

Jaarrond energiezuinige aubergine met LED

Worldwide Expertise for Food & Flowers



Stijn Jochems¹, Linda Nooren¹, Stefan van den Boogaart²

1 Delphy Improvement Centre BV

2 Plant Lighting BV

Bleiswijk, Februari 2024

Projectnummer Kas als Energiebron: 555542

Onderstaande partijen zijn bij het project betrokken geweest als financier of uitvoerder:



Gewascommissie Aubergine



Ministerie van Landbouw,
Natuur en Voedselkwaliteit



Disclaimer

© 2024 Delphy Improvement Centre, Violierenweg 3, 2665 MV Bleiswijk, Tel. 010- 522 1771

Dit document is auteursrechtelijk beschermd.

Delphy is niet aansprakelijk voor eventuele schade als gevolg van gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen

Inhoudsopgave

Samenvatting	4
1. Inleiding	5
1.1. Doelstellingen	5
2. Aanpak en Kasinrichting	6
2.1. Kasinrichting	6
2.2. Registraties en metingen	6
3. Bladfotosynthese	7
3.1. Materiaal en methoden	7
4. Teeltplan	8
5. Resultaten en discussie	10
5.1. Buitenomstandigheden	10
5.2. Belichtingsstrategie	11
5.3. Klimaatstrategie	12
5.4. Schermstrategie, buisgebruik en energie	13
5.5. CO ₂	16
5.6. Fotosynthese metingen	16
5.7. Gewasontwikkeling en productie	18
6. Leerpunten en conclusies	22
7. Literatuur	23

Samenvatting

In 2040 wordt gestreefd naar een fossielvrije aubergineteelt. Voor een rendabele teelt is het daarbij belangrijk om het hele jaar door een hoge opbrengst van goede kwaliteit te leveren. Om dit te realiseren is energiezuinige belichting en een passende kasinrichting en temperatuurstrategie nodig om warmte- en CO₂ verlies zo veel mogelijk te beperken. Eerdere belichtingsproeven in aubergine waren niet succesvol door schade aan fotosysteem II. Die schade kan beperkt worden met de juiste belichtingsstrategie.

Op 14 oktober 2022 zijn rassen 10 OVB 127, Miley en Tracey (allen van Rijk Zwaan en geënt getopt op onderstam Kaiser, tevens Rijk Zwaan) geplant in de kas met plantdichtheid 1.25 stengels per vierkante meter. Op elke plant zijn vier stengels aangehouden.

Voorafgaand is een teeltplan opgesteld om assimilatenproductie en -verbruik op elkaar af te stemmen. De belichting is opgebouwd naar maximaal 15.5 uur per dag met 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ wat resulteerde in gemiddeld 11.7 mol/m^2 op gewasniveau gedurende het belichtingsseizoen. Daar werd een etmaaltemperatuur bij gerealiseerd van gemiddeld 20.6°C.

De totale elektra input was 117 kWh/m², die bereikt is door niet meer te belichten dan nodig op basis van assimilatenvraag en terug te dimmen overdag in het najaar en voorjaar. Door intensief te schermen met het verduisterscherf en energiescherf met spouw bleef de warmteinput in de belichte nacht en overdag beperkt. In de onbelichte nacht werd de meeste energie gebruikt om de kas op temperatuur te houden (in de winter gemiddeld 17°C), de totale warmtevraag over de gehele teelt was 16 m³/m².

Als gevolg van de belichting trad in alle rassen schade aan fotosysteem II op, met name bij Tracey. De schade in Miley en 10 OVB 127 bleef beperkt. Desondanks de hogere schade in Tracey was de productie in de winterperiode vergelijkbaar en over de hele teeltperiode iets hoger dan Miley (56.3 kg/m²) en 10 OVB 127 (57.4 kg/m²), namelijk 60.1 kg/m². In de belichtingsperiode werd gemiddeld 0.8-0.9 kg/m² gerealiseerd. Gedurende de winter werd het gewas als vegetatief beoordeeld, met visueel groot blad en krachtige groei, en de uitgroeiduur lag met 26 dagen ver boven wat in een normale teelt gerealiseerd wordt. Dat kan de assimilatenverdeling van het gewas negatief hebben beïnvloedt, wat een van de redenen kan zijn dat de productieprognose niet behaald werd. Ook de gemiddelde lichtsom (11.7 mol/m^2) was iets lager dan vooraf werd geprognostiseerd (12.9 mol/m^2). Vanaf het moment dat scheutvruchten (vruchten op getopte zijscheuten) worden aangehouden is de uitgroeiduur gedaald en werd de groei als generatiever beoordeeld. In de onbelichte periode is door een donker voorjaar een lagere productie gerealiseerd dan werd geprognostiseerd, en hoog drogestofpercentage van gemiddeld 6.5% in deze periode wijst op een sinklimitatie. Het licht, omgezet in assimilaten, lijkt niet maximaal te worden benut voor de vruchten. Het aanpassen van de klimaatstrategie en plantbelastingstrategie kan worden gezien als potentiële maatregelen om de productie in de winter en de onbelichte periode daarna een snellere uitgroeiduur en hogere productie te realiseren.

1. Inleiding

In 2040 moeten aubergines fossielvrij worden geteeld. Voor een rendabele teelt is jaarrond een hoge opbrengst van goede kwaliteit leveren van belang. In tomaat en komkommer is deze stap al gezet, ook vanuit aubergine zal deze stap gezet gaan worden. Dit vraagt een energiezuinige belichting, in combinatie met een passende kasinrichting en temperatuurstrategie om warmte- en CO₂ verlies zo veel mogelijk te beperken.

Er wordt al meerdere jaren onderzoek gedaan naar de toepassing van belichting in de teelt van aubergines. Proeven met belichting in de praktijk waren niet succesvol vanwege een veel lagere productie in de winter dan verwacht werd op basis van de gerealiseerde lichtsom. In het teeltseizoen 2019-20 is een proef opgezet bij Delphy Improvement Centre waar een strategie werd getoetst waarbij de vraag en aanmaak van assimilatie op elkaar werden aangepast (Helmus-schuddebeurs et al., 2021). Vroeg in de teelt werd echter al een sterk gereduceerde fotosynthese waargenomen. De oorzaak van dit verschijnsel lag in de lichtbenutting door fotosysteem II, die ver beneden normale waarden lag. Dit verklaart waarom de geprognostiseerde productie in de winterperiode niet werd behaald.

In het project 'Fundamentele kennisontwikkeling LED-belichting voor praktische toepassing in de kas' heeft Plant Lighting BV onderzoek gedaan naar de oorzaak van het probleem (van den Boogaart et al., 2022.). Daaruit bleek dat meerdere factoren van invloed zijn. Zo treedt schade eerder op bij een langere daglengte, waarbij 18 uur de meest extreme schade gaf. Ook onder een LED RB (95% rood, 5% blauw) spectrum treedt eerder schade op dan een breedband spectrum. Daarnaast treedt ook meer schade op bij een snelle opbouw van de belichtingsintensiteit en is er sprake van rasgevoeligheid.

In het kader van het streven naar een fossielvrije jaarrond teelt is het ook wenselijk dat de warmtevraag zoveel mogelijk door de belichting gerealiseerd kan worden, en zal met name in de belichte nacht de buisinput verlagen.

In dit onderzoek zijn verleden resultaten uit de kas- en klimaatkamerproeven gebruikt om tot een rendabele, energie efficiënte teelt van belichte aubergine te komen.

1.1. Doelstellingen

Energiedoelstellingen

- Belichting wordt alleen maar ingezet op gewasvraag, met het doel om zo efficiënt mogelijk het licht benut te laten worden. Er wordt gekozen voor dimbare LEDs waarmee extra elektriciteit bespaard kan worden t.o.v. niet dimbare LEDs. Met name in het voor- en najaar valt door terug te dimmen van de lampen te besparen waardoor maximaal 120kWh per m² gebruikt wordt voor de hele teelt. De belichtingssom wordt bepaald door de assimilatievraag van het gewas.
- Met maximaal 10 m³/m² gasverbruik wordt een aanzienlijke vermindering gerealiseerd ten opzichte van het praktijkniveau. Wanneer de warmtevraag tot dit niveau teruggebracht kan worden is de resterende warmtevraag middels actieve ontvochtiging in te vullen. Door het toepassen van principes van HNT, intensief schermen, en de warmte uit de belichting zo veel mogelijk te benutten wordt de warmtevraag zo ver mogelijk beperkt.
- CO₂ dosering afstellen op plantbalans en belichtingsstrategie. De streefwaarde in de kas is 700-800 ppm. De CO₂ doseercapaciteit wordt beperkt op basis van de berekende luchtuitwisseling en wordt teruggebracht van 150 kg/ha/uur naar maximaal 100 kg/ha/uur.

Teeltdoelstellingen

- Een auberginegewas in balans telen gedurende de teeltperiode oktober-september.
 - Plantbalans ook behouden in de omschakeling van belichte naar onbelichte periode
 - Geen schade aan het fotosysteem veroorzaken tijdens belichte periode
 - Het productiedoel van de totale teeltperiode ligt op 84 kg/m², waarbij in de belichtingsperiode minimaal 1 kg/m²/week gerealiseerd wordt.

2. Aanpak en Kasinrichting

2.1. Kasinrichting

In het project is er gekozen voor de rassen 10 OVB 127, Miley en Tracey op onderstam Kaiser (allen Rijk Zwaan). Dit is gelijk aan het hoofdtras van de eerdere teelten en zo kan een goed vergelijk gemaakt worden met de eerdere teelten.

- Plantdatum: 14 oktober 2022
- Eerste oogst: 24 november 2022
- Laatste oogst: 21 september 2023
- Aantal planten per m²: 1.25 planten/m²
- Stengeldichtheid: 5 stengels/m² (4 stengels per plant)

De uitrusting van de proefafdeling was als volgt:

Afdeling:	3.2, Delphy Improvement Centre, Bleiswijk (buitengevel op het zuiden)
Oppervlakte:	bruto opp.: 168 m ² , netto teeltoppervlakte: 139.2 m ² .
Traliebreedte:	9.60 meter
Poothoogte:	6.68 meter
Kasdek type:	Venlo dek
Glastype:	Saint Gobain Ultra Low Haze 2xAR.
Verwarming:	Buisrail en dubbele groeibuis.
CO ₂ dosering:	OCAP zuiver CO ₂ .
Klimaatcomputer:	Priva
Substraat:	Grodan Prestige
Scherminstallatie:	Obscura 9950 FR W 2X LUXOUS 1147 FR (Spouwscherm)
Belichtinginstallatie:	Signify TLC 1650 DRWFR 1 LB WB Belichtingsintensiteit op gewasniveau 200 µmol/m ² /s Spectrum 5% blauw, 9.5% Groen, 85.5% Rood + 11.4% FR

2.2. Registraties en metingen

Om de gewasontwikkeling in kaart te brengen zijn de volgende metingen wekelijks uitgevoerd voor twintig stengels per ras (10 OVB 127 en Miley):

- Kopdikte [mm]
- Wekelijkse lengtegroei [cm]
- Bladlengte [cm]
- Aantal bladeren per stengel
- Aantal bloemen per stengel
- Aantal vruchten per stengel
- Uitgroeiduur

Oogstwerkzaamheden werden driemaal per twee weken uitgevoerd, waarbij per oogst het drogestofpercentage van tien vruchten per ras werd bepaald (10 127 RZ, Miley RZ), van Tracey RZ (randrij) werden het drogestofpercentage van 5 vruchten bepaald.

3. Bladfotosynthese

Gedurende de belichtingsperiode is er frequent fotosynthese gemeten. Dit is wekelijks gemeten vanaf de aanvang van het belichtingsseizoen tot en met het einde hiervan om te monitoren of dat er schade aan het fotosynthese systeem ontstaat en in welke mate. De schade die bij aubergine onder belichting voor kan komen uit zich in een reductie van lichtbenutting voor het elektronentransport door fotosysteem II (Φ PSII). De mate van schade is afhankelijk van de fotoperiode, lichtintensiteit, het spectrum en de rassen (genetica) (Boogaart et al., 2022). De gekozen fotoperiode (max 16 h/d), lichtintensiteit ($200 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR) en het spectrum in deze proef zouden niet of nauwelijks tot een reductie in fotosynthese bij 10 OVB 127 moeten leiden terwijl bij Tracey er altijd wel enige schade zou ontstaan (Boogaart et al., 2022).

3.1. Materiaal en methoden

De metingen zijn met de LI-6800 draagbare fotosynthesemeter uitgevoerd aan de drie verschillende rassen die in de proef geteeld zijn, namelijk Tracey, Miley en 10 OVB 127 (allen met Kaiser als onderstam) geteeld bij full-LED (Figuur 3-1). De metingen zijn uitgevoerd op de jong volgroeide topbladeren. Er werd gemeten bij $200 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR en 800 ppm CO_2 en heersende temperaturen in de kas (10 herhalingen per meetmoment en behandeling).



Figuur 3-1. De LI-6800 draagbare fotosynthesemeter in de auberginekas. In de meetcuve kunnen PAR, CO_2 , temperatuur en vocht worden gevarieerd. Er is gekozen om te meten bij $200 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR en een vast CO_2 -gehalte van 800 ppm en temperatuur en vocht met de kasomstandigheden mee te variëren over de dag heen.

4. Teeltplan

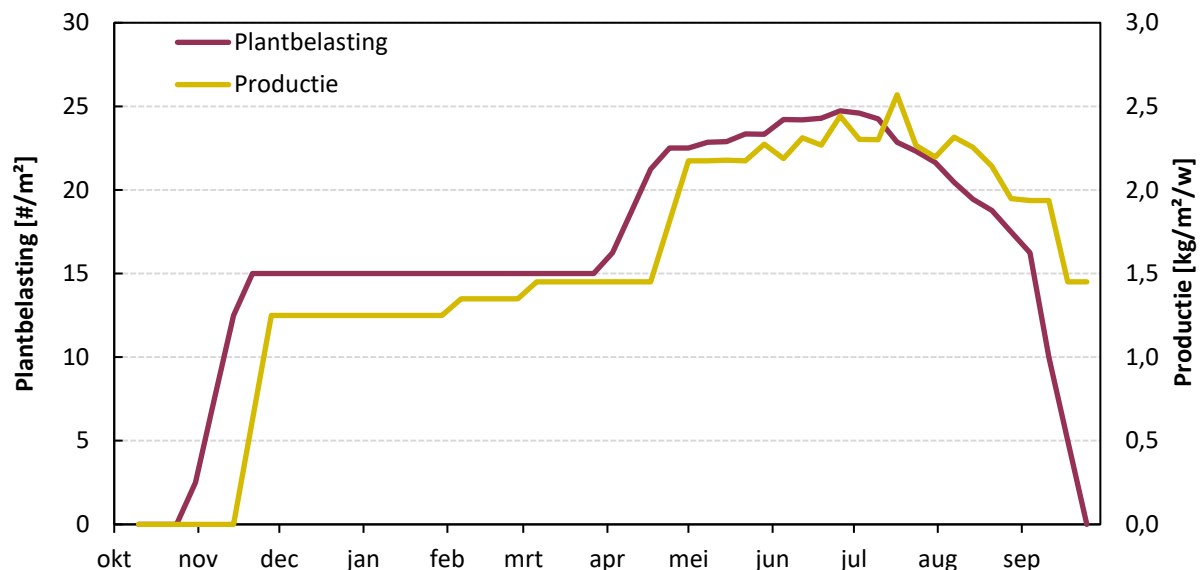
Voorafgaand aan de proef is een teeltplan gemaakt waarbij gestreefd is de aanmaak van assimilaten (source) en vraag naar assimilaten (sink) zo goed mogelijk in balans te houden, en een stabiele en zo hoog mogelijke productiviteit te realiseren.

Voor de teeltplanning is in eerste instantie gebruik gemaakt van weerstatistieken (10 jarig gemiddelde), verwachte kastransmissie gedurende de teelt, en de beschikbare belichting. Met die gegevens is per teeltweek uitgerekend hoeveel mol licht naar verwachting beschikbaar is. Daarop is de gewenste plantbelasting per teeltweek afgestemd. Aan het begin van de teelt is dit juist andersom gedaan: vanwege de plantopbouw met lage plantbelasting is de belichting hierop afgestemd.

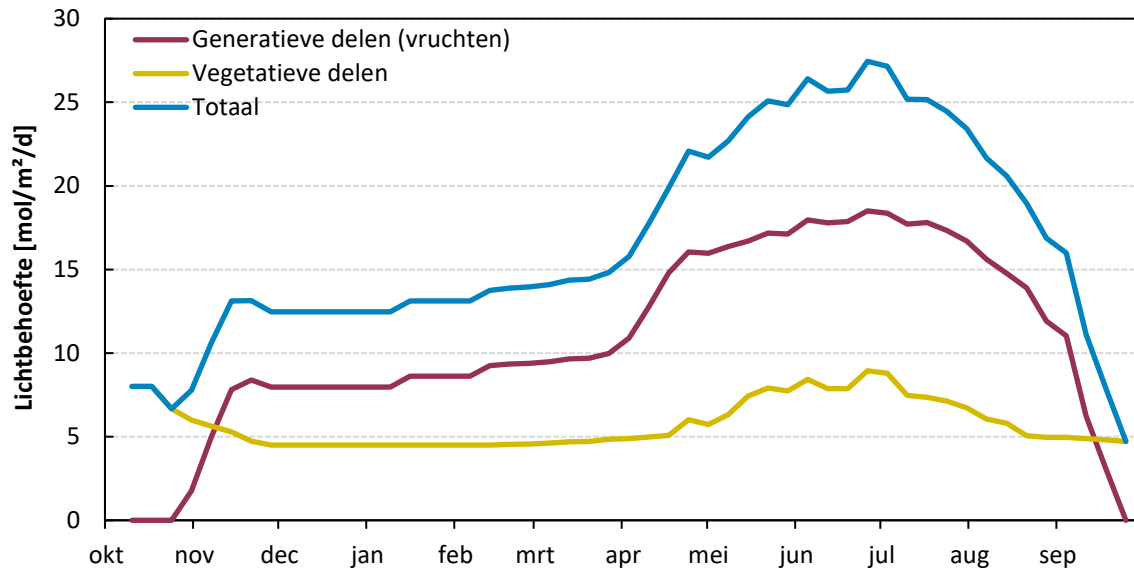
Het teeltplan had de volgende basis:

- Stengeldichtheid 5/m²
- Bladafsplitsing en vruchtzetting van 1 per week
- Rijpingstijd van 21 dagen

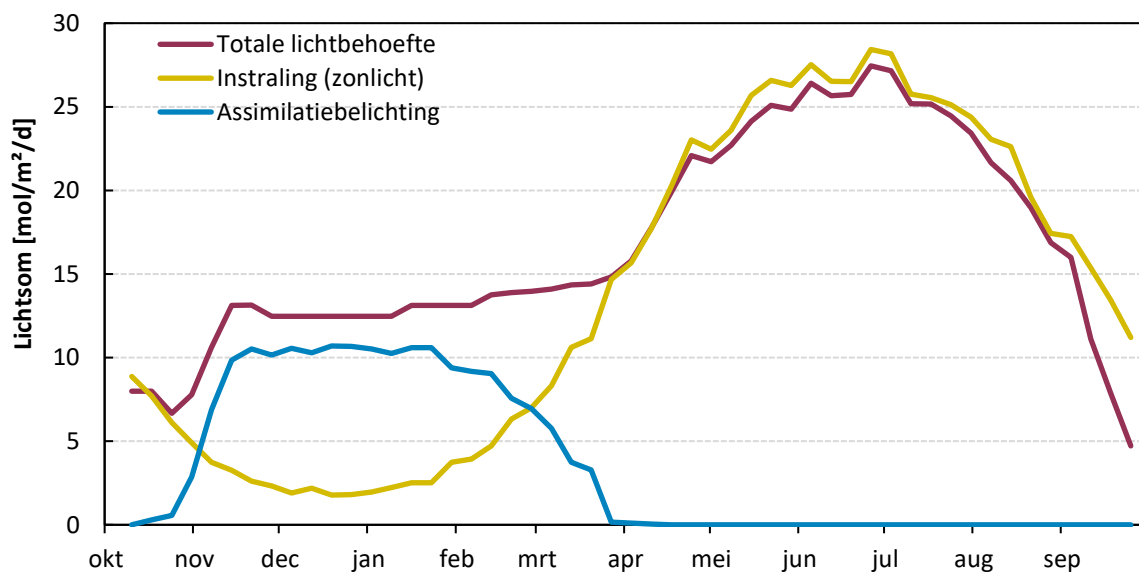
Dit resulteert in een geplande zetting van 5 vruchten/m²/week in de winter. Bij een vruchtgewicht van 250 gram zou dat 1.2 kg/m²/week aan oogst moeten opleveren. Doordat aubergine onrijp geoogst wordt met een vruchtgewicht bij oogst variërend van ±200-±350 gram, is er een ruime speelruimte in de sturing van de assimilatenvraag door vruchten meer of minder te laten uitgroeien voor oogst (behoudens eisen uit de markt ten aanzien van vruchtgewicht). Het teeltschema is samengevat in Figuur 4-1 t/m Figuur 4-3. Te zien is in Figuur 4-1 dat rond april de plantbelasting mocht oplopen, door zijstengels met vruchten aan te houden. Vanaf week 13 wordt er ook niet meer belicht (Figuur 4-3).



Figuur 4-1. Verwachte plantbelasting en geplande productie gedurende de teelt met plantdatum half oktober. De geplande productie in de winter is gebaseerd op 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR bijbelichting voor 15 uur per dag, resulterende in een totale lichtsom van lamplicht+daglicht van $\pm 13 \text{ mol}/\text{m}^2/\text{d}$. De productie neemt verder toe in het voorjaar wanneer de daglichtsommen boven de $13 \text{ mol}/\text{m}^2/\text{d}$ stijgen. Deze stijging is vrij abrupt, omdat in februari en maart de belichting langzaam wordt afgeschakeld.



Figuur 4-2. Lichtbehoefte aubergine. De lichtbehoefte is opgesplitst in vegetatieve en generatieve delen. De relatief hoge vraag van vegetatieve delen bij de start van de teelt komt door het feit dat het gewas op dat moment het licht nog niet volledig onderschept. Naarmate er meer licht beschikbaar is—vanaf week 13—gaat er relatief meer richting de generatieve delen, dit komt omdat op dat moment ook zij scheuten kunnen worden aangehouden en de vruchten zwaarder geoogst kunnen worden.

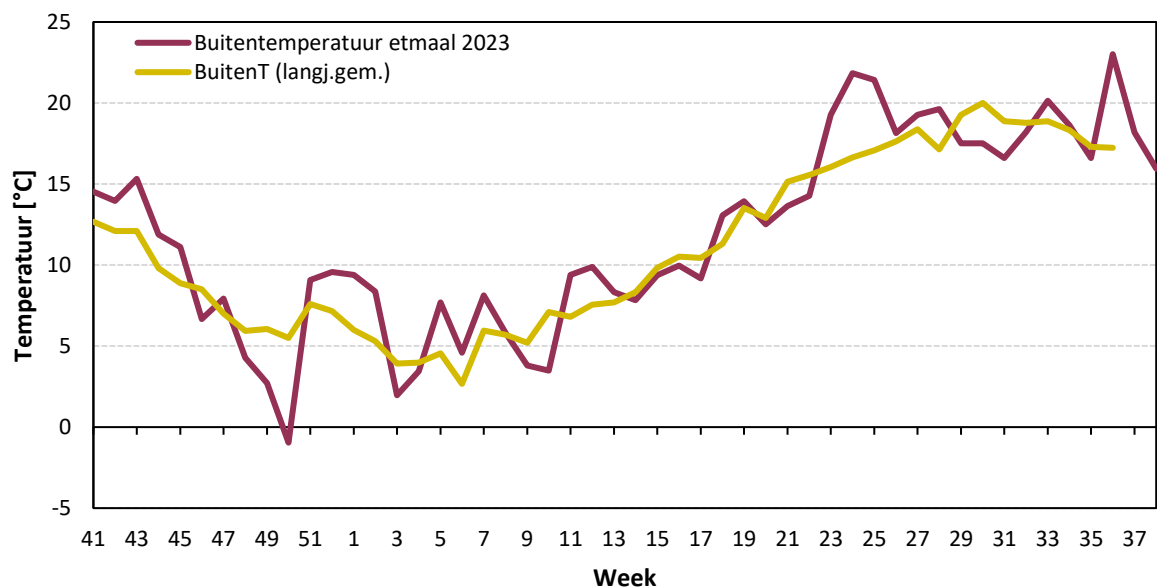


Figuur 4-3. Invulling van lichtbehoefte. Zonlicht wordt zo optimaal mogelijk gebruikt en er wordt niet meer belicht dan benodigd is op basis van de assimilatiebehoefte. De totale belichtingsbehoefte komt neer op 1750 uur/jaar met $200 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ PAR.

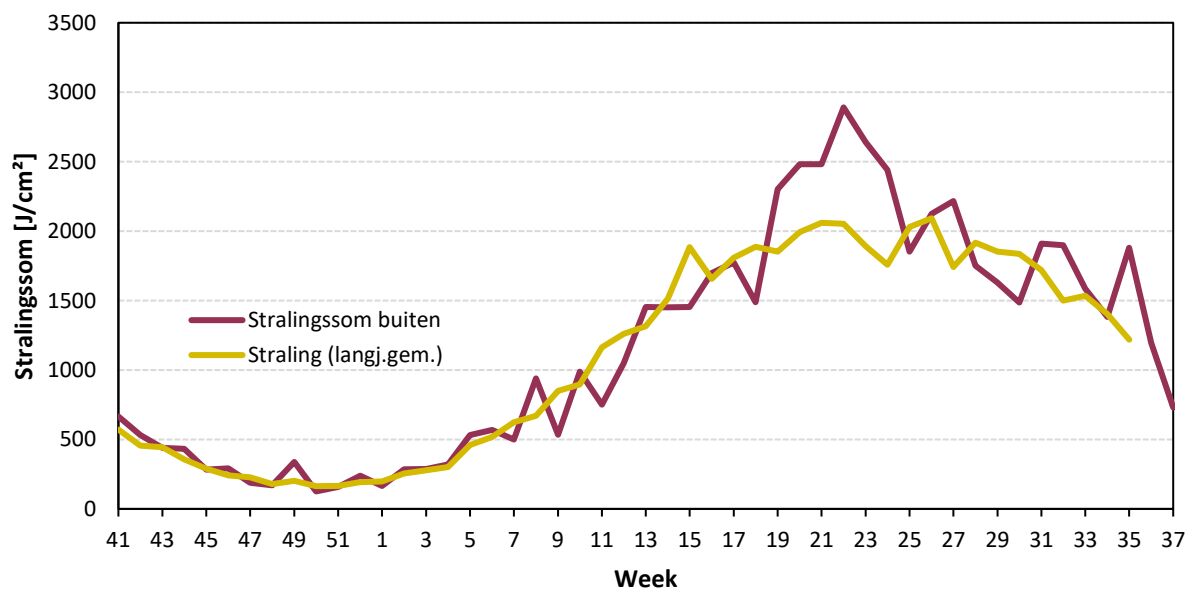
5. Resultaten en discussie

5.1. Buitenomstandigheden

Om de resultaten van dit project goed te kunnen interpreteren is het belangrijk om buitenomstandigheden gedurende het project mee te nemen. Aan het einde van het kalenderjaar was de buitentemperatuur fors gedaald tot onder het vriespunt. Dit is ruim 6 graden lager dan het langjarige gemiddelde in dezelfde periode. Daarentegen steeg de temperatuur in een periode van 1 week van -1°C naar bijna 10°C . In de zomermaanden tussen week 24-26 was de temperatuur met een gemiddeld etmaal van 21°C een stuk hoger dan het langjarige gemiddelde. In dezelfde zomerperiode was ook de stralingssom een stuk hoger dan verleden jaren. Met een piek van 2900 J/cm^2 was dit ruim 800 J/cm^2 meer dan het langjarig gemiddelde. De rest van het jaar was de gemiddelde straling over het algemeen lager dan het langjarige gemiddelde (Figuur 5-1 en Figuur 5-2).



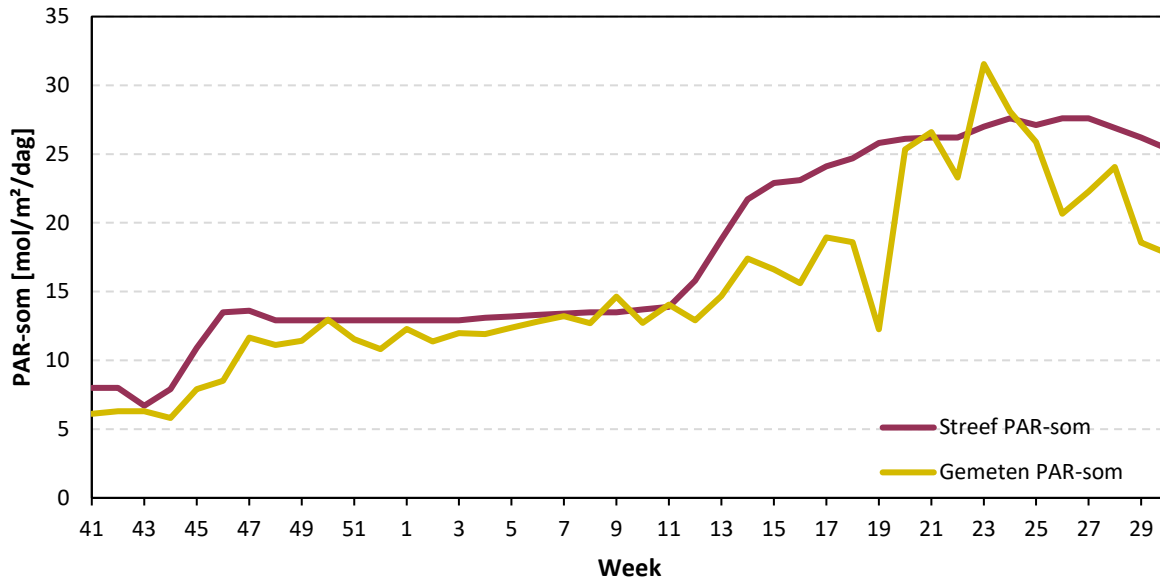
Figuur 5-1. Buitentemperatuur gedurende de proef vergeleken met het langjarige gemiddelde.



Figuur 5-2. Stralingssom gedurende de proef vergeleken met het langjarige gemiddelde.

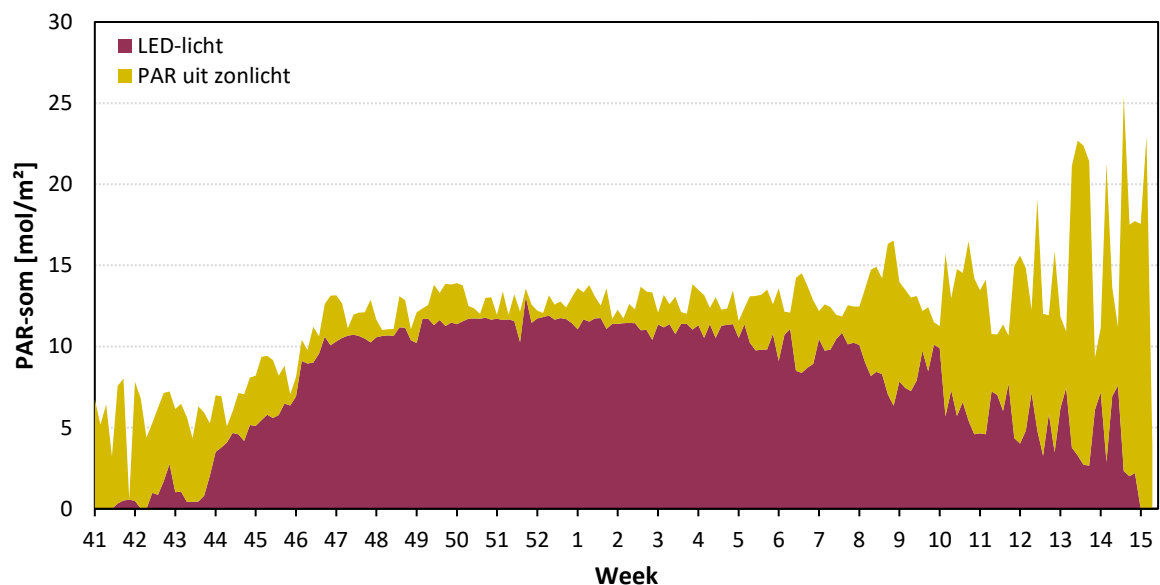
5.2. Belichtingsstrategie

Het uitgangspunt van de teelt van om maximaal 150 kWh/m² te gebruiken voor de gehele teelt. Dit werd gerealiseerd door middel van het vooraf opstellen van een teeltplanning en hierin niet meer te belichten dan volgens de behoefte van het gewas benodigd was. De opbouw van plantbelasting verliep iets trager dan de prognose, waardoor de belichting ook wat later opgevoerd is (Figuur 5-3). Het voorjaar was donkerder dan het langjarig gemiddelde.

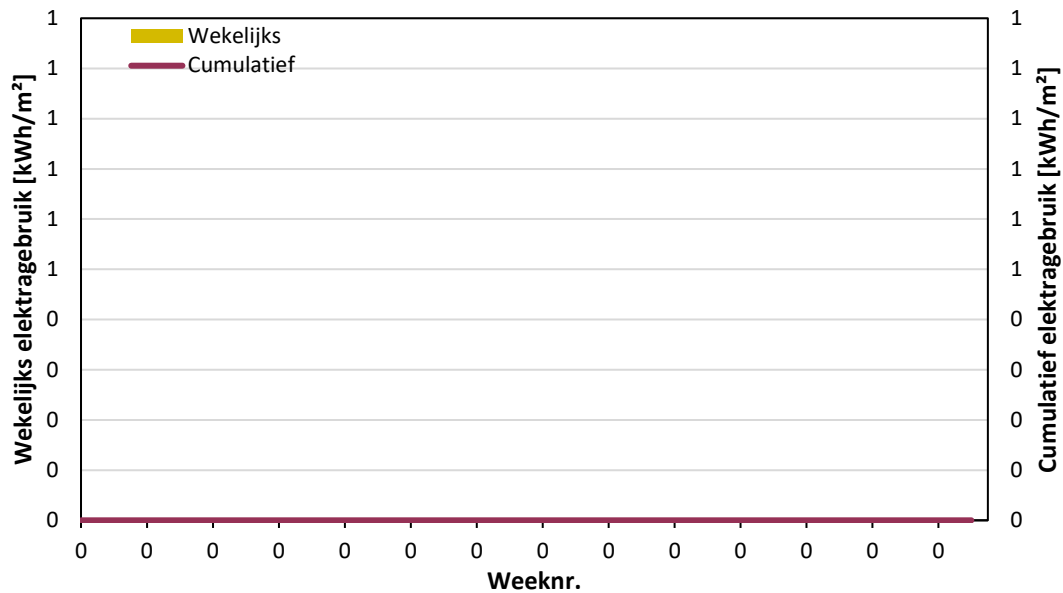


Figuur 5-3. Gerealiseerde lichtsom ten opzichte van de geprognostiseerde lichtsom op basis van plantbelasting. De grafiek bevat data t/m week 30, daarna groeiden de planten boven de PAR-sensor uit.

De belichting werd stapsgewijs opgebouwd om niet teveel te belichten in het begin van de teelt, en werd afgebouwd op basis van instraling in het voorjaar. Het aandeel belichting in de totale lichtsom is grafisch weergegeven in Figuur 5-4. In de winter wordt meer dan 90% van de totale lichtsom bepaald door de LED-belichting. Het uiteindelijke stroomverbruik van de belichting is 117 kWh/m². De belichting is eind week 15 volledig uitgezet (Figuur 5-5).



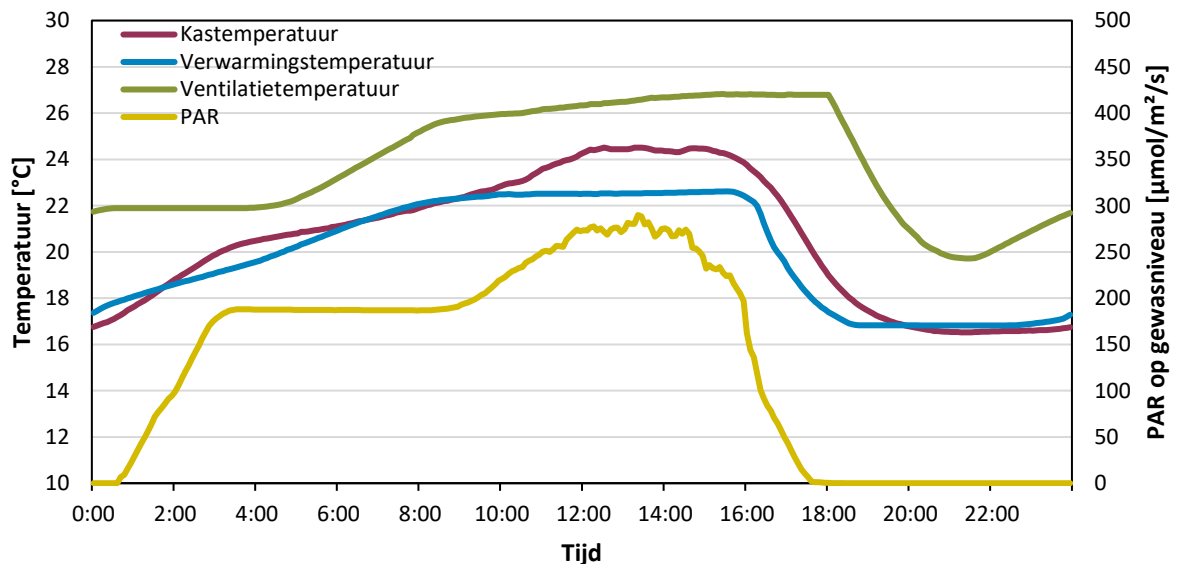
Figuur 5-4. Opbouw van PAR-som per dag in de belichtingsperiode.



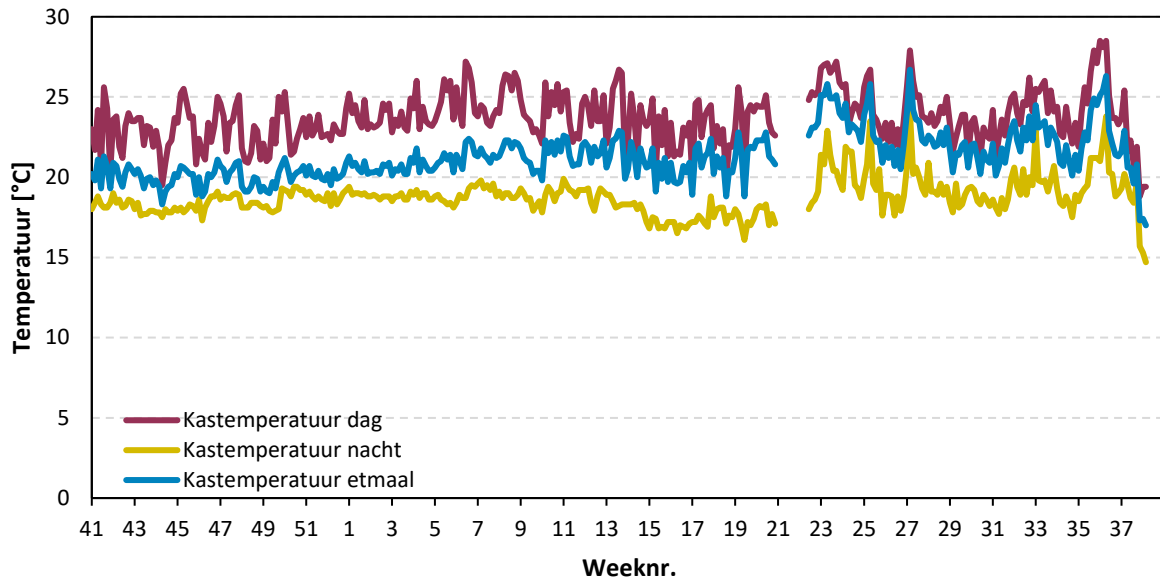
Figuur 5-5. Elektraverbruik per week en cumulatief.

5.3. Klimaatstrategie

Om de buisinput te beperken werd er actief geschermd om de lampwarmte vast te houden en daarmee de kas op temperatuur te houden. De gerealiseerde etmaaltemperatuur was in de winterperiode (tussen week 48 en week 8) gemiddeld 20.6°C). Het cyclisch verloop van de verwarmings-, ventilatie-, kasttemperatuur en gemeten PAR is weergegeven in Figuur 5-6. Op basis van overleg met de begeleidingscommissie is vanaf januari besloten een hogere etmaaltemperatuur na te streven om het uitgroeien van de vruchten te bevorderen. In deze periode, en in de onbelichte teeltperiode, werd een etmaaltemperatuur van minstens 21°C gerealiseerd, met een verhoging op de stralingssom (Figuur 5-7). In de winterperiode is duidelijk zichtbaar dat de lampen zorgen voor een temperatuurstijging rond 2:00-3:00. De meeste energie is nodig in de onbelichte nacht.



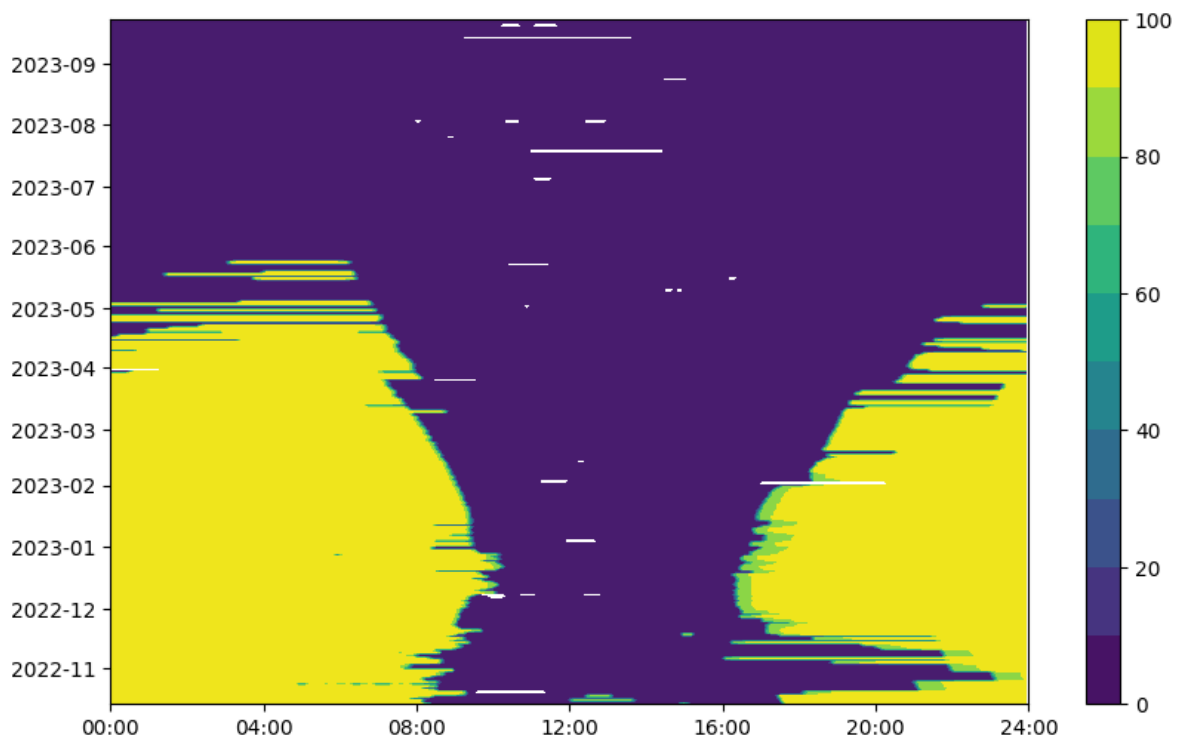
Figuur 5-6. Cyclisch verloop van de verwarmings-, ventilatie-, kasttemperatuur en gemeten PAR.



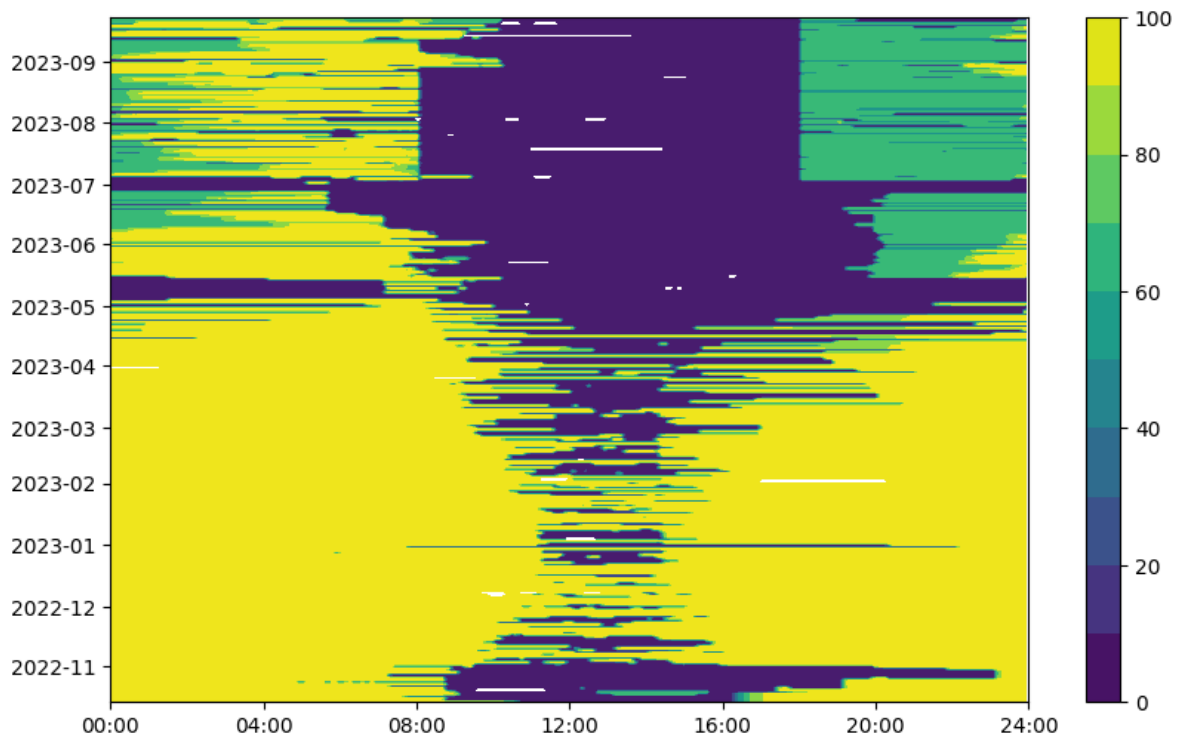
Figuur 5-7. Dag-, nacht- en etmaaltemperaturen per dag. In de belichte winterperiode (week 48 t/m week 8) is een gemiddelde etmaaltemperatuur van 20.6°C gerealiseerd. Door een storing is de data van een paar dagen in week 21 en week 22 niet geregistreerd.

5.4. Schermstrategie, buisgebruik en energie

De scherm- en buisstrategie bestond uit zoveel mogelijk schermen om de lampwarmte te benutten, efficiënt te ontvochtigen, en buisinbreng alleen op warmtevraag toe te laten. Het schermgebruik wordt grafisch weergegeven in Figuur 5-8 en Figuur 5-9. In de belichte nacht werd zowel het energiescherm met spouw en verduisterscherm gesloten. Er werd niet gekierd, de relatieve luchtvochtigheid was maximaal 85% en leidde niet tot problemen. Het energiescherm werd in de winter minstens eens per drie dagen geopend.

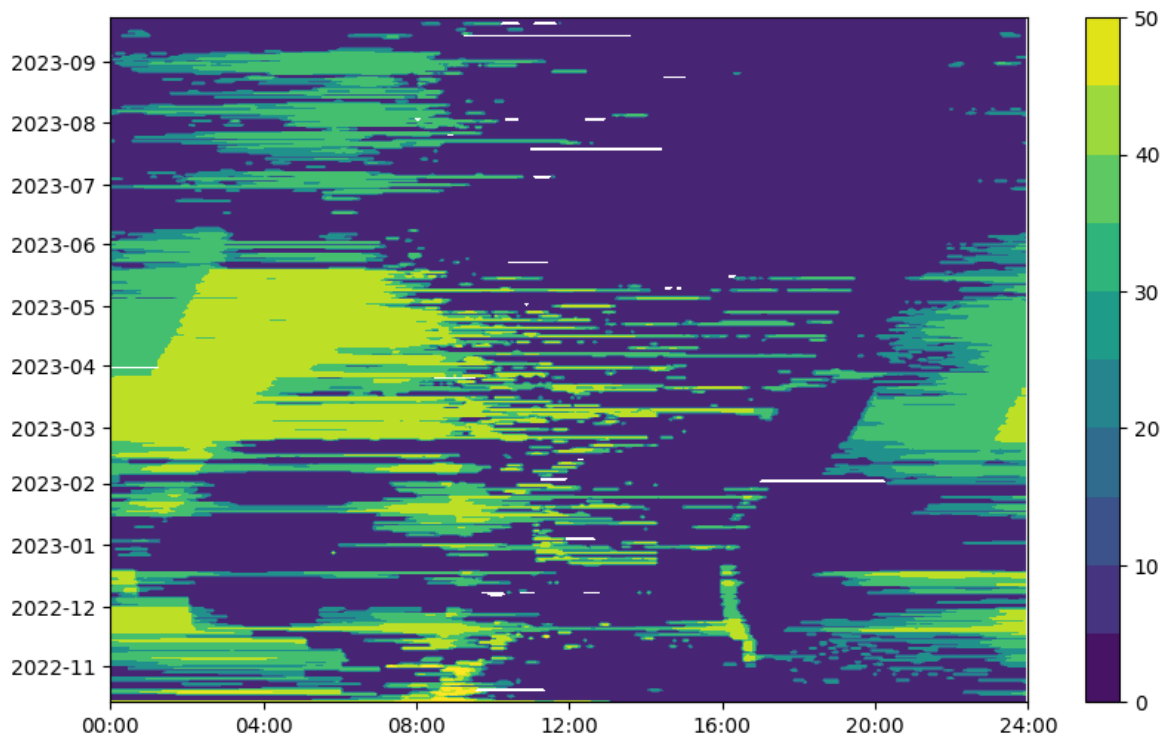


Figuur 5-8. Grafische weergave verduisterscherm, met op de X-as het cyclisch verloop, de linkeras de tijd in maanden en rechts de kleurschaal.

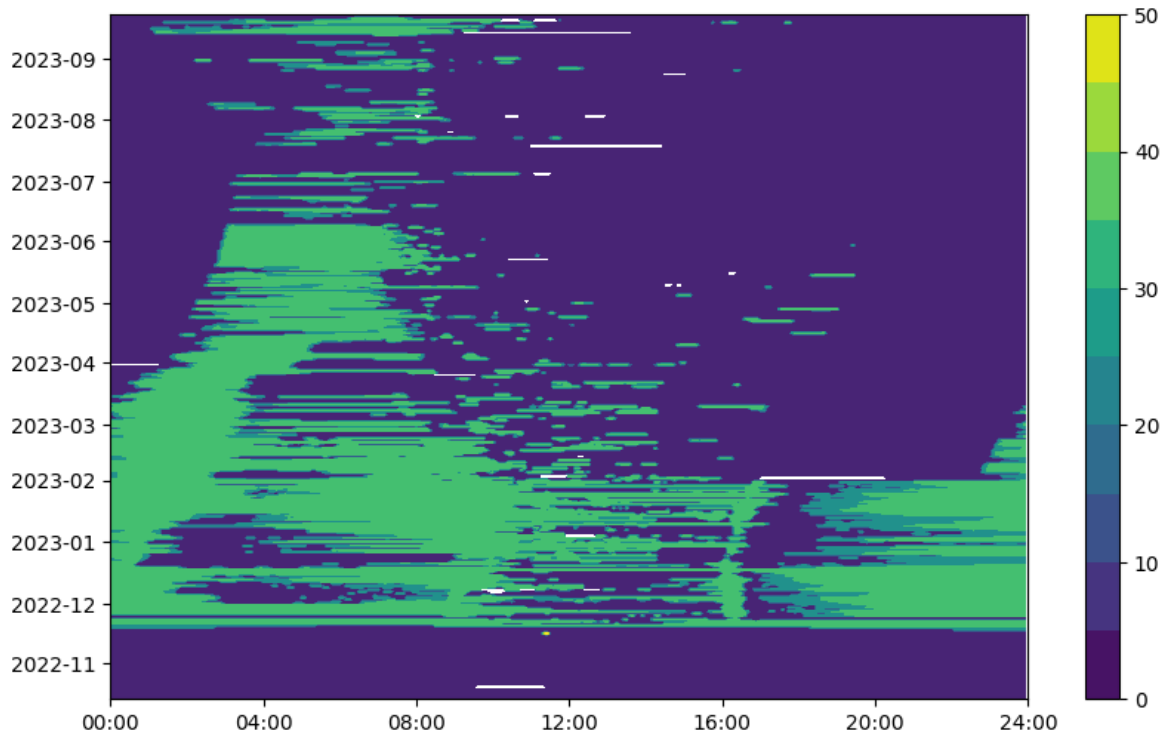


Figuur 5-9. Grafische weergave energiescherm, met op de X-as het cyclisch verloop, de linkeras de tijd in maanden en rechts de kleurschaal.

In de belichtingsperiode is de meeste warmte in de onbelichte nacht verbruikt. In Figuur 5-10 en Figuur 5-11 is het cyclische verloop te zien van de buisrail en groeibuis. De buisrail is in de start van de teelt als primair net gebruikt. De (beweegbare) groeibuis werd eind november ingezet als primair net om meer warmte bij de vruchten te krijgen. Omdat een rookproef uitwees dat er weinig luchtbeweging is rondom de planten, is eind februari het buisrailnet weer gebruikt als primair net om meer luchtbeweging van onderuit te creëren.

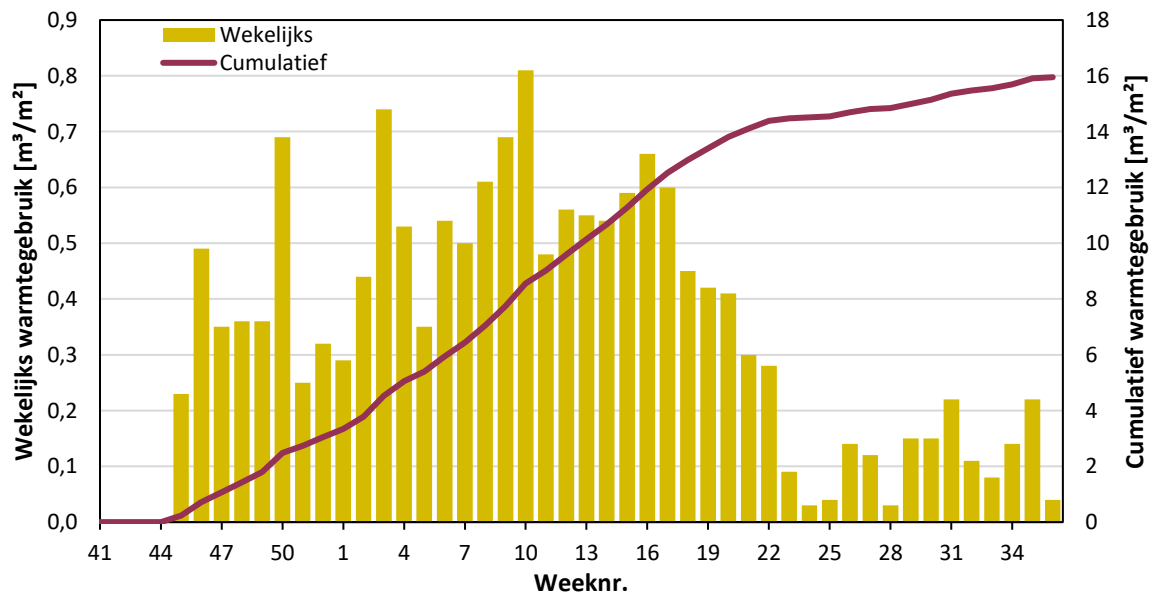


Figuur 5-10. Grafische weergave input buisrail, met op de X-as het cyclisch verloop, de linkeras de tijd in maanden en rechts de kleurschaal.



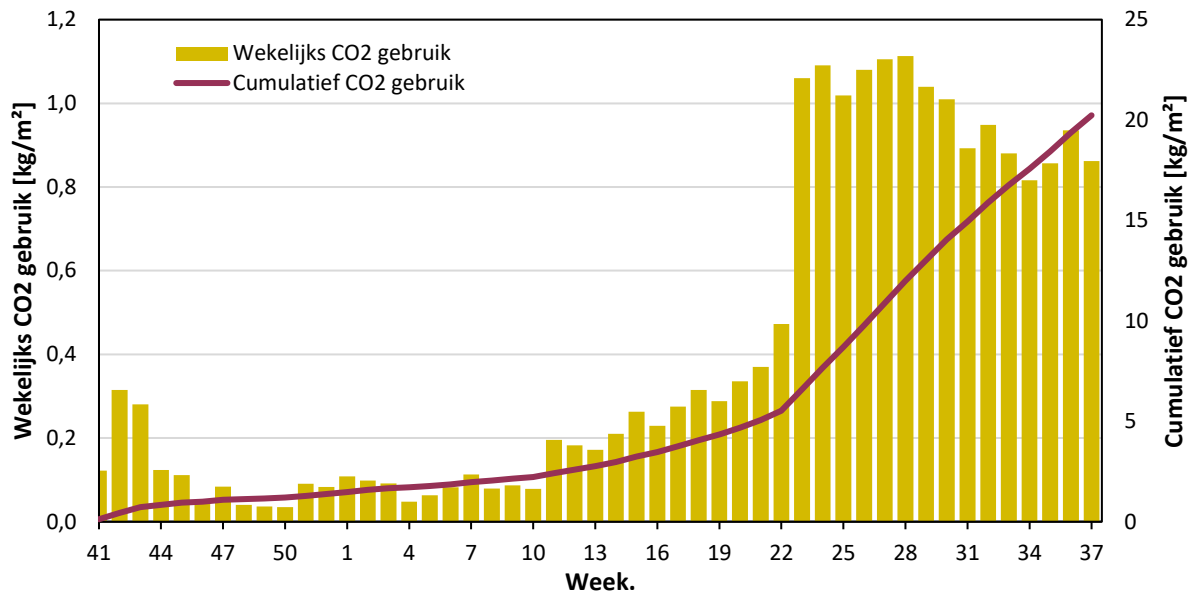
Figuur 5-11. Grafische weergave input groeibuis, met op de X-as het cyclisch verloop, de linkeras de tijd in maanden en rechts de kleurschaal.

De doelstelling van 10 m³/m² gasverbruik voor de gehele teelt is niet gehaald. Aan het begin van de teelt is er zo min mogelijk buiswarmte in de afdeling gebracht door intensief te screenen, lampwarmte te benutten en een lagere temperatuur toe te laten. Hoewel energiezuinig, zorgde deze strategie niet voor het beste teeltresultaat en daarmee een rendabele teelt. De uitgroeiduur nam toe, vruchten begonnen te stapelen en de productie was niet op het gewenste niveau (wordt verder toegelicht in Paragraaf 5.7 van dit rapport). Het cumulatieve gasverbruik is boven de doelstelling uitgekomen. De beperking tot 10 m³/m² bleek niet voldoende om de gewenste temperaturen te halen. Samen met de betrokkenen en Kas als Energiebron besloten om de doelstelling van 10 m³/m² gasverbruik los te laten en te focussen op een rendabel teeltresultaat, waarbij de energie wel maximaal werd benut. Uiteindelijk is er voor de volledige teelt een kleine 16 m³/m² gas nodig geweest.



5.5. CO₂

De CO₂ strategie was erop gericht de dosering zoveel mogelijk af te stellen op plantbalans en belichtingsstrategie. In de winterperiode met belichting kon met een lage dosering de gewenste CO₂-waarde (700-800 ppm) gehaald worden. Hierdoor werd het gegeven licht maximaal omgezet in assimilaten en productie. In de zomer werd de dosering afgebouwd op basis van luchtuitwisseling. De totale dosering zat net boven de 20 kg/m² om de concentratie in de kas rond 450 ppm te houden.



Figuur 5-12. Grafisch verloop gedoseerde CO₂ gedurende de teelt.

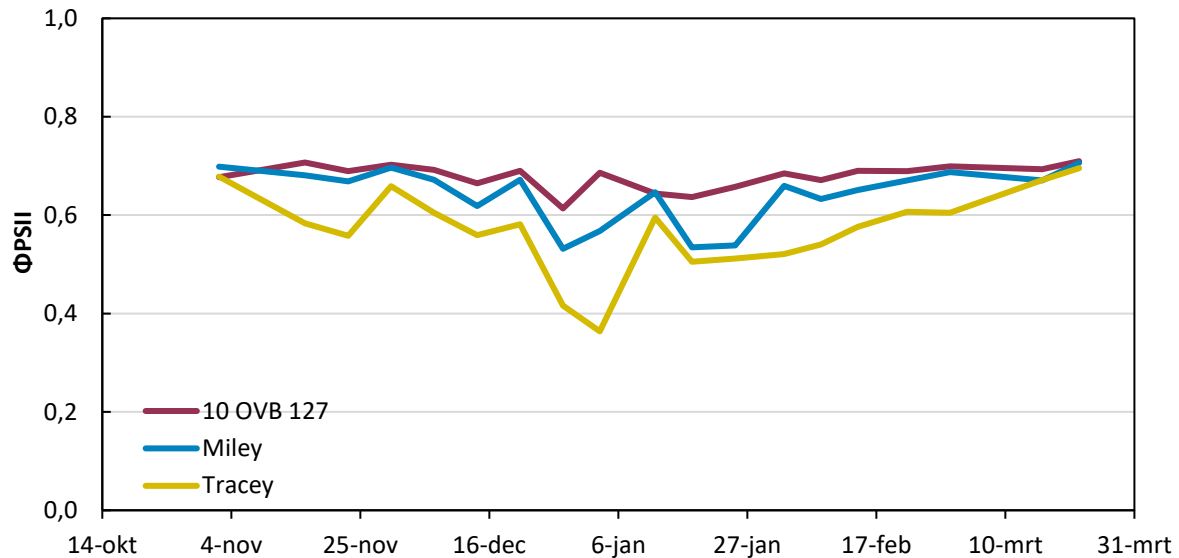
5.6. Fotosynthese metingen

Tijdens het belichtingsseizoen is er schade geconstateerd aan het fotosynthese-systeem (NB visueel niet zichtbaar voor het menselijk oog). Bij aanvang van het belichtingsseizoen waren alle drie de rassen nog vrij van schade. De Φ PSII was op dat moment namelijk gemiddeld 0.68 bij 200 μ mol/m²/s PAR en 800 ppm CO₂ (Figuur 5-13), bij een optimaal functionerend blad kan een Φ PSII van 0.70 worden verwacht bij deze omstandigheden. Ook de netto CO₂-opname was op dit moment nog goed, namelijk gemiddeld 11 μ mol/m²/s (Figuur 5-14), waarbij dit onder optimale omstandigheden rond de 11.5 μ mol/m²/s ligt. De netto CO₂-opname wordt sterker beïnvloed door de klimaatomstandigheden dan de Φ PSII. Wanneer de bladtemperatuur toeneemt stijgt de onderhoudsademhaling, dit heeft een direct negatief effect op de netto CO₂-opname door de verhoogde onderhoudsademhaling. Dit resulteert in een minder stabiele grafiek voor netto CO₂-opname dan de grafiek voor Φ PSII.

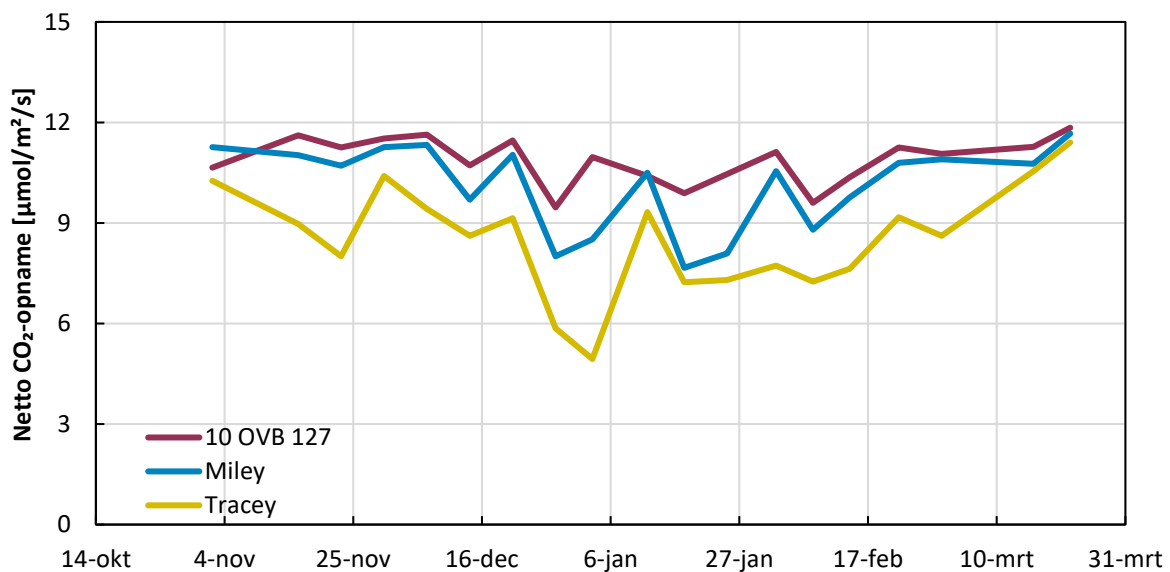
Direct aan het begin van het belichtingseizoen, november, laat Tracey schade zien, ondanks dat er in deze periode nog niet maximaal wordt belicht. Miley en 10 OVB 127 blijven wel vrij van schade in deze periode. Rondom de donkerste dagen van het jaar, december en januari, is er bij alle rassen schade waarneembaar. Wel is de schade het grootst bij Tracey, gevolgd door Miley en 10 OVB 127. Daarbij was de schade voor de 10 OVB 127 zeer beperkt, deze zat namelijk op het dieptepunt nog altijd op 90% van diens oorspronkelijke efficiëntie. Vanaf februari is langzaam herstel bij Tracey, welke duurt tot begin maart. Bij Miley en 10 OVB 127 is er vanaf februari al geen sprake meer van schade aan het fotosynthese-systeem.

De assimilatenproductie bij 10 OVB 127 heeft bij 200 μ mol/m²/s PAR dus weinig beperkingen gekend. Wel zou het kunnen zijn dat bij hogere lichtintensiteiten er verminderde fotosynthese-efficiëntie was, maar de momenten met meer dan 200 μ mol/m²/s PAR blijven in de wintermaanden zeer beperkt. Bij Tracey lag de gemiddelde efficiëntie van de topbladeren in de winter op 80% ten opzichte van een gezond blad bij 200 μ mol/m²/s PAR. Dus vanuit fotosynthese gezien is er een fors potentieverlies op de assimilatenproductie bij Tracey. Een gezonde Tracey zou dus meer

kunnen produceren dan dat er gerealiseerd is. Wel is de geconstateerde schade uiteindelijk fors minder dan de winterproef 2019-2020 waarbij CO₂-opnames de gehele winter niet boven de 4 uitkwamen bij Tracey onder full-LED (Helmus-schuddebeurs et al., 2021).



Figuur 5-13. De ontwikkeling van de Φ_{PSII} (lichtreactie) van onbeschaduwde topbladeren gedurende de belichte wintermaanden van de teelt. De metingen zijn verricht bij 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR en 800 ppm CO₂. Onder ideale omstandigheden zou de Φ_{PSII} ~0.7 zijn bij de gegeven omstandigheden. De Φ_{PSII} gegevens zijn stabiel over de tijd, omdat deze minder afhankelijk zijn van de momentane klimaatsomstandigheden.



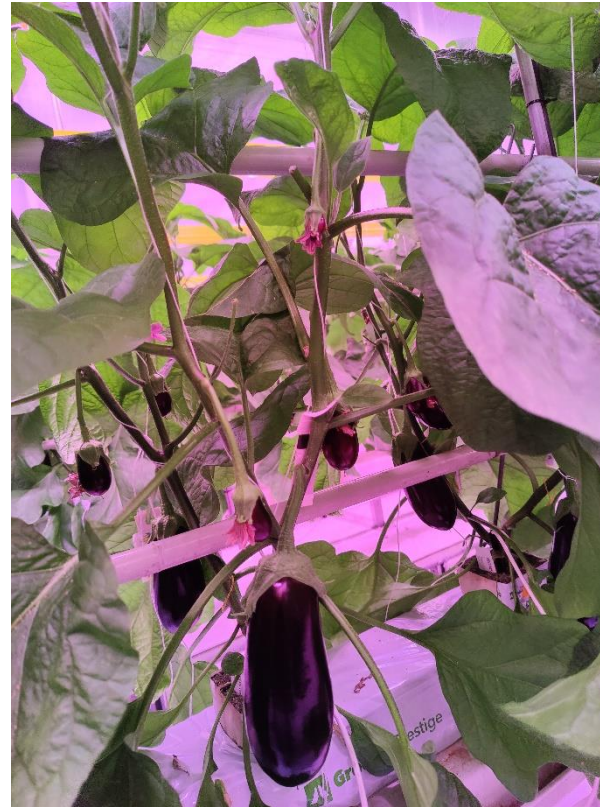
Figuur 5-14. De ontwikkeling van de netto CO₂-opname van onbeschaduwde topbladeren gedurende de belichte wintermaanden van de teelt. De metingen zijn verricht bij 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR en 800 ppm CO₂. Onder ideale omstandigheden zou de netto CO₂-opname ~11.5 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ zijn bij de gegeven omstandigheden. Tracey functioneerde duidelijk het minst van de drie rassen. De grootste reductie lag rond de donkerste dag (december en januari).

5.7. Gewasontwikkeling en productie

Het geënt getopte plantmateriaal groeide na planting goed weg met een goede uniformiteit. In de beginfase is niet te veel belicht om de plant niet te sterk (vegetatief) te laten groeien. Naarmate de buitenomstandigheden donkerder werden en de lichtsom uit de LED werd opgebouwd, viel op dat zowel 10 OVB 127 als Miley grote bladeren maakten en vegetatief groeide (Figuur 5-15). Desondanks de vegetatieve groei werd bloemkwaliteit als goed beoordeeld en verliep de zetting zonder problemen (Figuur 5-16).

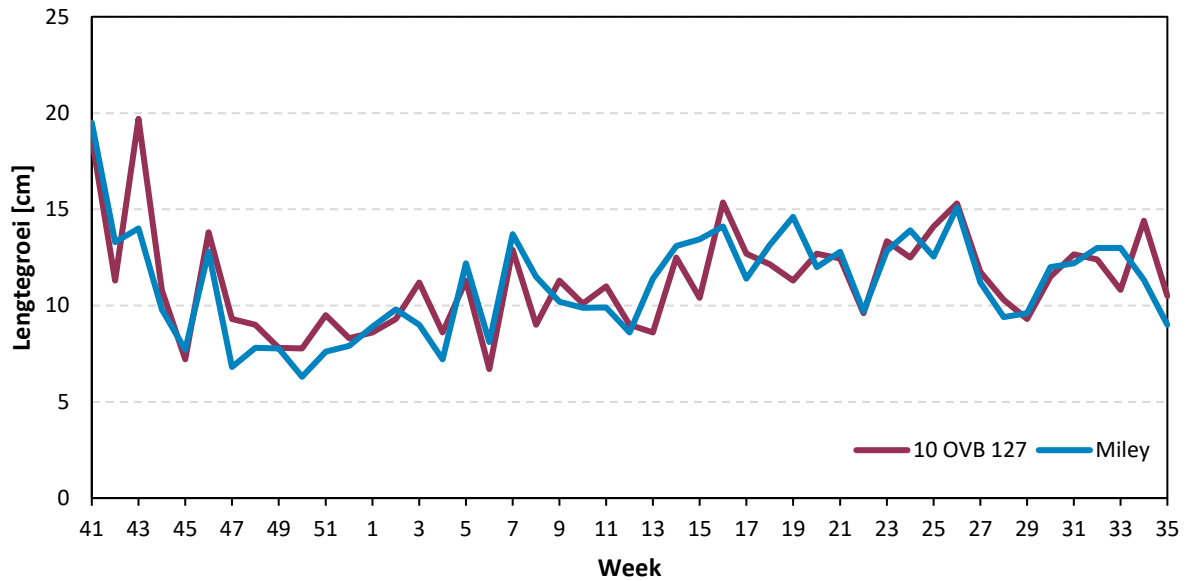


Figuur 5-15. Grote bladeren in Miley (foto genomen 23-11-2022).



Figuur 5-16. Goede vruchtopvolging bij 10 OVB 127 (foto genomen 23-11-2022).

De gemiddelde lengtegroei per week stabiliseerde in de belichtingsperiode tot 8-10 cm voor beide rassen (Figuur 5-16). Met toenemende lichtsommen en temperaturen in het voorjaar werd 10-15 cm wekelijkse groei gerealiseerd. De totale cumulatieve lengte was 529 cm voor 10 OVB 127, Miley groeide gemiddeld tot 521 cm. Naarmate het einde van de teelt moest de verticale ventilator uit worden gezet om te voorkomen dat er een te hoge luchtstroming langs de planten recht onder de ventilator ontstond, en kon de PAR, temperatuur van de kaslucht en plant niet goed gemeten worden omdat de sensoren niet hoger opgehangen konden worden (Figuur 5-18).

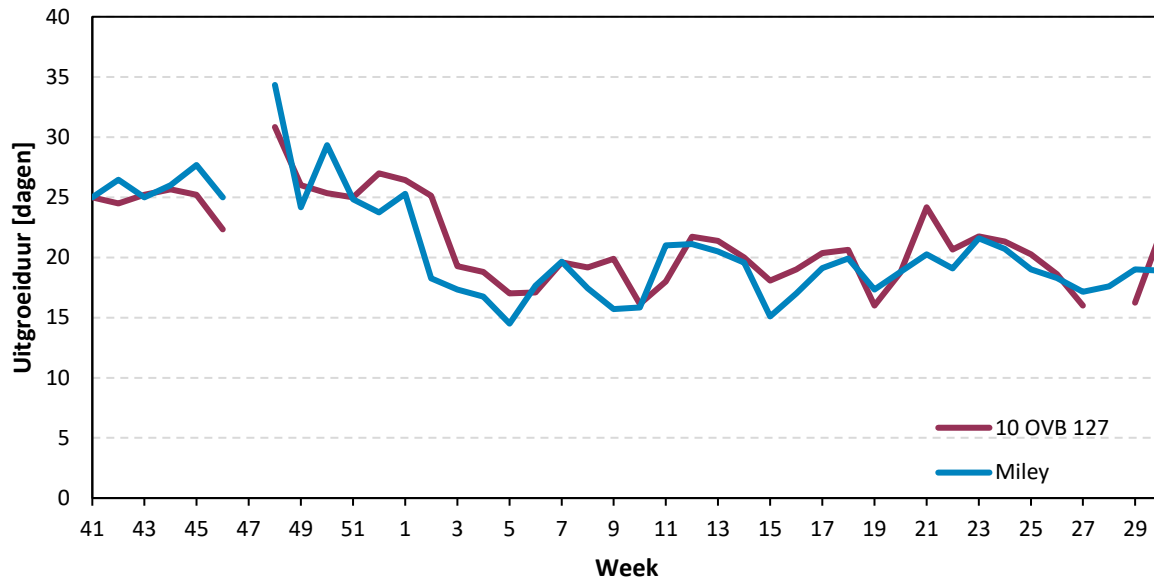


Figuur 5-17. Wekelijkse lengtegroei gedurende het teeltseizoen.



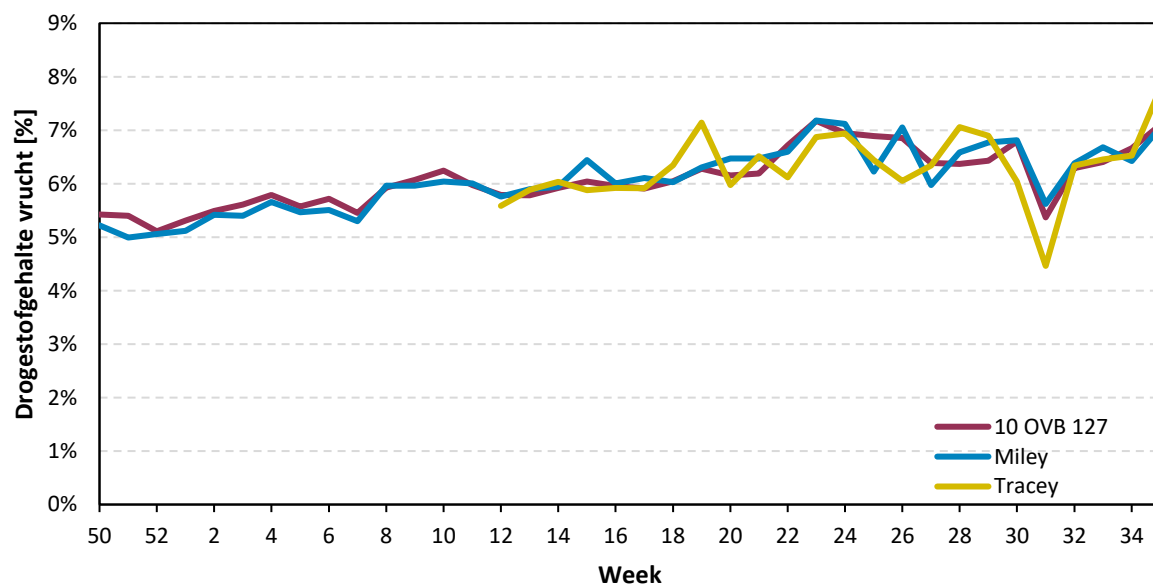
Figuur 5-18. Foto genomen eind juli, met planten dicht bij de verticale ventilator.

Tijdens de belichtingsperiode werd naast een vegetatieve groei ook geconstateerd dat de vruchtuigroei duur hoog was. Voor een goede opvolging van vruchten en de teeltplanning is een maximale uitgroei duur van 21 dagen gewenst. In de winter was de gemiddelde uitgroei duur voor zowel 10 OVB 127 als Miley ongeveer 25 dagen (Figuur 5-19). Opvallend was dat de uitgroei duur rond week 1 sterk afnam, net zoals de visuele grootte van het nieuwe blad (niet gemeten). De planten leken generatiever te worden. Omdat in de klimaat- en belichtingsstrategie geen grote aanpassingen werden gedaan, leek het te worden veroorzaakt door het aanhouden van zij scheuten (en dus een hogere plantbelasting). Gemiddeld werd in het voorjaar en in de zomer een uitgroei duur van ongeveer 18 dagen gerealiseerd.



Figuur 5-19. Gemiddelde uitgroeiduur per ras per week.

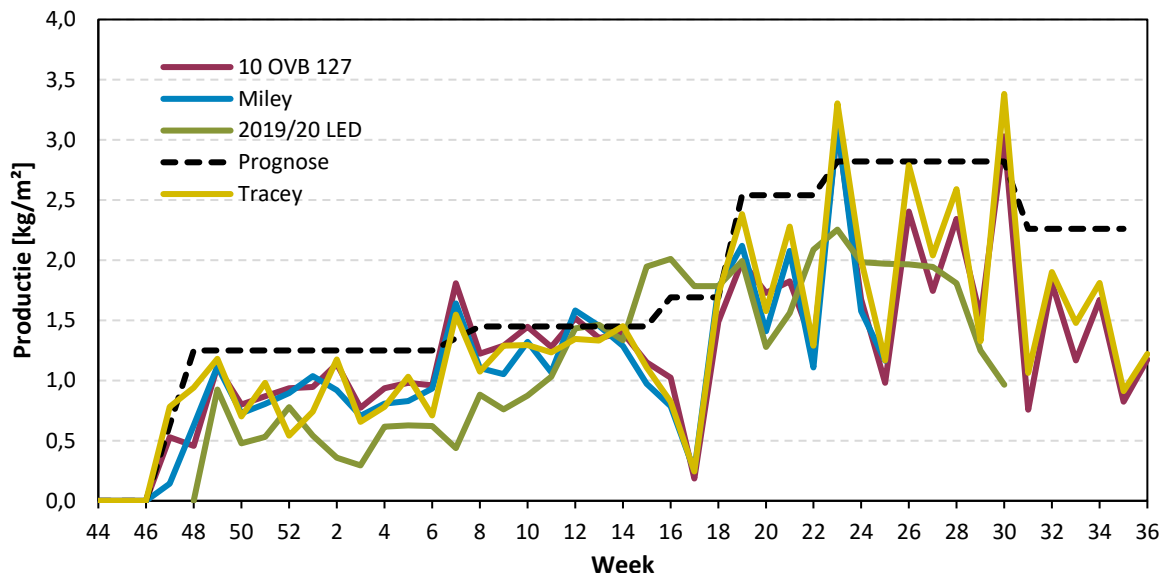
Ook het drogestofgehalte van de vruchten (idealiter rond max. 5%) wijst erop dat de planten singelimited zijn. Het gemiddelde drogestofpercentage lag gedurende de hele proef boven deze grens, in de belichtingsperiode ongeveer 5.5%, in de onbelichte periode zelfs 6-7%.



Figuur 5-20. Gemiddeld drogestofgehalte van vruchten per ras per week. Vanaf week 12 werd Tracey (randrij) ook meegenomen.

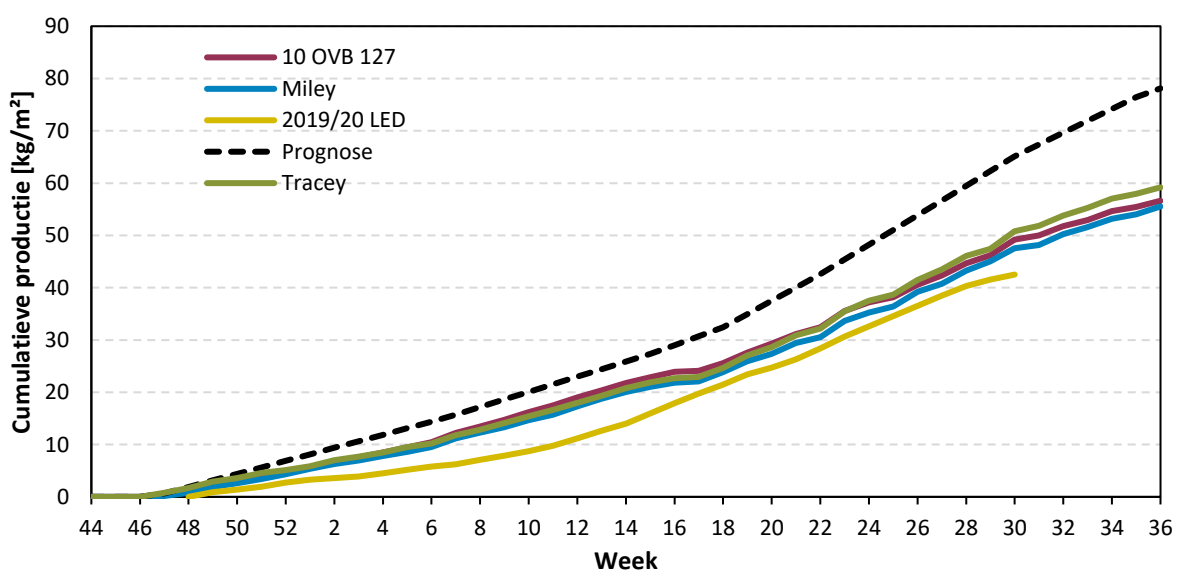
In een stageonderzoek werd in de randrij van Tracey verschillen in plantbelasting aangebracht door vruchten weg te snoeien en zijscheuten eerder te laten staan. Daar kwam uit dat de hoge plantbelasting (waar zijscheuten werden aangehouden vanaf de eerste vrucht) een dunnere kop en kleiner blad had; een generatievere stand. De assimilatenverdeling kan dus ten gunste van de vruchten worden beïnvloed door een hogere plantbelasting, al moet wel worden opgepast op stapeling van de vruchten.

De productie is, met name in de winter, sterk hoger dan de productie in de kasproef van 2019/20. Echter is de productie met gemiddeld 0.9 kg/m² over die periode onder de prognose (Figuur 5-21). De prognose werd niet behaald doordat de plantbelasting en periode langzamer werden opgebouwd dan beoogd, en doordat de gewenste lichtsom met de geïnstalleerde capaciteit niet gehaald werd. De dip in week 17 komt door een aanpassing in het oogstbeleid. De oogst in de onbelichte periode (na week 15) ligt ook onder de prognose doordat in de prognose niet uitgegaan werd van een lichter oogstgewicht van scheutvruchten, een gemiddeld donker voorjaar, en een hoger drogestofpercentage van de vruchten wat wijst op sinklimitatie.



Figuur 5-21. Wekelijkse productie exclusief afval per ras, afgezet tegen de prognose en gerealiseerde oogst van kasproef 2019/20.

Ondanks een lagere fotosynthese efficiëntie liep Tracey mee in de productiecijfers. Visueel werd het gewas generatiever beoordeeld ten opzichte van 10 OVB 127, en het meest vegetatieve ras Miley. Er werd vermoed dat ondanks dat er minder assimilaten worden aangemaakt als gevolg van de schade aan het fotosysteem, de productie wel meeloopt door een gunstigere assimilatenverdeling. De cumulatieve oogst was voor 10 OVB 127, Miley en Tracey respectievelijk 57.4 kg/m², 56.3 kg/m², en 60.1 kg/m² (Figuur 5-22).



Figuur 5-22. Cumulatieve productie exclusief afval per ras, afgezet tegen de prognose en gerealiseerde oogst van kasproef 2019/20.

6. Leerpunten en conclusies

In dit project zijn grote stappen gezet naar een energie-efficiënte rendabele aubergineteelt. Ten opzichte van vorige jaren is de oogst in de winterperiode fors gestegen en was de plantvitaliteit prima. Er blijft wel een groot rasverschil in schade aan fotosysteem II, waar met name Tracey zoals in voorgaande onderzoeken kwetsbaarder is dan Miley en 10 OVB 127.

De belichting is alleen ingezet op gewasvraag (met name bepaald door de plantbelasting), waarmee de gehele lichtperiode is rond te rekenen met 117 kWh/m² bij een maximale intensiteit van 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ uit de lampen, met een maximale belichtingsduur van 15.5 uur. In het voor- en najaar is de belichting met name overdag teruggedimd om de kastemperatuur te beperken, minder te hoeven ventileren en CO₂ langer binnen te houden. Het fotosysteem van alle gewassen raakte in de belichtingsperiode beschadigd, met de grootste schade rondom het donkerste punt van het jaar. Tracey, het ras dat het meest werd beschadigd, produceerde desondanks vergelijkbaar in de belichtingsperiode en meer dan 10 OVB 127 en Miley in de onbelichte teeltperiode. De gemiddelde wekelijkse productie in de winterperiode lag op 0,9 kg/m² bij 10 OVB 127, het best producerende ras in die periode. De prognose werd niet behaald door een lagere lichtsom en een vermoedelijk sink-gelimiteerd en vegetatief gewas. Cumulatief werd 57,4, 56,3 en 60,1 kg/m² geoogst voor respectievelijk 10 OVB 127, Miley en Tracey. Ondanks de schade aan fotosysteem II heeft Tracey dus het meest geproduceerd. Het intensief schermen en accepteren van etmaaltemperaturen rond 20.6°C heeft in eerste instantie geleid tot een laag energiegebruik, maar kan invloed hebben gehad op de vegetatieve ontwikkeling van de planten. In dit project is daarop gereageerd door de etmaaltemperaturen te verhogen, maar een ander stuurmiddel in de gewasbalans blijkt het (eerder) aanhouden van scheutvruchten om de groei van vegetatieve delen beperkt te houden en de assimilaten beter te benutten voor de vruchten. Uiteindelijk is 16 m³/m² gas gebruikt om de warmtevraag van de kas gedurende de teeltperiode in te vullen. Aanknopingspunten om de rendabiliteit van deze teelt te verhogen zijn het beïnvloeden van de assimilatenverdeling ten gunste van de vruchten door scheutvruchten eerder aan te houden, het verhogen van de belichting om naar verhouding meer assimilaten voor vruchten aan te maken, en het verlagen van de uitgroeiduur door plantbalans of de klimaatstrategie aan te passen.

7. Literatuur

Helmus-schuddebeurs, L., Kalkman, H., & Sander, W. (2021). *Aubergine jaarrond in balans met LED belichting*. 1–31.

van den Boogaart, S. A. J., Kunz, W. A., Trouwborst, G., & Hogewoning, S. W. (n.d.). *Aubergine, effecten van fotoperiode, lightspectrum en intensiteit*.