

Met low- ϵ glas naar een fossielvrije aubergineteelt

Frank Kempkes¹, Monique Bijlaard¹, Marcel Raaphorst¹, Brigit den Bakker², Stijn Jochems²

¹ Wageningen University & Research; ² Delphy Improvement Centre



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Referaat

Om aan te tonen hoe ver het energiegebruik in een aubergineteelt kan worden teruggebracht met een combinatie van hoge isolatie, actieve ontvochtiging en een aangepaste klimaatstrategie, hebben WUR Glastuinbouw en Delphy Improvement Centre op het Improvement Centre in 2024 een kasproef uitgevoerd met low- ϵ en AR coatings op het glas. Als het warmtegebruik van deze proefteelt wordt gecorrigeerd voor het relatief hoge aandeel buitengevel, het tot begin maart foutief gelegde kasdek, en met aftrek van de geoogste warmte, dan resteert een fossiel warmtegebruik van minder dan de tot doel gestelde 11,4 m³/m² (=100 kWh/m²). Volgens simulaties heeft de low- ϵ coating voor 13% minder warmtevraag gezorgd. Ten opzichte van een praktijkbedrijf werd minstens 20% op warmte bespaard. De productie van de proefteelt was echter 19% lager dan dat van het referentiebedrijf. Met name tot juli bleef de productie achter. Een verklaring hiervoor is niet volledig, maar wordt onder andere gezocht in bloemabortie, de lichttransmissie van het kasdek en lage CO₂-concentratie. Het project is gefinancierd vanuit het programma Kas als Energiebron en werd begeleid door Peter de Jong en Frank Groenewegen.

Abstract

To demonstrate how far energy use in eggplant cultivation can be reduced with a combination of high insulation, active dehumidification and an adapted climate strategy, a greenhouse test at Delphy Improvement Center was conducted in 2024 with low- ϵ and AR coatings on the glass. If the thermal energy use of this cultivation is corrected for the relatively high proportion of exterior facades of the test facility, the incorrectly laid greenhouse cover until beginning of March, and after deduction of the harvested heat, the fossil heat use remains less than the target 11.4 m³/m² (=100 kWh/m²). According to simulations, the low- ϵ coating has resulted in 13% less heat demand. Compared to a professional eggplant grower, at least 20% was saved on heat. However, the production of the test cultivation was 19% lower than that of the reference company. Production lagged behind, especially until July. An explanation for this is not yet complete, but is sought in flower abortion, the light transmission of the greenhouse roof and low CO₂ concentration. The project was financed by the Kas als Energiebron program and was advised by Peter de Jong and Frank Groenewegen.

Rapportgegevens

Rapport WPR-1510

Projectnummer: 3742354100

DOI: <https://doi.org/10.18174/704545>

Dit project is mede tot stand gekomen door de bijdrage van het programma Kas als Energiebron: het innovatie- en actieprogramma van het ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur en Glastuinbouw Nederland.



Disclaimer

© 2025 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Businessunit Glastuinbouw
Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk T 0317 48 56 06, wur.nl/plant-research
Kamer van Koophandel-nr.: 09098104 | BTW-nr.: NL 8113.83.696.B07

Stichting Wageningen Research. 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 Stichting Wageningen Research.

Stichting Wageningen Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Adresgegevens

Wageningen University & Research, Businessunit Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk

Postbus 644, 6700 AP Wageningen

Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk

Droevendaalsesteeg 1, 6708 PB Wageningen

T +31 (0)317 48 56 06

T +31 (0)317 48 60 01

wur.nl/glastuinbouw

wur.nl/glastuinbouw

Inhoud

Samenvatting		5
1	Introductie	7
1.1	Doel	8
1.2	Inpassing	8
1.3	Werkzaamheden en werkwijze(n)	9
1.4	Werking lage-emissie coating	10
1.5	Financiering	10
2	Aubergineteelt 2024	11
2.1	Opzet van de kas en teelt	11
2.1.1	Kasindeling	11
2.1.2	Lichttransmissie van de kas	11
2.1.3	Metingen en sensoren	12
2.1.4	Gewas	13
2.1.5	Teeltstrategie	13
2.2	Teeltverloop	13
2.3	Gewasgezondheid	14
2.4	Gewasgroei en productie	14
3	Klimaat en energie	18
3.1	Temperatuur, licht en vocht	18
3.2	Energiegebruik	23
3.3	CO ₂	26
4	Conclusies en discussie	29

Samenvatting

Aanleiding

De belangrijkste basis voor energiebesparing blijft het zo goed mogelijk isoleren van de kas. In de afgelopen jaren is er veel ontwikkeld op het gebied van schermen, en ondertussen is een groot deel van het glastuinbouw areaal uitgerust met minimaal 2 (energie)schermen. Het isoleren met schermen is niet eindig: ieder extra scherm geeft afnemende extra isolatie, en het heeft invloed op de lichtdoorlatenheid en het kasklimaat. Verhoging van de isolatie via het kasdek is daarom een veelbelovende ontwikkeling.

Nieuw glas met een low- ϵ coating (die warmtestraling terugkaatst) en antireflectiecoating (voor hoge licht-doorlaatbaarheid) blijkt veelbelovend. Proeven bij WUR in Bleiswijk met tomaat (2022) en aubergine (2023) lieten zien dat dit glas ongeveer 20% energie bespaart, zonder merkbaar verlies aan productie.

Telers zijn geïnteresseerd, maar willen eerst in een proef op grotere schaal zien hoe het kasklimaat in de zomer uitpakt, vooral in combinatie met insectengaas, dat de ventilatie beperkt.

Doelen

Het beproeven van een teeltconcept van (onbelichte) aubergine in een kas van 1000 m² met low- ϵ AR glas, met als doel de effecten op klimaat, warmte-, ontvochtiging- en CO₂-vraag en daarmee het totale energiegebruik in beeld te brengen. Dit in vergelijking met een teelt op een bedrijf in de praktijk. Het streven was om onder het low- ϵ glas een vergelijkbare productie en kwaliteit te behalen als op een praktijkbedrijf met aubergines. Het energiedoel was reductie van de warmtevraag naar 100 kWh/m² (11 á 12 m³/m² a.e.). De warmtevraag moet door maximale isolatie sterk gereduceerd worden, en zoveel mogelijk met actieve ontvochtiging ingevuld. De onbalans in warmtevraag en warmtebechikbaarheid kan worden opgevangen met een aquifer om de volledige warmtevraag elektrisch te vullen. De inzet aan elektriciteit voor klimatisering moet dan op ca. 40 kWh/m² uitkomen. Door de volledige loskoppeling van fossiele brandstof zal de inzet van externe CO₂ beperkt moeten worden; het doel was om maximaal 15 kg/m² te doseren.

Teelt

De teeltproef is bij Delphy Improvement Centre (IC) in Bleiswijk uitgevoerd. Een auberginekwekerij in Zevenbergen fungeerde als referentie. Op deze locaties zijn op dezelfde datum (20-12-2023) planten van hetzelfde ras (Tracey geënt op Maxifort) geplant. De 1e oogst was op 16 februari 2024, de laatste op 30 oktober 2024. De kasafdeling op het IC was omgedekt naar low- ϵ AR glas (Geysir Glass). In de luchtramen was insectengaas geïnstalleerd. Er waren drie schermen op twee dradenbedden aanwezig, en vanaf het begin van de teelt tot begin februari hing er een AC-folie onder de schermen. Tegen de gevel was ook AC-folie aangebracht. Voor de ontvochtiging was een actief ventilatiesysteem met extra koelblok (AVS-C) in de gevel gemonteerd, met daaraan luchtslurven die zowel boven het gewas als onder de goten hingen.

Gedurende de winterperiode viel het op dat het glas zich anders gedroeg dan in het eerdere onderzoek bij WUR. Het bleek dat de ruiten verkeerd waren gelegd, met de low- ϵ coating aan de binnenkant in plaats van de buitenkant. De ruiten op het dek zijn begin maart omgedraaid.

De productie in de low- ϵ kas is uitgekomen op 43,9 kg/m², en was 19% lager dan de productie op het referentiebedrijf (54 kg/m²). Dit verschil is voor een deel te wijten aan bloemabortie, dat ook een lagere en wisselende plantbelasting gaf. Door teeltmaatregelen konden de planten zich herstellen, en aan het einde van de teelt waren de weekproducties vergelijkbaar.

Energie

Het warmtegebruik van de proefteelt is gecorrigeerd voor het relatief hoge aandeel buitengevel en het tot begin maart foutief gelegde kasdek. De met behulp van de actieve ontvochtiging met warmterugwinning geogoste warmte is daarvan afgetrokken. Het (fossiele) warmtegebruik kwam daardoor uit onder de tot doel gestelde 11,4 m³/m² (=100 kWh/m²). Volgens simulaties heeft de low- ϵ coating voor 13% minder warmtevraag gezorgd. Vergeleken met het referentiebedrijf was het warmtegebruik in de proef minstens 20% lager.

Het CO₂ verbruik is zowel gemeten als berekend. Op basis van de gemeten waarde van 26 kg/m² is de doelstelling van 15 kg niet gehaald. Omdat er twijfels waren aan de metingen, is de CO₂ dosering ook berekend. Die kwam uit op 17 kg/m², net iets boven de doelstelling.

Het project is uitgevoerd door WUR Glastuinbouw en Delphy Improvement Centre. Het is tot stand gekomen in het kader van het programma Kas als Energiebron: het innovatie- en actieprogramma van het ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur en Glastuinbouw Nederland.

1 Introductie

De belangrijkste basis voor energiebesparing blijft het zo goed mogelijk isoleren van de kas. In de afgelopen jaren is er veel ontwikkeld op het gebied van schermen, en ondertussen is een groot deel van het glastuinbouw areaal uitgerust met minimaal 2 (energie)schermen. Het isoleren met schermen is niet eindig (ieder extra scherm geeft afnemende extra isolatie) en heeft ook invloed op de lichtdoorlatenheid en het kasklimaat. Verhoging van de isolatie via het kasdek is een veel belovende ontwikkeling. De toepassing is daarbij vooral richting de nieuwbouw van kassen en zal daarmee gestaag toepassing naar de praktijk moeten gaan vinden. Deze stap kan een belangrijke bijdrage gaan leveren aan de ambitie om in 2040 zonder fossiele energie rendabel te kunnen produceren.

Een ideaal kasdek combineert een zeer hoge transmissie met een zeer hoge isolatiewaarde zodat energieverliezen worden geminimaliseerd. In het afgeronde project "Het kasdek van morgen: vandaag" is glas met low- ϵ en AR coatings (Geysir Glass van AGC) getest in de teelt van tomaat en aubergine. Hieruit bleek dat de voorspelde besparing op warmtevraag van 20% meer dan gehaald wordt. Het potentiële nadeel, het langzamer afkoelen van de kas waardoor in warme perioden hogere etmaaltemperaturen ontstaan, volgt ook de lijn der verwachting, blijft in het algemeen binnen 0,3 á 0,4 °C en heeft in geen van de proeven tot nadelige gevolgen voor het gewas geleid. Deze projecten, uitgevoerd in kleine 144 m² in pandige kasafdelingen, geven een goede indicatie maar richting een praktijksituatie spelen meestal schaafeffecten die in grotere kassen pas naar voren komen. Zeker naar de toekomst toe, waar eventuele toepassing van insectengaas een grotere rol kan gaan spelen, is de temperatuurhuishouding van zo'n kas wel een punt van aandacht. Een goede reden om beproeving van dit glastype op te schalen naar een kas van 1000 m².

Met een aangepast teeltconcept waarbij met een gekozen RTR maximaal gebruik gemaakt wordt van een verschil in dag- en nachttemperatuur en het beperkt afluchten van warmte, moet het mogelijk zijn de besparing in potentie verder te verhogen. De BCO-aubergine heeft aangegeven de resultaten zeer interessant te vinden en mogelijkheden te zien voor implementatie. Men heeft echter ook aangegeven dat men niet over één nacht ijs durft te gaan en het onderzoek in de kleine afdelingen graag terugziet in een opgeschaald onderzoek.

Een deel van het warmtegebruik is gerelateerd aan de vochtthuishouding en het stimuleren van de verdamping. Dit onderdeel zorgt altijd voor veel discussie zeker ook in combinatie met de actieve ontvochtiging. Om deze discussie meer handen en voeten te geven moet deze met getallen gevoed gaan worden in plaats van in termen als veel/weinig & meer/minder. In de teelt richten op een concrete "activering"-strategie wordt dan ook noodzakelijk.

In combinatie met ontvochtiging + warmteterugwinning zou de warmtevraag bij deze energiebehoeftige gewassen rond de 100 kWh/m² (11 á 12 m³/m² a.e.) kunnen gaan uitkomen. Wel is de onbalans in warmteproductie vanuit de ontvochtiging en warmtevraag van de kas een onderdeel welke nog forse stappen in de teelt (isolatie versus vochtproductie en gevraagde teelttemperaturen) dan wel een seizoensopslag heeft.

In een demonstratieproject is het mogelijk de combinatie van maximale isolatie, klimaatbeheersing en gewasgezondheid samen te brengen door de potentie van laag-emissieglas (low- ϵ), de laatste ontwikkelingen op het gebied van ontvochtiging, insectengaas in combinatie met een aangepaste teeltstrategie te tonen om tot een fossielvrije toekomstbestendige onbelichte aubergineteelt te kunnen komen.

1.1 Doel

Hoewel dit voorstel aubergine als doelgewas heeft, is de toepassing van dit kasdek materiaal en de gebruikte kassystemen en daarmee de resultaten ook bruikbaar voor andere gewassen en heeft daarmee een afspiegeling richting de hele glastuinbouwsector.

Technische doelstellingen:

De belangrijkste technische uitdagingen van dit project zijn:

- In een kasproef zal een teeltconcept worden beproefd met als doel de effecten op klimaat, warmte-, ontvochtiging- en CO₂-vraag en daarmee het totale energiegebruik in beeld te brengen door een vergelijking op te zetten met een teelt op een "standaard" teeltbedrijf. Locatie-effecten zullen achteraf modelmatig verrekend worden.
- Een vergelijkbare productie en kwaliteit als op een praktijkbedrijf met aubergines.

Energiedoelstellingen:

- Toepassing van low- ϵ AR-glas verhoogt de isolatiegraad van de kas significant en kan daarmee een serieuze bijdrage leveren aan de klimaatdoelen van de Nederlandse overheid naar een fossielvrij klimaat neutrale glastuinbouw in 2040 door terugdringing van de warmtevraag van de kas.
- Reductie van de warmtevraag van een onbelichte aubergineteelt naar 100 kWh/m² (11 á 12 m³/m² a.e.) waarbij de warmtevraag door maximale isolatie sterk wordt gereduceerd en zoveel mogelijk met actieve ontvochtiging wordt ingevuld. Vanuit de praktijk worden gasverbruiken van 25 tot 35 m³/m² genoemd. Invulling van systeem en systeem layout worden in naderoverleg met BCO bepaald als onderdeel van het teeltconcept. Als referentie gaat één van de bedrijven van een BCO-lid fungeren.
- Onbalans in warmtevraag en productie wordt op jaarbasis opgelost door in de zomer, warmte te oogsten en deze in een aquifer op te slaan voor het komende seizoen. Hiermee wordt de volledige warmtevraag elektrisch ingevuld zodat een fossielvrij teelt (0 op de teller) ontstaat. De volledige inzet aan elektriciteit voor klimatisering komt op ca. 40 kWh/m² uit.
- Door de volledige loskoppeling van fossiele brandstof zal de inzet van externe CO₂ beperkt worden tot 15 kg/m².

Nevendoelstellingen:

Bepalen wateropname/verdamping, zo mogelijk in direct vergelijk met gangbare praktijk om effecten teelt- en klimaat-strategie op het gewas vast te leggen.

1.2 Inpassing

Dit project is het vervolg op een eerder door Kas als Energiebron gefinancierd project: "Zonder emissie naar hoge transmissie". De doelstellingen van het project waren:

- Ontwikkel coatings voor enkel glas die low- ϵ combineren met AR-eigenschappen waarbij de energiebesparende eigenschappen niet ten koste gaan van de lichttransmissie of in ieder geval zo min mogelijk zullen zijn dat de kostenbesparing door de betere isolatie opwegen tegen een eventuele productiedaling.
- Evalueer het voordeel van het combineren van low- ϵ met AR-coatings via modellering (KASPRO) voor kassen en evalueer de potentiële optische prestaties via computermodellering.

Het project "Zonder emissie naar hoge transmissie" is met veelbelovende resultaten afgerond¹, waarop de projecten "Het kasdek van morgen: vandaag" en "Het kasdek van morgen: de volgende stap" zijn uitgevoerd om de opschaling van laboratoriumschaal naar eerste kasproeven te maken met als doelgewas tomaat. De doelstellingen van het project waren:

- Testen van het uiteindelijke resulterende glas in een kascompartiment dat gebruik maakt van de modernste teelttechnieken met technologie voor minimaal energieverbruik volgens de Nieuwe Telen principes in een teeltconcept. Dit betekent:
 - Gebruik van twee energiebesparende schermen, in combinatie met zowel het referentieglas als de nieuwe low-ε glas.
 - Gebruik van een actief ontvochtigingsysteem voor terugwinning van latente warmte.
 - Telen volgens de principes van HNT.
- Is het warmtegebruik tot onder de 12 m³/m² te brengen?
- Zijn er gevolgen voor het gewas bij toepassing van dit glas?

Toepassen van low-ε glas in de kas is een techniek gebruiken die onafhankelijk van de teelt tot energiebesparing zal leiden. De grote vraag is dan immer wat doet het op mijn gewas? Op basis van de voorgeschiedenis van deze ontwikkeling van low-ε op enkelglas met slechts zeer gering lichtverlies, tot toepassing in de glastuinbouw, de twee proeven bij WUR-glastuinbouw met tomaat en aubergine en de opschalingproef bij Delphy geven voldoende informatie om de klimaatmodellen voor dit materiaal te 'fine-tunen'.

De effecten op klimaat en energiegebruik kunnen dan berekend worden voor iedere gewenste teelt. Het is goed om te realiseren dat de kasproeven met state of the art kasuitrustingen zijn uitgevoerd. Actieve ontvochtiging wat zeer intensief schermen mogelijk maakt, geen minimumbuisgebruik etc. Dat is ook de reden dat er lage absolute warmtegebruiken worden bereikt, die tot meer dan 50% onder de gangbare praktijk kunnen zitten. Daar worden nog immer, uiteraard afhankelijk van de startdatum, getallen van 25 tot 35 m³/m² genoemd. De bijdrage van het glas in het totale energiebesparingsplaatje bedraagt dan 20 á 25% van de warmtevraag.

1.3 Werkzaamheden en werkwijze(n)

Het project is opgedeeld in werkpakketten:

WP1: aanpassen kas & teeltconcept

In afdeling 6 van het Delphy IC is een afdeling van 1000 m² aangepast naar een "state of the art situatie" om het teeltconcept welke in WP2 beschreven wordt, te evalueren. De aanpassingen en controles bestaan uit:

- Omdekken van de kas met de heldere versie van het Geysir glas
- Insectengaas, 0.27 x 0.77 mm, om wantsen e.d. te weren (zoals bij Chrysant/paprika)
- Schermen/vast folie up-to-date maken naar 2x transparant en vast folie 30x30 geperforeerd
- Ontvochtiging, upgrade van de koelblokken, slurven bovenin en de regeling in Priva computer verfijnen (o.a. sturen van de inblaastemperatuur)
- Check temperatuurverdeling i.v.m. gevelverliezenverrekening en afhankelijk van de afdeling keuzes maken:
 - Kopgevel ook in low-ε te zetten.
- Controle of gehele datavoorziening en verwerking functioneert.

In dit werkpakket is op basis van de teeltstrategie in de proef met aubergine bij WUR-glastuinbouw, bepaald wat de opeenvolgende effecten zijn van consequente toepassing van schermen in combinatie met een actief ontvochtigingsysteem en low-ε glas in combinatie met een actief ontvochtigingsysteem. Hierbij zijn de te verwachten effecten van toepassing van insectengaas ingepast.

¹ Breugel, B., Baeza, E., Raaphorst, M., Aninat, R., Shayesteh, M., Zwart, F. de, Linden, H., and Lieffrig, V. (2021) *With Low Emission to High Transmission*. Wageningen University & Research, BU Greenhouse Horticulture.

WP2: Evaluatie van het teeltconcept tegen een referentie praktijksituatie.

Het in WP1 beschreven teeltconcept is in een jaarrondteelt geëvalueerd. Start en ras zijn in overleg met de BCO bepaald om zo goed mogelijk aan te sluiten met de vergelijkingsteelt in de praktijk. Monitoring van en vergelijk met de referentie van:

- Microklimaat onder en boven het scherm/ de schermen (temperatuur, relatieve vochtigheid en PAR (direct onder het glas en op gewasniveau), substraattemperatuur, netto straling, etc.
- Productiviteit (opbrengst per oppervlakte-eenheid) en kwaliteit met houdbaarheidsproef.
- Gewaswaarnemingen, zoals aantal gezette vruchten per stengel.
- Energieverbruik voor verwarming en ontvochtiging en de warmtebalans gedurende het teeltjaar.
- Latente warmte die wordt gewonnen door het ontvochtigingssysteem. Condensatiestroom uit de luchtbehandelingskast.
- CO₂-gebruik, doseringsstrategie.
- Wateropname/verdamping, door het ontbreken (niet tijdig geplaatst kunnen worden van de weegschalen in de praktijk) is indirect vergelijk met de praktijk-referentie gemaakt.

1.4 Werking lage-emissie coating

Een kas verliest warmte via verschillende routes. Bij ventileren wordt voelbare warmte en vocht (dus latente warmte) afgevoerd. Als de ramen gesloten zijn en het buiten kouder is dan binnen, stroomt warmte nog steeds via geleiding door het kasdek heen naar de buitenlucht. Naast de geleiding wordt afhankelijk van de luchtsnelheid langs het kasdek de warmteoverdracht beïnvloed, wat samen convectie genoemd wordt. Ook verliest het kasdek warmte via de emissie van warmtestraling, alle objecten zenden warmtestraling uit en ontvangen ook warmtestraling van de objecten in de omgeving. Bij een temperatuurverschil leidt dit dan ook tot warmteoverdracht. Materialen verschillen in het uitzenden van warmtestraling, dit drukken we uit in de emissie-coëfficiënt ϵ van het materiaal. Een lage emissie-coëfficiënt zorgt ervoor dat het warmtestralingsverlies van het "warme" kasdek naar de "koude" omgeving verkleind wordt.

In het rapport 'Kasdek van morgen vandaag'²) wordt verder ingegaan op de warmte emissie van materialen, het emissie spectrum en de bijbehorende theorie.

1.5 Financiering

Het project is uitgevoerd door WUR Glastuinbouw en Delphy Improvement Centre. Het is tot stand gekomen in het kader van het programma Kas als Energiebron: het innovatie- en actieprogramma van het ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur en Glastuinbouw Nederland.

² Kempkes et al., (in druk) Kasdek van morgen vandaag.

2 Aubergineteelt 2024

2.1 Opzet van de kas en teelt

Voor de teelt van aubergine in 2024 is een afdeling bij Delphy ingericht. De planten zijn geteeld op steenwol. De teelt is gestart met ongelijk plantmateriaal waardoor er is besloten om een deel van de planten te vervangen door jonger plantmateriaal op een ander substraat. Deze planten, Beyonce RZ op perliet, waren op dat moment beschikbaar bij de plantenkweker. Beyonce is niet meegenomen in het onderzoek. De planten van het ras Tracey zijn geënt op de onderstam Maxifort en geplant op 20-12-2023.

Als praktisch referentie is gekozen voor een teelt op het bedrijf GreenBrothers in Zevenbergen. Hier is op dezelfde datum geplant, ook Tracey op Maxifort met 4,7 stengels per m². In de beide teelten is ernaar gestreefd om een gelijk klimaat te realiseren. Deze kas zal hierna de referentie genoemd worden.

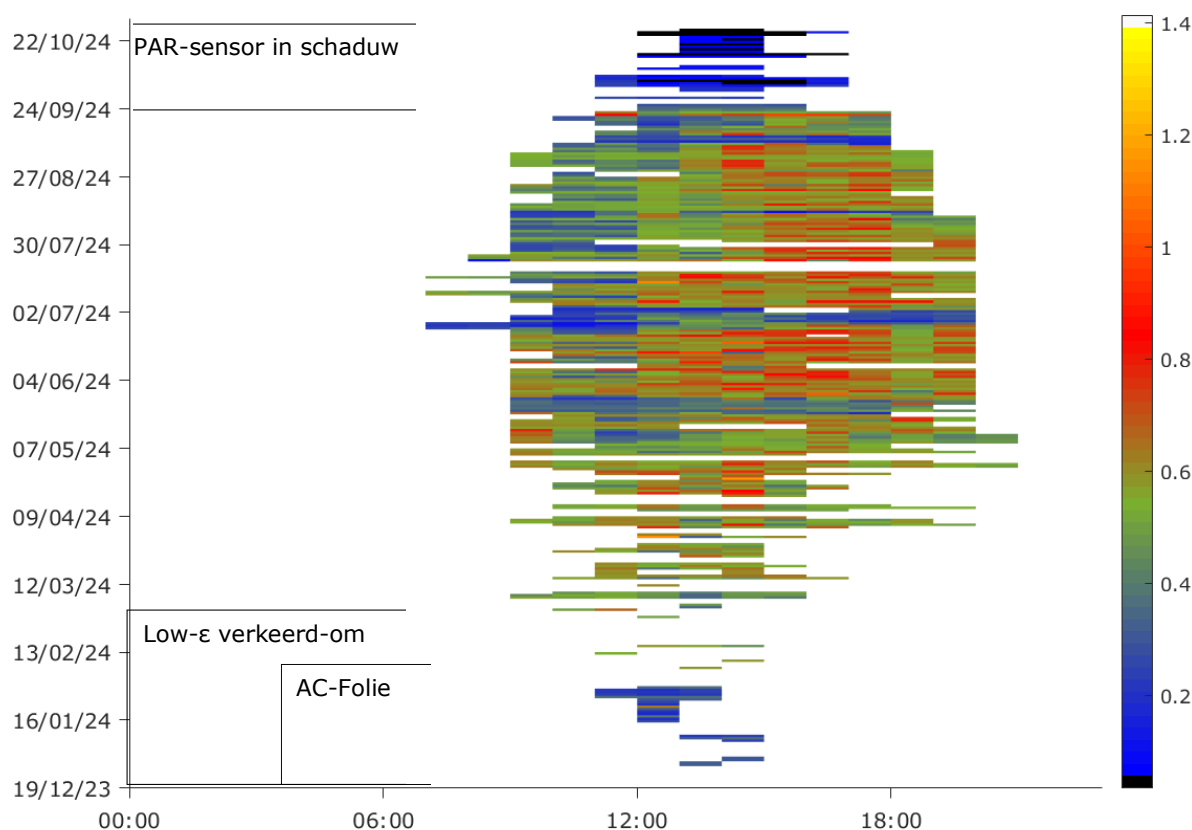
2.1.1 Kasindeling

De uitrusting van de proefafdeling was als volgt:

Afdeling:	6, Delphy Improvement Centre, Bleiswijk (hoekafdeling met buitengevels op het zuiden en het westen)
Oppervlakte:	bruto oppervlakte: 1008 m ² , netto teeltoppervlakte: 936 m ²
Traliebreedte:	9,60 meter
Poothoogte:	6,68 meter
Kasdek type:	Venlo dek – tralie ligger met 2 kappen per tralie
Glastype:	low-ε AR-glas (Geysir, AGC), hemisferische transmissie 83.7%
Verwarming:	Buisrail en dubbele groeibuis
CO ₂ dosering:	OCAP zuivere CO ₂
Klimaatcomputer:	Priva
Ontvochtiging:	AVS-C (Van Dijk Heating), cap 15.000 m ³ /h, voorzien van 3 luchtslurven per tralie bovenin de kas. Ook 3 luchtslurven per tralie onder de goten geïnstalleerd, los van elkaar te gebruiken.
Substraat:	Steenwolmatten (Cultilène)
Scherminstallatie:	1 x Obscura 9970 FR A (Gealuminiseerd lichttuitstootscherm) 2 x Luxous 1147 FR (Energiescherm) (1 scherm op hetzelfde dradenbed als Obscura) vast folie 30x30 geperforeerd (van teeltstart tot 31 januari)
Insectengaasinstallatie:	Mazen ca. AGA2010 / 0.27 x 0.77 mm. (SchermNed)

2.1.2 Lichttransmissie van de kas

De lichttransmissie van het kasdek is bepaald op basis van het gemiddelde van twee PAR meters in de kas, die is vergeleken met de buitenstraling op de momenten dat beide schermen geopend zijn en de globale straling hoger is dan 10 W/m² (zie Figuur 1). Ook zijn een aantal dagen niet meegenomen, waarop de PAR-sensoren duidelijk incorrecte waarden weergaven. Uit Figuur 1 blijkt een gemiddelde lichttransmissie van 49,1%. In de winterperiode is de lichttransmissie het laagst, zie ook paragraaf 2.2, teeltverloop, en op momenten met hogere instraling of hogere zonnestand, is de transmissie hoger. Het gewogen gemiddelde (dus als zonnige momenten zwaarder meetellen) van de lichttransmissie was met 50,1% dan ook iets hoger. De gemeten lichttransmissie is veel lager dan de 68-75% waarvan bij praktijkbedrijven wordt uitgegaan. Het is ook veel lager dan de transmissie metingen die tweemaal tijdens bewolkt weer zijn uitgevoerd en zelfs ruim boven 70% uitkwamen. Dit doet vermoeden dat de PAR sensoren in de kas op een relatief donkere plaats stonden. Aan het einde van de teelt (rond eind september) zijn de PAR sensoren door het gewas overschaduwd omdat de sensoren niet hoger geplaatst konden worden.



Figuur 1 Berekende transmissie per uur op basis van de twee PAR meters in de kas ten opzichte van de buiten PAR sensor van WUR.

2.1.3 Metingen en sensoren

Er zijn verschillende metingen uitgevoerd tijdens de proef. De gewasmetingen zijn weergegeven in Tabel 1. Het klimaat is op verschillende plekken gemeten door middel van de standaard meetbox en drie microklimaatssensoren van 30MHz, die geïnstalleerd zijn voor een verticaal temperatuurprofiel.

Tabel 1 Uitgevoerde metingen met eenheid, frequentie en hoeveelheid.

Meting	Frequentie	Aantal stengels
Lengtegroei [cm]	1x per week	10
Aantal blad [# /stengel]	1x per week	10
Bloeiende bloemen [# /stengel]	1x per week	10
Stengelvruchten [# /stengel]	1x per week	10
Scheutvruchten [# /stengel]	1x per week	10
Geaborteerde vruchten [# /stengel]	1x per week	10
Productie [kg/m ²]	Elke oogst	4 goten
Gemiddeld vruchtgewicht [g]	Elke oogst	4 goten
Uitgroeiduur [dagen]	1x per week	20 vruchten

2.1.4 Gewas

Het auberginegewas had de volgende eigenschappen.

Ras:	Tracey RZ
Onderstam:	Maxifort
Zaaidatum:	19 oktober 2023
Plantdatum:	20 december 2023
Stengeldichtheid:	4,6 stengels/m ² (1,15 plant per m ² , 4 stengels per plant)
Eerste oogst:	16 februari 2024
Laatste oogst:	30 oktober 2024

2.1.5 Teeltstrategie

Bij de teelt is niet uitgegaan van een minimumbuistemperatuur en worden de schermen zo veel mogelijk gebruikt. Ook wordt in de ochtend zo veel mogelijk gebruik gemaakt van het zonlicht om de temperatuur van het nachtsetpoint naar het dagsetpoint te brengen. Eventuele vochtproblemen die deze strategie met zich mee zou kunnen brengen worden ondervangen met actieve ontvochtiging via de LBU (Lucht Behandelings Unit). Gestreefd wordt naar een RTR (Ratio Temperature to Radiation) van 18+4°C per 1000 J/cm².dag.

2.2 Teeltverloop

Vanaf de start van de teelt heeft er AC-folie tegen de gevels en onder de schermen gehangen. Op 31 januari 2024 is het horizontale folie verwijderd, het folie aan de gevels is de gehele proef blijven hangen.

Gedurende de winterperiode viel het op dat het glas zich anders gedroeg dan bij de eerder gedane onderzoeken bij WUR. Veel meer condensvorming en verminderde capaciteit om warmte in de kas te houden en de kas oogde erg donker. Na onderzoek door WUR-lightlab bleek dat de ruiten omgedraaid op het dek en in de gevels te liggen. Uit een zogenaamde "transvison-wet meeting" bleek door condensatie, het hemisferische lichtverlies 13.1% ten opzichte van een droge ruit te zijn. De ruiten op het dek zijn geflipt in de periode tussen 6 en 9 maart. Hierdoor zijn er een aantal planten beschadigd geraakt, maar zonder groot effect op de teelt. De ruiten in de gevels zijn niet geflipt omdat dat te veel tijd zou gaan kosten en daardoor een te groot effect op het klimaat en de teelt.

Vanaf 2 januari 2024 zijn de onderste slurven van de actieve ontvochtigingsinstallatie actief, in de beginfase vooral om het klimaat met luchtbeweging te activeren. Op 12 april zijn deze slurven omgedraaid zodat de luchtgaten naar boven gericht stonden. Hierdoor werd de lucht uitgeblazen in de richting van het gewas in plaats van naar het pad. Dit was ten gunste van de luchtstroom. Vanaf 29 augustus zijn de slurven bovenin gebruikt. De "droge" lucht werd hierdoor uitgeblazen richting de bloemen, om te voorkomen dat bloemen natslaan of te lang nat blijven. Natte bloemen hebben een groot risico op een Mucor infectie. Mucor in de bloemen kan zorgen voor abortie en daardoor opbrengst derving. Mucor in de bloemen kan door hommels makkelijk verspreid worden. Het voorkomen van Mucor is erg belangrijk in de teelt van aubergine.

Bloem abortie door Mucor is naar het einde van de teelt waargenomen, echter waren de aantallen besmette bloemen nooit zo hoog dat er ingegrepen moest worden.

2.3 Gewasgezondheid

Vanaf de start van de teelt is er een populatie van *Macrolophus pygmaeus* opgebouwd en in stand gehouden. Dit wordt standaard gedaan ter biologische bestrijding van witte vlieg en spintmijten.

Eind maart werd er wat bruine aantasting gevonden op de kelken en stelen van vruchten. Na een analyse bleek dit *Erwinia spp.* te zijn. Het bleef bij een paar plekje. De oorzaak hiervan wordt gezocht in het flippen van het kasdek. Die periode was er regelmatig regen en het kasdek ook dagelijks open in het vak waar men de ruiten aan het omdraaien was.

Half juni was er veel spint aanwezig in deze en omliggende kassen. Hiervoor is er 'Nissorun' gespoten. Begin juli zijn er nog twee bespuitingen met 'Scelta' uitgevoerd in een deel van de kas, met een interval van zeven dagen tegen spint.

In juli werd er ook luis gespot. Hiervoor is twee keer gedruppeld met 'Verimark' met een interval van 12 dagen. Dit middel is in september nog een keer gedruppeld tegen luis en witte vlieg.

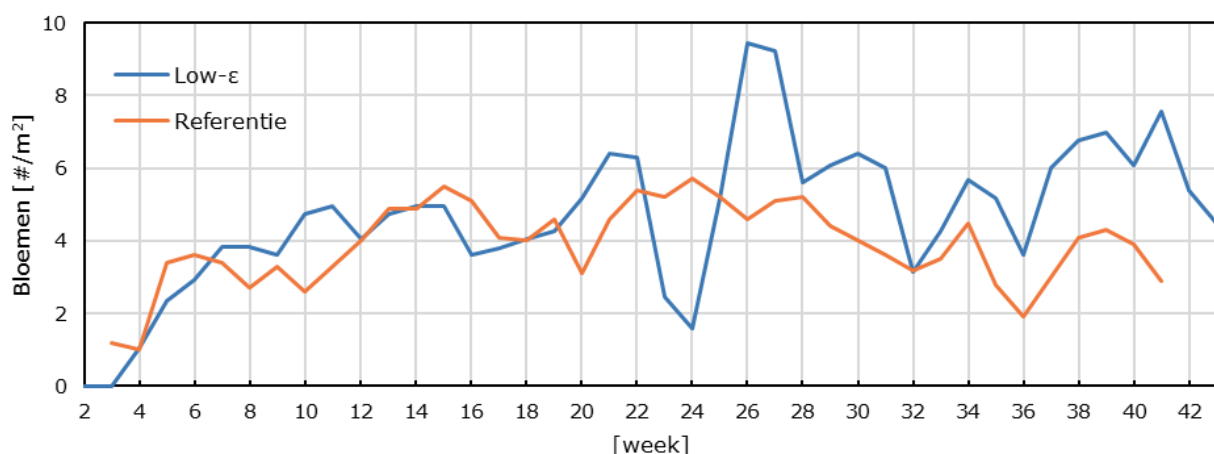
Vanaf eind augustus werd er ook Mucor in de bloemen gevonden. De aantasting van de Mucor is laag gebleven en er hoefde actie te worden ondernomen.

2.4 Gewasgroei en productie

Plantgroei en ontwikkeling zijn gedurende de teelt gemeten en geanalyseerd.

Het aantal open bloemen is belangrijk om te meten omdat het een potentiële productie weergeeft en ook de balans van de plant. De combinatie van open bloemen als potentiële vruchten en werkelijk gezette vruchten geeft het aantal geaborteerde bloemen aan.

Het aantal open bloemen is in de eerste helft van de teelt (tot week 22) gelijk aan de referentieteelt (Figuur 2).

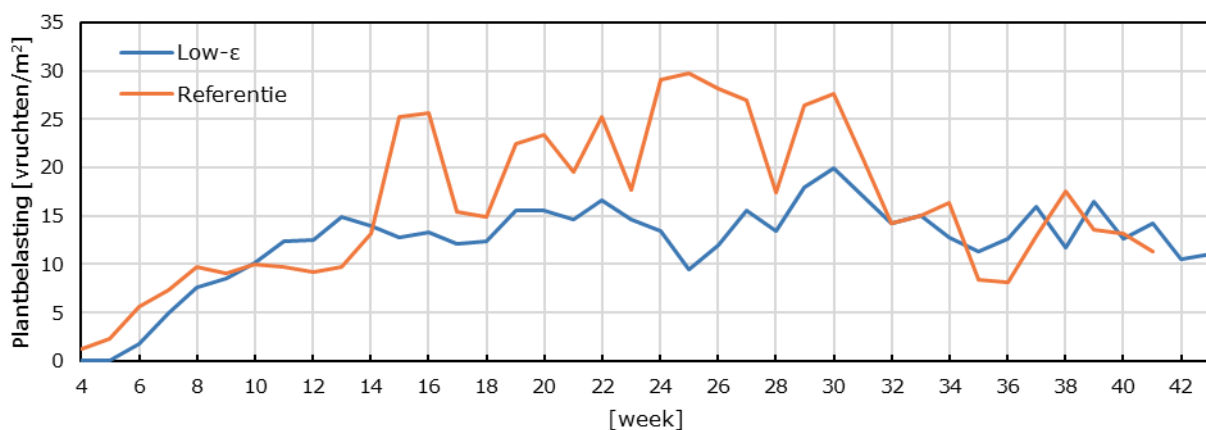


Figuur 2 Aantal bloemen per m² per week voor de low-ε kas en de referentiekas.

In de teelt onder het low-ε glas zijn er in week 23 een groot aantal bloemen verloren gegaan, zie Figuur 2. Om te voorkomen dat de planten helemaal geen belasting meer hebben en daardoor te vegetatief worden, zijn de oogstbare vruchten langer aan de plant blijven hangen. Het effect daarvan zijn zwaardere vruchten, maar ook meer bloei aan de planten. Hiermee heeft de plant zich weten te herstellen zoals te zien is in Figuur 3.

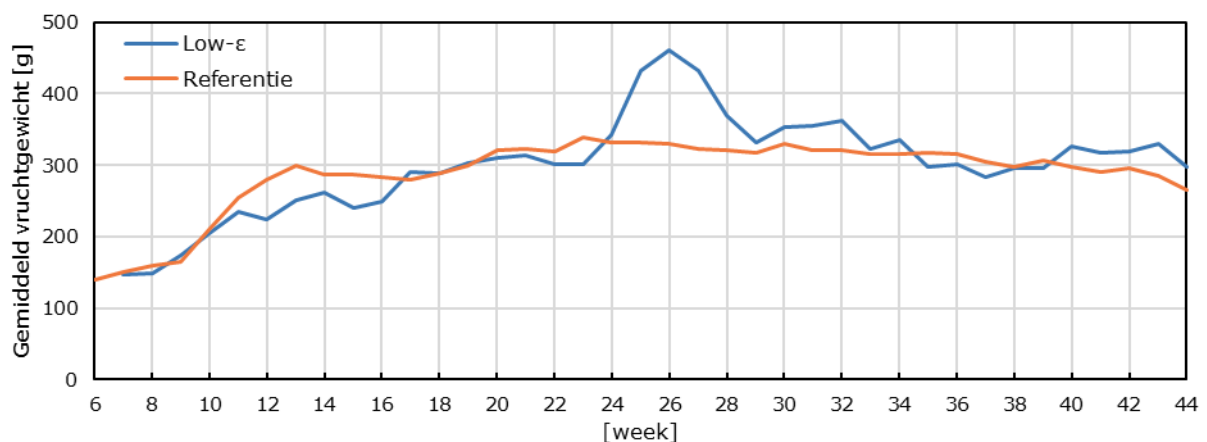
Wat ook te zien is in Figuur 3 is dat vanaf week 14 tot week 32 de plantbelasting bij de planten onder low- ϵ lager is geweest dan bij de planten in de referentie kas. Zoals eerder beschreven in dit hoofdstuk geeft het verschil tussen de bloemen en de plantbelasting de bloem abortie aan. Wat de reden van de bloem abortie is kunnen we deels verklaren voor minder licht in het begin van de teelt. Doordat het glas verkeerd om gelegen heeft is er minder licht in de kas geweest, dat mogelijk de zetting heeft beïnvloed. Dit is echter geen verklaring voor het aanhouden van de lagere plantbelasting. Mucor is in deze periode van de teelt niet aangetroffen in de bloemen, dat kwam er pas later in en nooit in zulke mate dat het de zetting heeft beïnvloed, zie hoofdstuk gewasgezondheid.

Als laatste kunnen we denken aan plantbalans, in de teelt onder low- ϵ glas hebben we een vegetatiever gewas gehad dan in de referentieteelt, en daardoor een lagere plantbelasting en lagere productie. Om dit verder te onderzoeken is ook gekeken naar het klimaat, setpoints en realisatie. Dat heeft geen reële aanwijzingen gegeven die dit verschil kan verklaren. Ja van de beginfase tot medio maart is er significant minder licht voor de teelt beschikbaar geweest door het lichtverlies van de verkeerd gemonteerde ruiten. Dat heeft zich in een lagere plantbelasting in de startfase geuit, Figuur 3.



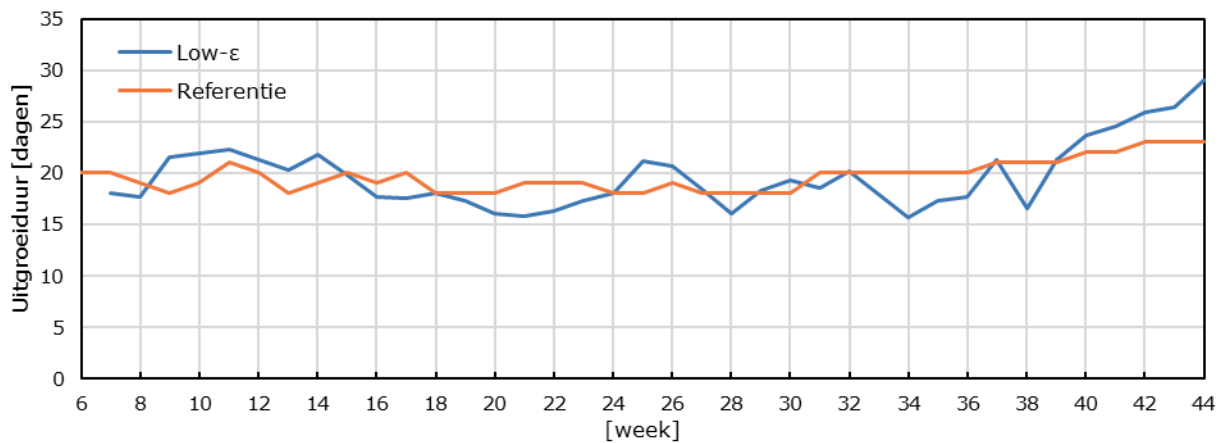
Figuur 3 Plantbelasting per m² per week voor de low- ϵ kas en de referentiekas.

In de weken dat de vruchten wat langer aan de plant hebben gehangen, steeg het vruchtgewicht in de teelt onder low- ϵ glas (Figuur 4). Verder is er een goed vergelijkbaar gemiddeld vruchtgewicht geoogst in beide teelten.



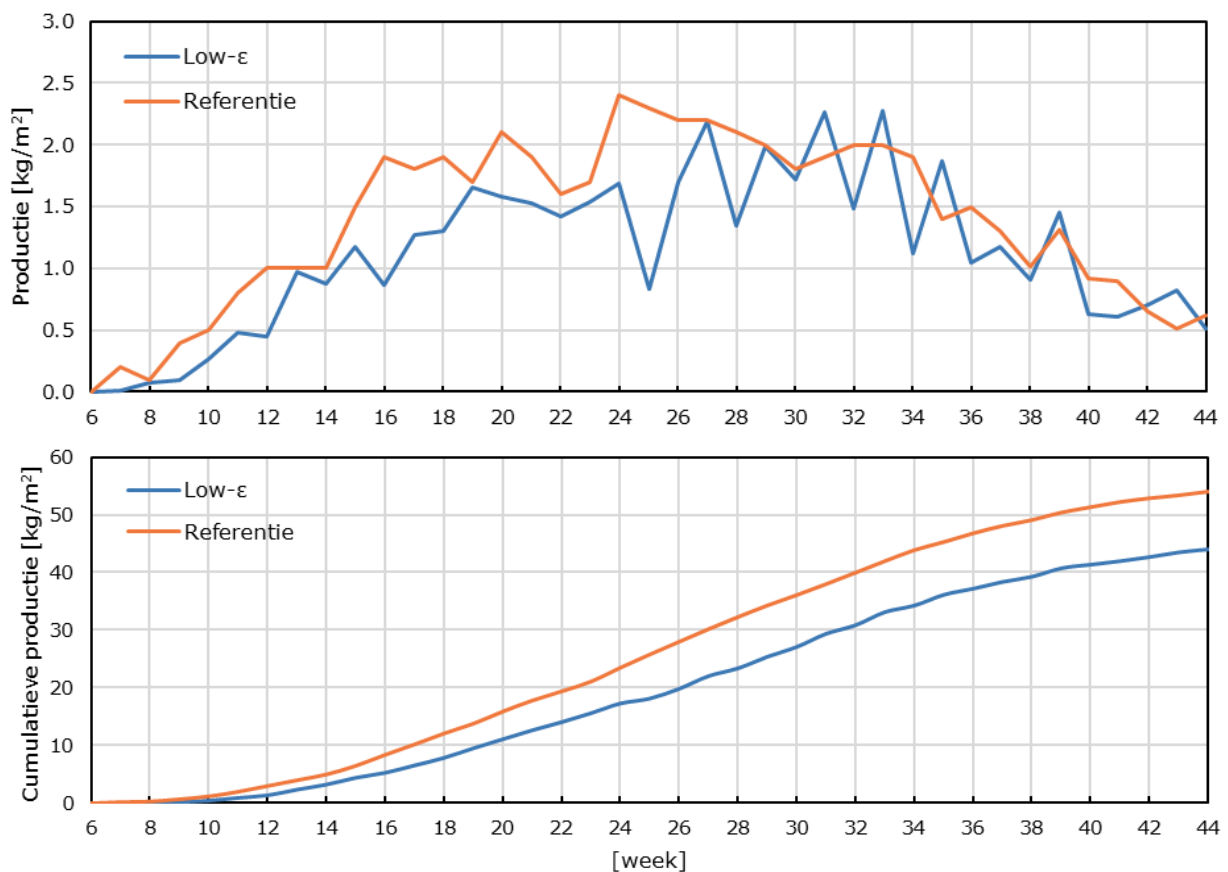
Figuur 4 Gemiddeld vruchtgewicht per week voor de low- ϵ kas en de referentiekas.

De uitgroeiduur is gedurende de teelt gelijk geweest tussen beide kassen (zie Figuur 5). Voor het grootste gedeelte lag dit tussen de 15 en 20 dagen, wat gewenst is in een aubergineteelt.



Figuur 5 Uitgroeiduur per week voor de low-ε kas en de referentiekas.

In totaal is er in de low-ε kas 43,9 kg/m² geoogst en in de referentie kas 54 kg/m² (zie Figuur 6).

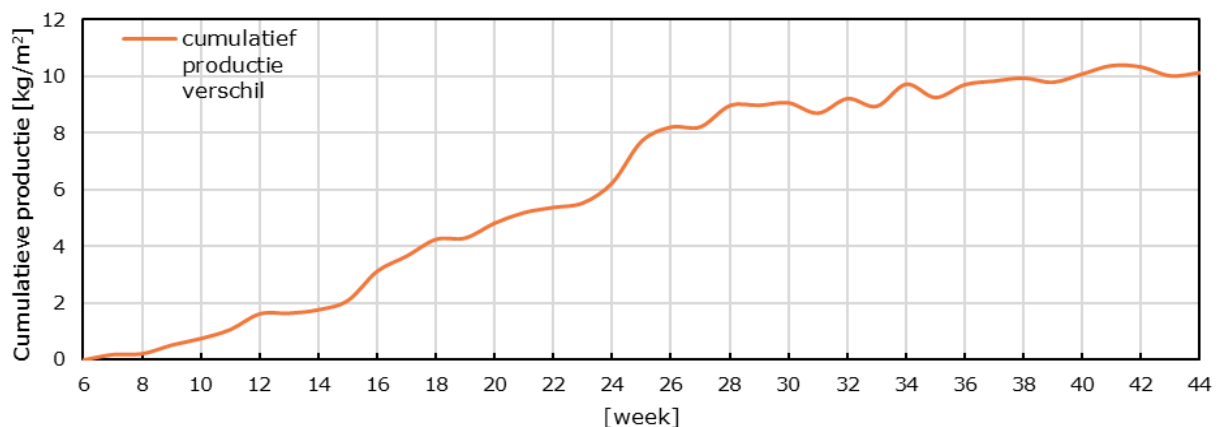


Figuur 6 Wekelijkse (boven) en cumulatieve (onder) productie voor de low-ε kas en de referentiekas.

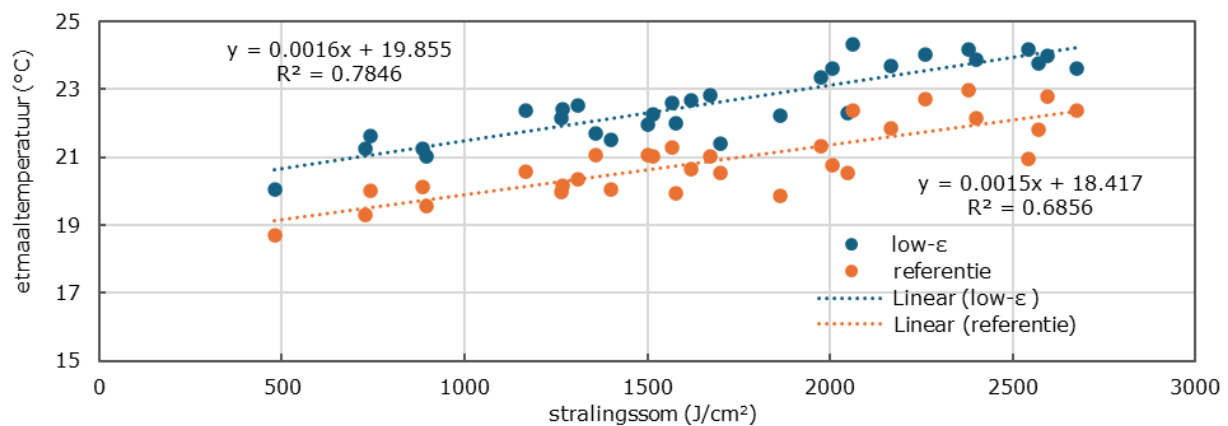
Het cumulatieve productieverschil is weergegeven in Figuur 7. In dit figuur is goed te zien dat er 3 momenten zijn waarin het productie verschil heel snel oploopt, namelijk tussen week 8 en 10, tussen week 15 en 18 en tussen week 24 en week 25. De periode tussen week 8 en week 10 kunnen we wijten aan het glas dat omgedraaid ligt, waardoor de lichtsom binnen lager is dan wanneer het glas goed gelegen zou hebben.

Voor de andere 2 periodes is de verklaring van lagere productie bloemabortie. Echter kunnen we niet goed verklaren waardoor deze bloemabortie is ontstaan. Hoewel in augustus wat mucor-aantasting is geconstateerd, is niet vastgesteld dat dit daarvoor al een issue met negatieve gevolgen op de productie geweest kan zijn. Natslag op bloemen, dus begin en einde dag een (te) hoge RV rond de bloei, kan ook leiden tot een slechte(re) zetting maar bij alle rondgangen en klimaatanalyses is dit nooit opgemerkt. Een meer vegetatieve sturing: minder dag- nachtverschil dan bij het referentiebedrijf in de periode week 24-32 of hogere pieken met het licht mee? Alleen in mei zijn er duidelijk hogere etmaaltemperaturen bereikt in de proef t.o.v. het referentiebedrijf, Figuur 11. Het zou kunnen dat we door het aanhouden van een andere RTR in het voorjaar tov de referentie een vegetatieve balans in de planten hebben gecreëerd. Deze balans heeft zich dan doorgezet tot het eind van de zomer en is voornamelijk terug te zien in de plantbelasting, het aantal gezette vruchten. In de teeltrondes met de BCO is meermalig genoemd dat er sterke planten in de proef kas stonden met relatief groot blad. Het bladoppervlak is in deze proef niet gemeten.

De aanhoudende vegetatieve balans, door het telen bij een minder optimale RTR, kan de verklaring zijn voor de lagere productie in de proefkas. Uit analyse is gebleken (Figuur 8) dat met name in de maand mei in de proef er een RTR is aangehouden met een 1.4 °C hoge basistemperatuur dan het referentiebedrijf, gebaseerd op buitenstraling.



Figuur 7 Cumulatief productieverschil.

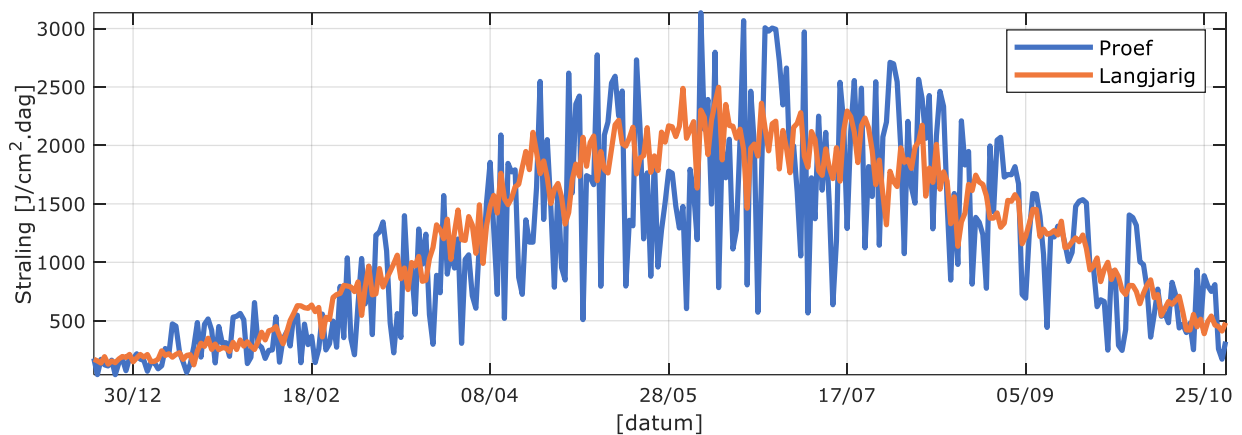


Figuur 8 RTR van het referentie bedrijf en de low-ε proef in de maand mei, gebaseerd op de buitenstraling.

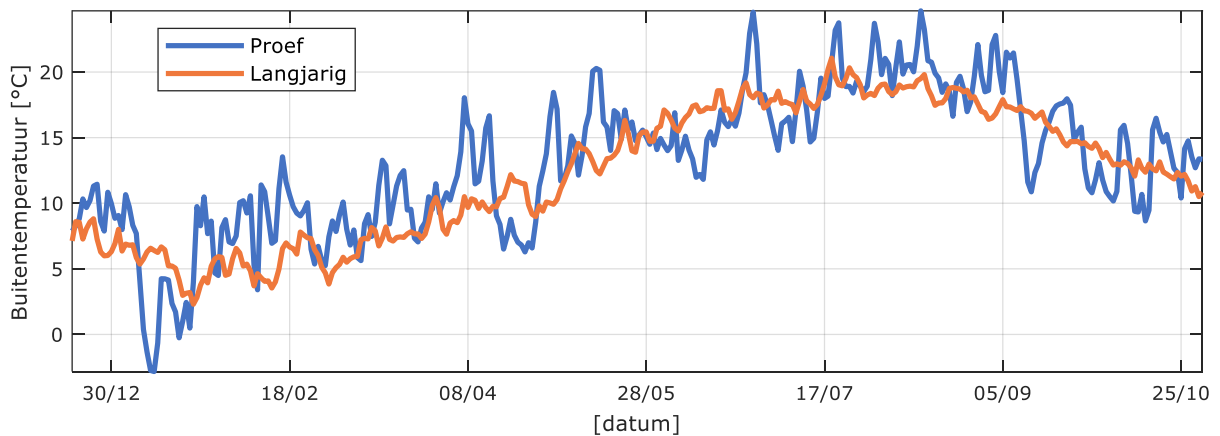
3 Klimaat en energie

3.1 Temperatuur, licht en vocht

Vergeleken met het langjarige gemiddelde (de afgelopen 10 jaar in Bleiswijk) was het gedurende de teelt warmer en donkerder. Over de gehele teeltperiode was het 0,9°C warmer, en 6% donkerder zie Figuur 9 en Figuur 10. Met name in het voorjaar en de zomer was het donkerder.

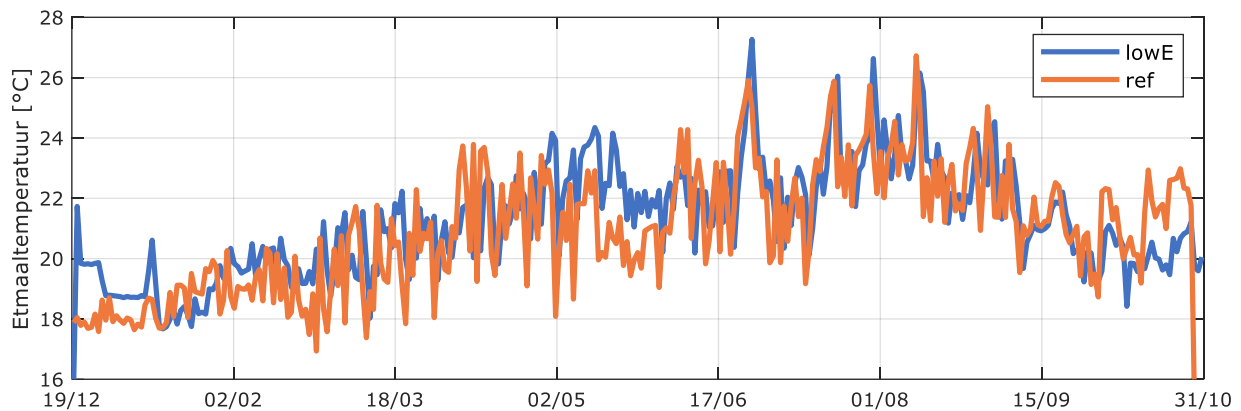


Figuur 9 Straling per dag (J/cm^2) ten opzichte van het langjarig gemiddelde.



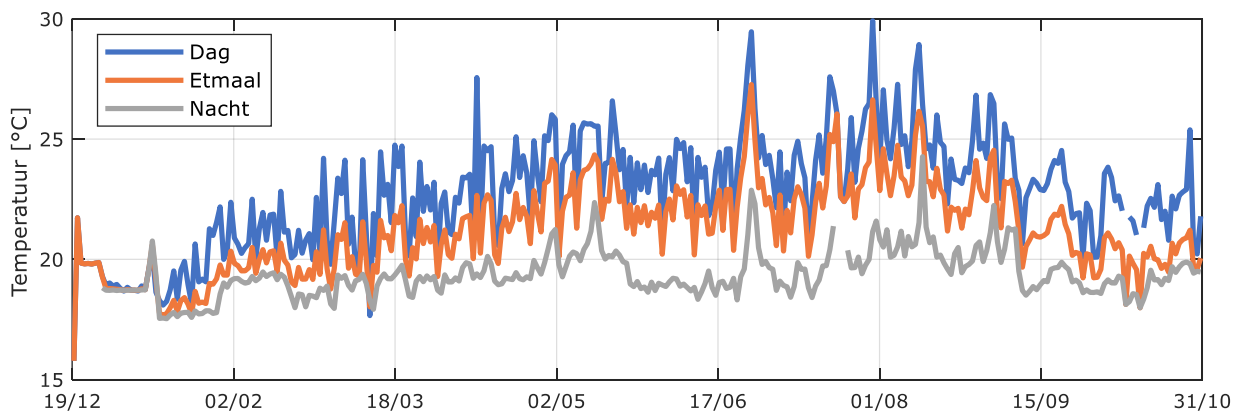
Figuur 10 Buitentemperatuur ($^{\circ}\text{C}$) ten opzichte van het langjarig gemiddelde.

De gemiddelde kasttemperatuur gedurende de teelt was 21,3°C. Deze lag gemiddeld iets hoger dan de 20,9 °C van het referentiebedrijf (Figuur 11).

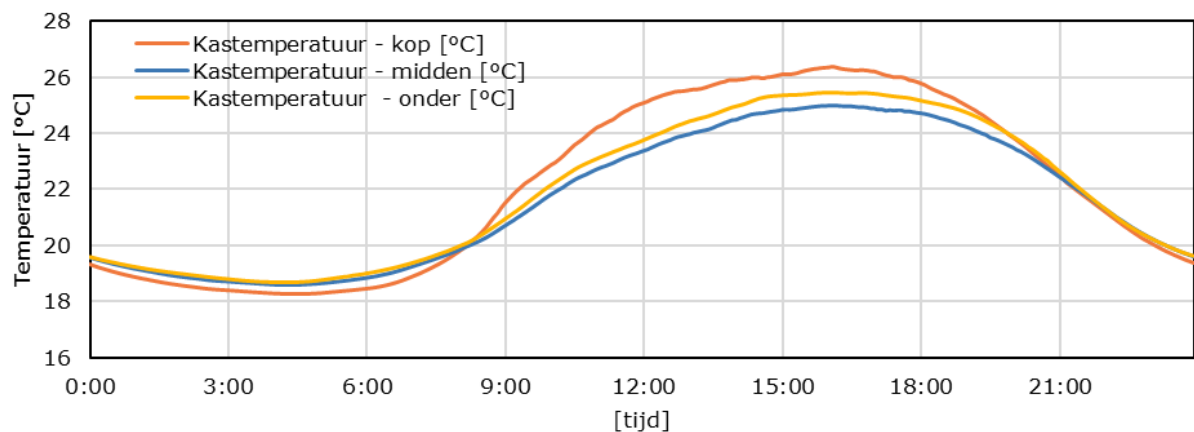


Figuur 11 Gemiddelde etmaaltemperatuur van Low-ε kas en de referentie (°C).

De gemiddelde nachttemperatuur was 19,4 °C, overdag was de kasttemperatuur gemiddeld 22,7 °C (Figuur 12). De verticale temperatuurverdeling is in Figuur 13 weergegeven over een gemiddeld etmaal tussen 1 april en 30 september, gemeten met drie microklimaatssensoren van 30 MHz. Eén sensor is gedurende de teelt met de kop mee omhooggeschoven (boven); één sensor heeft continu net boven de mat gehangen (onder) en één sensor heeft tussen de twee sensoren in gehangen (midden). Hieruit blijkt dat overdag de temperatuur bij de kop het hoogst lag en in het midden van het gewas het laagst. In de nacht was de koptemperatuur het laagst en de temperatuur onderin het hoogst, al zijn de verschillen in de nacht kleiner dan overdag. Van deze passief geventileerde sensoren is overdag met volle zonbelasting ook sneller een afwijking te verwachten.

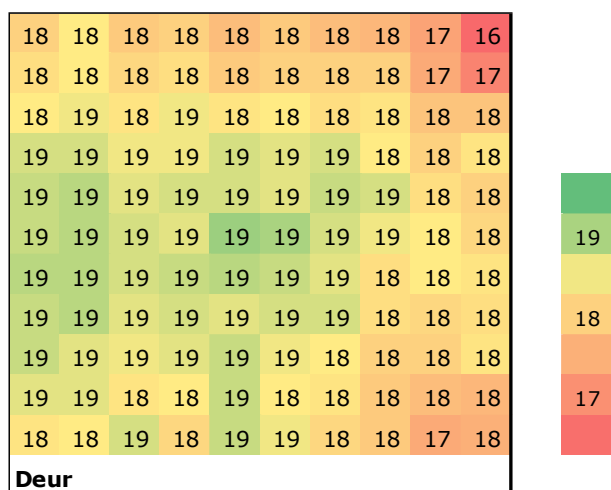


Figuur 12 Gemiddelde temperatuur overdag, 's nachts of per etmaal (°C).



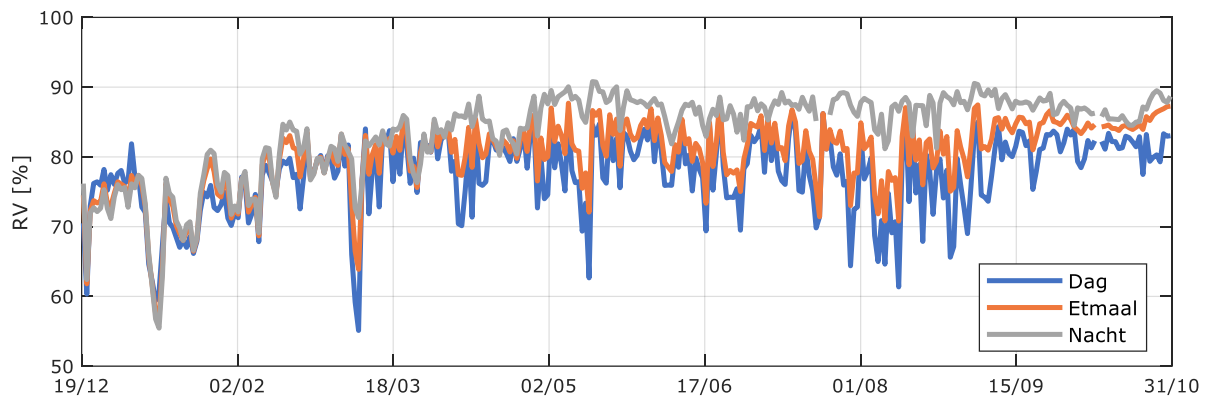
Figuur 13 Temperatuur (°C) boven, midden en onder gedurende een gemiddeld etmaal tussen 1 april en 30 september 2024

De horizontale temperatuurverdeling is gemeten op een koude dag (buitentemperatuur 2,8 °C). Hieruit bleek dat op koude hoeken de temperatuur enkele graden lager was dan in het midden van de kas (zie Figuur 14), maar dat de standaarddeviatie van alle metingen slechts 0,46 °C was. In de ideale situatie had de gevelverwarming op dit moment iets meer warmte moeten afgeven want de buitengevel is net te koud.

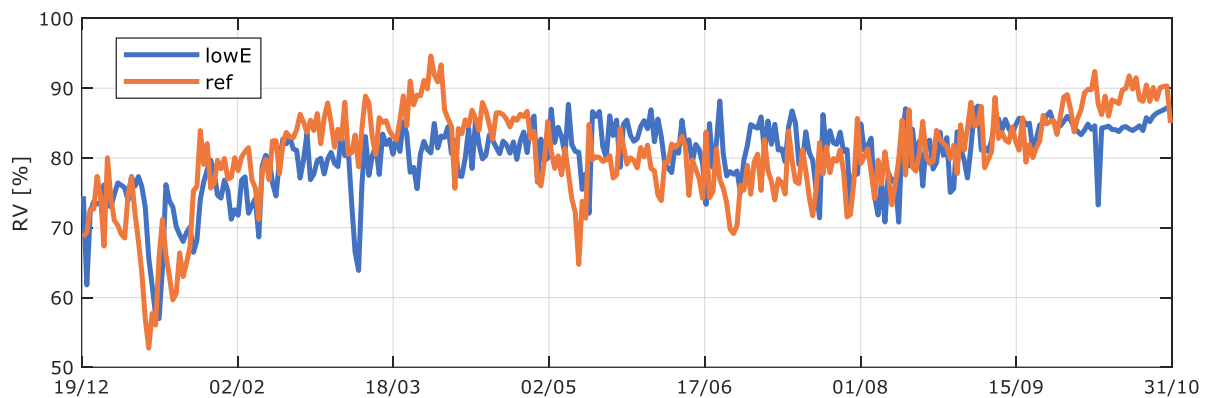


Figuur 14 Temperatuurverdeling in de low-ε afdeling (°C) gemeten op 27 februari rond 8:00 uur.

De gemiddelde relatieve luchtvochtigheid over de teeltperiode was 80% (Figuur 15). Gemiddeld was dat niet veel anders dan die van het referentiebedrijf, al wisselde dat wel per periode (Figuur 16).

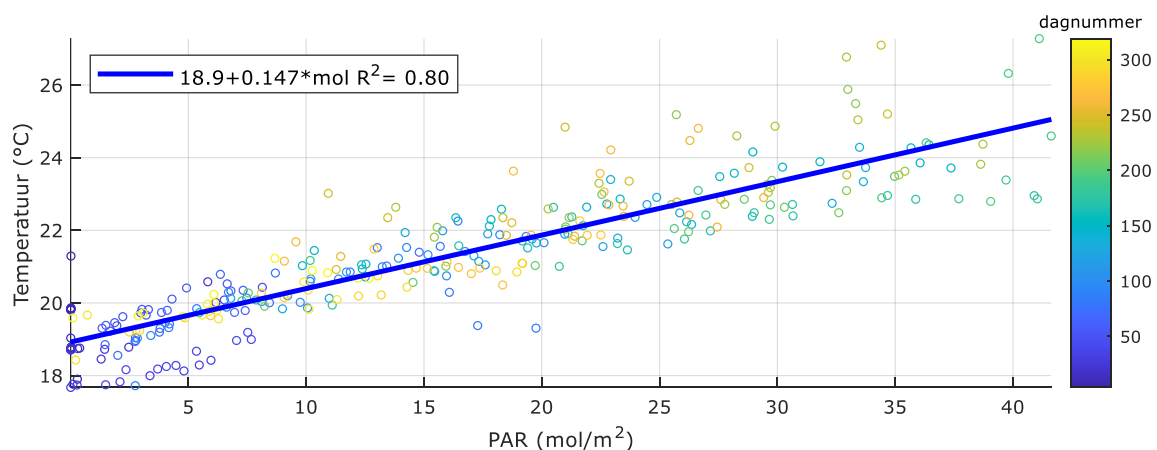


Figuur 15 Gemiddelde relatieve luchtvochtigheid (RV) overdag, 's nachts of per etmaal (%).



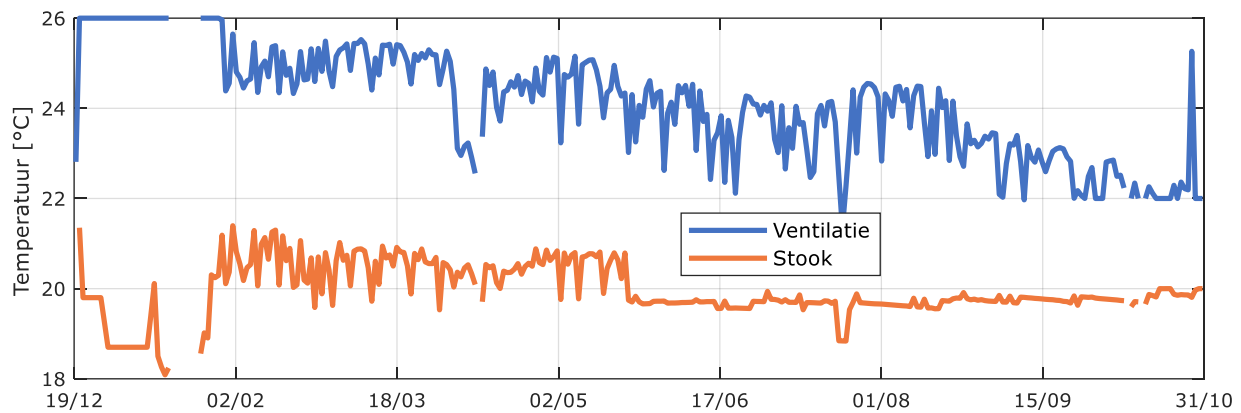
Figuur 16 Gemiddelde relatieve luchtvochtigheid (RV [%]) vergeleken met die van het referentiebedrijf.

De behaalde RTR over de gehele teeltperiode is $19 + 0,145 \text{ } ^\circ\text{C}$ per mol geweest (zie Figuur 17). Dat is vergelijkbaar met $19 + 3,1 \text{ } ^\circ\text{C}$ per 1000 J/cm^2 . Het verloop is daarmee iets minder steil dan de beoogde $18 + 4 \text{ } ^\circ\text{C}$ per 1000 J/cm^2 uit het teeltplan.



Figuur 17 Ratio of Temperature to Radiation (RTR) gedurende de gehele teelt van de low- ϵ proef.

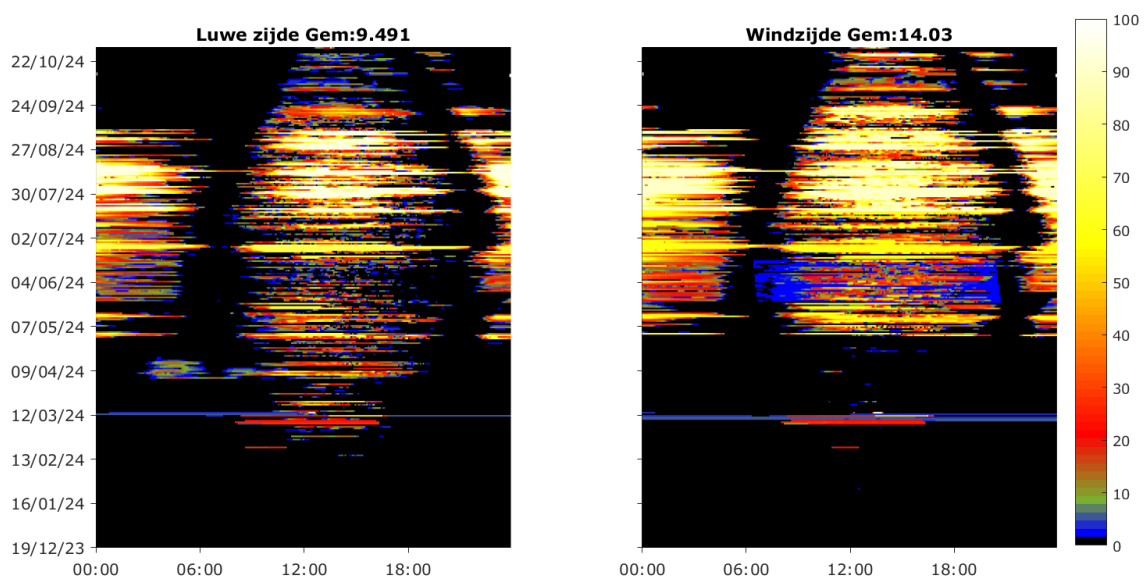
Om de warmte van de zon zo goed mogelijk te benutten, werd de ventilatietemperatuur met name in het begin van de teelt ver boven de stooktemperatuur gezet, om zo het afluchten van overtollige warmte zo veel mogelijk te beperken (zie Figuur 18). Door het donkere voorjaar is de behaalde kastemperatuur gelijk aan de stooktemperatuur. Ondanks het warmere weer buiten, was er weinig energie van de zon beschikbaar om de kastemperatuur overdag verder op te laten lopen.



Figuur 18 Gemiddelde etmaal ventilatietemperatuur en stooktemperatuur overdag (°C).

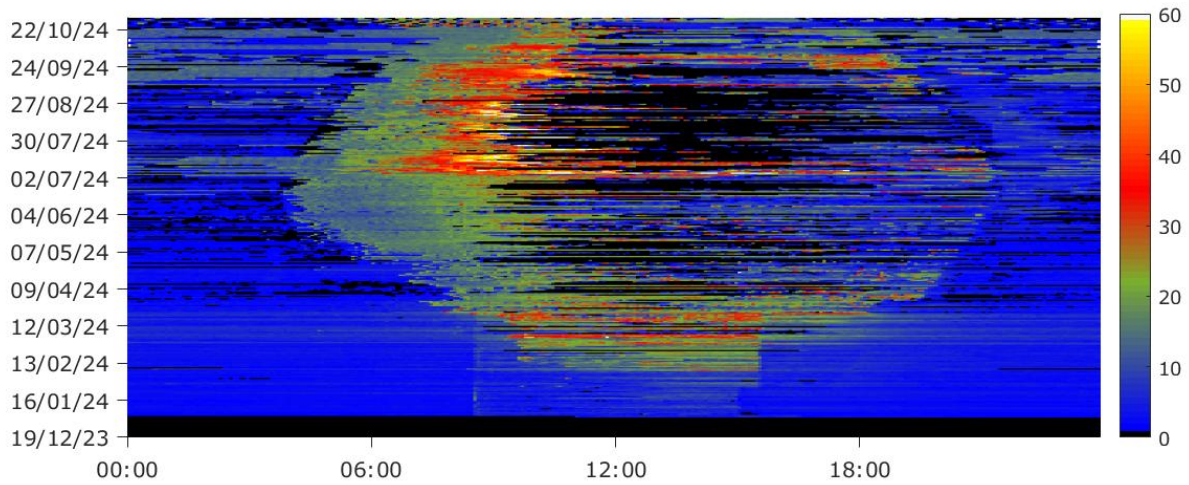
De actieve ontvochtiging kon dag en nacht worden ingezet, en werd gebruikt om in de nacht het vochtdeficit niet onder $1,2 \text{ g/m}^3$ te laten zakken, overdag was deze streefwaarde $4,0 \text{ g/m}^3$. Hoewel er geen problemen werden verwacht bij een lager vochtdeficit (de streefwaarde werd geacht op $3,0 \text{ g/m}^3$), was deze zodanig ingesteld om meer te kunnen ontvochtigen en zo meer warmte terug te kunnen winnen. Door het ontbreken van veel (zonne-)energie in het voorjaar, nam de ontvochtigingsvraag pas toe in de zomer, met name in de ochtenduren. Bij hogere temperaturen overdag werd geventileerd (zie Figuur 19) en werd vocht via die manier afgevoerd. Ook werd vanaf begin mei 's nachts veel geventileerd boven de gesloten schermen, om extra vocht af te kunnen voeren. De raamstand aan de windzijde was gedurende 390 uren hoger of gelijk aan 90%. Dat is een indicatie dat het insectengaas niet meer dan 5% van de tijd beperkend is geweest voor de ventilatie. De periode dat het glas is omgekeerd is ook duidelijk terug te vinden in de raamstanden van ca. 20% gedurende de werkuren in de week van 10 maart.

In het najaar werd de ontvochtiging het meest ingezet. Door een relatief klein verschil tussen de absolute luchtvochtigheid buiten en binnen de kas en meer vochtproductie door een groter gewas, is de ontvochtiging vaker ingezet om het nagestreefde vochtdeficit te behalen.



Figuur 19 Raampositie (%) per 5 minuten van de luwe zijde en de windzijde.

De gerealiseerde vochtafvoer via de LBU is berekend op basis van het luchtdebiet door de LBU en het verschil tussen ingaande en uitgaand vochtgehalte van de lucht (zie Figuur 20). Hieruit blijkt dat de LBU vooral in de ochtenduren (als de luchtramen gesloten zijn) veel vocht heeft afgevoerd.

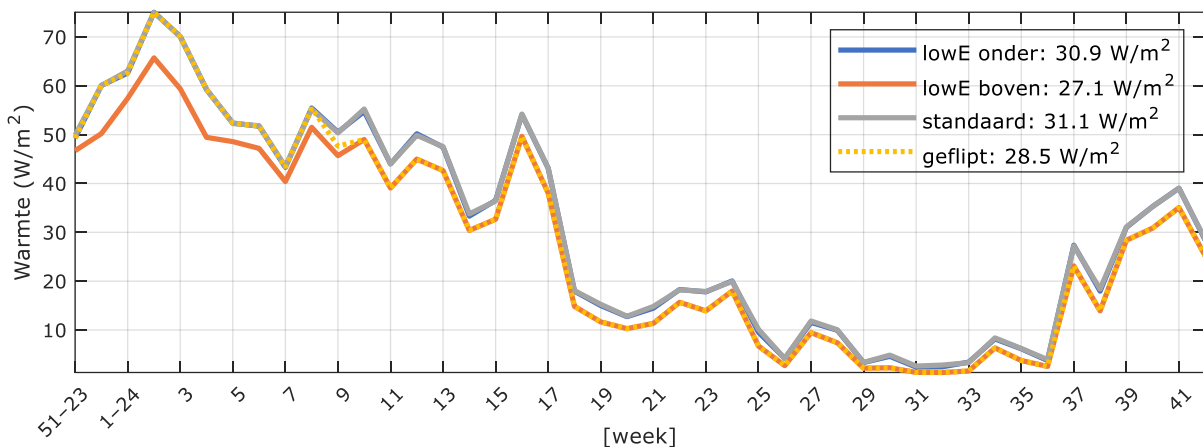


Figuur 20 Berekende vochtafvoer ($\text{g}/(\text{m}^2.\text{uur})$) via de LBU.

3.2 Energiegebruik

Het effect van low- ϵ op het warmtegebruik is gesimuleerd met Kaspro (zie Figuur 21). Hierbij is berekend wat het warmtegebruik voor deze 1000m^2 afdeling met 2 buitengevels is als de low- ϵ coating aan de onderzijde of aan de bovenzijde van het kasdek is aangebracht, of dat er standaard glas is gebruikt. Montage van de low- ϵ coating moet aan de bovenzijde (buitenkant) plaatsvinden. Het verschil in warmtegebruik tussen low- ϵ coating aan de onderzijde of aan de bovenzijde blijkt $(1 - 27,1 / 30,9) = 12\%$ te zijn. Ten opzichte van standaard glas bespaart Low- ϵ aan de bovenzijde 13%.

Vergelijkende simulaties van enerzijds standaard glas en anderzijds glas met een low- ϵ coating aan de onderzijde laten zien dat de low- ϵ coating aan de onderzijde nauwelijks besparing oplevert. Dat komt doordat het glas aan de onderzijde altijd nat is op momenten met warmtevraag. Water doet de low- ϵ eigenschappen van de coating teniet.

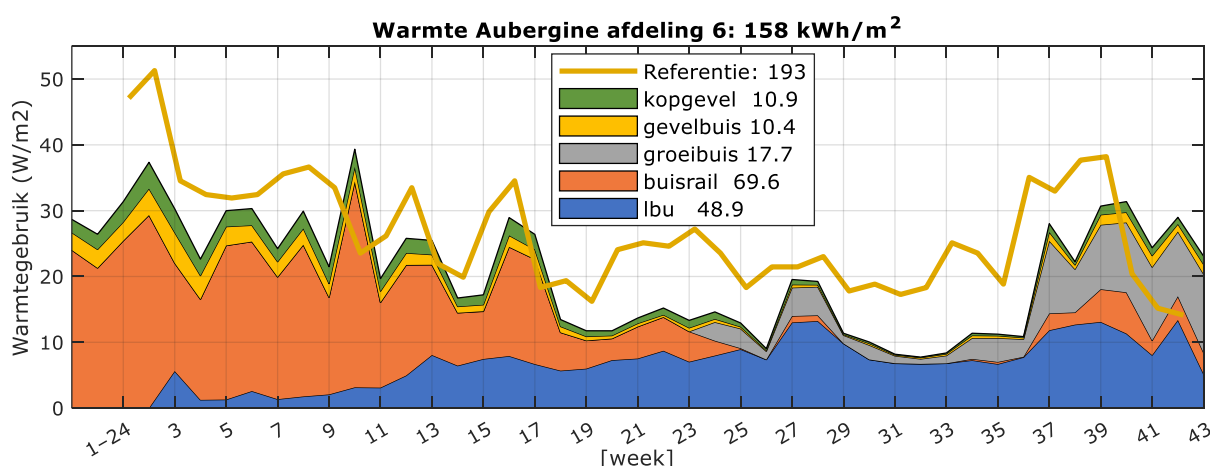


Figuur 21 Gesimuleerd warmtegebruik (W/m^2) voor deze proefafdeling indien de low- ϵ -zijde aan de onderzijde van het kasdek, de bovenzijde, of als deze (zoals in de proef) is geflipt op 1 maart 2024. Ook is het warmtegebruik bij standaard glas weergegeven. Data in legenda betreffen het gemiddelde warmtevermogen over de hele teelt.

Het warmtegebruik van de afdeling kan worden onderscheiden in 5 warmtestromen. De warmte die via de buisrail, de groeibuis, het circuit langs de zijgevel en de luchtbehandelingsunits (LBU) worden apart gemeten. De warmte die via de verdeelleiding de verliezen van de kopgevel moet compenseren is geschat op basis van het verschil tussen kaslucht- en buitenluchttemperatuur. De totale hoeveelheid warmte die door de warmtemeters is geteld, is 181 kWh/m² gedurende de hele teelt. Daarnaast zijn berekeningen gemaakt van de warmteafgifte via de buisrail, de groeibuizen, de gevelbuizen, de LBU en is een schatting gemaakt van de verliezen via de kopgevel. In totaal komt het berekende warmtegebruik van deze afdeling dan neer op 206 kWh/m². Omdat de proefkas veel meer gevelverliezen kent dan een gemiddeld praktijkbedrijf, is het warmtegebruik van de kopgevel en de gevelbuis voor 1/3^e meegenomen in Figuur 22. Ook is het warmtegebruik van de buizen tot week 10 2024 met 12% (zie berekening bij Figuur 21) verlaagd omdat toen de low-ε coating aan de onderkant van het kasdek zat en door de condensatie dan minder effectief is. Zonder deze laatste correctie kwam het warmtegebruik uit op 163 kWh/m².

Met bovenstaande correcties komt het warmtegebruik op 158 kWh/m² (zie Figuur 22). De relatieve piek in week 10 ten opzichte van het referentiebedrijf wordt veroorzaakt door het omdraaien van het glas waardoor de afdeling overdag noodgedwongen open was, waarvoor niet is gecorrigeerd.

Vergeleken met het referentiebedrijf (met alleen data van 2024) is het warmtegebruik in de proef minstens 20% lager. Als alleen gerekend wordt over de weken 1 t/m 42 van 2024, is dat verschil 23%.

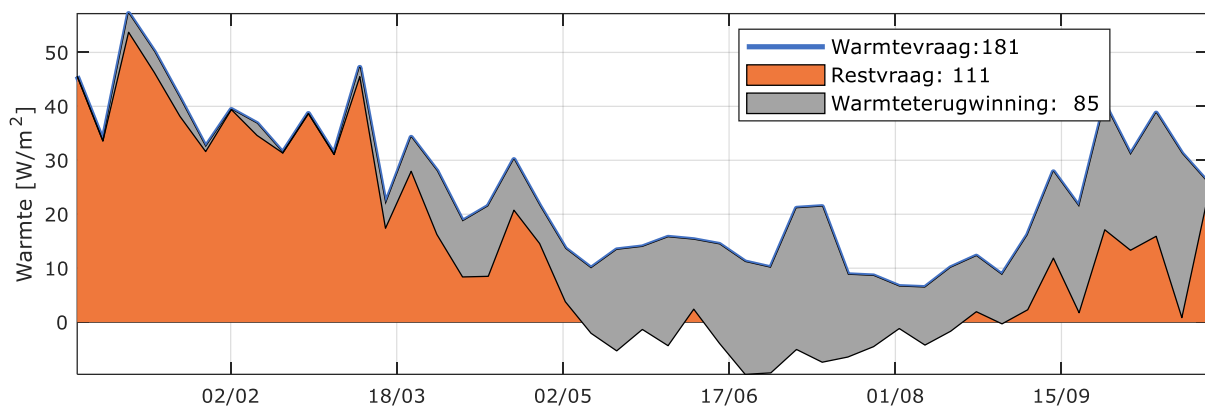


Figuur 22 Berekend/gecorrigeerd warmtegebruik (W/m²) van verwarmingsbuizen, LBU, en geschatte gevelverliezen (sommatie legenda in kWh/m²) vergeleken met het warmtegebruik van het referentiebedrijf.

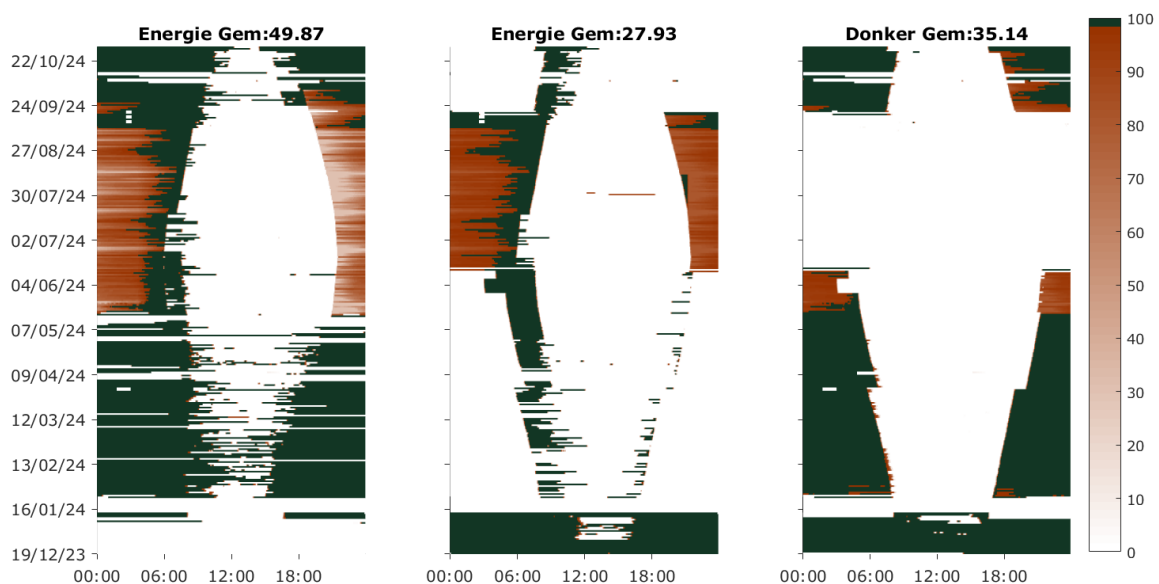
Om het energiegebruik zo veel mogelijk te beperken, werden de schermen maximaal ingezet (zie Figuur 24). Het aluminiumscherm werd, samen met een transparant energiescherm, met name gebruikt in de nacht in het voor- en najaar en werd geopend tussen zonsopkomst en zonsondergang. Het andere energiescherm bleef hierbij dicht, en eventueel werd een tweede energiescherm gesloten om buisvraag zo veel mogelijk te voorkomen. De schermstrategie werd gemonitord met een netto stralingsmeter en baseerde zich zo veel mogelijk op het beperken van buisgebruik. De totale uren dat de schermen meer dan 95% gesloten zijn, is voor het aluminiumscherm 2127 uur (waarvan 1897 uur volledig gesloten), voor het energiescherm op hetzelfde dradenbed 1627 uur (waarvan 1258 volledig gesloten), en voor het energiescherm op het andere dradenbed 3645 uur (waarvan 3483 uur volledig gesloten). Het energiescherm van het referentiebedrijf was 4500 uren gesloten, waarvan 3000 uren volledig. Mede door het intensieve schermen is de totale gemeten en ongecorrigeerde warmtevraag van deze afdeling met 2 buitengevels beperkt tot 181 kWh ofwel 20,61 m³/m² aardgasequivalenten. De warmtemeters hebben aangegeven dat 64 kWh/m² via de LBU is teruggewonnen uit de kaslucht. Inclusief elektrische aandrijving van de warmtepomp komt dat neer op 85 kWh/m² ofwel 9,66 m³/m² aardgasequivalenten beschikbare warmte (zie Figuur 23, warmteterugwinning). Het is niet goed mogelijk deze warmteterugwinning exact terug te rekenen naar wat deze geweest zou zijn als alle correcties zijn doorgevoerd. Zoals Figuur 23 laat zien, is er mid-zomer meer warmte teruggewonnen dan er warmtevraag was, resulterend in een restvraag (ongecorrigeerd) van 111 kWh/m² ofwel 12,67 m³/m² aardgasequivalenten die vooral is ontstaan in de winter en het vroege voorjaar.

Correcties op de warmtevraag spelen met name in de winter en voorjaar een forse rol, vergelijk Figuur 22 met Figuur 23. De teruggewonnen warmte is in die periode, hoewel klein, prima direct inzetbaar. De beperkte inzetbaarheid in de zomer kan dan op 2 manieren worden opgelost: a) er wordt minder energie in de warmtepomp gestopt zodat minder koude voor de ontvochtiging beschikbaar komt en dus ook minder warmte wordt geproduceerd maar er wordt meer "traditioneel" ontvochtigd via de ramen zodat er geen warmteoverschot ontstaat of b) warmteoverschotten uit de warmteterugwinning worden in een seizoensopslag als een aquifer gebracht voor later hergebruik.

Als we voor optie b systeem gaan, dan zou van de gecorrigeerde warmtevraag (158 kWh/m^2) een tekort van $(158-85)=73 \text{ kWh/m}^2$ ofwel $8.3 \text{ m}^3/\text{m}^2$ aardgasequivalenten overblijven, vooral geconcentreerd in de winter en het vroege voorjaar. Hiermee komt de resterende warmtebehoefte onder de tot doel gestelde 100 kWh/m^2 . Met andere woorden met 21 kWh/m^2 elektriciteit voor de warmtepomp, $5,8 \text{ kWh/m}^2$ elektriciteit voor de ventilatoren en 73 kWh/m^2 warmte ($8.3 \text{ m}^3/\text{m}^2$) is deze teelt dan geklimatiseerd, maar daar is dan wel een aquifer voor nodig.



Figuur 23 Gemeten en ongecorrigeerde warmtevraag, geogste warmte en restvraag (W/m^2). Data in legenda is in kWh/m^2 .



Figuur 24 Schermpositie (%) per 5 minuten van de twee energieschermen en het donkere aluminiumdoek. Het energiedoek 2 en het donkerdoek liggen op hetzelfde dradenbed.

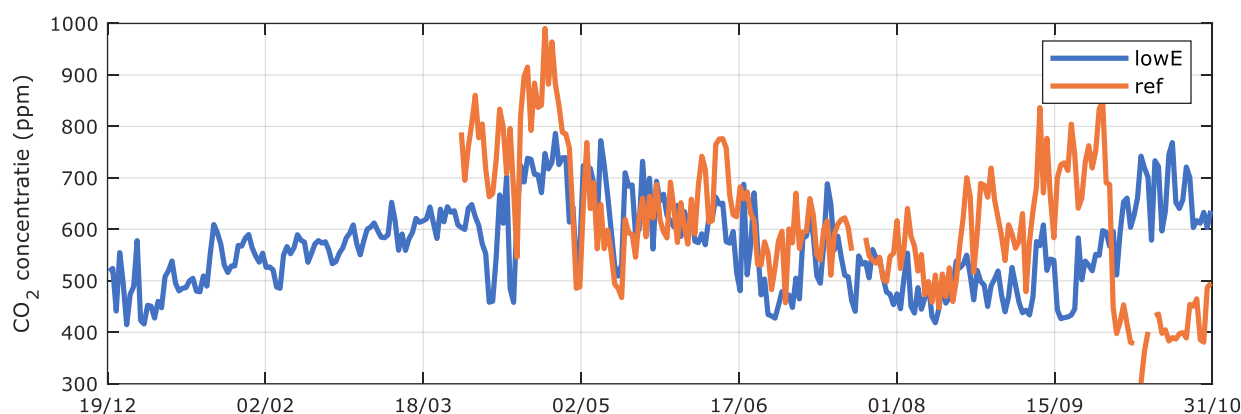
Door het gebruik van ontvochtiging met warmteterugwinning, is er in deze proef gestreefd naar energieneutraal op dagbasis. In mei is de eerste energieneutrale dag bereikt in de low- ϵ kas. Zodra er meer warmte werd gewonnen dan nodig was, werd de buitenklep vaker ingezet. Als de buitenklep werd ingezet voor het ontvochtigen, stond het koudeblok niet aan.

3.3 CO₂

Voorafgaand aan de proef is de doelstelling voor CO₂ gezet op een dosering van 15 kg/m² voor de gehele teelt. Hoewel bij voorgaande proeven met onbelichte paprika³ een CO₂ gebruik is gerealiseerd van 23 kg/m³, is besloten om te starten met dezelfde instellingen als uitgangspunt. De maximale doseersnelheid werd gezet op 150 kg CO₂/(ha.uur) met een afbouw op luchtuitwisselingsnelheid, een regelvariabele in de Priva klimaatcomputer. In het traject van 18 naar 25 m³/(m².uur) werd de doseersnelheid verlaagd naar 100 kg CO₂/(ha.uur). De gemeten en berekende dosering is te zien in Figuur 28. In de week van 15 september is de dosering enkele dagen uitgezet om het effect van doseren nader te onderzoeken.

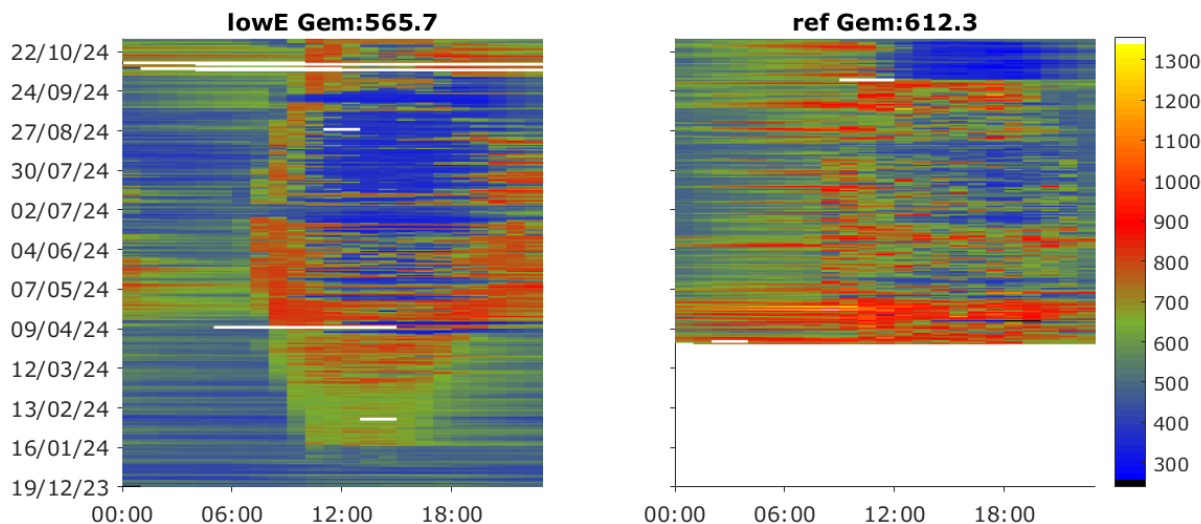
Vanaf week 20 bleek dat er meer CO₂-dosering werd gemeten dan van tevoren gepland. Ook werden er lage concentraties van op of onder de buitenwaarde (ca. 425 ppm) op de dag gemeten in de kas (zie Figuur 26 en Figuur 26) ondanks een forse gemeten doseersnelheid, Figuur 28. Na verschillende controles met sensoren, is er toen de conclusie getrokken dat de kas 'lek' is en dat de CO₂ doelstelling niet haalbaar was zonder productie te verliezen. Er is daarom in overleg met de BCO besloten de doelstelling te laten vervallen. Na het wegvallen van de doelstelling is er wel besloten om efficiënt om te gaan met de dosering. In juni is de afbouw op luchtuitwisseling scherper gezet. Het traject werd gezet van 15 naar 20 m³/(m².uur), waarmee de doseersnelheid werd verlaagd naar 50 kg CO₂/(ha.uur). Daarnaast is de CO₂ optimalisatie tool van B-mex erbij betrokken. Hierdoor werd er inzicht verkregen over de optimalisatie van de inzet van de CO₂. Na een maand van draaien gaf de tool aan dat er eerder gedoseerd moest worden en dan ook eerder stoppen met doseren. Deze adviezen zijn overgenomen.

In Figuur 25 is de gemiddelde concentratie overdag vergeleken met die van het referentiebedrijf. De concentratie bij de low- ϵ kas blijkt vooral rond eind april en vanaf half augustus onder die van de referentie te liggen. Als in Figuur 26 de concentratie per uur wordt vergeleken, dan blijkt de concentratie bij de low- ϵ kas vooral midden op de dag achter te blijven bij de referentie. Vanaf begin mei komt deze dan al regelmatig onder de buitenwaarde. Dus op de momenten met het meeste zonlicht, is er onvoldoende CO₂ beschikbaar om dat zonlicht optimaal te benutten voor de fotosynthese.



Figuur 25 Gemiddelde CO₂-concentratie overdag (ppm) in de Low- ϵ kas en vanaf 29 maart bij het referentiebedrijf.

³ Oudshoorn, B. en Helmus-Schuddebeurs, L. (2024) *Naar een fossielvrije en weerbare paprikateelt*. Delphy Improvement Centre.

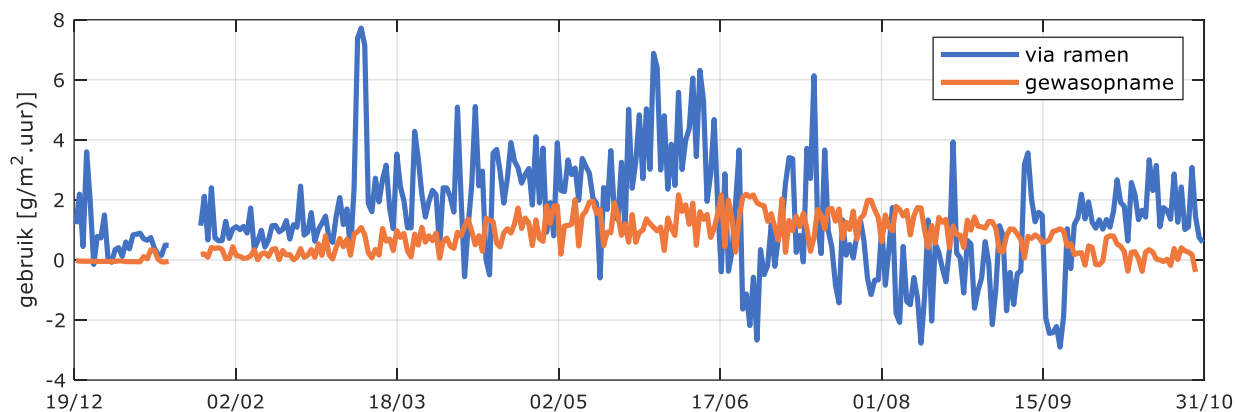


Figuur 26 Gemeten CO₂ concentratie (ppm) bij de Low-ε kas en bij het referentiebedrijf.

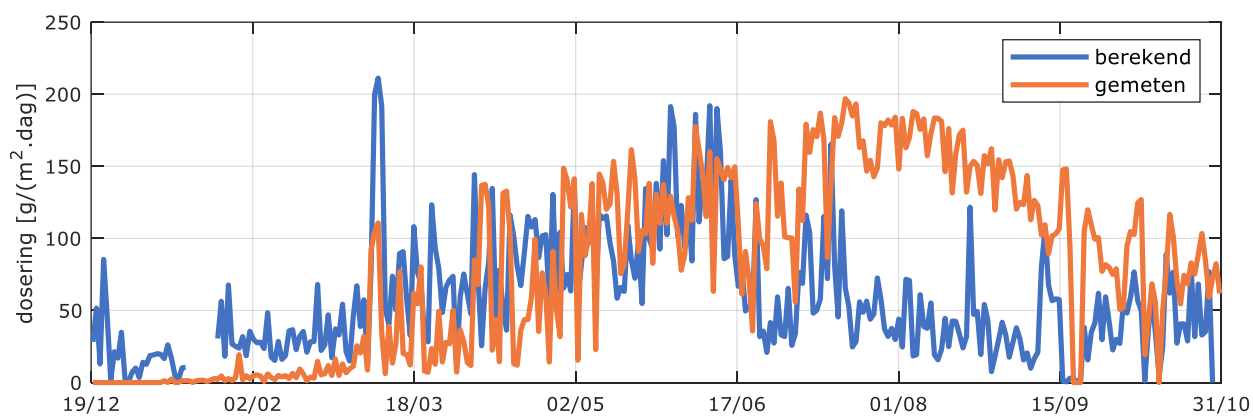
De aanname dat de afdeling een hoge lekventilatie heeft, is gebaseerd op de verbouwingen die voor en tijdens de proef hebben plaatsgevonden. Voor de proef is de kas omgedekt met het low-ε glas. Met het omdekken zijn de roedes schoongemaakt, wat deze kas dus meer 'lek' maakt dan een kas waarvan het glas er al jaren op ligt. Daarnaast zijn de ruiten ook nog een keer tijdens de teelt omgedraaid, omdat ze verkeerd-om lagen. Dit alles heeft alleen invloed op de lekventilatie van de kas voor de momenten dat de luchtramen dicht liggen. Volgens Figuur 19 is dat alleen het geval als er weinig licht is (ochtenden, avonden en de meeste dagen voor 1 april). Deze lekventilatie is niet verder bepaald.

Bij berekening achteraf lijkt lekventilatie dan ook niet zo'n relevante oorzaak van de lage CO₂ concentraties te zijn omdat deze vooral bij grote ventilatiestanden voorkomt en de lekventilatie verwaarloosbaar wordt, maar dat waarschijnlijk de dosering is tekortgeschoten. In onderstaande figuren is op basis van de hoeveelheid PAR, de raamstanden en de windsnelheid berekend hoeveel CO₂ verdwijnt via de ramen en wordt opgenomen door het gewas (Figuur 27). Dat is samen opgeteld de berekende hoeveelheid CO₂ die zou moeten zijn gedoseerd (Figuur 28). De berekening laat in de eerste 2 teeltweken relatief hoge waarden zien terwijl de ramen dichtlagen en er niet gedoseerd werd. Dit is niet goed te verklaren en analyse laat soms ook stijgingen in de CO₂ concentratie zien die mogelijk veroorzaakt worden door intrede van buurafdelingen. De berekende dosering ligt tussen 20 juni en 1 oktober veel lager dan de gemeten dosering. Aangezien de CO₂-concentratie in die periode geregeld onder de buitenwaarde (400 á 430 ppm) lag (zie Figuur 26), is dit verschil niet toe te schrijven aan een eventuele hoge ventilatiesnelheid van de afdeling.

De gemeten en berekende CO₂-doseringen per seizoen komen uit op respectievelijk 26 en 17 kg/(m².jaar), een verschil welke niet goed te verklaren is.



Figuur 27 Berekende CO_2 stromen via de luchtramen en de opname van het gewas ($\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{uur})$).



Figuur 28 Berekende en gemeten CO_2 -dosering.

4 Conclusies en discussie

Van december 2023 tot november 2024 is een aubergine teelt onder low- ϵ glas uitgevoerd. In de proef zijn een aantal bijzonderheden naar voren gekomen:

- In het begin van de teelt bleek de low- ϵ coating aan de onderzijde van het kasdek te zitten. Omdat de onderzijde vaak nat is, heeft low- ϵ dan geen effect. Daarom is het kasdek begin maart verdekt waardoor met de low- ϵ zijde aan de bovenzijde van het kasdek kwam. Er is tijdens deze werkzaamheden doorgeteeld.
- De specifieke besparing door de low- ϵ coating is niet uit slechts één kasproef te extraheren. Wel is het warmtegebruik fors lager geweest dan dat van het referentiebedrijf. Om zoveel mogelijk tot een praktijkconforme potentieel besparing te komen, zijn simulatieberekeningen uitgevoerd. Uit de simulaties is berekend dat een low- ϵ coating aan de bovenzijde 13% minder warmte gebruikt dan een low- ϵ coating aan de onderzijde van het kasdek. Dit komt doordat de onderzijde vrijwel altijd nat is, waardoor de coating de eigenschap van een lage emissie verliest, en glas met low- ϵ aan de onderzijde hetzelfde presteert vrijwel gelijk als standaard glas.
- De productie ligt 19% lager dan bij het referentiebedrijf. Dit is vooral te zien van het begin van de oogst tot week 28. Voor een deel, zeker tot het moment van ontdekken, begin maart is een duidelijke oorzaak, het lichtverlies van 13% vanwege ongunstige condensatie eigenschappen van het verkeerd gemonteerde kasdek. Deze invloed zou een uitloop op productie kunnen hebben tot rond week 14. Voor het verschil in de periode week 14 week 28 is dan ook geen goede verklaring te geven. In augustus, rond week 32, is voor het eerst melding is gemaakt van een Mucor aantasting en mogelijk een overmaat aan Macrolophus, waardoor zowel minder vruchten (bloemabortie) als onbalans ontstonden. Daarop zijn tellingen gestart van mucor aangetaste bloemen en is een drempel vastgesteld van 6 bloemen (per meetrij) waarboven actie ondernomen zou worden. Die drempel is niet overschreden volgens de tellingen. Het ligt dan ook niet in de verwachting dat mucor in de periode week 14 – week 28 een rol heeft gespeeld in de verlaagde productie. Uit analyse is wel gebleken dat in de maand mei er een sterk afwijkende RTR is gerealiseerd ten opzichte van het referentiebedrijf. Dit heeft mogelijk geleid tot een vegetatieve plantstand met negatieve gevolgen op het productiepotentieel.
- De CO₂-concentratie ligt tussen 20 juni en 1 oktober veel lager dan mag worden verwacht uit de gemeten dosering. Dit kan liggen aan een afwijkende CO₂-meter, of aan een afwijkende dosering. Ondanks diverse aanvullen checks van sensoren is hiervoor geen verklaring gevonden.
- De twee PAR-meters in de kas geven ongeveer 30% lagere waarden dan wat mag worden verwacht uit de transmissiemetingen en de stralingsmeters buiten. Het is bekend dat lichtmetingen in de kas erg afhankelijk zijn van de positie van de sensor. Voor het einde van de teeltperiode was duidelijk dat het gewas de sensoren gepasseerd was.

De doelstelling om met 100 kWh/m² aan warmte te telen, is niet behaald als wordt uitgegaan van de daadwerkelijk gebruikte warmte voor deze kleine afdeling met twee buitengevels. Als voor de gevelverliezen, de periode met het verkeerd gemonteerde glas gecorrigeerd wordt en als de direct inzetbare geïsoleerde warmte (64 kWh/m²) wordt afgetrokken van de warmtevraag, is de doelstelling wel ruimschoots behaald.

Met inzet van 21 kWh/m² elektriciteit voor de warmtepomp, 5,8 kWh/m² elektriciteit voor de ventilatoren en 73 kWh/m² warmte (8.3 m³/m²) is aan de (gecorrigeerde) warmtevraag van 158 kWh/m² voldaan. Hierbij is wel een warmtepomp nodig met een integrale COP van 4 aan de warme zijde. Hierbij is uitgegaan van seizoensopslag van warmte en koude (WKO), bijvoorbeeld in een aquifer.

De doelstelling om met 15 kg/m² aan CO₂ te telen is verreweg niet behaald, als wordt uitgegaan van de gemeten dosering (26 kg/m²). Als wordt uitgegaan van de berekende dosering (17 kg/m²) is de doelstelling maar net niet behaald.

De economische haalbaarheid van een low- ϵ kasdek hangt vooral af van de potentiële energiebesparing. Daarnaast kent het warmere low- ϵ glas vaak minder lichtverlies ten gevolge van condensatie doordat er minder vocht op condenseert en het dek dus meer uren droog is. Daartegenover kan door een hogere ventilatiebehoefte, omdat de kas sneller opwarmt, de CO₂-concentratie minder hoog oplopen dan bij standaardglas. Zowel de productie als de CO₂-concentratie hebben in de proef een ander beeld gegeven dan wat is verwacht.

Als alleen naar de energiebesparing wordt gekeken dan zou met 13% besparing op een warmtevraag van 193 bij het referentiebedrijf kWh/m², afhankelijk van de warmteprijs (van 25 tot 75 €/MWh), 0,63 tot 1,90 €/(m².jaar) kunnen worden bespaard. Bij een afschrijvingstermijn van 20 jaar en een rentevoet van 4%, zou de low- ϵ eigenschap van het kasdek dan 8,50 tot 25,60 €/m² kasoppervlak extra mogen kosten. Dit onder het voorbehoud dat de CO₂-behoefte en de productie gelijk blijven.

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen University & Research
BU Glastuinbouw
Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk
Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk
T +31 (0)317 48 56 06
E glastuinbouw@wur.nl
wur.nl/glastuinbouw

Rapport WPR-1510



De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.700 medewerkers (7.000 fte), 2.500 PhD- en EngD-kandidaten, 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.
