlopende behandeling 4.



Figuur 90 Gemiddeld verloop van RV van kaslucht en bij de berekende vruchttemperatuur op de dagen van kortlopende behandeling 4.



Figuur 91 Gemiddeld verloop van RV bij de planttemperatuur onder en boven in gewas op de dagen van kortlopende behandeling 4.



Figuur 92 Gemiddeld verloop van VPD bij de planttemperatuur onder en boven in gewas op de dagen van kortlopende behandeling 4.

Uit de bovenstaande figuren kan het volgende worden afgeleid:

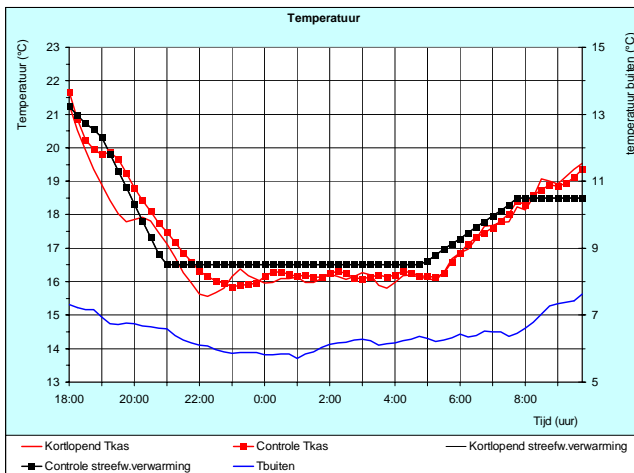
- In de avond daalt de temperatuur van de ongeschermd afdeling sneller dan als wel wordt geschermd (Figuur 86). Vanaf 21 uur verschillen de 2 behandelingen nauwelijks in gerealiseerde temperatuur.
- In het begin van de nacht was het scherm volledig gesloten. Vanaf 22 uur is er een geringe vochtier in getrokken (Figuur 87).
- Schermen bespaart energie (Figuur 88). Niet schermen kostte gemiddeld over de 16 uur 93.2 m^3 aardgas per ha tegenover $54.9 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{uur}$ bij wel schermen. Niet schermen kostte daarmee 69.8 % meer energie.
- Onderin het gewas is de planttemperatuur bij schermen op deze dagen ongeveer $1 \text{ }^\circ\text{C}$ lager dan zonder schermen. Dit komt door de lagere warmtevraag bij schermen, waardoor de buizen onderin het gewas minder warmte afgeven. De planttemperatuur aan de bovenzijde van het gewas is iets lager dan als wel wordt geschermd (Figuur 89).
- Bij schermen is de RV van de kaslucht en die bij de vruchten hoger dan als niet wordt geschermd (Figuur 90).
- Dit geldt ook voor de RV's bij de gemeten planttemperatuur (Figuur 91).
- Als gevolg van de hogere RV's bij schermen is de VPD bij schermen lager (Figuur 92). De verdamping wordt bij niet-schermen gestimuleerd.

3.6.5.2 In vergelijking met schermen met grote vochtier (volgnr. 4b)

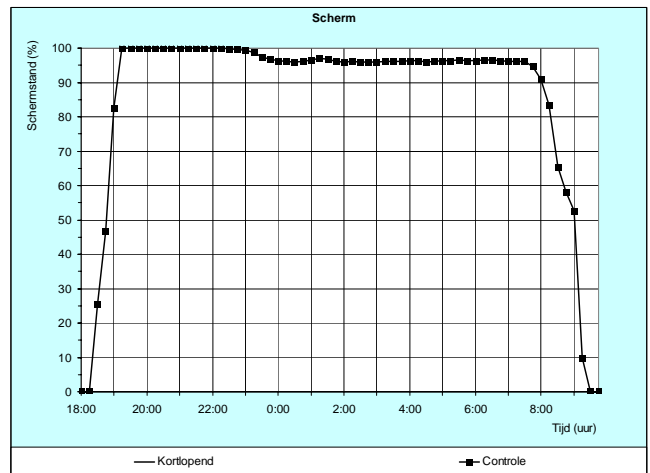
Opzet:

- Kortlopende behandeling: niet schermen
- Controle behandeling: schermen (behandeling 1)
- Geanalyseerde dagen: 7 t/m 12 april
- Specifiek: in de tweede helft van de nacht is grote vochtier ingezet

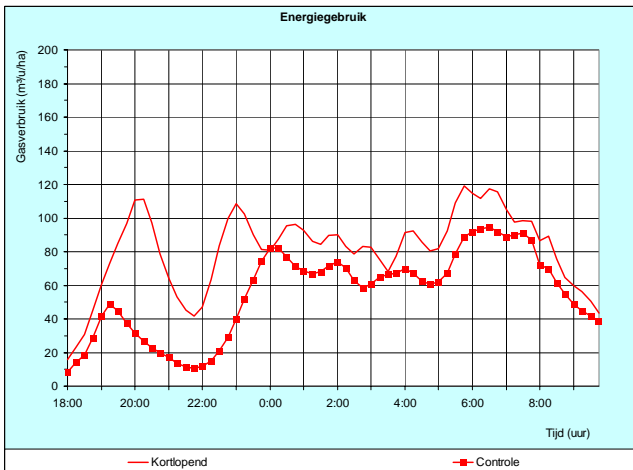
Resultaten:



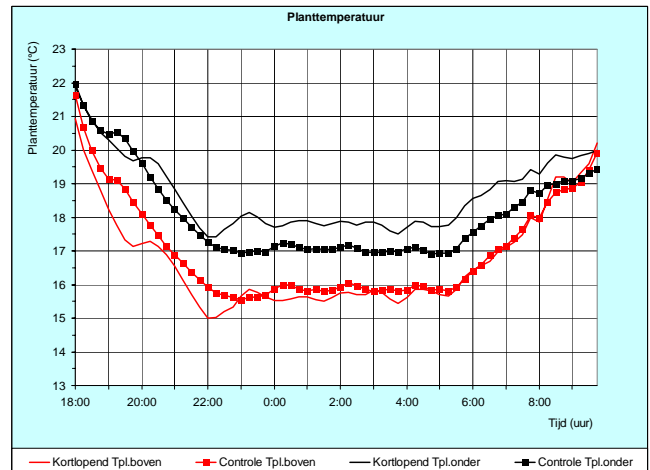
Figuur 93 Gemiddelde verloop van streefwaarde verwarming, temperatuur van kaslucht en buitentemperatuur op de dagen van kortlopende behandeling 4.



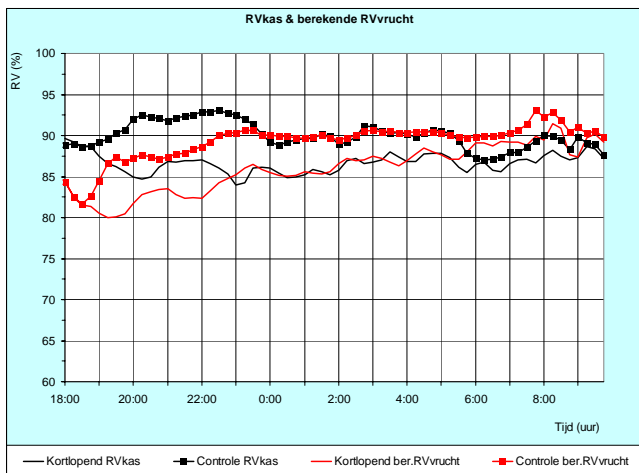
Figuur 94 Gemiddeld verloop van schermstand op de dagen van kortlopende behandeling 4.



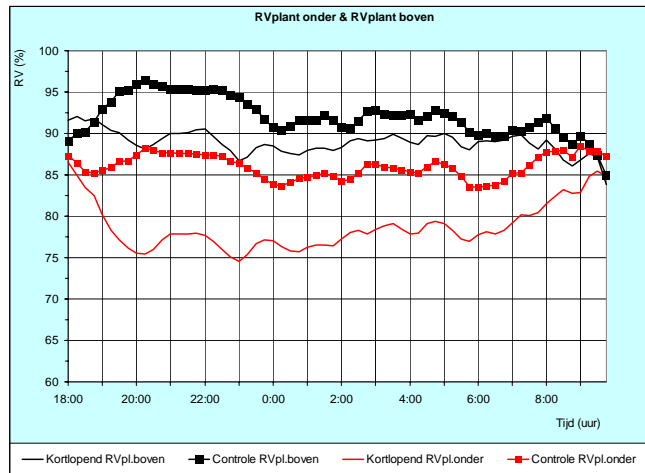
Figuur 95 Gemiddeld verloop van aardgasgebruik op de dagen van kortlopende behandeling 4.



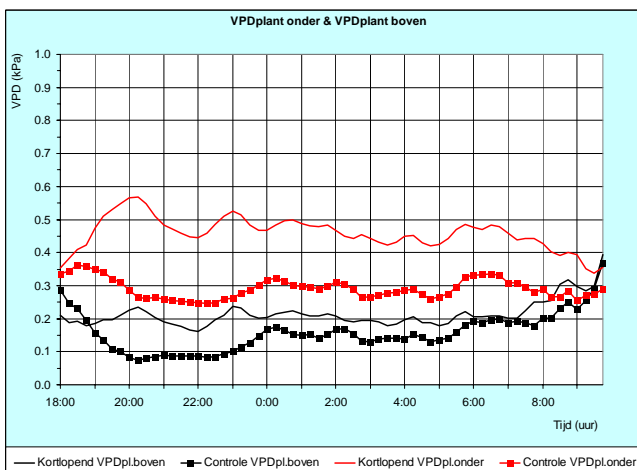
Figuur 96 Gemiddeld verloop van planttemperatuur op de dagen van kortlopende behandeling 4.



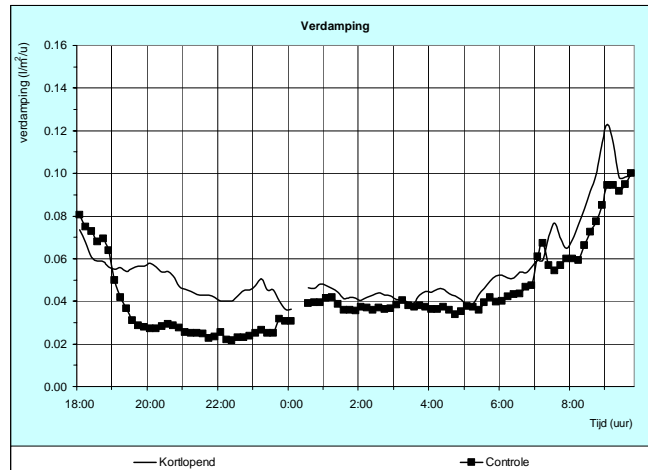
Figuur 97 Gemiddeld verloop van RV van kaslucht en bij de berekende vruchttemperatuur op de dagen van kortlopende behandeling 4.



Figuur 98 Gemiddeld verloop van RV bij de planttemperatuur onder en boven in gewas op de dagen van kortlopende behandeling 4.



Figuur 99 Gemiddeld verloop van VPD bij de planttemperatuur onder en boven in gewas op de dagen van kortlopende behandeling 4.



Figuur 100 Gemiddeld verloop van verdamping op de dagen van kortlopende behandeling 4.

Voor een groot deel zijn de resultaten vergelijkbaar als bij paragraaf 3.6.5.1. De belangrijkste verschillen zijn:

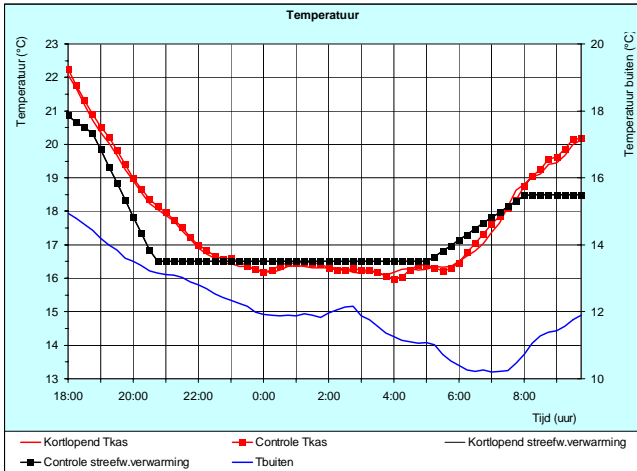
- Er is meer gekierd (Figuur 94). Voor een groot deel van de nacht is de maximale vochtier van 4 % aangehouden.
- Daardoor is de energiebesparing van het scherm geringer (Figuur 95). Niet-schermen kostte over de 16 uur gemiddeld 81.2 m³ aardgas per ha tegenover 55.1 m³/ha/uur bij wel schermen. Niet schermen kostte daarmee 47.4 % meer energie.
- Dit heeft tot gevolg dat de planttemperatuur aan de bovenzijde van het gewas nu iets hoger is dan bij de ongeschermd kas ten opzichte van geschermd in plaats van lager (vergelijk Figuur 96 met Figuur 89).
- De RV boven bij het gewas is daardoor ook iets lager, waarschijnlijk ook doordat er meer gekierd is (Figuur 98).
- Verder is de VPD bovenin het gewas nu iets hoger dan bij een geringere vochtier (Figuur 99).
- De effecten op de verdamping blijven gering (Figuur 100).

3.6.5.3 Beide ongeschermd (volgnr. 4c)

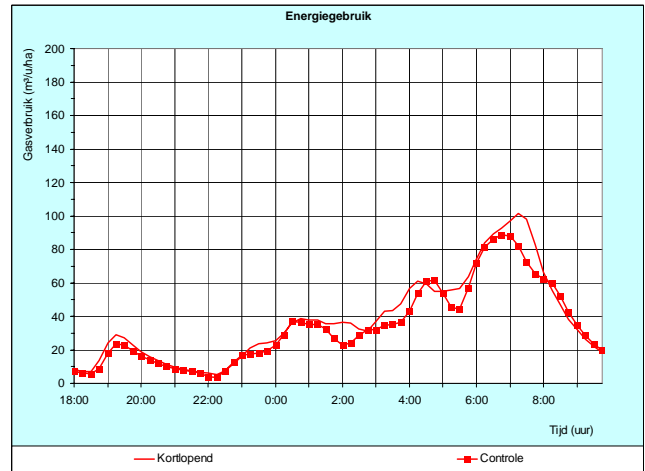
Opzet:

- Kortlopende behandeling: niet schermen
- Controle behandeling: niet schermen (behandeling 1)
- Geanalyseerde dagen: 1 t/m 5 april
- Specifiek: er is niet geschermd. Beide afdelingen en regelingen zijn identiek.

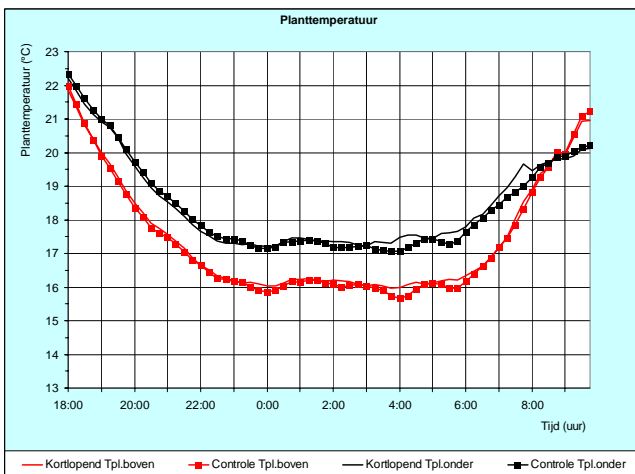
Resultaten:



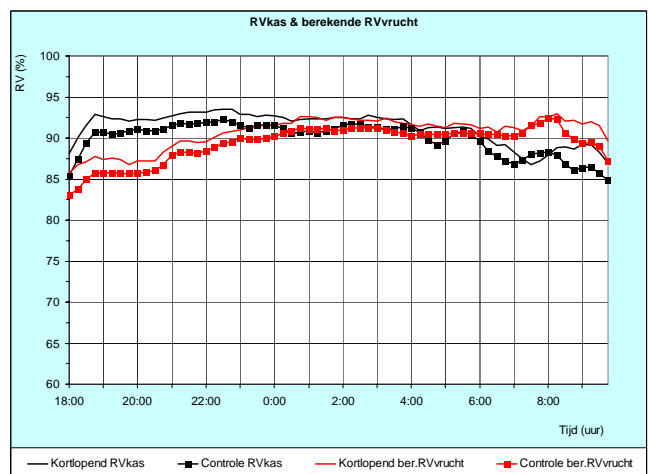
Figuur 101 Gemiddelde verloop van streefwaarde verwarming, temperatuur van kaslucht en buitentemperatuur op de dagen van kortlopende behandeling 4.



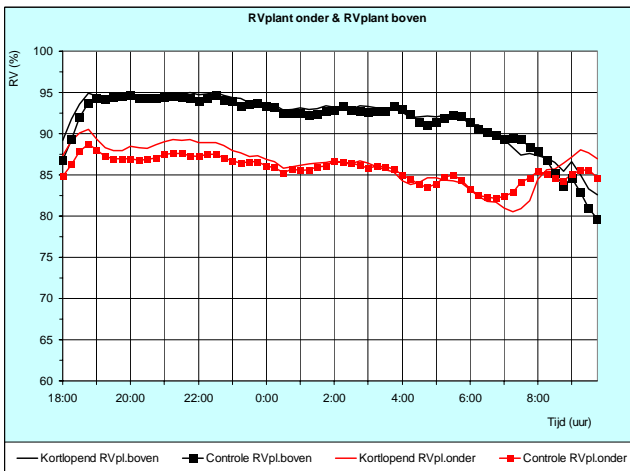
Figuur 102 Gemiddeld verloop van aardgasgebruik op de dagen van kortlopende behandeling 4.



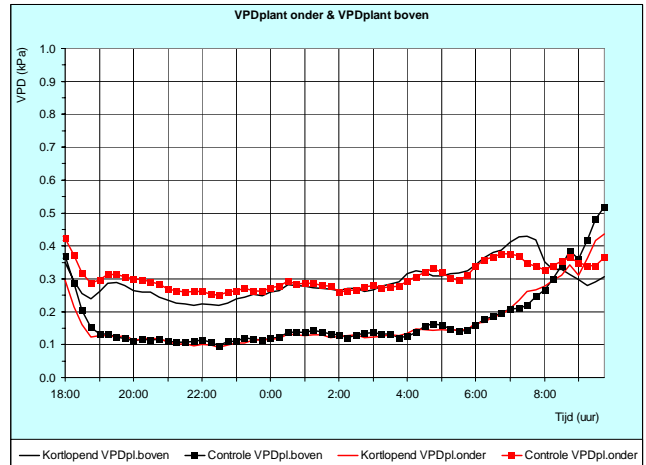
Figuur 103 Gemiddeld verloop van planttemperatuur op de dagen van kortlopende behandeling 4.



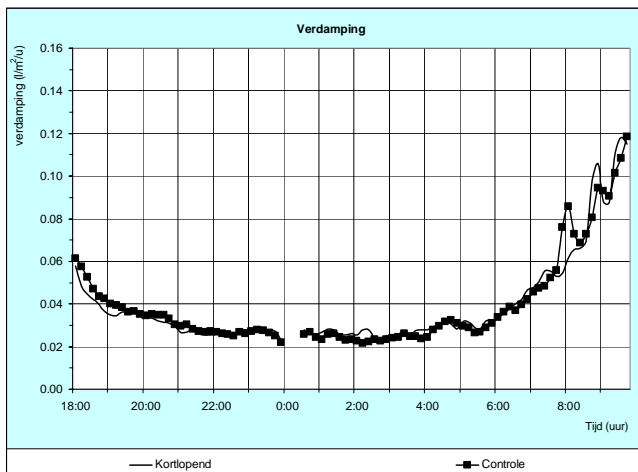
Figuur 104 Gemiddeld verloop van RV van kaslucht en bij de berekende vruchttemperatuur op de dagen van kortlopende behandeling 4.



Figuur 105 Gemiddeld verloop van RV bij de planttemperatuur onder en boven in gewas op de dagen van kortlopende behandeling 4.



Figuur 106 Gemiddeld verloop van VPD bij de planttemperatuur onder en boven in gewas op de dagen van kortlopende behandeling 4.



Figuur 107 Gemiddeld verloop van verdamping op de dagen van kortlopende behandeling 4.

Bovenstaande figuren geven aan dat bij dezelfde klimaatstrategie (niet schermen) de verschillen tussen de afdelingen zeer gering zijn. In deze nachten is niet geschermd, omdat het buiten vrij zacht was. Daardoor was de warmtevraag ook gering. Die geringe warmtevraag heeft effect op de VPD onder in het gewas. Was die bij paragraaf 3.6.5.1 en 3.6.5.2 de VPDpl.onder bij wel schermen rond de 0.5 kPa (resp. Figuur 92 en Figuur 99), nu is die 0.3 kPa (Figuur 106). Ook de VPD bovenin het gewas is van 0.2 kPa verlaagd naar 0.1 kPa.

3.6.5.4 Vergelijking van volgnr. 4a t/m 4c

In onderstaande tabel zijn de meetresultaten van de voorafgaande 3 paragrafen over de periode van 24 tot 7 uur gemiddeld. Dit is de periode waarop is gekierd.

Tabel 12 Overzicht van gemiddelde klimaatfactoren van de periode van 24 tot 7 uur van de kortlopende behandeling 4.

| | geringe vochtkier (zie paragraaf 3.6.5.1) | | grote vochtkier (zie paragraaf 3.6.5.2) | | geen scherm (zie paragraaf 3.6.5.3) | |
|----------------------------------|--|----------|--|----------|--|----------|
| | kortlopend | controle | kortlopend | controle | kortlopend | controle |
| schermstand (%) | 0.0 | 98.1 | 0.0 | 96.3 | 0.0 | 0.0 |
| raamstand (%) | 0.4 | 1.1 | 0.9 | 2.3 | 6.1 | 2.2 |
| Tkas (°C) | 16.3 | 16.3 | 16.3 | 16.4 | 16.4 | 16.4 |
| Energie (m ³ /ha/u) | 104.3 | 67.9 | 92.0 | 73.4 | 51.2 | 46.1 |
| Energie t.o.v. controle (%) | 153.5 | 100.0 | 125.3 | 100.0 | 111.0 | 100.0 |
| Tpl.boven (°C) | 15.9 | 15.6 | 15.9 | 16.1 | 16.2 | 16.1 |
| Tpl.onder (C) | 18.0 | 17.1 | 18.0 | 17.2 | 17.5 | 17.4 |
| RVkas (%) | 84.6 | 88.6 | 86.4 | 89.4 | 91.6 | 90.4 |
| ber. RVvrucht (%) | 85.0 | 89.1 | 87.0 | 90.1 | 91.8 | 90.7 |
| RVpl.boven (%) | 86.8 | 92.5 | 88.8 | 91.4 | 92.4 | 92.1 |
| RVpl.onder (%) | 75.9 | 84.1 | 77.7 | 85.0 | 85.0 | 84.9 |
| VPDpl.boven (kPa) | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.1 |
| VPDpl.onder (kPa) | 0.5 | 0.3 | 0.5 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| verdamping (l/m ² /u) | - | - | 0.045 | 0.039 | 0.030 | 0.028 |

Opvallende aspecten:

- Op de dagen met een geringe kier had de kier een gemiddelde grootte van 1.9 %, terwijl de dagen met een grote kier 3.7 % werd gerealiseerd.
- Bij een geringe kier was de planttemperatuur aan de bovenzijde van het gewas 0.3 °C kouder dan als niet werd geschermd. Echter bij een grotere kier was het gewas bovenin zelfs 0.2 °C warmer dan als niet werd geschermd. Blijkbaar heeft de verdubbeling van de kiergrootte een sterker effect op de warmtevraag dan op de toename van de uitstraling van het gewas. Onderin het gewas waren de temperatuurverschillen gering.
- Bij de vergelijking van afdelingen met een identieke regelstrategie (laatste 2 kolommen) zien we toch een verschil in energiegebruik. Dit komt waarschijnlijk door een iets hoger vochniveau in de kortlopende afdeling dan in de controle afdeling. Daardoor is bij de kortlopende afdeling iets meer op vocht gelucht (hogere gemiddelde raamstand).
- Uit de gegevens van de gemiddelde verdamping blijkt dat als gevolg van schermen en daarmee geringe warmtevraag en geringere VPD aan de onderzijde van het gewas de verdamping ook gereduceerd wordt (middelste 2 kolommen).

3.6.6 Schermen op zomerse dagen (volgnr. 5)

Opzet:

- Kortlopende behandeling: overdag schermen met 80 % (vanaf circa 13 uur)
- Controle behandeling: overdag niet schermen (behandeling 2)
- Geanalyseerde dagen: 18 en 19 mei; 22, 23, 27 en 30 juli
- Specifiek: zomerse dagen

Resultaten:

Bij deze kortlopende behandeling is hetzelfde scherm, Phormium Super, gebruikt als het energiescherm 's nachts. De reactie van schermen op zomerse dagen op het kasklimaat is zeer verschillend. Deels komt dit door verschillen in buitentemperatuur. Daarom is geen gemiddeld dagverloop berekend en in figuren gepresenteerd. Wel zijn in Tabel 13 de gemiddelden per dag over de periode van 14 tot 18 uur berekend. Om 14 uur lag het scherm al minstens 0:45 uur op een constante schermstand van 80 %. De dagen zijn geordend naar oplopende gemiddelde buitentemperatuur.

Uit Tabel 13 kan het volgende worden afgeleid:

- Bij schermen is de kasluchttemperatuur tot 0.7 °C lager dan zonder schermen.
- Bij schermen is de planttemperatuur aan de bovenzijde van het gewas tot 0.5 tot 1.3 °C lager dan zonder schermen.
- Bij schermen varieert de planttemperatuur aan de onderzijde van het gewas van 0.3 °C warmer tot 0.7 °C kouder dan zonder schermen.
- Het temperatuurverschil tussen gewas bovenin en kaslucht neemt bij schermen minder af dan bij het ongeschermd als het buiten warmer wordt. Het berekende verschil tussen kortlopend en controle neemt toe van -0.9 °C naar -0.1 °C.
- Des te warmer het buiten is, des te gering is het temperatuurverschil tussen planttemperatuur aan bovenzijde van het gewas en kaslucht.
- Aan de onderzijde van het gewas is bij het temperatuurverschil tussen plant en kaslucht geen duidelijke trend waar te nemen.
- Bij de RV's van kaslucht en bij het gewas is geen duidelijke trend te zien.
- De VPD boven in het gewas neemt bij het schermen af.
- Onder in het gewas varieert de VPD tussen de dagen.
- Bij schermen wordt de verdamping tussen de 11 en 19 % gereduceerd. Dit komt voort uit de lagere VPD boven in het gewas bij schermen.

Tabel 13 Gemiddelden klimaatfactoren op de dagen dat 's middag bij de kortlopende behandeling is geschermd en bij de controle niet. De gemiddelden zijn berekend van 14 tot 18 uur.

| meetwaarde | | 18 mei | 19 mei | 23 juli | 27 juli | 30 juli | 22 juli |
|------------------------------|------------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| Tbuiten (°C) | | 17.5 | 17.6 | 18.5 | 20.8 | 23.0 | 25.2 |
| straling (W/m ²) | | 299 | 315 | 184 | 292 | 232 | 285 |
| schermstand (%) | kortlopend | 80.0 | 80.0 | 80.0 | 80.0 | 80.0 | 80.0 |
| | controle | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Tkas (°C) | kortlopend | 23.5 | 23.4 | 22.8 | 25.2 | 26.5 | 28.5 |
| | controle | 23.9 | 23.4 | 23.1 | 25.7 | 26.9 | 29.2 |
| | verschil | -0.4 | 0.0 | -0.2 | -0.5 | -0.4 | -0.7 |
| Tpl.boven (°C) | kortlopend | 24.1 | 24.4 | 23.8 | 25.2 | 26.7 | 28.5 |
| | controle | 25.4 | 25.0 | 24.4 | 26.3 | 27.2 | 29.3 |
| | verschil | -1.3 | -0.7 | -0.6 | -1.1 | -0.5 | -0.8 |
| Tpl.onder (°C) | kortlopend | 23.5 | 23.4 | 22.9 | 25.4 | 27.0 | 28.9 |
| | controle | 23.5 | 23.1 | 23.2 | 25.6 | 27.7 | 28.9 |
| | verschil | 0.0 | 0.3 | -0.2 | -0.2 | -0.7 | 0.0 |
| Tpl.boven – Tkas (°C) | kortlopend | 0.6 | 1.0 | 0.9 | -0.1 | 0.2 | 0.0 |
| | controle | 1.5 | 1.6 | 1.4 | 0.6 | 0.3 | 0.1 |
| | verschil | -0.9 | -0.7 | -0.4 | -0.6 | -0.1 | -0.1 |
| Tpl.onder – Tkas (°C) | kortlopend | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.4 |
| | controle | -0.4 | -0.3 | 0.1 | -0.1 | -0.8 | -0.3 |
| | verschil | 0.4 | 0.4 | 0.0 | 0.2 | -0.3 | 0.7 |
| RVkas (%) | kortlopend | 66.5 | 70.0 | 76.3 | 64.5 | 70.7 | 64.8 |
| | controle | 68.9 | 68.4 | 77.6 | 61.4 | 64.9 | 65.4 |
| | verschil | -2.4 | 1.6 | -1.2 | 3.2 | 5.8 | -0.6 |
| ber.RVvrucht (%) | kortlopend | 66.3 | 71.0 | 76.1 | 64.2 | 70.3 | 63.5 |
| | controle | 68.4 | 69.1 | 77.8 | 61.2 | 64.4 | 64.4 |
| | verschil | -2.1 | 1.9 | -1.7 | 3.0 | 5.9 | -0.9 |
| RVpl.boven (%) | kortlopend | 62.7 | 63.9 | 72.2 | 64.8 | 69.9 | 64.8 |
| | controle | 60.0 | 58.6 | 71.5 | 59.3 | 63.9 | 64.9 |
| | verschil | 2.6 | 5.3 | 0.7 | 5.5 | 6.0 | -0.1 |
| RVpl.onder (%) | kortlopend | 66.6 | 69.8 | 75.9 | 63.8 | 69.0 | 63.3 |
| | controle | 70.8 | 69.7 | 77.0 | 61.5 | 62.0 | 66.4 |
| | verschil | -4.2 | 0.1 | -1.2 | 2.3 | 6.9 | -3.1 |
| VPDpl.boven (kPa) | kortlopend | 1.1 | 1.1 | 0.8 | 1.1 | 1.1 | 1.4 |
| | controle | 1.3 | 1.3 | 0.9 | 1.4 | 1.3 | 1.4 |
| | verschil | -0.2 | -0.2 | -0.1 | -0.3 | -0.3 | -0.1 |
| VPDpl.onder (kPa) | kortlopend | 1.0 | 0.9 | 0.7 | 1.2 | 1.1 | 1.5 |
| | controle | 0.8 | 0.9 | 0.7 | 1.3 | 1.4 | 1.3 |
| | verschil | 0.1 | 0.0 | 0.0 | -0.1 | -0.3 | 0.1 |
| verdamping (% van controle) | kortlopend | | 81.0 | 88.6 | | 72.7 | |
| | controle | geen | 100.0 | 100.0 | geen | 100.0 | geen |
| | verschil | | -19.0 | -11.4 | | -17.3 | |

3.6.7 Vochtsparen (volgnr. 6)

3.6.7.1 Principe

Bij deze kortlopende behandeling zijn op 3 zomerse dagen de luchtramen in de namiddag flink gesloten. Tuinders doen dit om zogenaamd vocht te sparen. Ze zien namelijk de relatieve luchtvochtigheid oplopen, waaruit de tuinders afleiden dat het gewas het minder moeilijk heeft. Of dat zo is, wordt aan de hand van 3 afzonderlijke dagen besproken. Aangezien de reactie op deze dagen verschillend is, mede onder invloed van de buitenomstandigheden, kon geen gemiddeld dagverloop worden berekend.

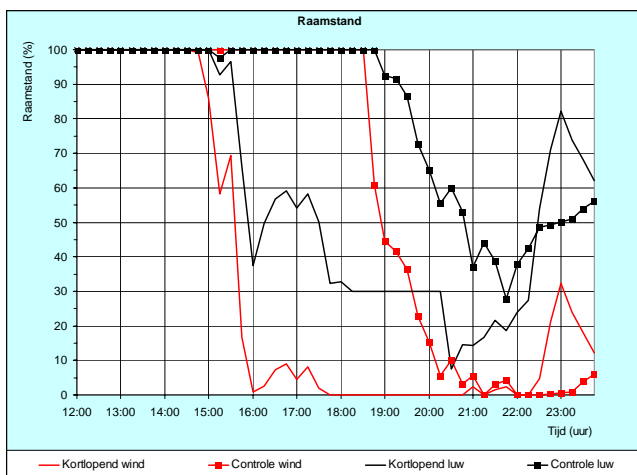
De wijze waarop het vochtsparen is gedaan, is door in de middag de ventilatietemperatuur langzaam te verhogen naar 28 °C. Aangezien op basis van gemeten planttemperatuur in beide afdelingen geregeld werd, werd gerealiseerd dat als de planttemperatuur aan de bovenzijde van het gewas hoger was dan 28 °C altijd werd geventileerd. Verder werd een extra zekerheid ingebouwd door minimaal 30 % aan de luwe kant te luchten. Op deze dagen is niet geschermd.

3.6.7.2 Vochtsparen op 7 juni

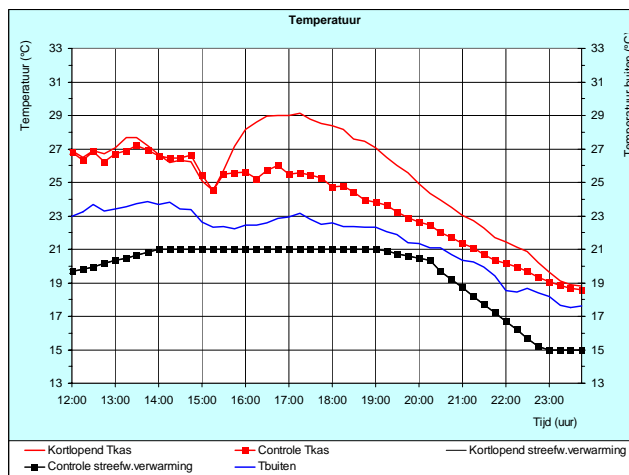
Opzet:

- Kortlopende behandeling: vochtsparen in namiddag
- Controle behandeling: normaal regelen (behandeling 2)
- Geanalyseerde dag: 7 juni
- Specifiek: zomerse omstandigheden

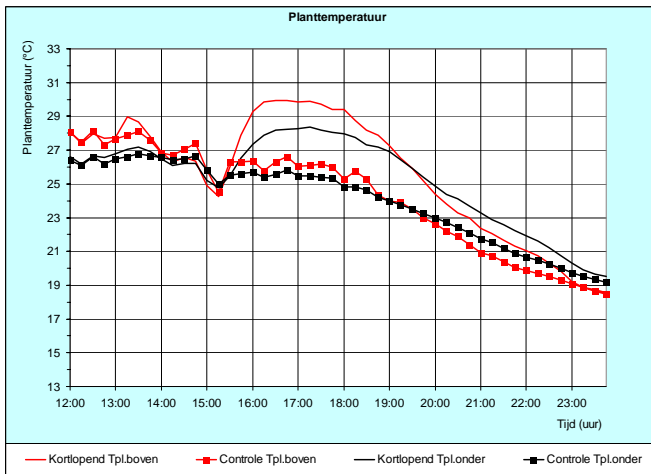
Resultaten:



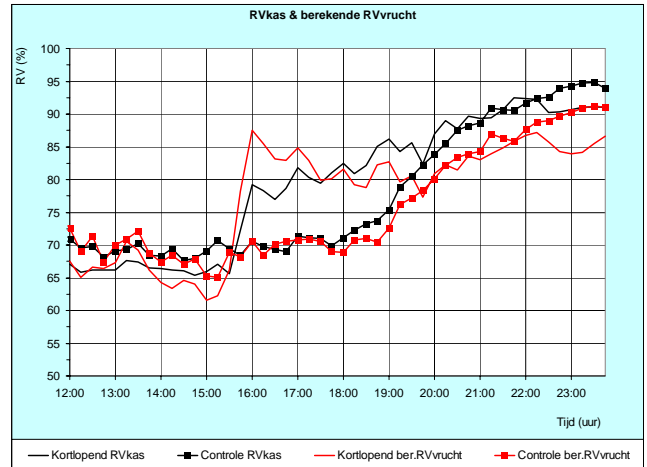
Figuur 108 Verloop van raamstand aan luwe en wind zijde op 7 juni met kortlopende behandeling 6.



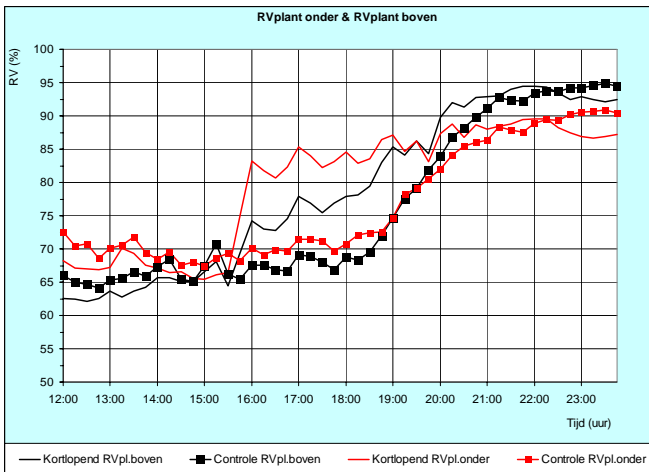
Figuur 109 Verloop van streefwaarde verwarming, temperatuur van kaslucht en buitentemperatuur op 7 juni met kortlopende behandeling 6.



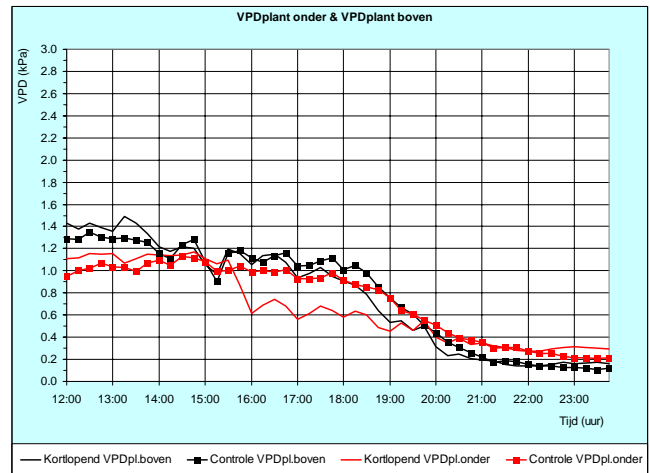
Figuur 110 Verloop van planttemperatuur op 7 juni met kortlopende behandeling 6.



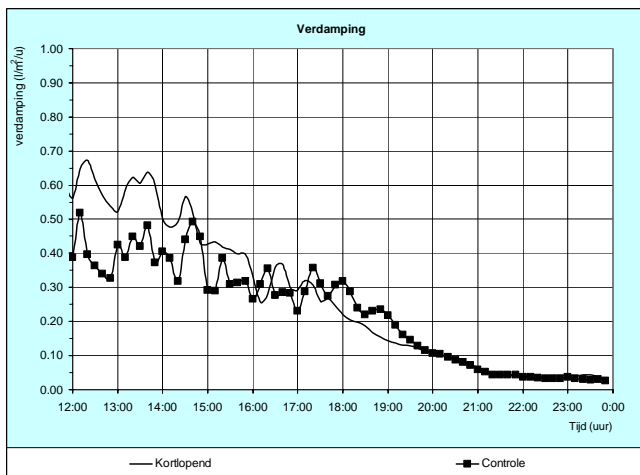
Figuur 111 Verloop van RV van kaslucht en bij de berekende vruchttemperatuur op 7 juni met kortlopende behandeling 6.



Figuur 112 Verloop van RV bij de planttemperatuur onder en boven in gewas op 7 juni met kortlopende behandeling 6.



Figuur 113 Verloop van VPD bij de planttemperatuur onder en boven in gewas op 7 juni met kortlopende behandeling 6.



Figuur 114 Verloop van verdamping op 7 juni met kortlopende behandeling 6.

Uit de bovenstaande figuren kan het volgende worden afgeleid:

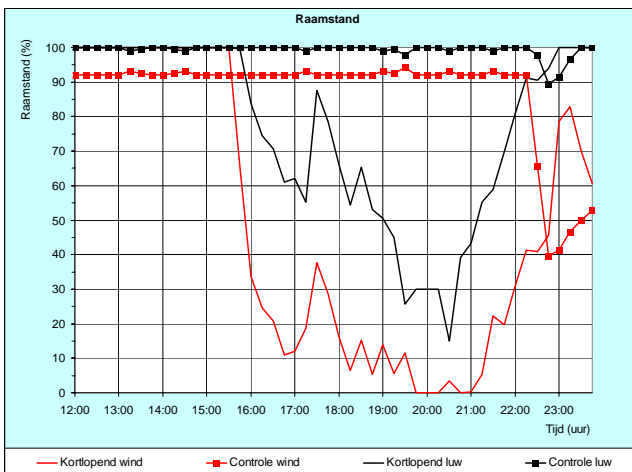
- Om 15 uur is de ventilatietemperatuur verhoogd waardoor de ramen langzaam sloten (Figuur 108).
- Het gevolg is dat de kasluchttemperatuur 4 °C stijgt (Figuur 109).
- Deze temperatuurstijging is ook te zien bij de planttemperatuur. Daarbij is de temperatuurstijging boven in het gewas sterker dan onderin (Figuur 110).
- In de avond daalt de planttemperatuur aan de bovenzijde van het gewas sneller dan onderin (Figuur 110). Dit komt door directie afkoeling van het gewas met buitenlucht.
- De RV van de kaslucht stijgt meteen bij de start van het vochtsparen (Figuur 111).
- Ook de RV bij het gewas stijgt (Figuur 112).
- Echter de VPD, de drijvende kracht voor verdamping, daalt alleen onder in het gewas (Figuur 113).
- De reductie van de verdamping is daardoor niet heel sterk (Figuur 114).

3.6.7.3 Vochtsparen op 8 juni

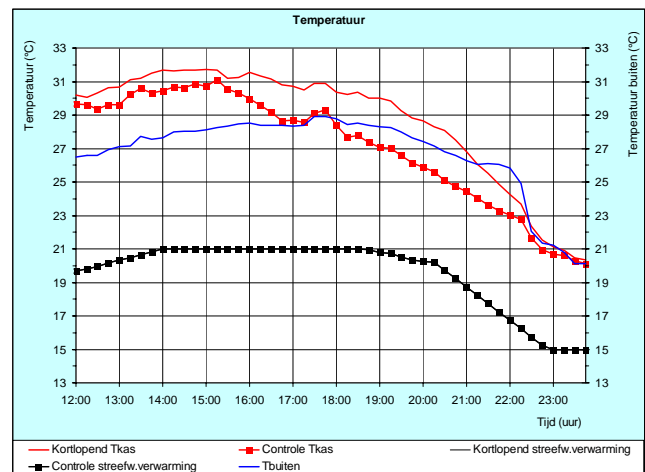
Opzet:

- Kortlopende behandeling: vochtsparen in namiddag
- Controle behandeling: normaal regelen (behandeling 2)
- Geanalyseerde dag: 8 juni
- Specifiek: zomerse omstandigheden

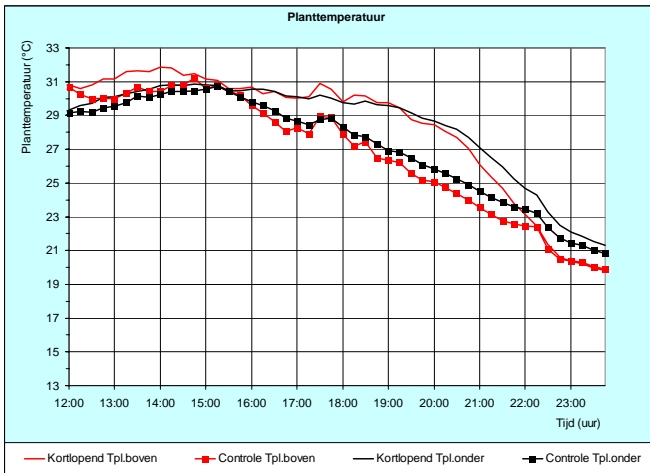
Resultaten:



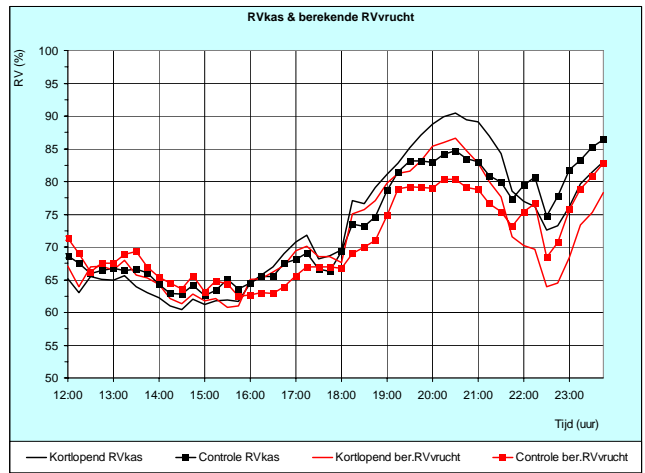
Figuur 115 Verloop van raamstand aan luwe en wind zijde op 8 juni met kortlopende behandeling 6.



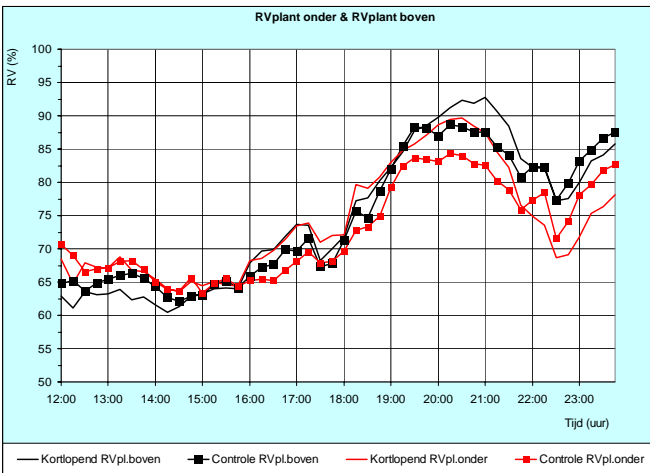
Figuur 116 Verloop van streefwaarde verwarming, temperatuur van kaslucht en buitentemperatuur op 8 juni met kortlopende behandeling 6.



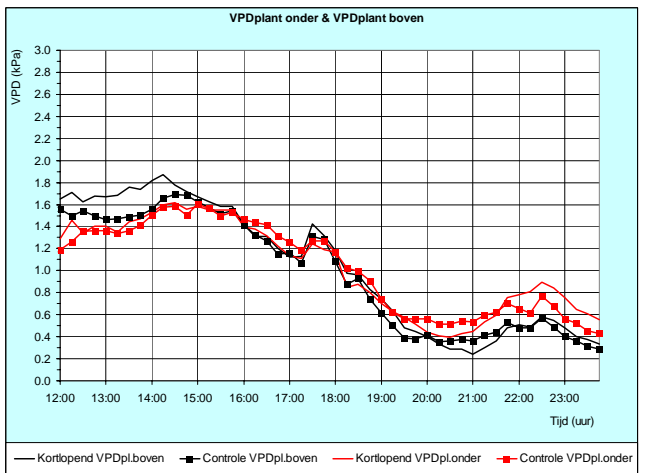
Figuur 117 Verloop van planttemperatuur op 8 juni met kortlopende behandeling 6.



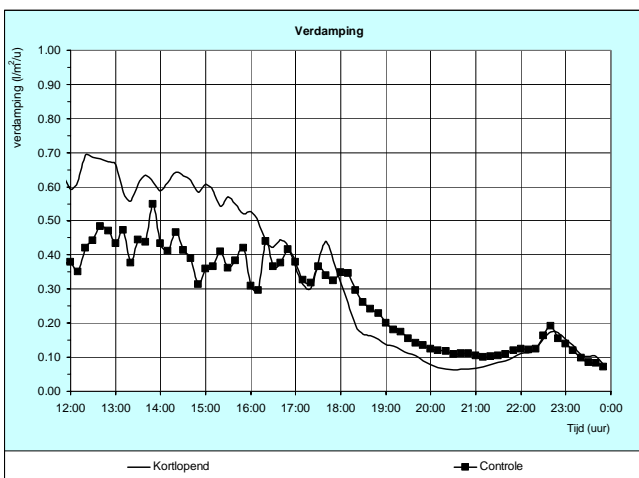
Figuur 118 Verloop van RV van kaslucht en bij de berekende vruchttemperatuur op 8 juni met kortlopende behandeling 6.



Figuur 119 Verloop van RV bij de planttemperatuur onder en boven in gewas op 8 juni met kortlopende behandeling 6.



Figuur 120 Verloop van VPD bij de planttemperatuur onder en boven in gewas op 8 juni met kortlopende behandeling 6.



Figuur 121 Verloop van verdamping op 8 juni met kortlopende behandeling 6.

Uit de bovenstaande figuren kan het volgende worden afgeleid:

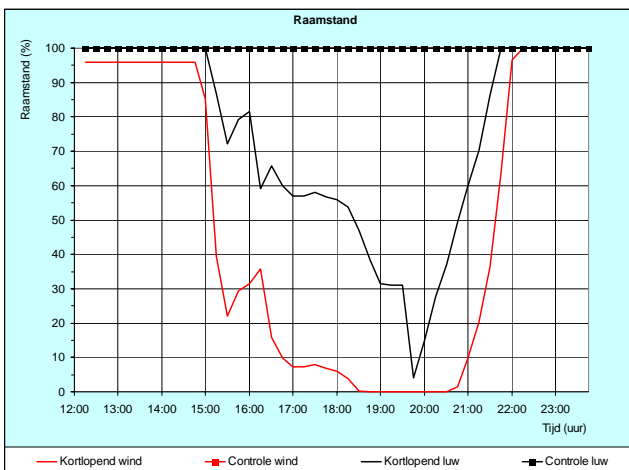
- Om 15:30 uur is de ventilatietemperatuur verhoogd waardoor de ramen langzaam sloten (Figuur 115).
- Het temperatuurniveau was op deze dag hoger dan op 7 juni (vergelijk Figuur 116 met Figuur 109 in de paragraaf hiervoor). Het gevolg is dat de kasluchttemperatuur nu niet stijgt, maar dat de controle afdeling in temperatuur daalt.
- In de avond daalt kasluchttemperatuur zelfs onder de temperatuur van de buitenlucht (Figuur 116).
- Hetzelfde geldt bij de planttemperatuur (Figuur 117). Daarbij is de temperatuurstijging boven in het gewas sterker dan onderin.
- Laat in de avond daalt de planttemperatuur aan de bovenzijde van het gewas sneller dan onderin. Dit komt door de directe koeling van het gewas door buitenlucht. (Figuur 117)
- De RV van de kaslucht en bij het gewas verschillen niet tussen de beide behandelingen (Figuur 118 en Figuur 119).
- Alleen later op de avond stijgt de RV van de kaslucht bij vochtsparen meer (Figuur 118).
- Als gevolg van het vochtsparen is de RV stijging veel geringer dan op 7 juni (vergelijk Figuur 118 en Figuur 119 met Figuur 111 en Figuur 112).
- De VPD verschillen tussen de behandelingen zijn minder groot dan op de voorafgaande dag (vergelijk Figuur 120 met Figuur 113).
- Des ondanks valt de verdamping terug als vocht wordt gespaard (Figuur 121).

3.6.7.4 Vochtsparen op 9 augustus

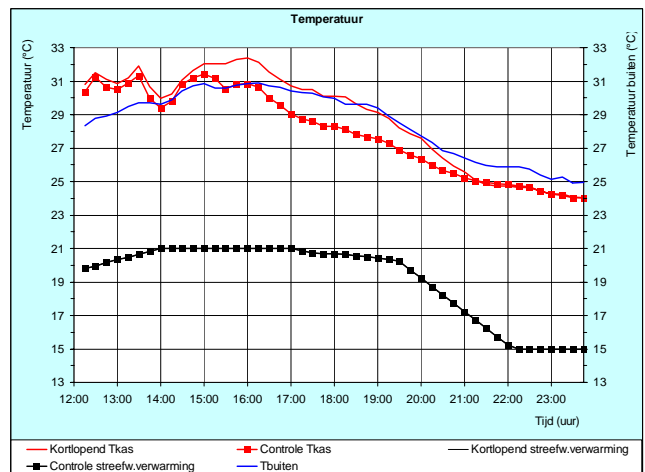
Opzet:

- Kortlopende behandeling: vochtsparen in namiddag
- Controle behandeling: normaal regelen (behandeling 2)
- Geanalyseerde dag: 9 augustus
- Specifiek: zomerse omstandigheden

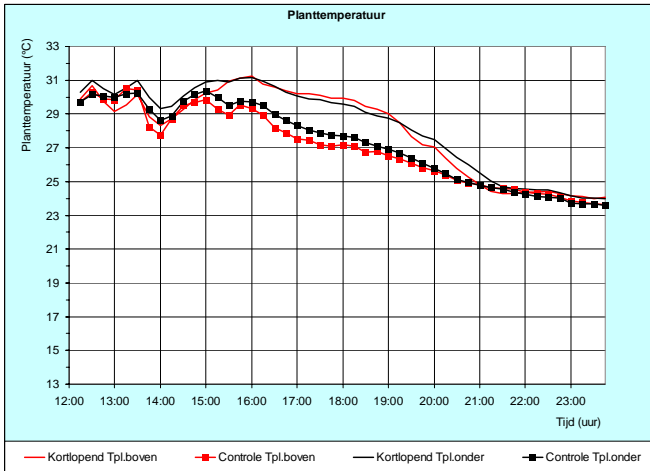
Resultaten:



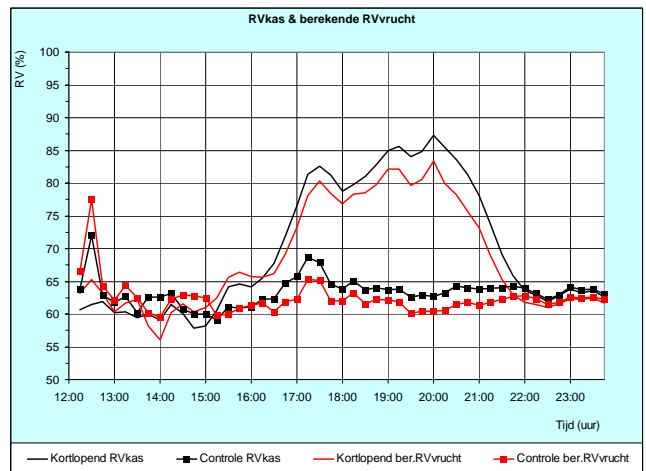
Figuur 122 Verloop van raamstand aan luwe en wind zijde op 9 augustus met kortlopende behandeling 6.



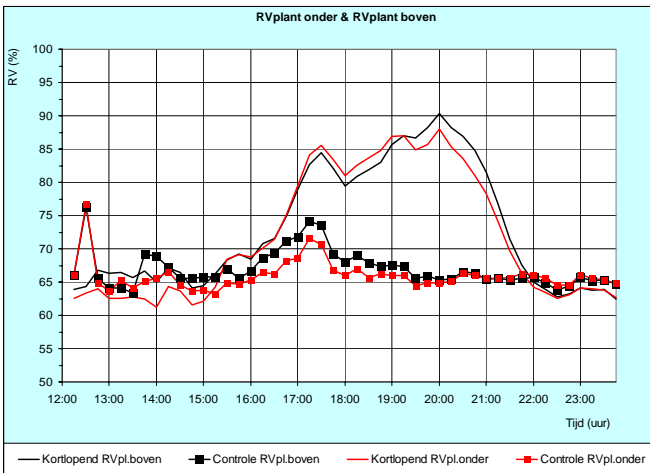
Figuur 123 Verloop van streefwaarde verwarming, temperatuur van kaslucht en buitentemperatuur op 9 augustus met kortlopende behandeling 6.



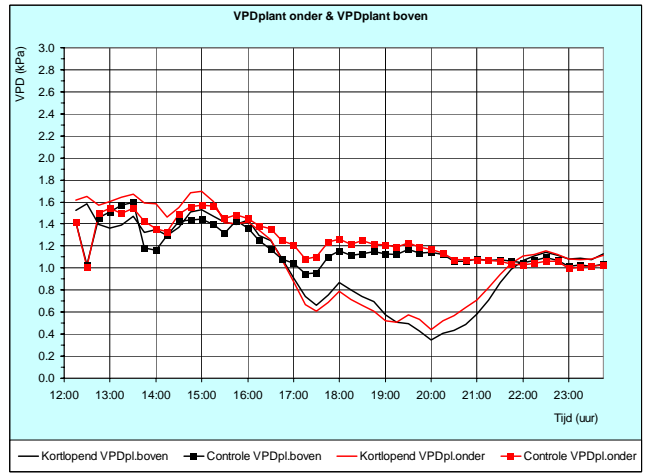
Figuur 124 Verloop van planttemperatuur op 9 augustus met kortlopende behandeling 6.



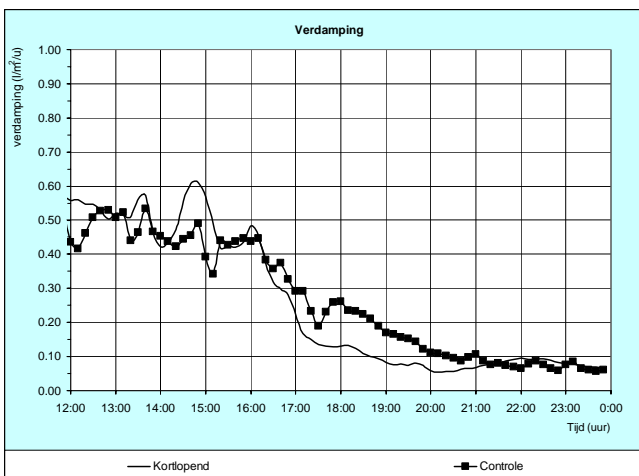
Figuur 125 Verloop van RV van kaslucht en bij de berekende vruchttemperatuur op 9 augustus met kortlopende behandeling 6.



Figuur 126 Verloop van RV bij de planttemperatuur onder en boven in gewas op 9 augustus met kortlopende behandeling 6.



Figuur 127 Verloop van VPD bij de planttemperatuur onder en boven in gewas op 9 augustus met kortlopende behandeling 6.



Figuur 128 Verloop van verdamping op 9 augustus met kortlopende behandeling 6.

Uit de bovenstaande figuren kan het volgende worden afgeleid:

- Om 15 uur is de ventilatietemperatuur verhoogd waardoor de ramen langzaam sloten (Figuur 122).
- Het temperatuurniveau was op deze dag nog iets hoger dan op 8 juni (vergelijk Figuur 123 met Figuur 116 uit de voorafgaande paragraaf). In tegenstelling tot 8 juni ontstaat nu nog wel een temperatuurstijging.
- Uiteindelijk is zowel bij de kasluchttemperatuur als de planttemperatuur bij het vochtsparen 2 °C hoger dan zonder vochtsparen (Figuur 123 en Figuur 124).
- Op deze dag stijgt de RV van de kaslucht en die bij het gewas met 20 % (Figuur 125 en Figuur 126).
- Dit resulteert in een daling van de VPD bij vochtsparen ten opzichte van niet vochtsparen. Dit verschil ontstaat pas om 17 uur, terwijl de luchtramen al eerder geknepen zijn (Figuur 127).
- Dit heeft een afname van de verdamping tot gevolg (Figuur 128).

3.6.7.5 Samenvatting van vochtsparen

De reactie van vochtsparen op het kasklimaat is niet op voorhand te voorspellen. Het lijkt er op dat als een temperatuurstijging gecreëerd kan worden, dat vervolgens de relatieve luchtvochtigheid toeneemt, de VPD afneemt en waardoor de verdamping afneemt. Verder spelen ook buitenomstandigheden een rol, zoals buitentemperatuur, instraling en windsnelheid. Bij de analyse is alleen de buitentemperatuur betrokken.

4 Discussie

4.1 Vooraf

In dit onderzoek lopen 3 aspecten door elkaar: het benutten van de IR-planttemperatuur in de regeling (1), vochtregeling op basis van de luchtvochtigheid bij de berekende vruchttemperatuur (2) en het toepassen van plantsensoren specifiek voor het voorkomen van natslag (3). Deze 3 aspecten bepalen samen met de toegepaste parameters voor de vochtregeling de potentiële energiebesparing. Voor de overzichtelijkheid is dit hoofdstuk als volgt opgebouwd:

- meting van planttemperatuur (paragraaf 4.2).
- regelen op planttemperatuur (paragraaf 4.3).
- plantsensoren ter voorkoming van natslag (paragraaf 4.4).
- andere parameters voor vochtregeling (paragraaf 4.5).
- mogelijkheden voor energiebesparing (paragraaf 4.6).

4.2 Meting van planttemperatuur

Als naar de planttemperatuur in de hoofdbehandelingen wordt gekeken dan valt de volgende tendens waar te nemen:

- Overdag tussen 9 en 18 uur is de planttemperatuur aan de bovenzijde van het gewas gemiddeld 1 tot 1.5 °C hoger dan de kasluchttemperatuur. Dit neemt toe bij meer instraling. Als de luchtramen verder geopend worden, daalt dit temperatuurverschil. De planttemperatuur onder in het gewas komt vrijwel overeen met de kasluchttemperatuur. Zie paragraaf 3.3.2.2.
- Gedurende de nacht tussen 22 en 4 uur is de planttemperatuur aan de bovenzijde van het gewas gemiddeld 0.5 tot 1 °C lager dan de kasluchttemperatuur. Onderin het gewas is de planttemperatuur gemiddeld 0.5 °C hoger dan de kasluchttemperatuur door directe opwarming van de buizen (zie ook paragraaf 4.3.1).

De kortlopende behandelingen geven aan dat de planttemperatuur een nuttige parameter is om meer inzicht te krijgen in de groeiomstandigheden van het gewas onder invloed van klimaatregel-acties (zie paragraaf 3.6). Voorbeelden hiervan zijn:

- Invloed van 's morgens eerder openen van het scherm:
 - meer kouval bij de kop van het gewas dan onderin het gewas;
 - meer stimulatie van verdamping (via VPD).
- Invloed van 's morgens sneller opstoken:
 - sterkere schommeling in planttemperatuur;
 - in het algemeen meer stimulatie van verdamping (via VPD);
 - grotere kans op natslag.
- Invloed van 's nacht niet schermen:
 - hogere planttemperatuur aan onderzijde van gewas
 - planttemperatuur aan bovenzijde van gewas is iets hoger als niet wordt geschermd dan bij een gesloten scherm. Als een grote vochtier wordt toegepast, dan stijgt de planttemperatuur aan bovenzijde van gewas bij een geschermd kas door toename van de warmteafgifte van buizen. De mate waarin deze temperatuurverschillen optreden is waarschijnlijk afhankelijk van het type schermdoek.

- Invloed van scherm overdag onder zomerse omstandigheden:
 - verlaging van planttemperatuur aan bovenzijde van gewas;
 - wisselend beeld van planttemperatuur aan onderzijde van gewas;
 - des te warmer de buitenlucht, des te gering het temperatuurverschil tussen gewas en kaslucht;
 - verlaging van de verdamping onder invloed van een lagere VPD.
- Invloed van vochtsparen onder zomerse omstandigheden:
 - VPD geeft een beter beeld van de invloed van vochtsparen op verdamping dan de RV van de kaslucht.
- Directe invloed van buisrail op planttemperatuur aan onderzijde van gewas en daarmee op de verdamping via de VPD. Die invloed op de planttemperatuur aan de bovenzijde van het gewas is veel geringer.

4.3 Regelen op planttemperatuur

4.3.1 Processen die planttemperatuur beïnvloeden

De snelheid van plantontwikkeling wordt sterk beïnvloed door de temperatuur. Eigenlijk zou de tuinder het klimaat daarom moeten regelen op basis van de planttemperatuur in plaats van de kasluchttemperatuur. Diverse omgevingsfactoren beïnvloeden die planttemperatuur. Daarmee wijkt de planttemperatuur af van de kasluchttemperatuur. Dit betekent dat regelingen anders ingesteld moeten worden als op planttemperatuur geregeld wordt.

Voor het instellen van de regeling op basis van planttemperatuur moet daarom vanuit de plant en de omgevingsinvloeden worden gedacht. De invloeden zijn:

- instraling van zon De zon warmt het gewas op en het gewas vervolgens de kaslucht. Wisseling in stralingsintensiteit beïnvloedt de planttemperatuur aan de bovenzijde directer dan de kasluchttemperatuur.
- uitstraling naar kouder kasdek De bovenzijde van het gewas straalt meer warmtestraling naar het kasdek uit dan plantendelen onderin het gewas.
- directe opwarming door buizen Buizen onderin het gewas stralen meer warmtestraling uit naar plantendelen onderin het gewas dan naar de bovenzijde van het gewas.
- opwarming door warmere kaslucht Warme lucht van buizen warmt het gewas op. Onderin het gewas zal dit sterker zijn dan bovenin het gewas.
- afkoeling door koudere buitenlucht De planttemperatuur aan de bovenzijde van het gewas reageert direct op de mate waarin geventileerd wordt.

Als vergeleken wordt met de reactie van deze omgevingsinvloeden op de kasluchttemperatuur, dan komt dit samengevat neer op:

Tabel 14 Proces die planttemperatuur en temperatuur van kaslucht beïnvloeden.

| proces | Tkaslucht | Tplant-boven | Tplant-onder |
|----------------------------------|----------------------|----------------|---------------------|
| instraling | vertraagd, via gewas | meer en direct | minder |
| uitstraling | vertraagd, via gewas | meer | minder |
| warmte van buizen (van buisrail) | vrij direct | minder | meest |
| ventilatie | vertraagd | direct | vertraagd en minder |

Enkele punten waar de regeling op basis van planttemperatuur rekening mee moet houden zijn:

- De gemeten planttemperatuur moet meer gedempt worden dan de meetboxtemperatuur.
- Zeer tijdelijke verstoringen van de gemeten planttemperatuur door bijvoorbeeld oogstende medewerkers in het meetveld van de camera moeten softwarematig worden geëlimineerd.

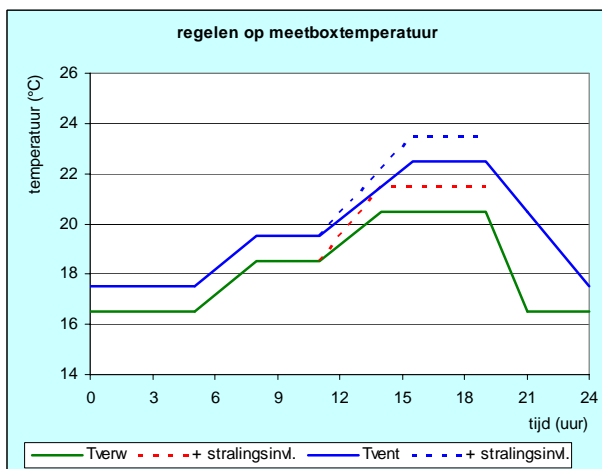
4.3.2 Regelen op planttemperatuur bovenin gewas

De planttemperatuur aan de bovenzijde van het gewas, *Tpl.boven*, wordt direct beïnvloed door instraling en uitstraling, en reageert vrij snel als er geventileerd wordt. Daarentegen reageert de planttemperatuur aan de bovenkant van het gewas traag op de warmteafgifte van buizen (vooral van buisrail).

Uit het onderzoek volgde dat als alleen op de bovenste planttemperatuur geregeld wordt, dan zijn globaal de volgende aanpassingen nodig ten opzichte van het regelen op meetboxtemperatuur om dezelfde gemiddelde kasluchttemperatuur te realiseren voor een optimale groei en productie:

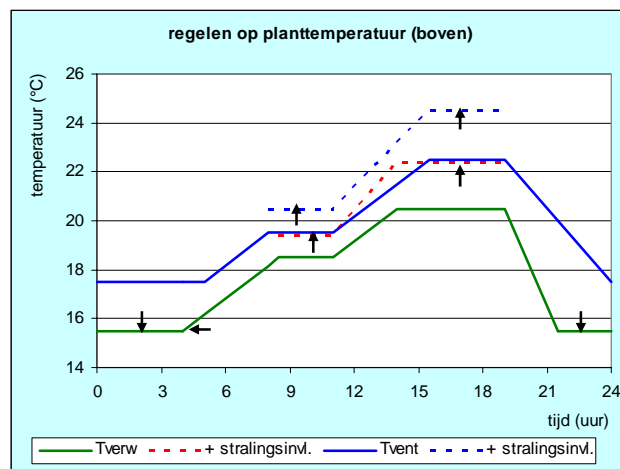
- De verwarmingstemperatuur 's nachts kan 1 °C lager ingesteld worden, doordat *Tpl.boven* gemiddeld genomen ongeveer 1 °C lager is dan de meetboxtemperatuur. Dit hangt samen met de mate van uitstraling.
- Om dezelfde reden kan de ventilatietemperatuur 's nachts 0.5 tot 1 °C lager worden ingesteld. Dit is alleen van belang als voor het gewas een lagere nachttemperatuur gewenst is.
- Overdag kan zowel bij de verwarmings- als ventilatietemperatuur 1 °C stralingsverhoging worden toegepast. Deze stralingsaanpassing geldt alleen over het traject van 0 tot 100 – 200 W/m². Immers de zon warmt het gewas op. Indien bij het regelen op meetboxtemperatuur al een stralingsaanpassing wordt toegepast, dan deze stralingsaanpassing met 1 °C verhogen.
- Het opstookmoment van nacht naar dag met 1 uur vervroegen, omdat 1 °C meer temperatuurverschil overbrugd moet worden. Rustiger opstoken geeft minder kans op natslag.

Dit resulteerde op weekbasis in vergelijkbare dag-, nacht- en etmaalgemiddelden van kaslucht en vergelijkbare gewasopbouw en productie als bij de behandeling *meetbox* (zie paragraaf 3.3 t/m 3.5). In onderstaande figuren zijn de bovengenoemde aanpassingen grafisch en in tabelvorm voor een voorbeelddag weergegeven.



| instelling | nacht | ochtend | middag |
|--------------------------|-------|---------|--------|
| streefwaarde verwarming | 16.5 | 18.5 | 20.5 |
| stral.invloed verwarming | - | - | 1.0 |
| streefwaarde ventilatie | 17.5 | 19.5 | 22.5 |
| stral.invloed ventilatie | - | - | 1.0 |

Figuur 129 Streefwaarden voor verwarming en ventilatie met bijbehorende stralingsinvloeden voor de situatie waarbij op meetbox temperatuur geregeld wordt.



| instelling | nacht | ochtend | middag |
|--------------------------|-------------|------------|------------|
| streefwaarde verwarming | 15.5 | 18.5 | 20.5 |
| stral.invloed verwarming | - | 1.0 | 2.0 |
| streefwaarde ventilatie | 17.5 | 19.5 | 22.5 |
| stral.invloed ventilatie | - | 1.0 | 2.0 |

Figuur 130 Streefwaarden voor verwarming en ventilatie met bijbehorende stralingsinvloeden voor de situatie waarbij op planttemperatuur boven gewas geregeld wordt, waarbij veranderingen ten opzichte van regelen op meetbox temperatuur met pijl in figuur en cursieve waarde in tabel zijn aangegeven.

Vergelijkbaar als bij het regelen op basis van meetboxtemperatuur is de temperatuurstrategie periodiek aangepast. Die temperatuurstrategie is verder afhankelijk van de stand van het gewas. Die stand bepaalt in welke richting de gewenste dag-, nacht- en etmaaltemperaturen moeten worden aangepast.

Op grond van dit onderzoek en de resultaten van de studiegroep Planttemperatuur in tomaat (Veenman, 2005) kunnen de volgende voordelen voor het regelen op planttemperatuur aan de bovenzijde van het gewas worden gegeven:

- In het vroege voorjaar kan voorzichtiger worden gelucht. De kop van het gewas zal bij koude buitenomstandigheden vrij snel in temperatuur dalen als geventileerd wordt, sneller dan de meetboxtemperatuur. Er wordt daarmee voorkomen dat op het ene moment te veel gelucht wordt (doorluchten, de ramen worden te ver open getrokken) en op het andere moment de ramen weer dicht gestuurd worden. Daarmee zouden bladrandjes kunnen worden voorkomen. Hierbij sterven de randen van blaadjes af als gevolg van schokeffecten in het klimaat. Dit is in dit onderzoek niet bekeken, omdat bladrandjes in geen van de behandelingen voor kwamen.
- Op zomerse dagen kan 's morgens sneller worden gelucht. Daarmee wordt voorkomen dat de etmaaltemperatuur te veel oploopt.
- Indien op zomerse dagen in de namiddag vocht gespaard wordt (minder ventileren), dan heeft het voordelen om op planttemperatuur te ventileren. Daarmee wordt voorkomen dat de planttemperatuur te sterk stijgt. Dit zou wel kunnen optreden als de maximum raamstand zou worden begrensd.

- Door de Tpl.boven in de schermregeling te betrekken kan bij veel uitstraling (koude kop) het scherm eerder worden dichtgetrokken. Daarmee kan enkele procenten energie worden bespaard.
- De Tpl.boven is waarschijnlijk meer bepalend voor de snelheid van de plantontwikkeling (zoals afsplitsingsnelheid) dan kasluchttemperatuur (Baas *et al.*, 2002).
- Onder zomerse omstandigheden kunnen op basis van de Tpl.boven kasdeksproeiers of kasluchtbevochtigers worden aangezet of scherm worden gesloten.
- Ook is het mogelijk om op basis van de RV bij Tpl.boven (RVpl.boven) vocht te regelen zoals ook in dit onderzoek is gedaan. Dit kan een energiewinst opleveren ten opzichte van het regelen op de kaslucht RV (zie paragraaf 4.5d).
- Als leerinstrument en bewaker van de groeiomstandigheden. Bijvoorbeeld tijdig alarmeren als de planttemperatuur te hoog of te laag is, of als de verdampingsdruk te hoog of te laag is. Daarmee wordt de continuïteit van de teelt mede verzekerd.

4.3.3 Regelen op planttemperatuur onderin en bovenin gewas

Als geregeld wordt op basis van het gemiddelde van de planttemperatuur onder en boven het gewas (behandeling IR_{boven} & IR_{onder} uit experimenten in winter t/m zomer, zie paragraaf 3.3), dan komt dit min of meer neer op regeling op basis van kasluchttemperatuur. Aanpassingen ten opzichte van het regelen op meetboxtemperatuur zijn dan ook niet direct noodzakelijk.

Dit is te verklaren door dat bepaalde processen een sterker effect hebben op Tpl.boven en juist minder op Tpl.onder (namelijk instraling en uitstraling en ventilatie) en dat dit voor andere processen net omgekeerd is (bijvoorbeeld warmteafgifte van buizen) (zie Tabel 14).

Regelen op het gemiddelde van beide planttemperatuur metingen heeft daarom voornamelijk niet direct voordelen. Wel kan de planttemperatuur onderin het gewas zinvol zijn bij het beter leren kennen van nieuwe teeltsystemen waar de verticale temperatuurgradiënt anders kan zijn dan bij een traditioneel teeltsysteem. Denk hierbij aan een gesloten kas of scherm in combinatie met belichten.

4.4 Temperatuur van specifieke plantendelen

Het onderzoek van Campen *et al.* (2005) heeft laten zien dat de ontwikkelde artificiële vruchten dezelfde thermische eigenschappen hebben dan de echte vruchten. Verder volgde uit het onderzoek dat de kans op natslag het grootste was bij de onderste vruchten in het gewas. De temperatuur van die vruchten week af van de temperatuur gemeten door een planttemperatuursensor onderin het gewas.

De meting van de temperatuur aan de ontwikkelde artificiële vruchten is zeer betrouwbaar en behoeft geen onderhoud. Daarmee kunnen deze artificiële vruchten als sensor worden gebruikt om te voorkomen dat er condensvorming op het gewas ontstaat.

4.5 Andere parameters voor vochtregelen

Bij vochtregelen is het goed om een onderscheid te maken tussen de verschillende methode van vochtregelen:

- a. meetbox RV
- b. berekende RVvrucht
- c. gemeten RVvrucht
- d. gemeten RVplant.boven

Voor alle duidelijkheid: de volgorde van b – d is enigszins willekeurig. Uitgangspunt bij vochtregeling is het voorkomen van natslag op plantendelen. Bij de vruchtgroenten zijn de vruchten de plantendelen die het traagst opwarmen. Daar zijn de risico's het grootst.

a. vochtregelen op meetbox (RVkaslucht)

methode:

- Vochtafhankelijke minimum buis, gecombineerd met vochtafhankelijke of vaste minimum raamstand en/of vochtier in scherm op basis van gemeten RV kaslucht.
- Er wordt traditioneel al bij een vrij lage RV iets gedaan (beginnen bij 85 %).
- De vochtstrategie in de ochtend is anders ingesteld dan die van de middag.
- Soms wordt de minimum buis stralingsafhankelijk versneld afgebouwd.

voordelen:

- Methode is ingeburgerd.
- Het gaat goed, omdat een vrij grote veiligheidsmarge wordt aangehouden.

nadelen:

- Wordt soms complex ingesteld: 's morgens anders dan 's middags, stralingsafhankelijke verlagingen. Hierdoor is er een kans op fouten.
- In het algemeen niet energiezuinig.
- De RV van kaslucht wijkt af van de RV bij plantendelen: 's morgens zijn vruchten kouder en 's middags juist warmer dan kaslucht.

b. vochtregelen met berekende vruchttemperatuur (berekende RVvrucht)

methode:

- Vochtafhankelijk minimum buis, gecombineerd met vochtafhankelijke of vaste minimum raamstand en/of vochtier in scherm op basis van berekende RV bij de berekende vruchttemperatuur. Bij de berekende RVvrucht wordt rekening gehouden met de naijlende temperatuur van de vruchten.

voordelen:

- Eenvoudiger instelbaar dan bij RVkaslucht. Eén strategie voor geheel etmaal is mogelijk.
- Veiligheidsmarge is kleiner dan bij RVkaslucht (hogere vochtstreefwaarde).
- Al een flinke energie winst bereikbaar.
- Geen onderhoud van sensoren.

nadelen:

- Niet ingeburgerd, wordt nog nauwelijks toegepast ondanks dat methode al 6 jaar in de praktijk toepasbaar is.
- Een berekende waarde wordt minder geloofd en daardoor minder geaccepteerd dan een gemeten waarde.
- Deze methode kan alleen toegepast worden bij vruchtgroenten.

- De berekening wordt gedaan op basis van de meetboxtemperatuur. De kans is aanwezig dat de vruchten ver van de meetbox hangen, waardoor het micro klimaat daar anders is.

opmerking:

- Deze methode is in de winter t/m zomer bij alle behandelingen (zie paragraaf 3.3) en in najaar bij alle behandeling behalve die bij IR_{boven} & RV_{koudste} (zie paragraaf 3.4) toegepast. In het deelverslag *Ontwikkeling plant temperatuursensor* (Campen *et al.*, 2005) wordt bevestigd dat de berekende vruchttemperatuur overeenkomt met de temperatuur van echte vruchten.
- Deze methode is gebruikt in het onderzoek *Energiebesparing door aangepaste vochtregulatie* (Houter *et al.*, 2004). Echter in de praktijk worden de regulatoren scherm, raam en buis nog lang niet altijd in de juiste volgorde en in de juiste mate ingezet. Bij een juiste afstemming kan het vochniveau omhoog en is de besparing groter.

c. vochtregelen met gemeten vruchttemperatuur (gemeten RVvrucht)

methode:

- Vochtafhankelijk minimum buis, gecombineerd met vochtafhankelijke minimum raamstand en/of vochtier in scherm op basis van berekende RV bij de gemeten vruchttemperatuur. In dit onderzoek zijn artificiële vruchten van A&F gebruikt. Aangezien de artificiële vruchten dezelfde fysische eigenschappen hebben als de echte vruchten ijlen beide in dezelfde mate na op de kasluchttemperatuur (zie deelverslag *Ontwikkeling plant temperatuursensor* van Campen *et al.* (2005)).
- De artificiële vruchten kunnen op verschillende hoogten tussen het gewas worden opgehangen. De regeling houdt rekening met de koudste vruchten (zie paragraaf 2.5.5).

voordelen:

- Eenvoudiger instelbaar dan bij RVkaslucht. Eén strategie voor geheel etmaal is mogelijk.
- De vochtproblemen zullen het grootst zijn bij de artificiële vruchten met de laagste temperatuur. Door daarop vocht te regelen kan een zeer geringe veiligheidsmarge worden aangehouden (hoge vochtstreefwaarde). Daarmee wordt de maximale energiewinst bereikt.
- Veiligheidsmarge kan nog kleiner zijn dan bij berekende RVvrucht.
- In het algemeen worden metingen beter door tuinders geaccepteerd dan berekende waarden.
- Meting aan artificiële vruchten is nauwelijks onderhoudsgevoelig. Dit in tegenstelling tot de meting aan echte vruchten.
- De toepassing van artificiële vruchten wordt niet beperkt door het type teeltsysteem.

nadelen:

- Nieuw, moet nog door de praktijk en automatiseerders worden opgepakt.

opmerking:

- Mogelijk leent deze methode zich ook voor de sierteeltgewassen waarbij de vochtgevoelige plantendelen boven het gewas uitsteken. Denk daarbij aan de inzet van artificiële bloemen met temperatuursensoren.

d. vochtregelen met gemeten planttemperatuur (gemeten RVpl.boven)

methode:

- Vochtafhankelijk minimum buis, gecombineerd met vochtafhankelijke minimum raamstand en/of vocht kier in scherm op basis van berekende RV bij de gemeten planttemperatuur. Hiervoor wordt een IR-sensor van boven schuin op het gewas gericht. Hierbij wordt de gemiddelde planttemperatuur van een oppervlakte van circa 5 m² gemeten, zoals ook in dit onderzoek is gedaan.

voordelen:

- Robuuste meting die verhoudingsgewijs weinig onderhoud nodig heeft.
- Eenvoudiger instelbare vochtstrategie dan bij RVkaslucht. Eén strategie voor geheel etmaal is mogelijk.
- Veiligheidsmarge is kleiner dan bij RVkaslucht. Daardoor is ten opzichte van regelen op RVkaslucht een energiewinst te bereiken.
- De meting kan ook voor andere doeleinden dan voor vochtregeling worden gebruikt. De verwarmingsregeling, ventilatieregeling en schermregeling kunnen gebruik maken van de gemeten planttemperatuur (zie hoofdstuk 3). Verder is het een nuttig (leer)instrument bij de klimaatvoering.

nadelen:

- Niet specifiek en in voldoende detail voor plantdelen waar de vochtproblemen het grootste zijn. Daardoor is een grotere veiligheidsmarge voor de vochtregeling nodig dan bij regelen op berekend of gemeten RVvrucht.
- Deze methode is ook te weinig specifiek voor de sierteeltgewassen waarbij de vochtgevoelige plantdelen boven het gewas uitsteken. Denk daarbij aan gerbera en roos. Echter voor eenmalig oogstbare gewas zoals chrysant zijn daar weer wel mogelijkheden, omdat de gewashoogte uniform is en het gewas gesloten is. Er steken geen bloemen boven het gewas uit.
- Indien de zon 's morgens het gewas opwarmt, bestaat het risico dat plantdelen onder in het gewas te veel najlen op de gemeten planttemperatuur. De veiligheidsmarge van de vochtregeling mag daarom niet te klein zijn.

opmerking:

- Meting onderin het gewas met een IR-sensor geeft nuttige informatie over de gemiddelde temperatuur onder in het gewas. Echter de IR-sensor geeft te weinig detail van de temperatuur van plantdelen met de grootste vochtproblemen om daarop te kunnen regelen.

4.6 Mogelijkheden voor energiebesparing

De energiebesparingmogelijkheden komen voort uit de combinatie van temperatuur- en vochtregeling.

- temperatuurregeling

Als de stand van het gewas het uitgangspunt is voor de verwarmings- en ventilatiestrategie, dan zal het voor het energiegebruik niet veel uitmaken of op basis van kasluchttemperatuur of planttemperatuur (van boven) geregeld wordt. Dit wordt bevestigd door het onderzoek.

De energiewinst die bij het benutten van de planttemperatuur in kasklimaatregelingen (specifiek de IR-sensor die van boven op het gewas is gericht) kan worden bereikt door de volgende aspecten:

- Door de planttemperatuur in de schermregeling te betrekken kan bij veel uitstraling (koude kop) het scherm eerder worden dichtgetrokken.

- In het vroege voorjaar kan voorzichtiger worden gelucht. Daarmee neemt de kans op bladrandjes af. Aangezien bladrandjes een potentiële plek voor *Botrytis* is, neemt ook de infectiedruk af. Dit maakt het mogelijk om een iets hogere RV aan te houden. Uit het onderzoek van Houter *et al.* (2004) volgde dat circa 9 m³/m² per jaar meer bespaard kan worden als een 6 % hogere RV-streefwaarde werd aangehouden. In het uitgevoerde onderzoek zijn in winter t/m voorjaar vergelijkbare vochtstreefwaarden aangehouden.
- Voorkomen kan worden dat te veel gelucht wordt, waardoor de temperatuur in elkaar zakt en dat zelfs de verwarming inkomt.
- Planttemperatuursensor als leerinstrument bij processen die leiden tot energiebesparing:
 - kritischer regelen op vocht als nog geen gebruik wordt gemaakt van gemeten vruchttemperaturen.
 - gesloten kas: verticale temperatuurverdeling is anders.
 - belichting & schermen: anders leren telen.

- vochtregeling

Het beheersen van de luchtvochtigheid kost veel energie. Als dit op de juiste manier wordt gedaan dan kan er flink wat energie worden bespaard (Houter *et al.*, 2004). Op de volgende wijze kunnen plantsensoren worden ingezet om de luchtvochtigheid te beheersen:

- IR-planttemperatuur aan bovenzijde van gewas:
Indien de RV bij de planttemperatuur aan de bovenzijde van gewas, RVpl.boven, wordt berekend, dan kan de RVpl.boven door uitstraling hoger zijn dan de RV tussen het gewas. Er kan een iets hogere RVpl.boven getolereerd worden dan bij RVkaslucht.
- IR-planttemperatuur aan onderzijde van gewas:
De planttemperatuur aan onderzijde van gewas is te globaal om de temperatuur van kritische objecten te kunnen vaststellen. Voor het regelen van vocht op de RV bij planttemperatuur aan onderzijde van gewas, RVpl.onder, moet daarom een te brede veiligheidsmarge van RV worden aangehouden.
- Temperatuur van specifieke plantendelen:
Indien de temperatuur van plantendelen wordt bepaald waar de kans op vochtproblemen het grootste is, kan bij die temperatuur de RV worden berekend. Aangezien het meten van de temperatuur aan die plantendelen in de praktijk kwetsbaar is en veel naloop vergt, is de temperatuurmeting aan artificiële stengels en vruchten een goed alternatief mits deze artificiële plantendelen hetzelfde fysische gedrag vertonen als de echte plantendelen. De resultaten uit het deelverslag van Campen *et al.* (2005) en uit paragraaf 3.4.4 geven aan dat daarmee hiermee het meest kritisch op vocht geregeld kan worden. Dit wordt bevestigd door de onderstaande resultaten (zie Figuur 131 en Tabel 15).

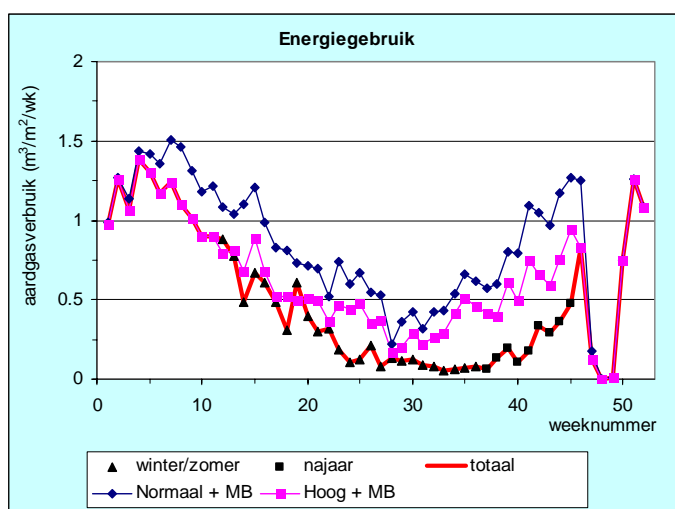
Des te kritischer en nauwkeuriger er op die delen van de plant geregeld wordt waar de vochtproblemen het grootste zijn, des te meer energie kan worden bespaard zonder dat het risico op ziekten toeneemt.

- combinatie van temperatuur- en vochtregeling

Planttemperatuur kan gebruikt worden in de verwarmings-, ventilatie- en schermregeling. Daarnaast kan de vochtregulatie gebruik maken van de planttemperaturen. Deze twee opties kunnen onafhankelijk van elkaar worden toegepast. Zelfs als niet op de planttemperatuur geregeld wordt en ook niet in de vochtregulatie wordt gebruik, geeft het zichtbaar maken van de RV bij de plantsensoren (low cost sensoren en/of IR-plantsensoren) de tuinders het inzicht waar kansen liggen voor energiebesparing en risico's beperkt blijven. In dit geval zijn plantsensoren leerinstrumenten.

De energiewinst van de uitgevoerde experimenten wordt bepaald door wat als referentie wordt gekozen. De referentie behandeling (regelen op meetboxtemperatuur) is al zeer zuinig, omdat de energie-efficiënte vochtregulatie van het onderzoek *vochtregulatie in herfst* (Houter *et al.*, 2004) wordt toegepast met het eerder genoemd vochtregelen op basis van de berekende vruchttemperatuur (methode 2b). Hierbij is een vergelijkbaar vochniveau aangehouden.

Dit wordt bevestigd met de resultaten uit Figuur 131 en Tabel 15. Daarin is een vergelijking gemaakt van het energiegebruik van de behandeling IR_{boven} in winter t/m zomer, gevolgd door de behandeling IR_{boven} & $RV_{koudste}$ in het najaar met simulatieresultaten uit Houter *et al.* (2004). Deze simulatieresultaten zijn van 2 vochniveaus voor een **gemiddeld** jaar van buitenklimaatomstandigheden. Om gegevens van een totaal jaarrond tomatenteelt te hebben zijn de behandelingen IR_{boven} en IR_{boven} & $RV_{koudste}$ aangevuld met enkele weken van de simulatiebehandeling *Hoog + MB*.



Figuur 131 Vergelijking van gemeten energiegebruik met gesimuleerd energiegebruik (uit: Houter *et al.*, 2004). Verklaring van behandelingen staat hieronder.

Tabel 15 Energiegebruik van 3 jaarrond strategieën. Verklaring van behandelingen staat hieronder.

| behandeling | gesommeerd energiegebruik (m ³ /m ²) |
|--|---|
| Normaal + MB | 44.2 |
| Hoog + MB | 33.9 |
| totaal (winter/zomer + najaar + aanvullende weken) | 26.1 |

Verklaring van behandelingen en strategieën van Figuur 131 en Tabel 15:

- winter/zomer: gemeten energiegebruik bij behandeling IR_{boven} van week 12 t/m 36 (zie paragraaf 3.3.5). Er is geschermd als buitentemperatuur lager is dan 8 °C.
- najaar: gemeten energiegebruik bij behandeling IR_{boven} & $RV_{koudste}$ van 6 september t/m 4 november (zie paragraaf 3.4.5). Er is geschermd als de buitentemperatuur lager is dan 12 °C.
- Normaal + MB: gesimuleerd jaarrond voor een gemiddeld representatief klimaatjaar met vochtregulatie op basis van een vochniveau volgens de praktijk (uit: Houter *et al.*, 2004). Hierbij is een vochtafhankelijke minimum buis toegepast. Er is geschermd als de buitentemperatuur lager is dan 10 °C.
- Hoog + MB: gesimuleerd jaarrond voor een gemiddeld representatief klimaatjaar met vochtregulatie op basis van een hoog vochniveau (uit: Houter *et al.*, 2004). Hierbij is een vochtafhankelijke minimum buis toegepast. Er is geschermd als de buitentemperatuur lager is dan 10 °C.
- totaal: combinatie van “winter/zomer” en “najaar”, waarbij de ontbrekende weken zijn aangevuld met weken uit “Hoog + MB”.

Uit Figuur 131 blijkt dat het energiegebruik van *totaal* van het regelen op planttemperatuur wel erg laag is, vooral in het najaar. Verlaging van het energiegebruik van het vochtregelen op basis van de artificiële vruchten ten opzichte van de referentie is daarbij bijna niet meer mogelijk, omdat de referentie ook al laag is.

5 Conclusie

Naar aanleiding van het geformuleerde doel van dit onderzoek, namelijk het ontwikkelen van een energie-efficiënte regeling waarbij het klimaat wordt geregeld op basis van gewastemperatuur met toepassing van infrarood meters en low cost sensoren voor de meting van de temperatuur aan specifieke onderdelen van het gewas kan het volgende geconcludeerd worden:

- De planttemperatuur wijkt in het algemeen af van de kasluchttemperatuur. Daarom moeten de regeling van verwarming en ventilatie anders ingesteld worden als op basis van gemeten planttemperatuur geregeld wordt in plaats van op meetboxtemperatuur.
- De planttemperatuur aan de bovenkant van het gewas reageert sneller op instraling en ventilatie dan de meetboxtemperatuur.
- Regelen van de verwarming, ventilatie en scherm op basis van gemeten planttemperatuur aan de bovenzijde van het gewas is goed mogelijk en is niet moeilijk. Dit hoeft niet meer energie te kosten dan bij het traditioneel regelen op meetboxtemperatuur. De ingestelde temperatuurstrategie moet dan wel aangepast worden, omdat vanuit de planttemperatuur gedacht moet worden.
- Voor het toepassen van de *energie-efficiënte regeling op basis van planttemperatuur* zijn globaal de volgende aanpassingen nodig ten opzichte van het regelen op meetboxtemperatuur:
 - De verwarmingstemperatuur 's nachts kan 1 °C lager ingesteld worden, doordat planttemperatuur bovenaan het gewas gemiddeld genomen ongeveer 1 °C lager is dan de meetboxtemperatuur. Dit hangt samen met de mate van uitstraling.
 - Om dezelfde reden kan de ventilatietemperatuur 's nachts 0.5 tot 1 °C lager worden ingesteld. Dit is alleen van belang als voor het gewas een lagere nachttemperatuur gewenst is.
 - Overdag kan zowel bij de verwarmings- als ventilatietemperatuur 1 °C stralingsverhoging worden toegepast. Deze stralingsaanpassing geldt alleen over het traject van 0 tot 100 – 200 W/m². Immers de zon warmt het gewas op. Indien bij het regelen op meetboxtemperatuur al een stralingsaanpassing wordt toegepast, dan deze stralingsaanpassing met 1 °C verhogen.
 - Het opstookmoment van nacht naar dag met 1 uur vervroegen, omdat 1 °C meer temperatuurverschil overbrugd moet worden.
 - Het scherm kan op basis van planttemperatuur eerder gesloten worden als door uitstraling de planttemperatuur bijvoorbeeld 0.5 °C onder de meetboxtemperatuur zakt.
- Deze aanpassingen resulteerden op weekbasis in vergelijkbare dag-, nacht- en etmaalgemiddelden van kaslucht en vergelijkbare gewasopbouw en productie als bij de behandeling regelend op meetboxtemperatuur.
- Bij het regelen op planttemperatuur kan afhankelijk van de stand van het gewas op vergelijkbare wijze als bij het regelen op basis van meetboxtemperatuur het temperatuurregime van dag en/of nacht worden aangepast.
- In het vroege voorjaar wordt voorzichtiger gelucht als op basis van planttemperatuur geventileerd wordt. De kop van het gewas zal bij koude buitenomstandigheden vrij snel in temperatuur dalen als geventileerd wordt, sneller dan de meetboxtemperatuur. Er wordt daarmee voorkomen dat op het ene moment te veel gelucht wordt (doorluchten, de ramen worden te ver open getrokken) en op het andere moment de ramen weer dicht gestuurd worden. Daarmee kunnen verschijnselen als bladrandjes worden voorkomen, waarmee de infectiedruk door Botrytis vermindert. Verder draagt een rustiger verwarmings- en ventilatieregeling bij aan een lagere energierekening.
- Als geregeld wordt op basis van het gemiddelde van de planttemperatuur aan onder- en bovenzijde van het gewas, dan komt dit min of meer neer op regeling op basis van kasluchttemperatuur. Aanpassingen ten opzichte van het regelen op meetboxtemperatuur zijn dan ook niet direct noodzakelijk.

- De voordelen van het benutten van een IR-planttemperatuursensor aan de onderzijde van het gewas in de regeling zijn bij een normale geventileerde kas vooralsnog niet duidelijk. Wel levert deze sensor nuttige informatie bij gesloten teeltsystemen op, waarbij door de aanvoer van koude lucht aan de onderzijde van het gewas een ander verticale temperatuurverdeling binnen het gewas wordt verkregen. Daar moet klimatologisch en regeltechnisch op de juiste manier mee om worden gegaan.
- Verder geeft de planttemperatuur van onder op het gewas een te globaal beeld om te betrekken in de vochtregeling: voor de vochtregeling is het nodig om de temperatuur te weten van plantendelen waar de kans op condensatie het grootste is. Dit houdt in dat temperatuurmetingen van vruchten en stengels noodzakelijk zijn.
- De kans op natslag is het grootst op vruchten. Regelen van de luchtvochtigheid bij de gemeten vruchttemperatuur is daarmee zinvol. Echter om temperatuurmetingen uit te voeren aan echte vruchten is onder praktijkomstandigheden te kwetsbaar en vergt te veel naloop. Toepassing van temperatuurmetingen aan de artificiële vruchten biedt de mogelijkheid om het meest kritisch op vocht te regelen. Daarbij kan gedacht worden aan 3 tot 5 artificiële vruchten op diverse hoogten tussen het gewas, waarbij op de koudste vrucht vocht geregeld wordt. Daarmee is de hoogste energiewinst te bereiken.
- Des te kritischer en nauwkeuriger er op die delen van de plant vocht geregeld wordt waar de vochtproblemen het grootste zijn, des te meer energie kan worden bespaard zonder dat het risico op ziekten toeneemt. Vochtregeling op basis van de laagste temperatuur van enkele artificiële vruchten is een hoofdbestanddeel van de ontwikkelde energie-efficiënte regeling.
- Gebruik van gemeten vruchttemperatuur en/of gemeten IR-planttemperatuur kan gecombineerd worden met andere energiebesparingmogelijkheden zoals temperatuurintegratie. De beide typen plantsensoren kunnen onafhankelijk van elkaar worden toegepast. De besparing die met de ene methode wordt bereikt, is voor een deel aanvullend op de andere methode.
- In het uitgevoerde onderzoek was de gekozen referentiebehandeling al zeer kritisch op vocht ingesteld, veel scherper dan in de praktijk gebruikelijk is. Daardoor was de gerealiseerde energiewinst bij de inzet van artificiële vruchten in de vochtregeling gering ten opzichte van de referentiebehandeling.

6 Bronvermelding

- Baas, R., B. Eveleens, M. Warmenhoven en T. van der Wurff, 2002. Bladtemperatuur in relatie tot de vochtvoorziening en klimaat bij chrysanthe, Impatiens, Spathiphyllum, Anthurium, gerbera en roos. PPO rapport 557, 35 pp.
- Baas, R. en M. Warmenhoven, 2003. Planttemperatuur in relatie tot omgevingsfactoren: metingen voor mogelijke toepassing in klimaatregeling. PPO, 28 pp.
- Brinkman Tuinbouw Techniek, 2004. Brochure Planttemperatuurmeters in kassen.
- Campen, J.B., F.L.K. Kempkes, B. Houter en E.C. Rijpsma, 2005. Planttemperatuur als stuurparameter in kasklimaatregelingen. Deelverslag: Ontwikkeling plant temperatuursensor. A&F, rapport 415, 30 pp.
- Houter, B., A. de Gelder, E. Rijpsma, M. Roos, P. Paternotte en F. de Zwart, 2004. Energiebesparing door aangepaste vochtregulatie. PPO, 66 pp.
- Kempkes, F.L.K., N.J. van de Braak en C.M.J. Bloemhard, 1999. Effecten van buisligging bij de teelt van chrysanten. Onderzoek naar verticale temperatuur- en vochtverschillen, energiegebruik en groei. IMAG en PBG, rapport 238, 52 pp.
- Nawrocki, K.R., 1985. Meting warmteoverdrachtscoëfficiënt voor convectie van verwarmingspijpen in kassen. IMAG rapport 73.
- Veenman, J., 2005. Eindrapport Planttemperatuur in tomaat. LTO Groeiservice, 20 pp. excl. bijlagen.

Bijlage 1 Klimaatinstellingen

In tabel 1 en 2 zijn de belangrijkste klimaatinstellingen voor het regelen op basis van meetboxtemperatuur weergegeven en het moment waarop zij eventueel zijn aangepast.

Een toelichting bij enkele instellingen:

- Bij de ventilatie- en verwarmingsregeling zijn maximaal 3 perioden gebruikt. Per periode kan worden aangegeven wat het startmoment is. Dit kan een kloktijd zijn (wintertijd) of astronomisch zijn ten opzichte van zonsopkomst (zon ↑) of zonsondergang (zon ↓). Vanaf het startmoment wordt eerst begonnen met een opwarm- of afkoeltraject.
- De P-banden waren seizoensafhankelijk. Dit hield in dat bijvoorbeeld bij een ingestelde P-band van 3 °C deze 's zomers 3 °C is maar dat deze naar de winter toe langzaam verdubbelt tot 6 °C.
- Het scherm werd tussen 1 uur voor zonsondergang en 9 uur (wintertijd) gesloten als het buiten kouder was dan 8 °C. 's Morgens werd het scherm eerder dan 9 uur geopend als buiten meer dan 100 W/m² aan globale straling werd gemeten.
- Maximum raamstand is de som van luw- en windzijde.

In tabel 3 en 4 is aangegeven welke aanpassingen zijn doorgevoerd voor het regelen op basis van de bovenste planttemperatuursensor (behandeling IR_{boven}). Hierbij is de aanduiding als volgt:

- <waarde> Aanpassing ten opzichte van het regelen op meetboxtemperatuur, bijvoorbeeld <-1.0> houdt in dat het setpoint met 1 °C is verlaagd. Dit is vooral van toepassing voor temperatuurinstellingen.
- = waarde Overname van nieuwe waarde. Dit is van toepassing voor de stralingsaanpassingstrajecten.

Tabel 1 Overzicht van belangrijkste instellingen voor het regelen op meetboxtemperatuur (deel 1).

| instelling | eenheid | 11/2 | 19/2 | 4/3 | 17/3 | 22/3 | 25/3 |
|------------------------------|------------------|--------|--------------------------------|---------|------|---------|---------|
| VENTILATIE | | | | | | | |
| periode 1 | | zon ↑ | | | | | |
| - tijd | uur:min | -1:00 | | | | | |
| - streefwaarde | C | 24.0 | 19.0 | 19.5 | | | |
| periode 2 | | klok | | | | | |
| - tijd | uur:min | 11:00 | | | | | |
| - streefwaarde | C | 24.0 | 22.0 | 22.5 | | | |
| periode 3 | | zon ↓ | | | | | |
| - tijd | uur:min | -0:30 | | | | | |
| - streefwaarde | C | 24.0 | 17.0 | 17.5 | | | |
| opwarmnelheid | min / °C | 90 | | | | | |
| afkoelsnelheid | min / °C | 30 | 60 | | | | |
| stral.aanpassing – periode 1 | | | | | | | |
| - stralingstraject | W/m ² | | | | | | |
| - max.verandering | C | 0 | | | | | |
| stral.aanpassing – periode 2 | | | | 100-300 | - | 100-300 | 100-200 |
| - stralingstraject | W/m ² | | | 2.0 | 0.0 | 2.0 | 1.0 |
| - max.verandering | C | 0 | | | | | |
| stral.aanpassing – periode 3 | | | | | | | |
| - stralingstraject | W/m ² | | | | | | |
| - max.verandering | C | 0 | | | | | |
| naloop | % | 50 | | | | | |
| maximum raam | % | 50 | | | 100 | | |
| VERWARMING | | | | | | | |
| periode 1 | | zon ↑ | | | | | |
| - tijd | uur:min | -1:00 | | | | | |
| - streefwaarde | C | 18.0 | | 18.5 | | | |
| periode 2 | | klok | | | | | |
| - tijd | uur:min | 11:00 | | | | | |
| - streefwaarde | C | 20.0 | | 20.5 | | | |
| periode 3 | | zon ↓ | | | | | |
| - tijd | uur:min | -0:30 | | | | | |
| - streefwaarde | C | 16.0 | | 16.5 | | | |
| opwarmnelheid | min / °C | 90 | | | | | |
| afkoelsnelheid | min / °C | 30 | | | | | |
| stral.aanpassing – periode 1 | | | | | | | |
| - stralingstraject | W/m ² | | | | | | |
| - max.verandering | C | 0 | | | | | |
| stral.aanpassing – periode 2 | | | | 100-300 | - | 100-300 | 100-200 |
| - stralingstraject | W/m ² | 50-150 | - | 2.0 | 0.0 | 2.0 | 1.0 |
| - max.verandering | C | 2.0 | 0.0 | 2.0 | 0.0 | 2.0 | 1.0 |
| stral.aanpassing – periode 3 | | | | | | | |
| - stralingstraject | W/m ² | | | | | | |
| - max.verandering | C | | | | | | |
| SCHERM | | | | | | | |
| - T-buiten grens dicht | C | UIT | AAN | | | | |
| - stralingsgrens open | W/m ² | | 8 | | | | |
| - altijd open tussen | uur | | van 9 uur tot 1 uur voor zon ↓ | | | | |

Tabel 2 Overzicht van belangrijkste instellingen voor het regelen op meetboxtemperatuur (deel 2).

| instelling | eenheid | 15/4 | 28/4 | 3/5 | 1/6 | 15/6 | 9/9 |
|------------------------------|------------------|------|------|------|------|------|-----|
| VENTILATIE | | | | | | | |
| periode 1 | | | | | | | |
| - tijd | uur:min | | | | | | |
| - streefwaarde | C | | 19.0 | | 18.5 | | |
| periode 2 | | | | | | | |
| - tijd | uur:min | | | | | | |
| - streefwaarde | C | | 21.5 | | 21.0 | | |
| periode 3 | | | | | | | |
| - tijd | uur:min | | | | | | |
| - streefwaarde | C | | | | 17.5 | 17.0 | |
| opwarm snelheid | min / °C | | | | | | |
| afkoel snelheid | min / °C | | | | | | |
| stral.aanpassing – periode 1 | | | | | | | |
| - stralingstraject | W/m ² | | | | | | |
| - max.verandering | C | | | | | | |
| stral.aanpassing – periode 2 | | | | | | | |
| - stralingstraject | W/m ² | | 0.0 | | | | |
| - max.verandering | C | | | | | | |
| stral.aanpassing – periode 3 | | | | | | | |
| - stralingstraject | W/m ² | | | | | | |
| - max.verandering | C | | | | | | |
| naloop | % | | | | | | |
| maximum raam | % | 200 | | | | | |
| VERWARMING | | | | | | | |
| periode 1 | | | | | | | |
| - tijd | uur:min | | | | | | |
| - streefwaarde | C | | | | 18.0 | | |
| periode 2 | | | | | | | |
| - tijd | uur:min | | | | | | |
| - streefwaarde | C | | | | 20.0 | | |
| periode 3 | | | | | | | |
| - tijd | uur:min | | | | | | |
| - streefwaarde | C | | | 16.0 | | | |
| opwarm snelheid | min / °C | | | | | | |
| afkoel snelheid | min / °C | | | | | | |
| stral.aanpassing – periode 1 | | | | | | | |
| - stralingstraject | W/m ² | | | | | | |
| - max.verandering | C | | | | | | |
| stral.aanpassing – periode 2 | | | | | | | |
| - stralingstraject | W/m ² | | | | | | |
| - max.verandering | C | | 0.0 | | | | |
| stral.aanpassing – periode 3 | | | | | | | |
| - stralingstraject | W/m ² | | | | | | |
| - max.verandering | C | | | | | | |
| SCHERM | | | | | | | |
| - T-buiten grens dicht | C | | | | | | 12 |
| - stralingsgrens open | W/m ² | | | | | | |
| - altijd open tussen | uur | | | | | | |

Tabel 3 Overzicht van aanpassingen van instellingen voor het regelen op planttemperatuur bij behandeling IR_{boven} (deel 1).

| instelling | eenheid | 11/2 | 19/2 | 23/2 | 26/2 | 3/3 | 4/3 | 9/3 |
|------------------------------|------------------|------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| VENTILATIE | | | | | | | | |
| periode 1 | | | | | | | | |
| - tijd | uur:min | | | | | | | |
| - streefwaarde | C | | <-0.4> | <-0.4> | - | | | |
| periode 2 | | | | | | | | |
| - tijd | uur:min | | | | | | | |
| - streefwaarde | C | | <-0.4> | <-0.4> | - | | | |
| periode 3 | | | | | | | | |
| - tijd | uur:min | | | | | | | |
| - streefwaarde | C | | <-0.4> | - | | | | |
| stral.aanpassing – periode 1 | | | | | | | | |
| - stralingstraject | W/m ² | | | | | = 0-400 | = 0-400 | = 0-600 |
| - max.verandering | C | | | | | = 1.2 | = 1.2 | = 3.0 |
| stral.aanpassing – periode 2 | | | | | | | | |
| - stralingstraject | W/m ² | | | | | = 0-400 | = 0-400 | = 0-600 |
| - max.verandering | C | | | | | = 1.2 | = 1.2 | = 3.0 |
| stral.aanpassing – periode 3 | | | | | | | | |
| - stralingstraject | W/m ² | | | | | | | |
| - max.verandering | C | | | | | | | |
| VERWARMING | | | | | | | | |
| periode 1 | | | | | | | | |
| - tijd | uur:min | | | | | | | = -2:00 |
| - streefwaarde | C | | <-0.4> | - | | | | |
| periode 2 | | | | | | | | |
| - tijd | uur:min | | | | | | | |
| - streefwaarde | C | | <-0.4> | - | | | | |
| periode 3 | | | | | | | | |
| - tijd | uur:min | | | | | | | |
| - streefwaarde | C | | <-0.4> | <-0.4> | <-1.0> | <-1.0> | - | <-1.0> |
| stral.aanpassing – periode 1 | | | | | | | | |
| - stralingstraject | W/m ² | | | | | = 0-400 | = 0-400 | = 0-600 |
| - max.verandering | C | | | | | = 1.2 | = 1.2 | = 2.0 |
| stral.aanpassing – periode 2 | | | | | | | | |
| - stralingstraject | W/m ² | | | | | = 0-400 | = 0-400 | = 0-600 |
| - max.verandering | C | | | | | = 1.2 | = 1.2 | = 2.0 |
| stral.aanpassing – periode 3 | | | | | | | | |
| - stralingstraject | W/m ² | | | | | | | |
| - max.verandering | C | | | | | | | |

Opmerkingen bij aanpassingen:

11/2: Geen aanpassingen: eerst kijken waar verschillen ontstaan.

19/2: Op basis van etmaalgemiddelden van Tkas kwam de behandeling IR_{boven} 0.4 °C te hoog uit.

23/2: IR_{boven} luchtte in periode 3 meer dan andere afdelingen. Dit had ook effect op de luchtvochtigheid. Daarom Ventilatie/periode 3/streefwaarde op 0 °C gezet.

26/2: Uitstraling gedurende de nacht heeft invloed op Tpl.boven. Als daarop geregeld wordt, moest Verwarming/periode 3/streefwaarde verder worden verlaagd.

3/3: Overdag warmt het gewas de kaslucht op. Daarom overdag stralingsverhoging op verwarmings- en ventilatie streefwaarden toepassen, beginnend al bij 0 W/m². Dit om te voorkomen dat als de zon door kwam, meteen al flink geventileerd werd.

4/3: Per abuis was de instelling bij Verwarming/per. 3/streefwaarde teruggezet op traditioneel regelen.

9/3: Fout van 4/3 hersteld. Verder is de stralingsaanpassing verhoogd, omdat bij het regelen op meetbox al een stralingsaanpassing van 2 °C werd toegepast. Om tijdig op de dagtemperatuur te zijn, is het opstoken in de ochtend een uur vervroegd.

Tabel 4 Overzicht van aanpassingen van instellingen voor het regelen op planttemperatuur bij behandeling IR_{boven} en vanaf 9 september ook behandeling IR_{boven} & RV_{koudste} (deel 2).

| instelling | eenheid | 17/3 | 22/3 | 25/3 | 13/4 | 28/4 | 15/6 |
|------------------------------|------------------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| VENTILATIE | | | | | | | |
| periode 1 | | | | | | | |
| - tijd | uur:min | | | | | | |
| - streefwaarde | C | | | | | | |
| periode 2 | | | | | | | |
| - tijd | uur:min | | | | | | |
| - streefwaarde | C | | | | | | |
| periode 3 | | | | | | | |
| - tijd | uur:min | | | | | | |
| - streefwaarde | C | | | | | | <-0.5> |
| stral.aanpassing – periode 1 | | | | | | | |
| - stralingstraject | W/m ² | | = 0-600 | = 0-400 | = 0-200 | = 0-200 | |
| - max.verandering | C | - | = 3.0 | = 2.0 | = 1.0 | = 1.0 | |
| stral.aanpassing – periode 2 | | | | | | | |
| - stralingstraject | W/m ² | | = 0-600 | = 0-400 | = 0-400 | = 0-200 | |
| - max.verandering | C | - | = 3.0 | = 2.0 | = 2.0 | = 1.0 | |
| stral.aanpassing – periode 3 | | | | | | | |
| - stralingstraject | W/m ² | | | | | | |
| - max.verandering | C | | | | | | |
| VERWARMING | | | | | | | |
| periode 1 | | | | | | | |
| - tijd | uur:min | = -2:00 | = -2:00 | = -2:00 | = -2:00 | = -2:00 | |
| - streefwaarde | C | | | | | | |
| periode 2 | | | | | | | |
| - tijd | uur:min | | | | | | |
| - streefwaarde | C | | | | | | |
| periode 3 | | | | | | | |
| - tijd | uur:min | | | | | | |
| - streefwaarde | C | <-1.0> | <-1.0> | <-1.0> | <-1.0> | <-1.0> | |
| stral.aanpassing – periode 1 | | | | | | | |
| - stralingstraject | W/m ² | - | = 0-600 | = 0-400 | = 0-200 | = 0-200 | |
| - max.verandering | C | | = 3.0 | = 2.0 | = 1.0 | = 1.0 | |
| stral.aanpassing – periode 2 | | | | | | | |
| - stralingstraject | W/m ² | - | = 0-600 | = 0-400 | = 0-400 | = 0-200 | |
| - max.verandering | C | | = 3.0 | = 2.0 | = 2.0 | = 1.0 | |
| stral.aanpassing – periode 3 | | | | | | | |
| - stralingstraject | W/m ² | | | | | | |
| - max.verandering | C | | | | | | |

Opmerkingen bij aanpassingen:

- 17/3: Op 17/3 en de dagen daarna was het zomers weer. Om te voorkomen dat de temperatuur te veel op zou lopen zijn alle stralingsaanpassingen verwijderd. Achterafgezien had dit bij de behandeling regelen IR_{boven} niet helemaal gehoeven.
- 22/3: Stralingsaanpassingen teruggezet.
- 25/3: Stralingsaanpassingen verlaagd, omdat dit bij de behandeling *meetbox* ook verlaagd werd om te voorkomen dat de gemiddelde etmaaltemperatuur te hoog uitkwam.
- 13/4: In de ochtend werd er iets te traag gelucht, vandaar dat de stralingsaanpassing verlaagd is.
- 28/4: Stralingsaanpassingen bij de behandeling *meetbox* vervielen. Daardoor is de aanpassing in periode 2 ook verlaagd.
- 15/6: Verlaging van de nachttemperatuur. Eerder in het seizoen was het nog niet nodig, omdat 's nachts nauwelijks op temperatuur geventileerd hoefde te worden. Eventueel had ook -1 °C gekund.

Bijlage 2 Berekening van aardgasverbruik

De berekening van het aardgasverbruik is volgens de rekenregels van Nawrocki (1985).

De warmteafgifte van een buis wordt berekend via de warmteoverdrachtcoëfficiënten van een buisrail van 1 m lengte.

$$K_{\text{convectie}} \text{ (W/m}^2 \text{ K)} = c * \{ (T_{\text{buis}} - T_{\text{kas}}) / (d * T_{\text{kas}}) \}^{0,25} \quad (\text{b1})$$

$$K_{\text{straling}} \text{ (W/m}^2 \text{ K)} = 2,077 * 10^{-7} * \{ (T_{\text{buis}} + T_{\text{kas}}) / 2 \}^3 \quad (\text{b2})$$

waarbij:

c = convectiecoëfficiënt hier gekozen van Nawrocki = 5,2
d = diameter van de buis buisrail = 0,051 m groeibuis = 0,027 m
T_{buis} = gemiddelde temperatuur van de aanvoer en de retour van de afdeling.
T_{kas} = kasluchttemperatuur in het midden van de afdeling.

De warmteafgifte per m² per uur wordt vervolgens berekend via:

$$Q(W) = \{ (K_{\text{convectie}} + K_{\text{straling}}) * A * (T_{\text{buis}} - T_{\text{kas}}) \} * (\text{aantal buizen per kap/kapbreedte}) * 3600 \quad (\text{b3})$$

waarbij:

K_{convectie} = volgens formule b1
K_{straling} = volgens formule b2

A = oppervlakte van de buis berekend via:
= $\pi * d * l = 3,14 * d$ als boven * 1 (de lengte was immers 1 meter)

aantal buizen = 4 voor buisrail, 2 voor groeibuis
kapbreedte = 3,2 m
W = Watt = J/s
Uur = 3600 seconden

Alle temperaturen zijn in absolute graden Kelvin.

Van warmte naar gas per hectare per uur:

$$\text{Gasverbruik (m}^3 \text{/ha)} = (Q / 3517) / \text{ketelrendement}$$

waarbij:

1 m³ aardgas = 35,17 MJ
1 hectare = 10.000 m²
ketelrendement = 0,85 (ketel zonder condensor; met condensor ongeveer 0.9)