



Efficiënte jaarrondteelt van bramen met LED

Jan Janse¹, Alex van Klink², Kees Weerheim¹, Diede de Jager¹ en Marcel Raaphorst¹

Rapport WPR-1159

1. Wageningen University & Research, Business Unit Glastuinbouw, 2. Delphy B.V.

Referaat

In een onderzoek uitgevoerd door WUR Business Unit Glastuinbouw & Bloembollen (WUR) met braam, werden de effecten van belichtingsduur en lichtintensiteit bij LEDs onderzocht. De resultaten uit dit onderzoek werden vergeleken met metingen door Delphy B.V. op een praktijkbedrijf met SON-T belichting. Bij de WUR vond het onderzoek plaats met de rassen Loch Ness en Von. Bij een gelijke dagelijkse lichtsom, nam de productie bij een lange belichtingsduur in combinatie met een lagere lichtintensiteit bij Von met 4,7% toe ten opzichte van kort belichten met hogere intensiteit. Dit resultaat betekent voor de bramenteler lagere investeringskosten in LEDs. Bij een hogere lichtintensiteit onder lange belichtingsduur nam de productie nog meer toe. Het praktijkbedrijf hanteerde een duidelijk verschillend klimaatregiem: 2°C hogere temperatuur, 300 ppm hoger CO₂ gehalte en er werd een 11% hogere lichtsom gerealiseerd. Hierdoor werd de uitgroeiduur verkort en de productie verhoogd.

Abstract

In a study conducted by WUR Business Unit Greenhouse Horticulture & Flower Bulbs (WUR) with blackberry, the effects of exposure time and light intensity with LEDs were investigated. The results from this study were compared with measurements by Delphy B.V. on a practical farm with HPS lamps. At WUR, the research was done with the varieties Loch Ness and Von. At an equal daily light sum, long exposure combined with a lower light intensity, increased the production in Von by 4.7% over short exposures with a higher intensity. This result means lower investment costs in LEDs for the blackberry grower. At a higher light intensity under a long exposure, the production increased even more. The grower with HPS used a clearly different climate regime: 2°C higher temperature, 300 ppm higher CO₂ level and an 11% higher light sum was achieved. This shortened the development time and increased production.

Rapportgegevens

Rapport WPR-1159

Projectnummer: 3742295000

DOI: <https://doi.org/10.18174/572234>

Thema: Kasklimaat & energie

Dit project/onderzoek is mede tot stand gekomen door een belangrijke financiële bijdrage van het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit in het kader van het programma als Kas Energiebron, met daarnaast bijdragen van The Greenery, Bakker Barendrecht en Signify.

Disclaimer

© 2022 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Glastuinbouw, Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk T 0317 48 56 06, www.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 veelevoudigd, 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, BU Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk

Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk

T +31 (0)317 48 56 06

Inhoud

	Samenvatting	5
1	Inleiding	7
2	Onderzoek bij WUR Glas	9
2.1	Materiaal en methoden	9
2.1.1	Plantmateriaal & teeltcondities	9
2.1.2	Lichtbehandelingen	11
2.1.3	Metingen	12
2.1.3.1	Klimaat en voeding	12
2.1.3.2	Gewas	12
2.1.3.3	Productie en kwaliteit	12
2.1.3.4	Licht, fotosynthese, chlorofylfluorescentie en huidmondjesopening	12
2.2	Resultaten en discussie onderzoek WUR Glas	13
2.2.1	Klimaat	13
2.2.1.1	Temperatuur	13
2.2.1.2	Luchtvochtigheid	14
2.2.1.3	Buistemperatuur	14
2.2.1.4	CO ₂	15
2.2.1.5	Licht	16
2.2.1.6	Elektriciteitsverbruik LEDs	18
2.2.1.7	Gasverbruik	19
2.2.2	Water en voeding	19
2.2.3	Ziekten en plagen	19
2.2.4	Bladkleur	19
2.2.5	Productie en kwaliteit	20
2.2.5.1	Productie	20
2.2.5.2	Inwendige kwaliteit	24
2.2.5.3	Houdbaarheid	25
2.2.6	Gewasopbouw	27
2.2.6.1	Droge stof	27
2.2.6.2	LAI	30
2.2.6.3	Lichtonderschepping	30
2.2.7	Lichtbenuttingsefficiëntie	31
2.2.8	Fotosynthese	32
3	Onderzoek Delphy bij Bosch Growers	37
3.1	Inleiding	37
3.2	Materiaal en methoden	37
3.2.1	Plantmateriaal en kasinrichting	37
3.2.2	Metingen	37
3.3	Resultaten en discussie	38
3.3.1	Klimaat	38
3.3.2	Gewasontwikkeling en productie	39
4	Vergelijking resultaten praktijkbedrijf met WUR Glas	43
4.1	Klimaat	43
4.2	Productie, kwaliteit en houdbaarheid	46

5	Conclusies	53
	Literatuur	55
	Bijlage 1 Proefopzet in kas 802 en 803	57

Samenvatting

Om jaarrond bramen te telen is in de winter extra belichting nodig als compensatie voor de terugvallende lichtintensiteit in de donkere wintermaanden in Nederland. Om energiezuiniger te telen, is LED belichting onmisbaar, omdat deze lampen efficiënter elektriciteit omzetten in licht vergeleken met SON-T lampen. In de teelt van bramen is er nog relatief weinig kennis over de effecten van lichtintensiteit en belichtingsduur. Gezien de hoge aanschafkosten van LEDs, is het belangrijk om te weten of langer belichten met LEDs even effectief is als korter belichten met een hogere lichtintensiteit. Dit is door Wageningen University en Research Business Unit Glastuinbouw & Bloembollen (WUR Glas) onderzocht in een winterteelt met LED belichting bij braam. Bramenplanten van het ras Von en Loch Ness groeiden onder vier verschillende lichtstrategieën, waarvan er twee een gelijke lichtsom per dag hadden. Dit werd op een verschillende wijze gerealiseerd: ruim 13 uur belichten met $140 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (M13) of 18 uur belichten met $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (M18). Daarnaast was er een behandeling met een lagere (L13) én een hogere lichtsom (H18). De behandeling met de hoogste lichtsom werd vergeleken met een bramenbedrijf met SON-T belichting en dezelfde plantdatum. De metingen werden hier grotendeels uitgevoerd door Delphy B.V..

Lagere investeringskosten LEDs

Bij een gelijke lichtsom, gaf het ras Von bij een lange belichtingsduur met lagere intensiteit (M18) zelfs een iets hogere (+4,7%) productie bij 10% minder gasverbruik dan bij kort belichten met hogere intensiteit (M13). Daarnaast werd de uitgroeiduur verkort. Een bramenteler kan dus voor minstens hetzelfde resultaat met een lagere investeringskosten voor de LED-installatie toe. Verhoging van de intensiteit bij een lange belichtingsduur, dus een hoge dagelijkse lichtsom, gaf bij hetzelfde ras de hoogste productie door de oogst van meer en grotere vruchten. De lichtbenuttingsefficiëntie nam hierbij wel licht af, omdat een groter aandeel van de assimilaten in de vegetatieve delen terecht kwam. Uit fotosynthesemetingen bleek dat een hoge CO_2 concentratie van bijv. 1100 ppm alleen zinvol was bij hogere lichtintensiteiten. De grootste stijging in fotosynthese vond plaats tussen 400 en 800 ppm CO_2 .

Loch Ness vs. Von

Het ras Von produceerde minder dan Loch Ness, maar gaf duidelijk grotere bramen die 30% minder zuur bevatten dan die van Loch Ness, wat positief is voor de smaak. Ook hadden de vruchten van Von een langere houdbaarheid. Bij het ras Von kwamen er ten opzichte van Loch Ness relatief veel assimilaten in de vegetatieve delen terecht. Dit resulteerde in een hogere LAI en lichtonderschepping bij Von in vergelijking met Loch Ness: bij de behandelingen met een korte belichtingsduur was de LAI resp. 4.2 vs. 3.3 m^2/m^2 . Bij lange bewaring van het plantmateriaal i.v.m. de late start van een belichte teelt, is goed plantmateriaal essentieel om een goede productie te kunnen realiseren. Vooral het plantmateriaal van Loch Ness was heterogeen, wat het trekken van conclusies bemoeilijkt.

Praktijkbedrijf vs. WUR Glas

Op het praktijkbedrijf van Bosch Growers met SON-T belichting, waar het onderzoek werd uitgevoerd door Delphy B.V., was de totaal gerealiseerde lichtsom, de gemiddelde etmaaltemperatuur en de CO_2 concentratie resp. 11%, 2°C en 300 ppm hoger dan bij de best vergelijkbare behandeling bij WUR Glas met LED-belichting. De RV was op het praktijkbedrijf 7% lager. Het e.e.a. heeft op het praktijkbedrijf geleid tot een ca. 4 weken eerdere start van de oogst door een kortere uitgroeiduur, en een hogere productie van vruchten die een lager drogestof gehalte en refractie bevatten. De fotosynthese was op het praktijkbedrijf in december iets lager en in maart hoger dan bij de best vergelijkbare behandeling bij WUR Glas van 18 uur en een lichtintensiteit van $140 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

1 Inleiding

Het areaal bedekte teelt, waaronder glasteelt, neemt in de zachtfruitsector nog steeds toe. Er liggen marktkansen door de vraag naar jaarronde beschikbaarheid van zachtfruit met een hoge kwaliteit. Het jaarrond telen van houtig zachtfruit, waaronder bramen, vraagt echter om extra groeilicht als compensatie voor de afnemende lichtintensiteit in de donkere wintermaanden in Nederland. Omdat voor lokaal jaarrond telen kunstmatige belichting vereist is, wordt het energieverbruik aanzienlijk verhoogd en dit conflicteert met de doelstellingen van de overheid om het energiegebruik te verminderen.

Voor kunstmatige belichting wordt in de teelt van bramen vaak nog gebruik gemaakt van SON-T lampen. Deze lampen zijn echter niet energie-efficiënt. In veel tuinbouwgewassen wordt daarom steeds meer geïnvesteerd in LED belichting, voornamelijk vanwege de energiezuinigere omzetting van elektriciteit naar PAR-licht en daardoor minder warmteproductie. Deze warmte is niet altijd gewenst. Hoewel LED-belichting voordelen kent in andere gewassen, is in de relatief 'jonge teelt' van bramen onder glas behoefte aan meer kennis over verschillende aspecten in de teelt, zoals optimale teeltomstandigheden in het kader van 'Het Nieuwe Telen', lichtstrategieën, lichtbenutting, voorkomen van lichtstress en de verdeling van assimilaten. Daarbij is een belangrijk vraagstuk hoe er zo duurzaam mogelijk geteeld kan worden voor een optimale productie en kwaliteit.

Eerder onderzoek met LED belichting in braam liet zien dat het gewas relatief snel lichtverzadigd raakt. Een ander onderzoek toonde ook aan dat tussenbelichting met LEDs een sterke productieverhoging gaf ten opzichte van onbelicht door meer uitloop van lateralen (Rivas, Liu en Heuvelink, 2021). In aanvulling op LED belichting had diffuus glas op de kas in een onderzoek van Wageningen University & Research Business Unit Glastuinbouw en Bloembollen (WUR Glas) een zeer positief effect, namelijk een productieverhoging van 30% (Janse *et al.* 2022).

Voordat meer houtig kleinfruiteelers LED-belichting toe gaan passen, is het gewenst om aanvullend onderzoek te doen naar bovengenoemde aspecten. Daarnaast is het waardevol te achterhalen wat de effecten zijn van een langere belichtingsduur met lagere intensiteit, ten opzichte van dezelfde lichtsom met een hogere intensiteit en korte belichtingsduur. Dit zou gezien de hoge investeringskosten van LED belichting aantrekkelijk zijn en kan tevens het warmteverbruik verlagen. Er kan immers langer gebruik gemaakt worden van de warmte afkomstig van de lampen.

In het winterseizoen van 2020-2021 is daarom een onderzoek uitgevoerd, waarbij geprobeerd is om antwoorden te vinden op de volgende vragen:

- Wat is de meest energiezuinige manier om bramen te produceren onder LED? Welke interactie tussen geïnstalleerd vermogen en belichtingsduur sluit daar het beste bij aan voor een optimale energiebalans?
- Hoe kan de lichtbenutting en aanmaak en verdeling van assimilaten verbeterd worden?
- Bij welke lichtintensiteit treedt verzadiging op?
- Hoe verhoudt de LED-proef bij WUR Glas zich met een praktijkteelt met SON-T belichting?

In dit rapport wordt allereerst ingegaan op het onderzoek bij WUR Glas, daarna op het onderzoek bij Bosch Growers en in Hoofdstuk 4 worden de resultaten van beide proeflocaties met elkaar vergeleken.

2 Onderzoek bij WUR Glas

2.1 Materiaal en methoden

Dit onderzoek is uitgevoerd in het winterseizoen van 2020-2021 door Wageningen University & Research, Business Unit Glastuinbouw en Bloembollen (WUR Glas) in Bleiswijk. Aanvullend op dit onderzoek was een vergelijking met het praktijkbedrijf Bosch Growers (Berkel en Rodenrijs), waar in de teelt SON-T belichting werd gebruikt. Metingen op dit bedrijf werden verricht door Delphy B.V.. Het ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Voedselkwaliteit financierde grotendeels dit project in het kader van het programma Kas als Energiebron, met daarbij financiële bijdragen vanuit de sector door The Greenery, Bakker Barendrecht en Signify.

Een begeleidingscommissie (BCO) bestaande uit telers en participanten bezocht om de 14 dagen de proef in Bleiswijk en gaf adviezen. Daarnaast was Delphy B.V. ingeschakeld voor advisering van o.a. klimaatinstellingen rekening houdend met de doelen van het onderzoek.

2.1.1 Plantmateriaal & teeltcondities

Na een bewaarperiode van 11 maanden bij ca. -1 °C werden de bramenplanten (*Rubus fruticosus* cv. Loch Ness en Von) afkomstig van Jan Royakkers (Loch Ness) en Jack van den Heijkant (Von) op 8 oktober 2020 in de proefkassen geplant in een dichtheid van 0.9 planten/m², wat per ras resulteerde in respectievelijk 5.4 en 6.2 canes/m². Beide rassen werden verdeeld in twee kassen die weer waren onderverdeeld in twee secties. Speciaal voor dit onderzoek was in beide kassen diffuus glas aangebracht (Fountain High Hortiscatter, AgCulture (AGC), België) met een gemeten hemisferische transmissie van 80.3% en een hortiscatter van 67%.

Qua temperatuur is er vrij rustig geteeld. De eerste week na planten werd het setpoint voor de verwarming op de dag in stappen verhoogd naar 18 °C bij een ingestelde nachttemperatuur van 8°C. Vanaf half november was de ingestelde dag- en nachttemperatuur resp. 18 à 20°C en 10°C. In het begin is gestreefd naar een etmaaltemperatuur van 14 °C, waarna deze verhoogd is naar 16-18°C. Om een goede uitgroei van de knoppen te krijgen is in de eerste maand gestreefd naar een relatieve luchtvochtigheid (RV) in de voornacht van 85% en overdag was deze 60%. Om de RV te verhogen is gebruikgemaakt van hogedrukverneveling.

Een voedingsoplossing werd gegeven waarbij gestreefd werd naar een EC som (gift + drain) van 4 - 4.5 mS/cm en een drainpercentage van 15 à 20%. Het nagestreefde CO₂ gehalte was vanaf half oktober 500 ppm en vanaf begin november 600 ppm bij een maximale doseersnelheid van 75 kg/ha. In verband met meer ventileren via de luchtramen werd vanaf de 2^e helft van februari een doseersnelheid aangehouden van maximaal 60 kg/ha met geleidelijke afbouw bij raamstanden van 5-10% naar 40 kg/ha. Gewasbescherming werd zoveel mogelijk uitgevoerd met biologische bestrijders en 'groene' middelen.

De volgende teeltcondities en kassystemen werden gehanteerd:

Plantdatum	8 november 2020
Kasafdelingen	802 en 803
Inhoud pot	Von en Loch Ness resp. 7.8 en 10 L. Planten van Von zijn voor het planten overgezet van kleine potten naar 7.8 L potten.
Substraat	Kokos
Proefveldgrootte	10 m ²
Aantal herhalingen	Per ras in tweevoud per lichtbehandeling
Leidsysteem	De canes werden vastgezet met clips aan horizontaal gespannen draden. De lateralen werden later ondersteund door horizontale draden aan weerszijden van de plantrijen. Met het leiden van de lateralen is vrij lang gewacht om zoveel mogelijk licht op te vangen.
Start belichting	Belichting is gestart op 21 oktober
Verwarming	Buisrailnet (net 1) en groeibuis (net 2)
Klimaatinstellingen	Op advies van Delphy B.V. en in overleg met de BCO
Bestuiving	Door middel van zweefvliegen, bijen en hommels.
Schermen	Verduisteringsscherm en energiescherm Luxous (XLS 10). Energiescherm open > 125 W/m ² of 1,5 uur na zonsopkomst.
Ontvochtiging	De VentilationJet werd gebruikt bij te hoge RV. De VentilationJet blaast koude, drogere lucht van boven het scherm naar onder het scherm.
Luchtcirculatie	Een horizontale ventilator (Nivolator) onder de VentilationJet zorgde vanaf half november voor circulatie van de kaslucht.
Einddatum proef	Half maart 2021



Figuur 1 De VentilationJet die gebruikt werd om de RV te verlagen en meer luchtcirculatie in te kas te verkrijgen.

2.1.2 Lichtbehandelingen

Deze proef is opgezet om de effecten van lichtintensiteit en belichtingsduur te onderzoeken in braam. Het onderzoek werd uitgevoerd in twee kassen, waarin in de ene kas een korte belichtingsduur werd gehanteerd en in de andere een lange belichtingsduur. Beide kassen waren uitgerust met LED-lichtarmaturen (LED-toplicht DR/W-LB, Signify, Eindhoven, Nederland) die werden ingezet als toplicht, met een lightspectrum van 86% rood, 6% groen en 8% blauw. De behandelingen bestonden uit verschillende combinaties lichtintensiteit*belichtingsduur, namelijk: laag*kort (L13), hoog*kort (M13), laag*lang (M18) en hoog*lang (H18) (Figuur 2). De lage lichtintensiteit was $102/98 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (korte duur/lange duur) en de hoge lichtintensiteit $134/140 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (korte duur/lange duur).

De dagelijkse lichtsom (DLI) van de LEDs werd vanaf 'budbreak' in stappen gedurende het onderzoek verhoogd door de belichtingsduur geleidelijk langer te maken. Op 22 oktober werd gestart met een belichtingsduur van resp. ruim 6 en 9 uur, op 1 november werd dit verhoogd naar resp. ruim 11 en 15 uur, op 20 november naar resp. 13.2 en 18 uur en deze werd pas weer verlaagd op 20 februari naar resp. ruim 11 en 15 uur. De stapsgewijze veranderingen werden mede op advies van de BCO uitgevoerd. Met de belichtingsduur is gestuurd op exact gelijke hoeveelheid PAR/dag bij de middelste lichtsommen (M13 en M18). Dit is gedaan door in de kas met de kortste belichtingsduur, iets meer minuten te belichten dan in de andere kas. De LEDs met de hoogste lichtintensiteit waren aan weerszijden van de gevel tussenin beide kassen aangebracht, zodat wat het LED-licht betreft, de twee kassen gespiegeld waren.

	24 uur	DLI (mol/d)
L13	$102 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$	4.83
M13	$134 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$	6.35
M18	$98 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$	6.35
H18	$140 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$	9.07

Figuur 2 Schematische weergave van de verschillende behandelingen in de kassen. De korte en lange belichtingsduur is gegeven in aparte kassen. De totale lengte van de balken in de Figuur geeft 24 uur weer en de zwarte kleur representeert de donkerperiode. De dagelijkse lichtsom (DLI) is de maximale hoeveelheid PAR-licht van de lampen in mol per dag die gerealiseerd is in de proef.



Figuur 3 Opstelling van bramenplanten in de kas. Foto genomen op 5 november 2020.

2.1.3 Metingen

2.1.3.1 Klimaat en voeding

De temperatuur en luchtvochtigheid werd gemeten met een klimaatmeetbox. Deze hing in het bovenste gedeelte van de plant op een hoogte van ca. 2 m boven het maaiveld. Daarnaast hingen er in beide kassen extra klimaatboxen op verschillende hoogtes, namelijk 0.85 m en 1.30 m boven het maaiveld. CO₂ werd gemeten op een hoogte van 1.30 m. PAR-straling werd gemeten met een punt-sensor en werd daarnaast berekend middels de belichtingstijd*lichtintensiteit van de LED lampen en de straling van de zon*lichttransmissie van de kas. Voor de klimaatgegevens werd gebruik gemaakt van 'Let's grow'.

Om de circa twee weken is er een voedingsanalyse uitgevoerd op de gift en drain. Daarnaast werden de EC en pH ook tussentijds handmatig gemeten.

2.1.3.2 Gewas

De volgende metingen werden verricht in het gewas:

- Vers- en drooggewicht van 10 canes per ras vóór het begin van het onderzoek.
- Het gehalte aan chlorofyl, flavonolen en anthocyaan is op 3 februari gemeten met een SPAD-meter (Dualox) op 10 verschillende bladeren per veld. Per blad is op vier verschillende plaatsen gemeten.
- Destructieve gewasmeting aan het einde van het onderzoek waarbij per plant het aantal canes en lateralen werd geteld. Het vers- en drooggewicht van de canes, lateralen en bladeren is gemeten van 8 planten per behandeling voor Loch Ness en 4 planten per behandeling van Von. Ook werd de bladoppervlakte gemeten met een bladoppervlaktemeter.

2.1.3.3 Productie en kwaliteit

De uitgroeiduur van open bloem tot oogst van de bramen is wekelijks gemeten door bloemen te labelen. Hiermee is gestart op 18 november. Vanaf week 3 zijn de bramen twee keer per week geoogst waarbij:

- Het versgewicht + aantal klasse 1 en versgewicht + aantal klasse 2 werden geregistreerd.
- Wekelijks is het drogestofgehalte van de bramen bepaald door de vruchten 48 uur in een droogoven te plaatsen.
- De refractie (°Brix) en het zuurgehalte (mmol H₃O⁺/100 g) zijn gemeten in week 4, 6 en 8 en het vitamine C-gehalte (mg/100 g vers gewicht) in week 6.
- Op drie verschillende data, namelijk in week 3, 6 en 8 is de houdbaarheid bepaald van de bramen bij een bewaartemperatuur van 4 °C. Per inzetdatum werden er per veld ongeveer 50 vruchten bewaard. Na 3, 7 en 10 dagen werd een cijfer van 1-10 gegeven voor de vruchtstevigheid en werd het aantal vruchten met lekkende bolletjes, met rode bolletjes en met rot genoteerd.

2.1.3.4 Licht, fotosynthese, chlorofylfluorescentie en huidmondjesopening

De lichthoeveelheid in de kassen afkomstig van de LEDs en de lichtonderschepping van het gewas zijn gemeten met een lijnsensor. Mede op basis van deze metingen is bij de verschillende behandelingen de lichtbenuttingsefficiëntie (g vers gewicht/mol PAR) berekend.

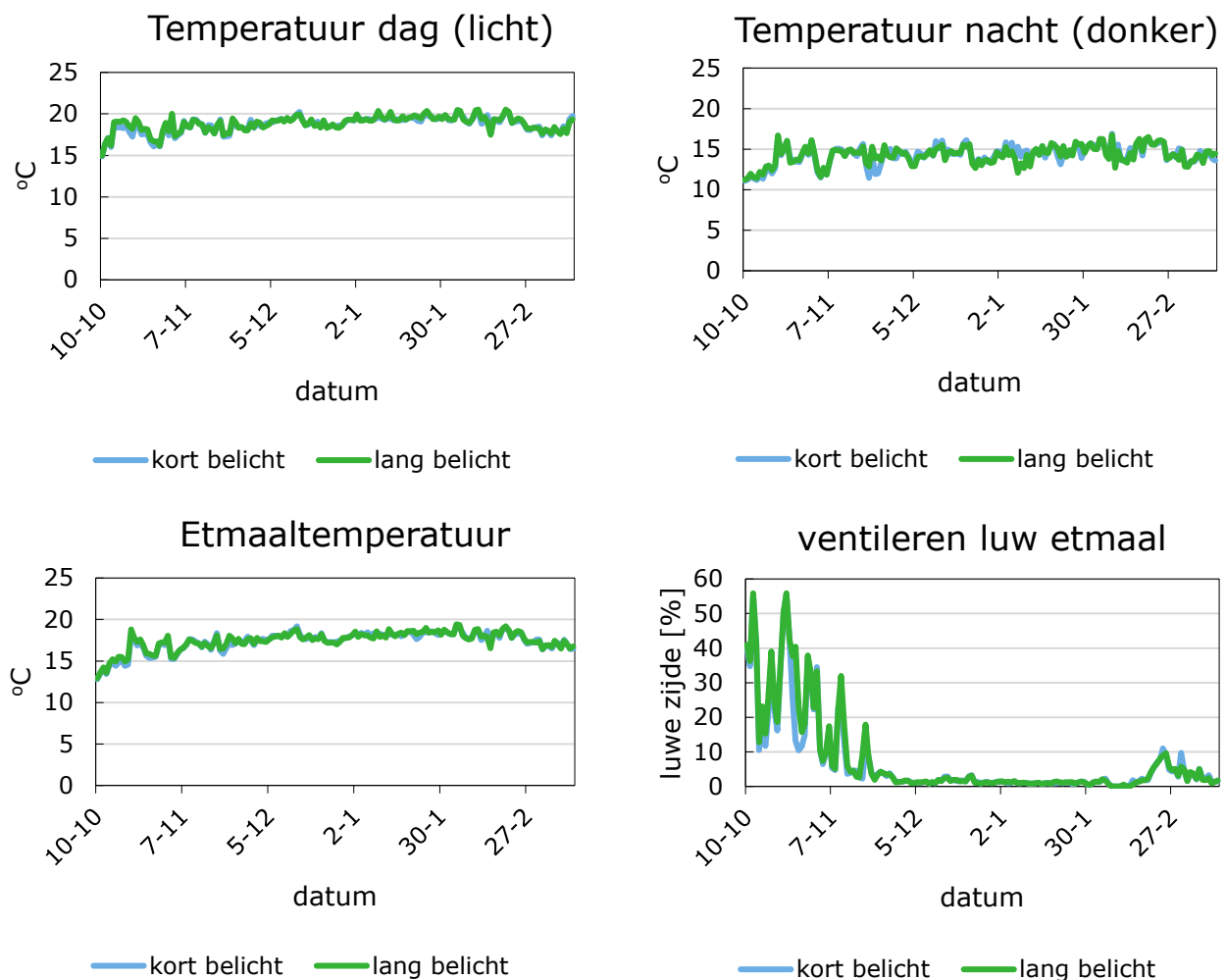
Gasuitwisselingsmetingen zijn uitgevoerd in december en maart met behulp van een Li-6800 portable photosynthesis system (LI-6800, Li-Cor Inc., Lincoln, NE, USA) om fotosynthese waardes te bepalen. Licht- en CO₂-respons curves werden gemaakt van resp. 0-750 μmol m⁻² s⁻¹ (met gedetailleerde focus op 0-200) en van 400-1400 ppm CO₂. Deze metingen werden begin december en begin maart uitgevoerd. Begin februari is met de Li-Cor via de verdamping ook de huidmondjesopening gemeten.

2.2 Resultaten en discussie onderzoek WUR Glas

2.2.1 Klimaat

2.2.1.1 Temperatuur

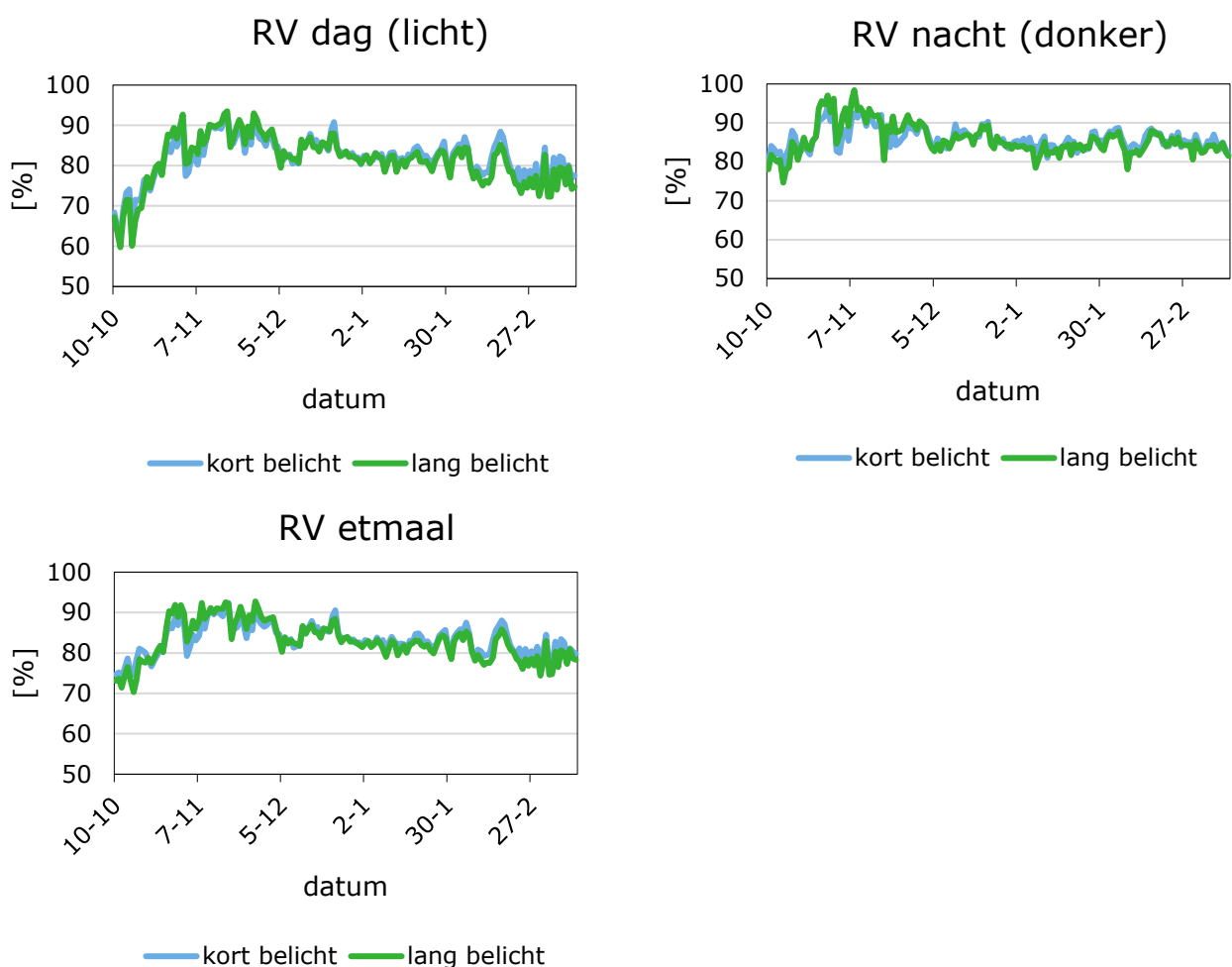
De etmaaltemperatuur in de kassen was in de eerste weken wat lager, om zoveel mogelijk knoppen aan de canes tot lateralen uit te laten groeien (Figuur 4). Door de vrij hoge buitentemperaturen moest er in deze periode daarom behoorlijk geventileerd worden. Daarna werd de etmaaltemperatuur verhoogd naar ca. 18°C. In Figuur 4 is te zien dat de temperatuur in de twee kassen gedurende de duur van het onderzoek nagenoeg gelijk verliep, ondanks het verschil in belichtingsduur. Over de gehele teeltperiode was de gemiddeld gerealiseerde etmaaltemperatuur voor beide kassen met 17,4°C gelijk.



Figuur 4 Gerealiseerde dag (A)-, nacht (B)- en etmaaltemperatuur (C) en percentage ventilatie (D) aan de luwe zijde van de kas gedurende de teelt in de verschillende kassen, waar de ene kas een korte belichtingsduur had en de andere kas een lange belichtingsduur.

2.2.1.2 Luchtvochtigheid

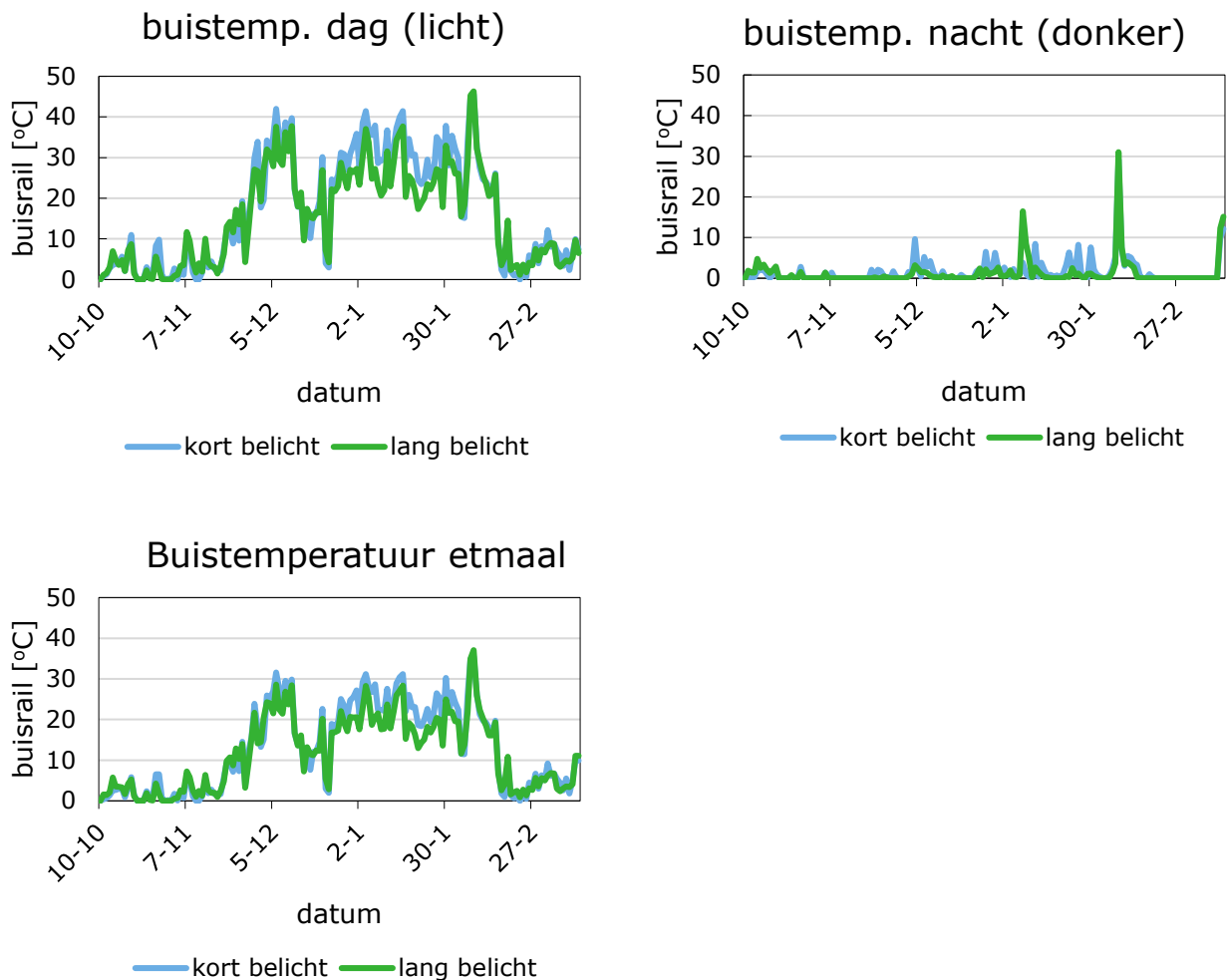
Net als de temperatuur was de luchtvochtigheid in de eerste weken aan de lage kant, omdat er nog niet veel ontwikkeld ofwel verdampend blad aanwezig was. Vervolgens bereikte de luchtvochtigheid in november gedurende de dag en nacht een hoogte van rond de 90%, wat relatief hoog is (Figuur 5). Tijdens de vegetatieve fase van het gewas bleek deze hoge luchtvochtigheid echter niet tot problemen met bijv. schimmels te leiden. Tijdens de bloei en vruchttuitgroei werd deze luchtvochtigheid wel geacht problemen te kunnen geven, onder andere door een minder goede bestuiving en grote kans op schimmelvorming op de vruchten. Om dit te voorkomen werd met behulp van de VentilationJet ontvochtigd als het verduisterings- en/of energiescherm gesloten was en werd vanaf december op dringend advies van de BCO overdag een minimumventilatie van 2% aangehouden. Bij een buisvraag van 50°C ging deze minimumventilatie eruit. Evenals de etmaaltemperatuur liep ook de luchtvochtigheid in de twee kassen zo goed als gelijk op. In beide kassen was de gemiddeld gerealiseerde RV over de gehele proefperiode tijdens de dag (=licht), nacht (=donker) en etmaal resp. 81, 85 en 83%.



Figuur 5 Gerealiseerde relatieve luchtvochtigheid (RV) gedurende de dag, nacht en het etmaal in de twee kassen, waar de ene kas een korte belichtingsduur had en de andere een lange belichtingsduur.

2.2.1.3 Buistemperatuur

Om gelijke temperaturen in beide kassen te realiseren, was het noodzakelijk om in de kas met een korte belichtingsduur, een hogere buistemperatuur aan te houden gedurende de dag en soms ook in de nacht (Figuur 6). De belichting startte steeds voor alle behandelingen om middernacht, om hierin geen verschillen te maken tussen de belichtingsbehandelingen. Doordat de LEDs in de kas met de korte belichtingsduur eerder uitgingen, moest er daar overdag vaak meer verwarmd worden. Vanaf december tot half februari werd er in beide kassen meer verwarmd omdat de buitentemperatuur lager werd en er een minimumventilatie was ingesteld.

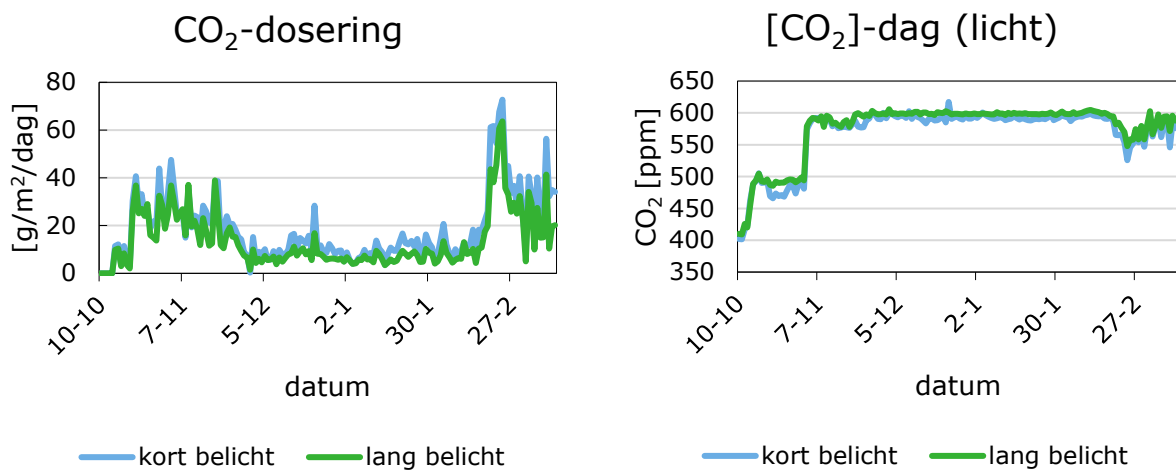


Figuur 6 De gerealiseerde buisrailingtemperatuur overdag, in de nacht en per etmaal in de twee kassen, waarbij de ene kas een korte belichtingsduur had en de andere een lange belichtingsduur.

2.2.1.4 CO₂

Uit eerder onderzoek lieten fotosynthesemetingen gedurende de wintermaanden in het ras Loch Ness zien dat bij een lagere lichtintensiteit (100-300 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$), hoge CO₂ gehalten boven de 600 ppm niet noodzakelijk waren (Janse en Weerheim, 2022, in press). Het CO₂ gehalte was mede daarom op maximaal 600 ppm ingesteld, wat lager is dan gebruikelijk in de praktijk. Hiermee kon het CO₂-verbruik worden beperkt. In het begin van het onderzoek gebruikte het gewas nog niet veel CO₂, waardoor een waarde van 500 ppm voldeed. In beide kassen is gedurende het onderzoek een stabiele CO₂ waarde gerealiseerd (Figuur 7B). Het gemiddelde CO₂ gehalte over de gehele periode lag in beide kassen rond de 570 ppm.

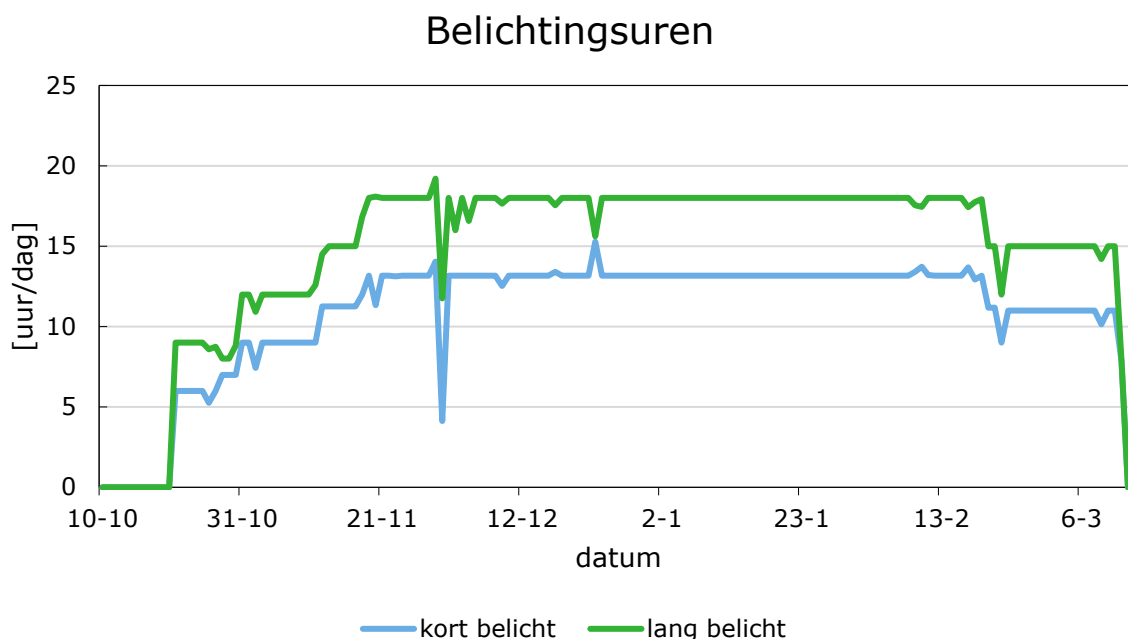
De CO₂ dosering hangt af van de mate van ventilatie, de CO₂ behoefte van het gewas en de doseersnelheid. In november en februari werd meer geventileerd via de luchtramen, waardoor de hoeveelheid gedoseerde CO₂ per dag omhoog ging om de beoogde concentratie te halen (Figuur 7A). In totaal werd er in de kort belichte kas 2,9 kg/m² CO₂ gedoseerd en in de lang belichte kas 2,2 kg/m² CO₂. Deze verschillen zijn niet echt verklaarbaar: bij kort belichten is er zeker niet meer geventileerd. Een mogelijke reden voor de lagere CO₂ behoefte in de kas met langere belichtingsduur kan zijn dat het ras Loch Ness in deze kas minder gewasontwikkeling vertoonde en dus waarschijnlijk minder CO₂ opnam. De planten van Loch Ness hadden in deze kas ook fors minder productie dan in de andere kas (zie Paragraaf 2.2.5.1). Dit kwam waarschijnlijk door heterogeen startmateriaal van Loch Ness, waar de planten in de kas met de langere belichtingsduur minder goed groeiden. De planten in beide kassen kwamen weliswaar uit een verschillende containerpallet, maar waren afkomstig van dezelfde plantenkweker en hadden blijkbaar toch verschillende opkweekcondities gehad.



Figuur 7 De CO₂-dosering per dag en de gerealiseerde concentratie in ppm gedurende de periode met licht in beide kassen waarin resp. kort en lang belicht werd.

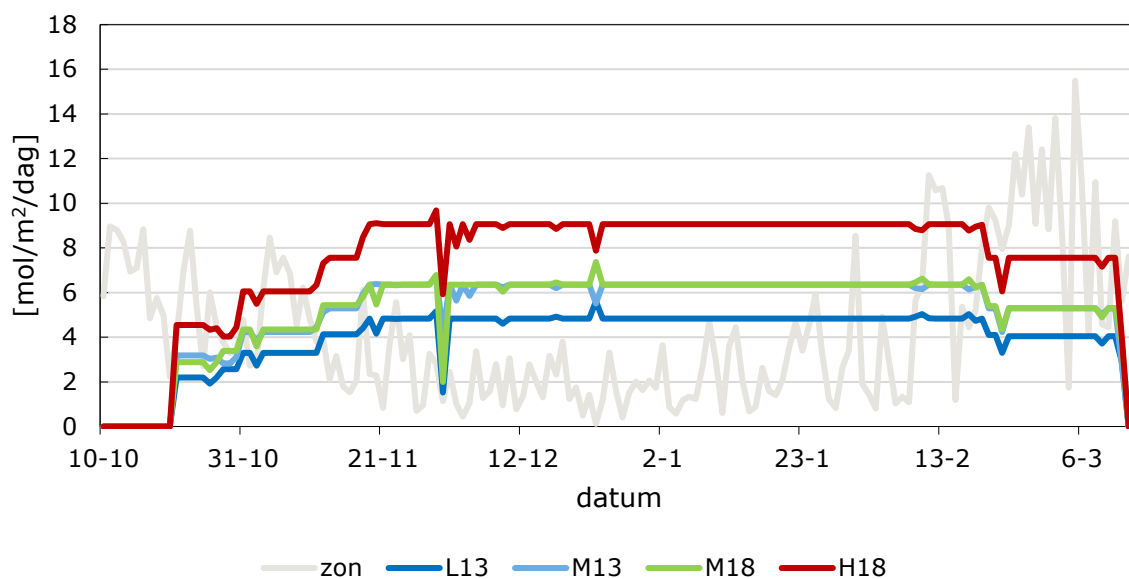
2.2.1.5 Licht

In dit onderzoek werd dus onderzocht wat de effecten van belichtingsduur en lichtintensiteit waren op braam. In Figuur 9 is te zien dat de belichtingsduur in het begin van het onderzoek stapsgewijs toenam tot maximaal 13,2 uur voor de korte en 18 uur voor de lange belichtingsduur. Deze stapsgewijze toename in belichtingsuren, en dus ook de toename in de PAR-som van de LED belichting, liep samen met de afnemende PAR-som van de zon (Figuur 10), maar ook met de assimilatievraag van het gewas. Immers, als de lateralen nog niet zijn uitgelopen en er geen blad aan de planten zit, heeft het weinig zin om te belichten. De PAR-som van de LED belichting bij de behandelingen M18 en M13 was gedurende het onderzoek nagenoeg gelijk. Richting het einde van het onderzoek nam de PAR-som van het zonlicht weer toe, waardoor de belichtingsduur van de LEDs weer werd beperkt. De wat afwijkende waarden eind november/begin december zijn veroorzaakt door fotosynthesemetingen, waarbij de lampen tijdelijk uit stonden.



Figuur 9 De belichtingsperiode van de LEDs (uur per dag) in de kort- en lang belichte kas gedurende de duur van het onderzoek.

Berekende PAR-som van zon en LEDs



Figuur 10 De berekende PAR-som van het zonlicht en de verschillende LED lichtstrategieën gedurende het onderzoek.

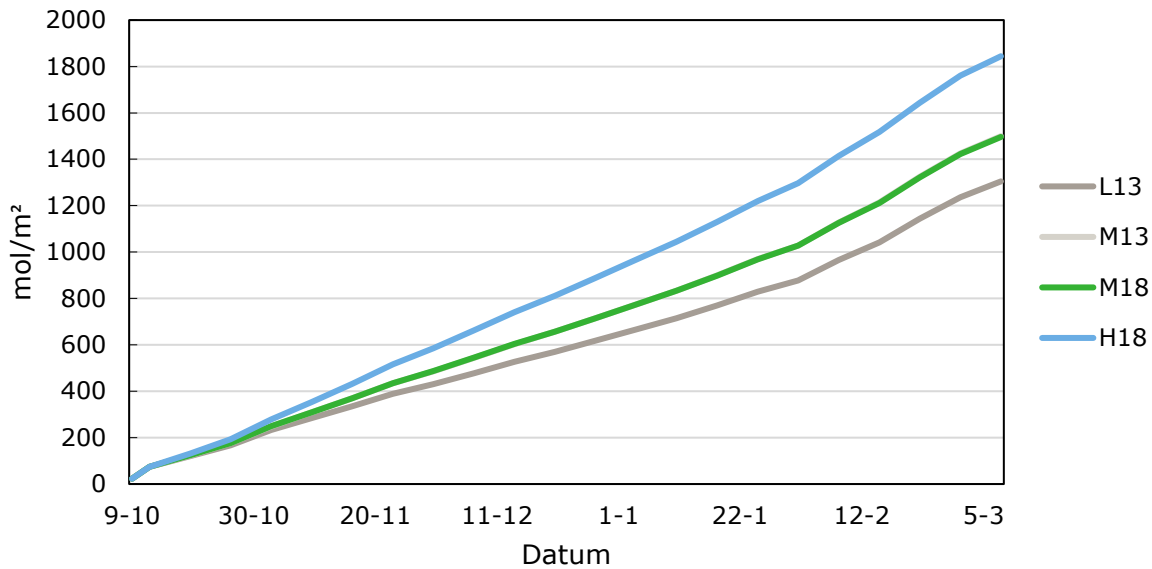
In Tabel 1 is de berekende gemiddelde hoeveelheid PAR per dag (mol/m^2) afkomstig van het LED licht en het zonlicht weergegeven. Over de gehele proefperiode werd voor de behandelingen L13, M13, M18, H18 een lichtsom gerealiseerd van in totaal resp. 1305, 1496, 1500 en 1844 mol/m^2 (Figuur 11).

Tabel 1

Berekende gemiddelde hoeveelheid PAR per dag (mol/m^2) afkomstig van LED en de zon over de gehele proefperiode.

Behandeling	LED-licht	Zonlicht	Totaal (LED+zon)
L13	4,0	4,4	8,3
M13	5,2	4,4	9,5
M18	5,2	4,4	9,5
H18	7,4	4,4	11,7

Totale lichtsom (mol/m²) cumulatief

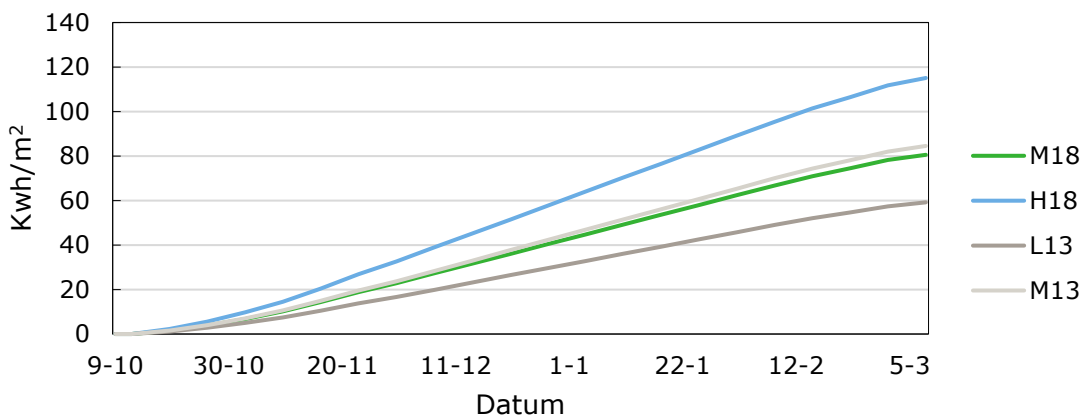


Figuur 11 De berekende totale lichtsom (zon + LED licht) die gerealiseerd werd in de twee kassen met verschillende lichtstrategie behandelingen.

2.2.1.6 Elektriciteitsverbruik LEDs

Het berekende elektriciteitsverbruik van de LEDs bij de verschillende behandelingen (L13, M13, M18 en H18) kwam uit op respectievelijk 59, 81, 85 en 115 kWh/m² (Figuur 12). Er zit iets verschil in elektriciteitsverbruik bij M13 en M18, omdat bij lichtmetingen voorafgaande aan de proef bleek dat de gemeten lichtintensiteit in de afdeling met kort belichten iets lager was dan in de afdeling met lang belichten. Om bij beide behandelingen dezelfde lichthoeveelheid per dag te realiseren, is dit daarom gecompenseerd door in de betreffende afdeling iets langer te belichten. De verschillen in lichtintensiteit ontstonden door een verschil in lichtreflectie van glas in de gevel enerzijds en bij een gesloten gevelscherm anderzijds.

Electriciteitsverbruik cumulatief



Figuur 12 Berekend cumulatief elektriciteitsverbruik bij de 4 belichtingsbehandelingen over de gehele proefperiode.

2.2.1.7 Gasverbruik

Om het gasverbruik bij de verschillende behandelingen te berekenen, zijn modelmatige berekeningen uitgevoerd. Met het model werd voor de behandelingen L13, M13, M18 en H18 een gasverbruik berekend van resp. 11.5, 10.2, 9.1 en 6.5 m³/m². Hierin is duidelijk te zien dat een hogere lichtintensiteit van de LEDs leidt tot een lager warmteverbruik. Bij het handhaven van dezelfde etmaaltemperatuur en lichtsom, werd er bij kort belichten wat meer warmte verbruikt dan bij lang belichten (M13 vs. M18).

De warmte zou ook fossielvrij geproduceerd kunnen worden, bijvoorbeeld met een warmtepomp, als de stroom ten minste fossielvrij opgewekt wordt. Bij gebruik van een ketel of WKK zou het omgerekende gasverbruik naar kWh bij de verschillende behandelingen resp. 101, 90, 80 en 57 kWh/m² bedragen. Met een warmtepomp die draait op fossielvrije stroom, zouden deze getallen door een factor 4 gedeeld moeten worden.

2.2.2 Water en voeding

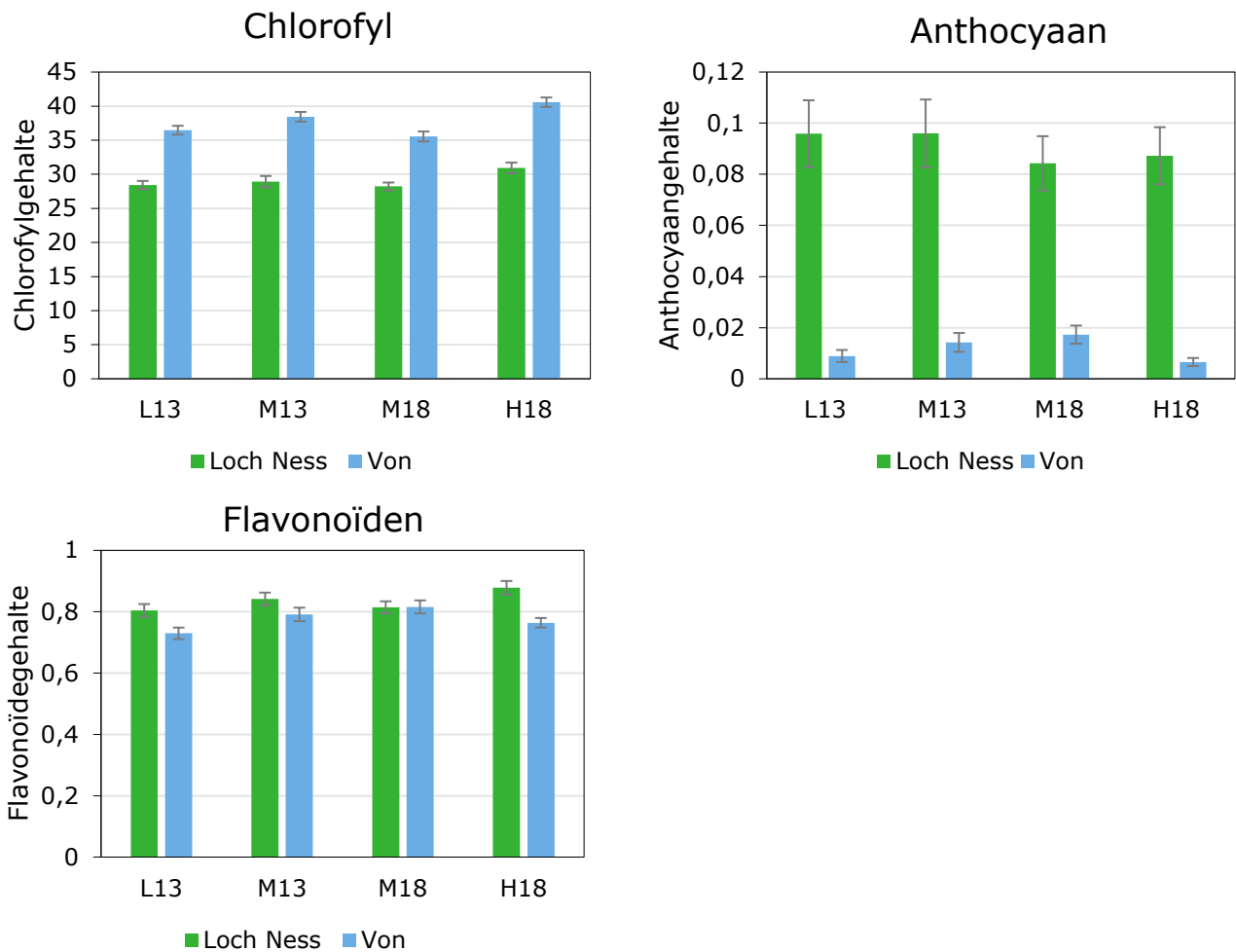
Omdat er binnen de afdeling aparte kraanvakken waren, kon er geen verschil gemaakt worden in watergift tussen de 2 rassen en lichtintensiteiten. Daarom was zowel de watergift als de bemesting een compromis tussen de verschillende behandelingen. Om een indruk te krijgen van de drain, werd deze dagelijks gemeten bij enkele planten van de verschillende behandelingen. Er werd voor gezorgd dat het groeiachtige ras Von bij de hogere lichtintensiteit voldoende water kreeg. Soms is bij het generatievere ras Loch Ness tijdelijk gewerkt met 1 in plaats van 2 druppelaars om de gift en drain te reduceren. De EC-gift varieerde tijdens de teelt van 1.6 – 2.0 mS/cm (gemiddeld 1.7) en de EC-drain varieerde van 1.8 – 2.7 mS/cm (gemiddeld 2.4). De pH in de gift varieerde van 4.9 – 5.8 (gemiddeld 5.5) en in de drain van 5.4 – 7.2 (gemiddeld 6.8).

2.2.3 Ziekten en plagen

De planten waren 10 maanden bewaard in de koelcel voordat deze geplant werden en dit is voor bramen een lange periode. De planten van het ras Loch Ness hadden bij het in de kas zetten al behoorlijk wat *Botrytis cinerea* op de canes. Deze planten werden er zoveel mogelijk uitgeselecteerd, maar hierbij werd er ook gelet op plantgelijkheid c.q. aantal canes per pot. Stengelgedeeltes boven een door *Botrytis* aangetaste plaats stierven vaak af en werden tijdens de teelt zoveel mogelijk weggeknipt om de infectiedruk te verlagen. De canes van het ras Von kwamen daarentegen gezond uit de koelcel, maar vertoonden later soms ook *Botrytis* op de canes. Tegen botrytis is bij de start en na 2 weken gespoten met het gewasbeschermingsmiddel Switch. Tegen de bramengalmijt/spintmijt is half oktober een preventieve bestrijding met Vertimec uitgevoerd. In het ras Von kwamen enkele bramenbladrollers en groene appelwantsen voor, die hoogstwaarschijnlijk met het plantmateriaal waren meegekomen. Deze zijn zoveel mogelijk handmatig verwijderd. Het uitzetten van macrolophus heeft mogelijk ook positief gewerkt in de bestrijding van de appelwants. Verder zijn er geen ziekten of plagen opgetreden en zijn er geen bestrijdingen met chemische of 'groene' middelen uitgevoerd. Er zijn preventief wel flinke hoeveelheden van verschillende biologische bestrijders uitgezet in het gewas. *Botrytis* of andere schimmels op de vruchten vormden geen probleem.

2.2.4 Bladkleur

Het chlorofylgehalte in de bladeren van het ras Loch Ness was lager dan in de bladeren van Von (Figuur 13). Dit is mogelijk te verklaren door de anthocyaan waarden in Loch Ness, die vele malen hoger waren dan in Von. In flavonoïde gehalte waren de verschillen tussen de lichtbehandelingen en rassen gering. Een lager chlorofylgehalte (en hoger anthocyaangehalte) is in principe ongunstig voor de fotosynthese en waarschijnlijk ook voor de vruchtproductie.



Figuur 13 Het chlorofyl- (A), anthocyaan- (B) en flavonoïden-gehalte (C) in de bladeren van het ras Loch Ness en Von. De data zijn gemiddeldes \pm standaardfout van 10 bladeren.

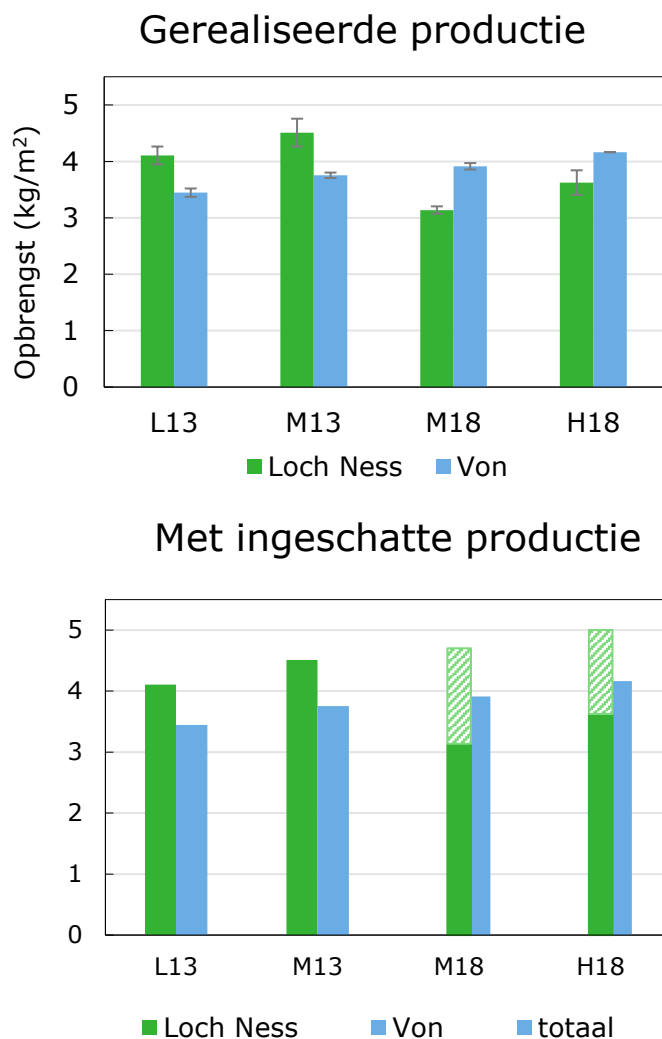
2.2.5 Productie en kwaliteit

2.2.5.1 Productie

Bij het ras Von leverde een gelijke PAR-lichtsom, maar een langere belichtingsduur met lage intensiteit (M18) een totale productieverhoging op van 4,3% ten opzichte van korte duur met hoge intensiteit (M13) (Figuur 14). Dit ondanks een lager chlorofylgehalte bij M18 t.o.v. M13. Dit resultaat laat zien dat het mogelijk is om met minder geïnstalleerde lampen toch een vergelijkbare (of zelfs net wat hogere) productie te behalen is, wat uiteraard gunstig is voor wat betreft de investeringskosten. Een reden voor de iets hogere productie bij M18 t.o.v. M13 kan zijn dat de fotosynthese meestal efficiënter verliep bij een lagere lichtintensiteit (zie Par. 2.2.8). Het blijft onduidelijk of het chlorofylgehalte en/of het anthocyaangehalte hierbij een rol heeft gespeeld. Braam is van nature een struikgewas dat in bosrijk gebied onder beschutting van bomen groeit en is dus mogelijk beter aangepast om efficiënter om te gaan met lagere lichtintensiteit. Bij de fotosynthesemetingen in maart verliep de fotosynthese van Von bij de lagere lichtintensiteit (M18) echter niet efficiënter dan bij M13. Naast de lagere investeringskosten wordt ook de warmte die de lampen afgeven bij de behandeling M18 beter benut, waardoor er minder behoefte is om met de buis te verwarmen.

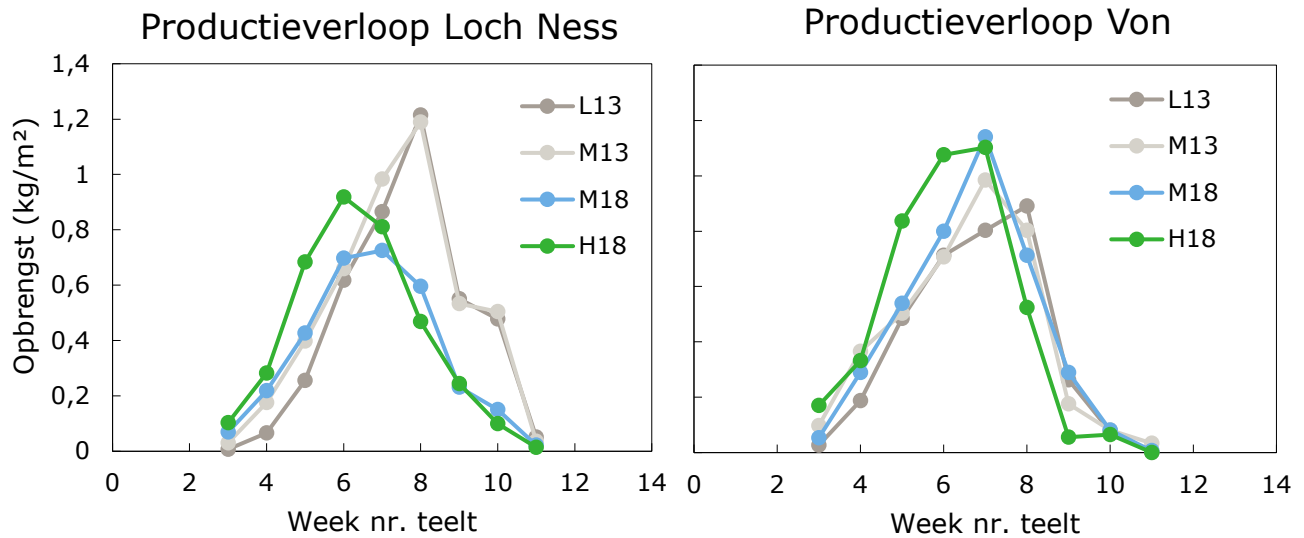
Bij het ras Loch Ness was de productie bij een langere belichtingsduur echter juist lager, zelfs met een hoge lichtintensiteit, waarbij dit gezien het aantal mol licht per dag (9.5 mol tegenover 11.6 mol) geheel tegenin de verwachting was. Een mogelijke verklaring hiervoor is het verschillende plantmateriaal binnen de proef. De planten van Loch Ness waren waarschijnlijk opgekweekt op twee verschillende velden c.q. locaties, omdat deze planten ook in potten met een verschillende vorm zaten, namelijk in een ronde en een vierkante plastic pot. Daarnaast waren de planten van Loch Ness binnen een veld meer heterogeen dan bij Von, wat te zien is aan de grotere foutbalken van Loch Ness in Figuur 14. Het plantmateriaal van het ras Von was duidelijk uniformer. Met behulp van de relatieve toename in lichtbenuttingsefficiëntie (LBE) van Von, is daarom een berekening gemaakt van de verwachte opbrengst voor Loch Ness in de lange belichting indien Loch Ness op gelijke wijze als Von op de lichtbehandelingen zou reageren. De producties zouden bij Loch Ness dan bij de behandelingen M18 en H18 uitkomen op resp. 4.7 en 5.0 kg/m² (Figuur 14B).

Na deze herberekening, gaf een hogere lichtintensiteit bij beide rassen- en belichtingsduren een hogere kg-opbrengst. Dit komt v.w.b. het effect van de lichtintensiteit overeen met LED-onderzoek bij framboos (Janse *et al.* 2021). Bij Von nam de productie met bijna 21 % toe onder langdurige belichting met hoge lichtintensiteit ten opzichte van korte belichting met lage intensiteit (resp. H18 en L13). Dit kan voornamelijk toegeschreven worden aan de toename in dagelijkse hoeveelheid licht (DLI), die bij L13 en H18 resp. 8.4 en 11.6 mol was (zie Figuur 12 in Par. 2.2.1.6). Dit ging wel gepaard met een aanzienlijk hoger elektriciteitsverbruik en zal bij de huidige hoge energieprijzen hoogstwaarschijnlijk verliesgevend zijn.



Figuur 14 Totale productie van bramen in kg/m² gerealiseerd per lichtbehandeling bij beide rassen (A) en productie ingeschat voor Loch Ness aan de hand van een berekening op basis van de LBE van Von (B) (gearceerde gedeelte). De data zijn gemiddeldes ± standaardfout van twee velden, elk met 9 planten.

In Figuur 15 is te zien dat bij eenzelfde etmaaltemperatuur, een hoge totale lichtsom (H18) bij beide rassen tot een vroegere productiepiek leidde. Het langdurig belichten lijkt in braam bij deze lichtintensiteiten niet tot zichtbare lichtschade te leiden.



Figuur 15 Productieverloop van bramen in kg/m² per week voor het ras Loch Ness en Von onder de verschillende lichtstrategieën in de proef.

Het percentage klasse 2 vruchten bij Von was laag en er leken geen duidelijke verschillen te zijn tussen de lichtstrategieën (Tabel 2). Bij de 18 uren belichting had Loch Ness een sterke verhoging in klasse 2 vruchten. Dit was waarschijnlijk weer het gevolg van slechter c.q. afwijkend plantmateriaal in deze kasafdeling.

Tabel 2

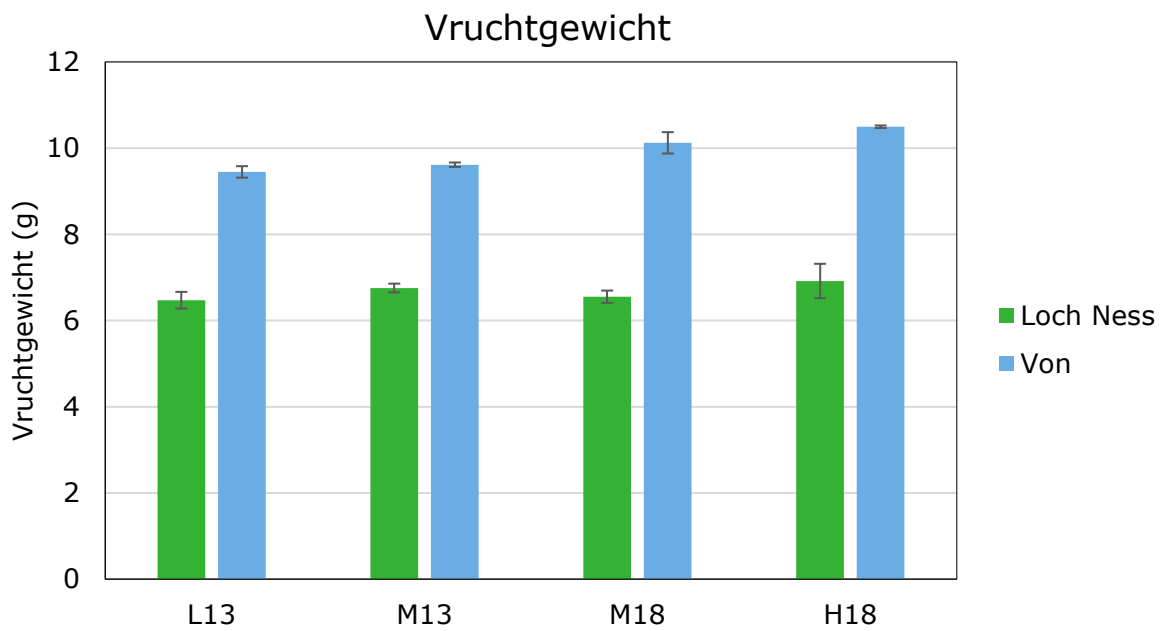
Percentage klasse 2 vruchten bij Loch Ness en Von onder verschillende lichtstrategieën.

Behandeling	Percentage klasse 2	
	Loch Ness	Von
L13	3.4	0.9
M13	2.3	0.8
M18	5.1	1.4
H18	5.0	0.6

De klasse 1-vruchten van het ras Von hadden een duidelijk hoger gemiddeld vruchtgewicht dan die van Loch Ness, namelijk gemiddeld over alle behandelingen resp. 9.9 en 6,7 g (Figuur 16). Met een hoge lichtintensiteit in combinatie met een lange belichtingsduur nam het gemiddeld vruchtgewicht in Von met 1 g toe vergeleken met de korte belichtingsduur + lage lichtintensiteit. De hoogste lichtsom gaf dus bij Von de zwaarste vruchten, terwijl langer belichten bij een gelijke lichtsom (M18 t.o.v. M13) het vruchtgewicht ook verhoogde.

De lage productie van Loch Ness in de afdeling met lang belichten werd veroorzaakt door de oogst van veel minder (ruim 25% minder) goede ofwel klasse 1-vruchten ten opzichte van de planten in de kas met een korte belichtingstijd. Dat verschil is erg groot en heeft hoogstwaarschijnlijk weer met het afwijkende plantmateriaal te maken.

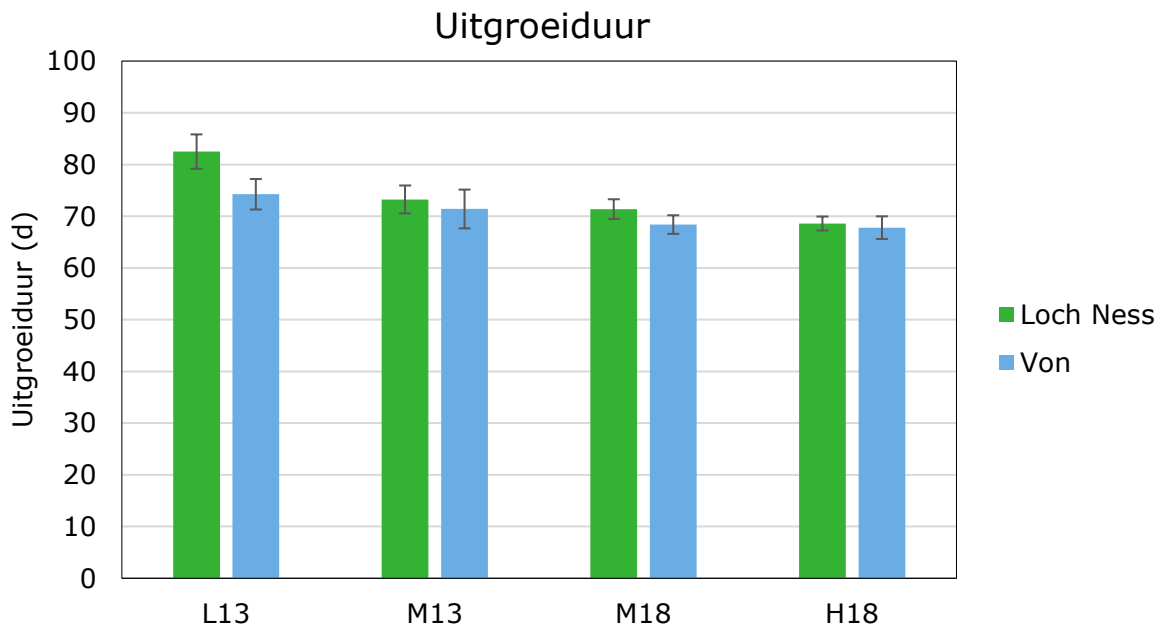
De uitgroeiduur was het langst bij de lage lichtintensiteit met korte belichtingsduur, namelijk 82 dagen bij Loch Ness en 74 dagen bij Von (Figuur 18). Het verlengen van de belichtingsduur tot 18 uur reduceerde de uitgroeiduur bij de twee rassen tot resp. 71 dagen en 68 dagen: ca. - 10%. Deze resultaten laten zien dat de uitgroeiduur niet alleen door de temperatuur wordt beïnvloed (deze was gelijk), maar ook door de hoeveelheid licht én belichtingsduur. De verschillen in uitgroeiduur waren echter het grootst tussen L13 en H18.



Figuur 16 Gemiddeld vruchtgewicht van klasse 1 bramen van beide rassen onder verschillende lichtstrategieën in de proef. De data zijn gemiddeldes \pm standaardfout van meerdere oogstmomenten.



Figuur 17 Vruchten aan de plant van het ras Von (links) en Loch Ness (rechts).



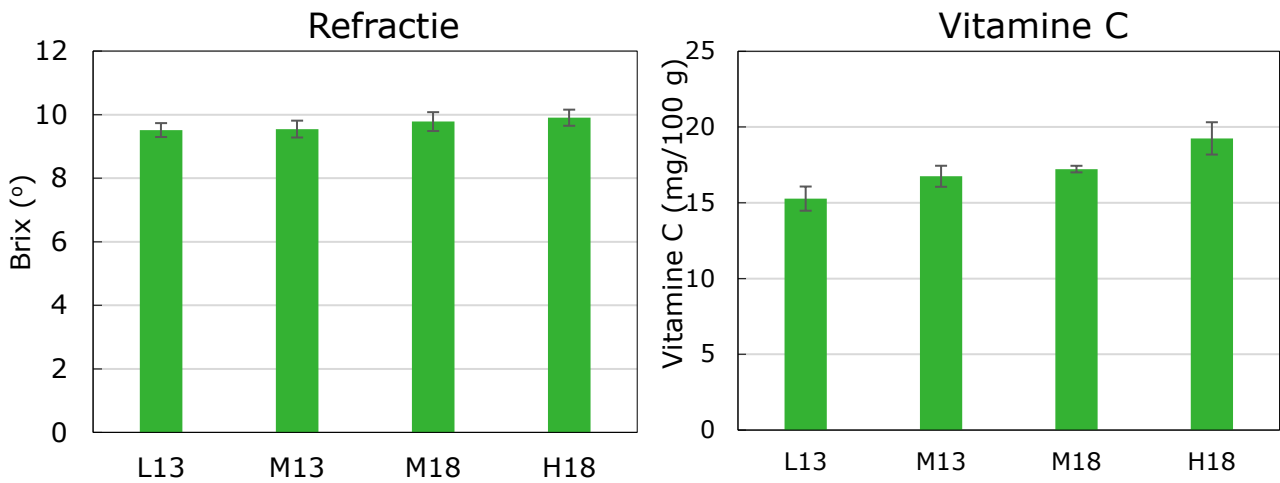
Figuur 18 Gemiddelde uitgroeiduur in dagen van de braamvruchten van beide rassen onder de verschillende lichtstrategieën in de proef. De data zijn gemiddeldes \pm standaardfout van meerdere oogstmomenten.

2.2.5.2 Inwendige kwaliteit

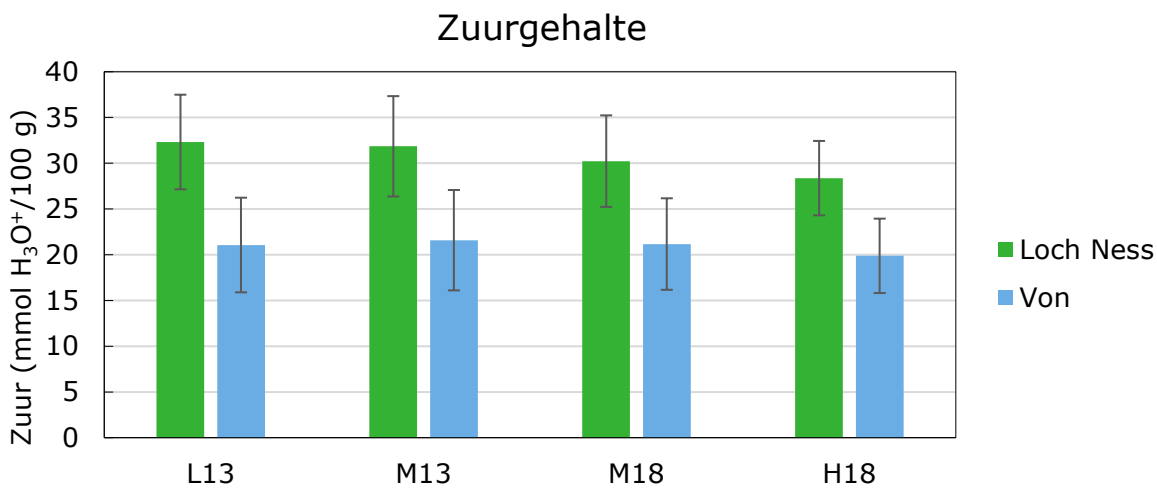
De inwendige kwaliteit van de bramen is bepaald door de refractie (dat is globaal het suikergehalte), het zuurgehalte en de hoeveelheid vitamine C in de vruchten te meten.

Er is weinig verschil gevonden in refractie en vitamine C-gehalte tussen Loch Ness en Von. Bij beide vruchtkenmerken was er een iets stijgende trend te zien bij een toenemende lichtsom (Figuur 19). Het vitamine C-gehalte sprong er bij de hoogste lichtsom iets bovenuit. De toename in vitamine C bij eenzelfde lichtsom, maar bij een langere belichtingsduur, was slechts gering (M18 tegen M13), evenals de totale toename in refractie, van 9,5 naar 9,9 °Brix bij L13 en H18 (laagste en hoogste lichtsom).

In tegenstelling tot bij de refractie en het vitamine C-gehalte, was v.w.b. het zuurgehalte bij Loch Ness juist het tegenovergestelde effect zichtbaar. Bij dit ras was er bij meer licht en een langere belichtingsduur een afnemende trend in zuurgehalte waar te nemen. De standaardfout was bij alle behandelingen echter aan de hoge kant (Figuur 20). Opvallend was het grote verschil in zuur tussen beide rassen: Von bevatte ongeveer 30% minder zuur dan Loch Ness. Dit is gunstig voor de smaak, omdat Loch Ness door de meeste consumenten veel te zuur wordt bevonden. Omdat de refracties in beide rassen ongeveer gelijk waren, maar Von duidelijk minder titreerbaar zuur bevatte dan Loch Ness, zal het gehalte aan reduceerbare suikers bij Von wel hoger zijn geweest dan bij Loch Ness. Met de refractometer meet je namelijk niet alleen suikers, maar ook organische zuren. De lichtbehandelingen beïnvloedden bij Von het zuurgehalte echter nauwelijks.



Figuur 19 Refractie of Brix-waarde en vitamine C gehalte van de bramen (beide rassen gecombineerd) onder verschillende lichtstrategieën. De data zijn gemiddeldes ± standaardfout van beide rassen op meerdere oogstmomenten.

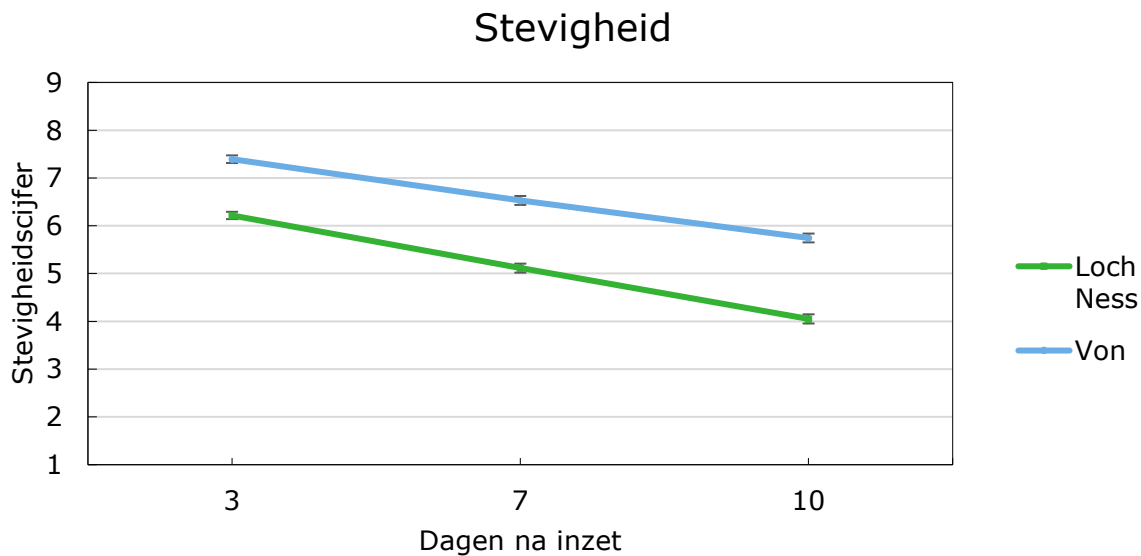


Figuur 20 Zuurgehalte van de bramen van beide rassen onder verschillende lichtstrategieën. De data zijn gemiddeldes ± standaardfout van meerdere oogstmomenten.

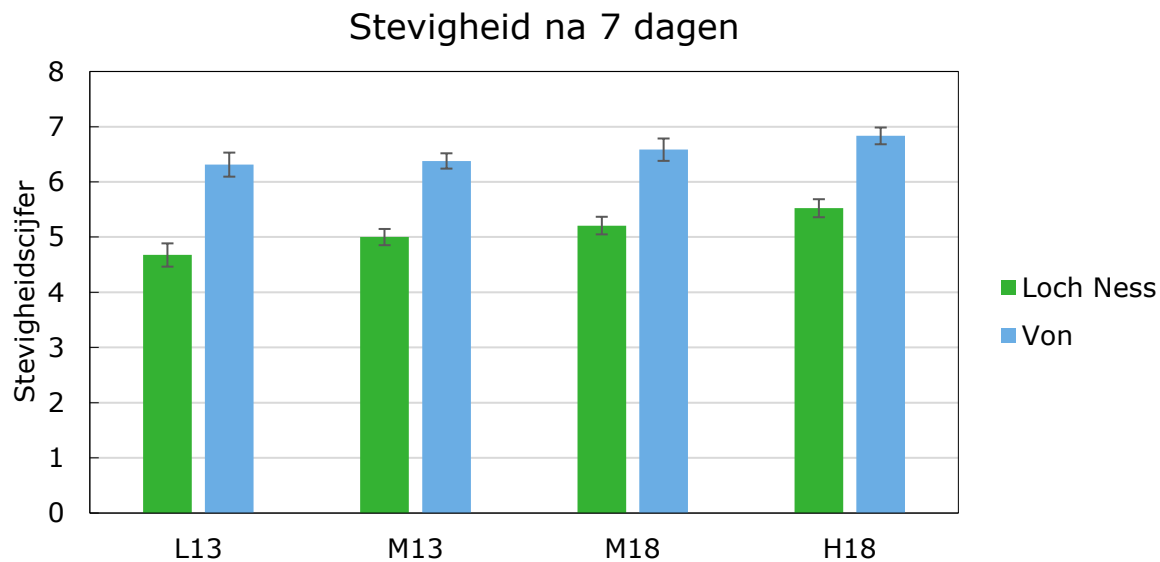
2.2.5.3 Houdbaarheid

Om de houdbaarheid te bepalen is de stevigheid van de bramen, het percentage vruchten met lekkende bolletjes en het percentage vruchten met rode bolletjes gemeten.

De stevigheid van alle vruchten nam tijdens de bewaring af, maar de bramen van het ras Von bleven tijdens de hele bewaarperiode steviger dan van Loch Ness (Figuur 21). Na 7 dagen bewaring was voor beide rassen een lichte trend zichtbaar waarbij de bramen onder hogere lichtintensiteit en langer belichten iets steviger waren dan bij een lage intensiteit en kort belichten (Figuur 22). Na 10 dagen was er geen verschil meer tussen de behandelingen.



Figuur 21 Stevigheidsverloop van de bramen van het ras Loch Ness en Von tijdens een bewaarperiode van 10 dagen. De data zijn gemiddeldes \pm standaardfout van alle behandelingen gemiddeld over de 3 inzetdata.

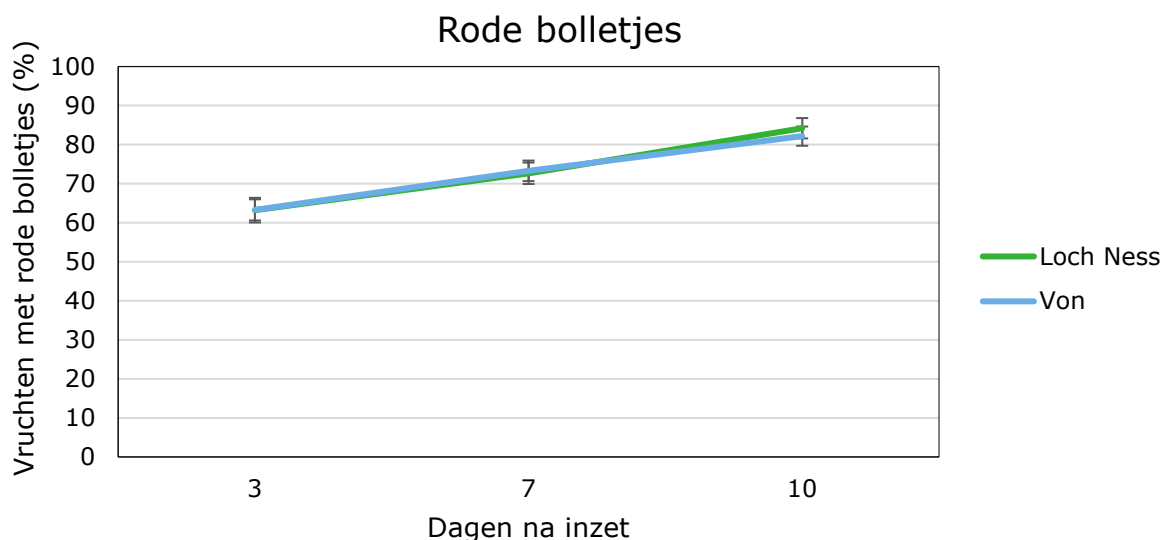


Figuur 22 Het effect van verschillende lichtstrategieën op de stevigheid van de bramen van het ras Loch Ness en Von na een bewaarperiode van 7 dagen. De data zijn gemiddeldes \pm standaardfout van 3 houdbaarheidsproeven per veld (in tweevoud).

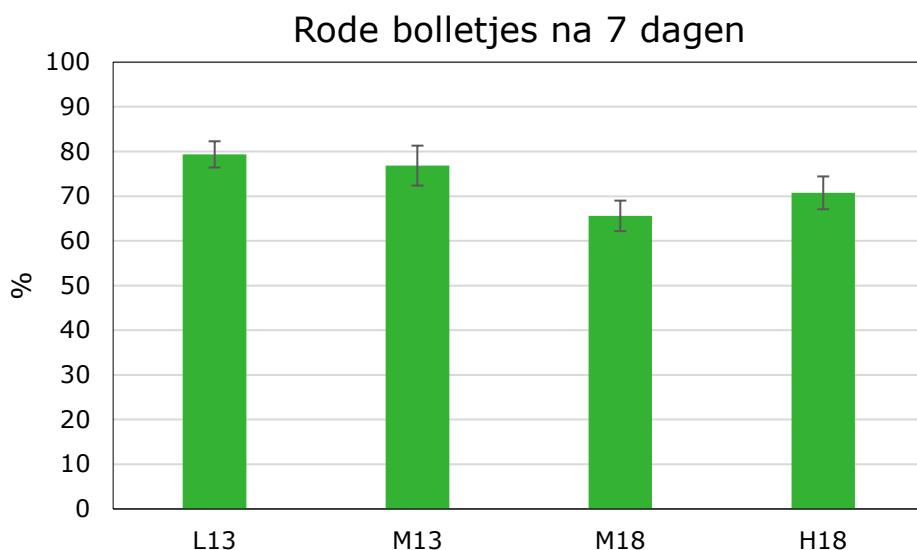
Het percentage vruchten met rode bolletjes nam voor alle behandelingen gedurende de 10 dagen bewaring toe, waarbij er geen verschil was tussen de rassen (Figuur 23). Deze toename werd waarschijnlijk versterkt doordat de bramen werden beoordeeld op stevigheid door licht te voelen met de handen. Hierdoor ontstond er wat meer handling, wat het aantal rode bolletjes veelal doet toenemen (Pérez-Pérez *et al.* 2018). Deze handling werd echter bij alle behandelingen op gelijke wijze toegepast.

Gemiddeld over beide rassen was na 7 dagen bewaring te zien dat een langere belichtingsduur, een lager percentage rode bolletjes gaf, namelijk 65% bij lang belichten met lage intensiteit (M18) ten opzichte van 76% bij kort belichten met hoge intensiteit (M13); zie Figuur 24. Het aantal vruchten met lekkende bolletjes was tijdens de bewaring laag, voor beide rassen bleef deze onder de 4%, maar bij het ras Loch Ness was dit ongeveer 1% hoger dan bij Von.

Uit deze resultaten kan geconcludeerd worden dat de bramen van het ras Von beter houdbaar ofwel steviger waren bij inzet en tijdens de bewaring dan van Loch Ness. Na een week bewaring bleven de bramen van beide rassen bij een lange belichtingsduur van 18 uur net iets steviger met wat minder rode bolletjes.



Figuur 23 Het percentage bramen met rode bolletjes voor het ras Loch Ness en Von tijdens een bewaarperiode van 10 dagen. De data zijn gemiddeldes \pm standaardfout van alle behandelingen gecombineerd van 3 inzetdata.



Figuur 24 Het percentage bramen met rode bolletjes na een bewaarperiode van 7 dagen (beide rassen gecombineerd) onder de verschillende lichtstrategieën. De data zijn gemiddeldes \pm standaardfout van de 3 houdbaarheidsproeven.

2.2.6 Gewasopbouw

2.2.6.1 Droge stof

Om de assimilatenverdeling van het gewas te bepalen is aan het einde van de proef het droge stof gehalte van de verschillende plantdelen destructief gemeten. Het droge stof gehalte van de geoogste vruchten is vrijwel wekelijks bepaald, in totaal 6 maal.

Opvallend was dat het ras Von in alle plantdelen hogere percentages droge stof had dan het ras Loch Ness (Tabel 4). Daarnaast hadden de vegetatieve delen (lateralen en blad) bij Von een hoger percentage droge stof onder een hoge lichtintensiteit in combinatie met lang belichten (H18), terwijl dit bij Loch Ness niet echt het geval was. Waarschijnlijk heeft bij Loch Ness de mindere plantkwaliteit in de afdeling met lang belichten hierbij een rol gespeeld. Mogelijk was bij de hoogste lichtintensiteit bij het ras Von sprake van een soort luxe consumptie of opslag van assimilaten in de vegetatieve delen.

In Tabel 5 is te zien dat ook de gemiddelde, totale hoeveelheid droge stof bij Von duidelijk hoger was dan bij Loch Ness, namelijk 702 gram versus 540 gram. Bij de verschillende lichtbehandelingen is bij het ras Von te zien dat de hoeveelheid droge stof toenam bij hogere lichtintensiteit en langer belichten. Bij dezelfde lichtsom, maar langer belichten (M18 t.o.v. M13) was de totale hoeveelheid droge stof 8,7% hoger, voornamelijk door een toename in de vegetatieve delen. Daarnaast resulteerde de hoge lichtintensiteit bij een lange belichtingsduur (H18 t.o.v. M18) bij het ras Von in nog eens een verhoging van 11,4% aan droge stof.

Tabel 4

Percentage droge stof (%) per plantdeel voor beide rassen onder verschillende lichtstrategieën.

Behandeling	Loch Ness				Von			
	Canes	Lateralen	Blad	Vrucht	Canes	Lateralen	Blad	Vrucht
L13	42	30	28	10.9	46	32	27	11.8
M13	43	32	28	10.9	49	36	29	11.7
M18	44	32	26	11.2	47	35	29	11.4
H18	44	33	27	11.2	48	39	33	11.4
Gemiddeld	43	32	27	11.1	48	35	30	11.6

Tabel 5

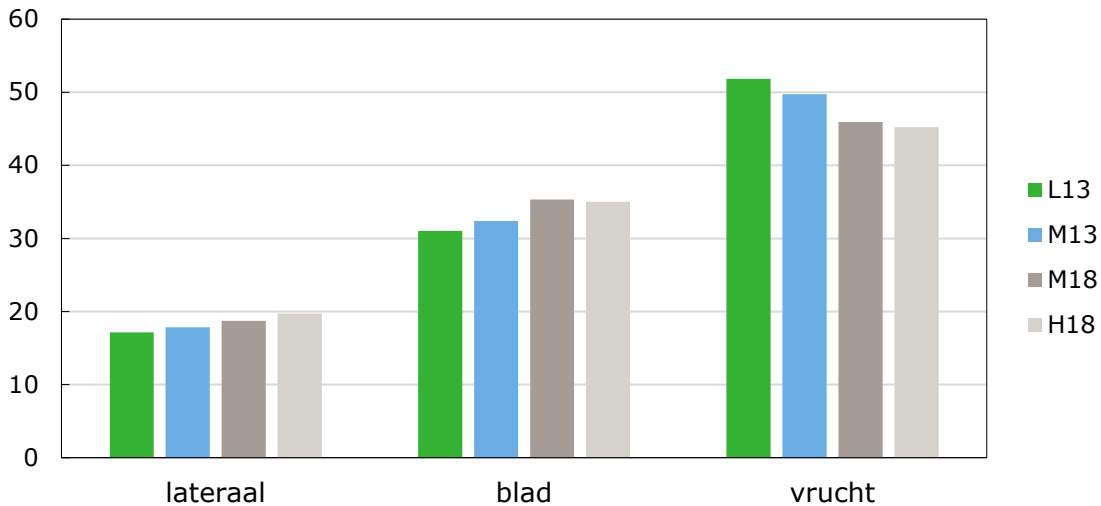
Totale hoeveelheid droge stof (g) per plantdeel voor beide rassen onder verschillende lichtstrategieën.

Behandeling	Loch Ness					Von				
	Canes	Lateralen	Blad	Vrucht	Totaal	Canes	Lateralen	Blad	Vrucht	Totaal
L13	0	81	153	306	540	7	117	206	278	601
M13	0	102	184	331	617	35	132	240	297	669
M18	0	79	157	234	470	37	150	274	303	727
H18	0	90	171	271	532	43	180	308	322	810
Gemiddeld	0	88	166	286	540	30	145	257	300	702

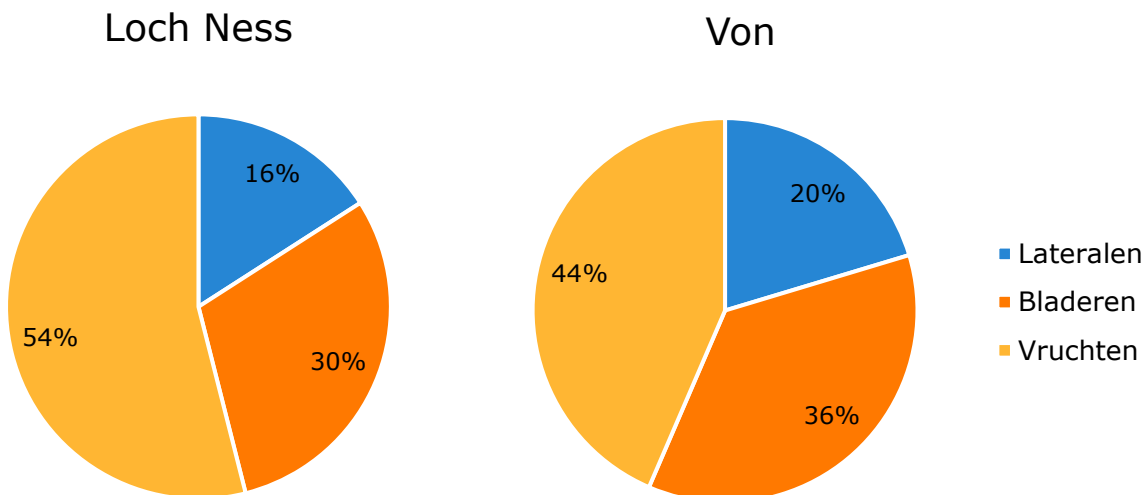
Vreemd blijft dat bij Loch Ness de hoeveelheid droge stof in zowel de vegetatieve als generatieve delen lager werd als de lichthoeveelheid en/of de belichtingsduur toenam. Dit moet voornamelijk te maken hebben gehad met verschillen in plantmateriaal (zie ook Par. 2.2.5.1). Bij andere gewassen zie je soms ook dat een lange belichtingsduur of (te) hoge lichtintensiteit bij bepaalde rassen een negatieve invloed kan hebben op groei en productie. In dit geval lijkt het er toch sterk op dat het plantmateriaal van Loch Ness in de afdeling met de lange belichting hieraan ten grondslag lag. In eerder onderzoek met braam werd met een belichtingsduur van 18 uur en 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ onder diffuus glas namelijk een uitstekende productie gerealiseerd

Wanneer we de verdeling van droge stof over de totale plant bekijken, is te zien dat de generatieve delen ofwel de vruchten de meeste assimilaten naar zich toe hebben getrokken. In beide rassen was bij de lichtbehandelingen dezelfde trend zichtbaar en daarom zijn beide rassen gecombineerd. Bij een langere belichtingsduur ging er procentueel gezien minder droge stof naar de vruchten, en juist meer naar de vegetatieve delen (Figuur 25). Dit is jammer, want het is juist wenselijk dat er bij meer licht of een langere belichtingsduur er relatief veel assimilaten naar de vruchten gaan. Mogelijk dat een ander spectrum, bijv. met meer verrood of blauw, de verdeling van assimilaten over de verschillende plantdelen in gunstige zin zou kunnen beïnvloeden. Bij het ras Von ging er bij alle behandelingen een groter gedeelte van de assimilaten naar de vegetatieve delen dan bij Loch Ness, resp. 56% vs. 46% (Figuur 26).

% drogestof verdeling



Figuur 25 De procentuele verdeling van droge stof over de verschillende delen van het gewas gemiddeld over beide rassen.



Figuur 26 De procentuele verdeling van droge stof over de verschillende delen van het gewas voor de rassen Loch Ness en Von.

2.2.6.2 LAI

Het hogere aandeel van assimilaten in de vegetatieve delen bij Von was duidelijk terug te zien in de LAI; deze was gemiddeld 45% hoger in Von in vergelijking met Loch Ness (Tabel 6). Als de twee belichtingsintensiteiten per afdeling worden bekeken, dan is te zien dat een hogere lichtintensiteit bij beide rassen resulteerde in een lichte toename in LAI. Daarnaast zorgde langer belichten bij Von ook voor een duidelijke verhoging van de LAI met ruim $1 \text{ m}^2/\text{m}^2$. Het is echter de vraag of deze hoge LAI waardes bij Von van toegevoegde waarde waren voor de lichtonderschepping en aanmaak van assimilaten. In veel gewassen is er een optimum in LAI en neemt de lichtonderschepping na een bepaalde waarde niet meer toe; dit zou in vervolgonderzoek met braam interessant zijn om te onderzoeken door een verschillende LAI aan te houden in combinatie met op verschillende hoogtes meten van de lichtonderschepping. Een hoge LAI kan dus mogelijk weinig effect hebben op of zelfs nadelig kunnen werken t.a.v. de productie, omdat de assimilaten dan gebruikt worden voor de vegetatieve groei en in deze situatie niet beschikbaar zijn voor de vruchtproductie of -kwaliteit. Een hoge LAI zal ook meer verdamping geven en deze waterdamp moet veelal ook weer worden afgevoerd, wat extra energie kost. Door het grote aantal kleine bladeren is de LAI tijdens de teelt ook moeilijk non-destructief te meten, zeker in vergelijking met bijv. tomaat en komkommer. Via veredeling of opkweek zou de bloemaanleg en daarmee mogelijk het aantal te oogsten vruchten en de productie verhoogd kunnen worden.

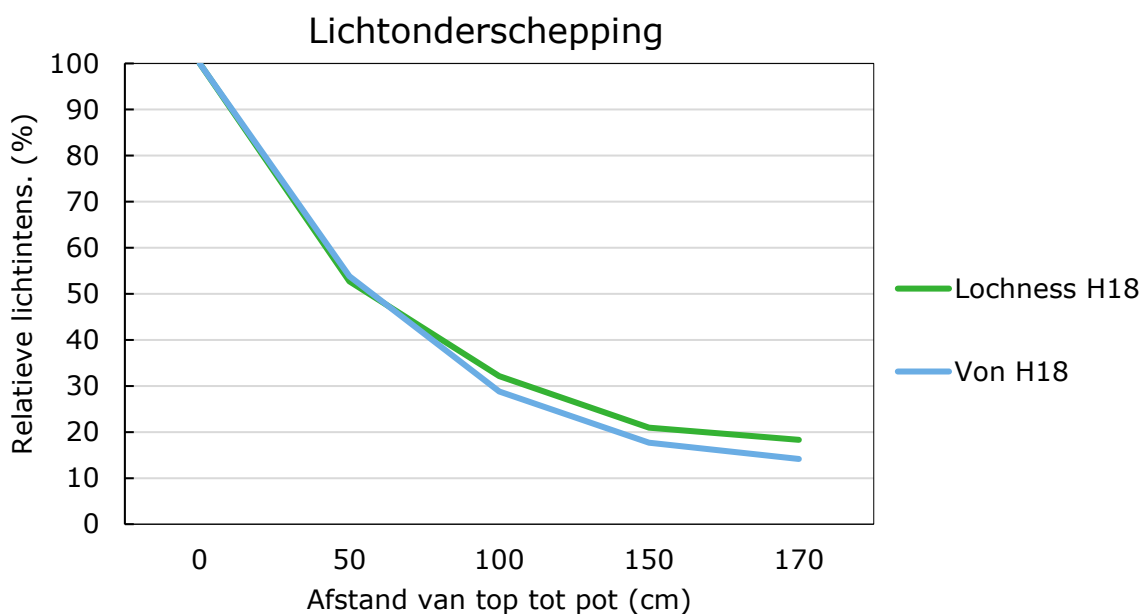
Tabel 6

LAI ($\text{m}^2 \text{ blad}/\text{m}^2$) van de planten onder verschillende lichtstrategieën aan het einde van de proef.

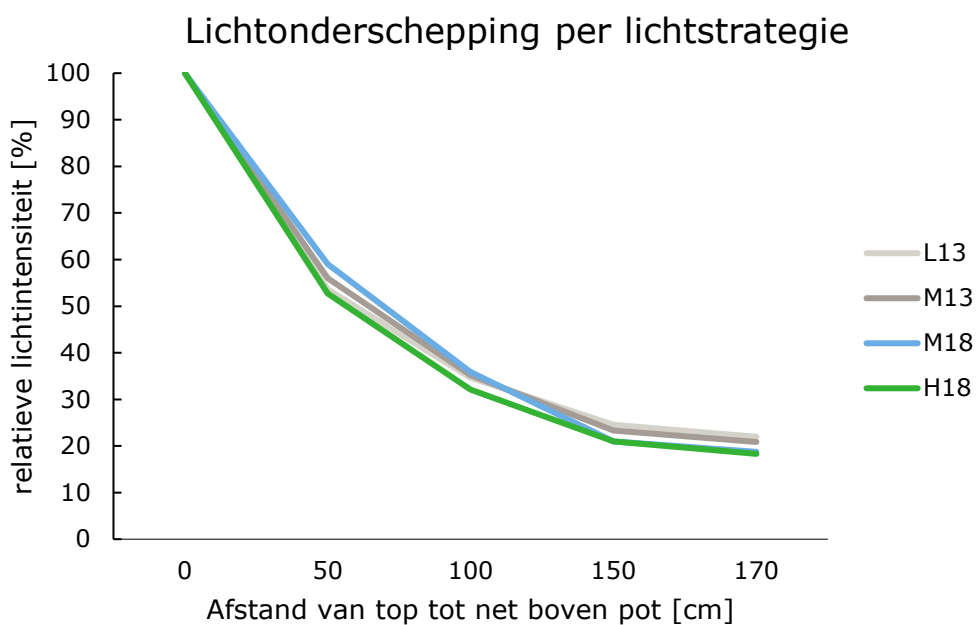
Behandeling	Loch Ness	Von
L13	3.0	4.1
M13	3.7	4.3
M18	3.1	5.2
H18	3.2	5.4
Gemiddeld	3.3	4.8

2.2.6.3 Lichtonderschepping

De lichtintensiteit werd op verschillende hoogtes in het gewas gemeten om te bepalen hoeveel licht onderschept werd. Hoe dieper in het gewas gemeten werd, hoe minder licht er aanwezig was en dus onderschept werd (Figuur 27). Tussen de rassen waren er weinig verschillen, maar vanaf een afstand van 100 cm van de top had Von net wat meer lichtonderschepping, wat logisch lijkt gezien de hogere LAI van dit gewas. Deze meting vond begin december plaats, waarbij 80% van het licht werd onderschept. Er waren toen weinig verschillen in lichtonderschepping tussen de verschillende lichtbehandelingen (Figuur 28). Hoewel de LAI in december niet gemeten is, omdat er bij destructieve metingen planten verloren gaan, lijkt het er veel op dat een erg hoge LAI niet nodig is om voldoende licht te kunnen onderscheppen.



Figuur 27 De relatieve lichtintensiteit op verschillende hoogtes in het gewas bij de rassen Loch Ness en Von bij de hoogste lichtintensiteit gemeten (meting begin december).



Figuur 28 De relatieve lichtintensiteit op diverse hoogtes in het Loch Ness-gewas bij de verschillende lichtstrategieën. Dit relateert aan de hoeveelheid licht wat onderschept is in het braamgewas. Meting begin december.

2.2.7 Lichtbenuttingsefficiëntie

Als er per **afdeling** wordt gekeken, dus bij resp. ca. 13 en 18 uur belichten, dan nam de lichtbenuttingsefficiëntie bij beide rassen iets af wanneer er belicht werd met een hogere lichtintensiteit. Deze bevindingen komen overeen met onderzoeksresultaten in framboos en ook in andere gewassen (Janse *et al.* 2021). Bij hoge lichtintensiteiten ging het gewas dus iets minder efficiënt om met het licht. Daarnaast gingen bij het ras Von er ook relatief veel assimilaten naar de vegetatieve delen (zie ook Par. 2.2.6.1.).

Door de lage productie was de lichtbenuttingsefficiëntie van Loch Ness bij een lange belichtingsduur veel lager dan bij kort belichten (zie Par. 3.6.1). Dit is bij dit ras waarschijnlijk wederom het gevolg van het afwijkende plantmateriaal.

Tabel 7

Lichtbenuttingsefficiëntie (g vers gewicht vruchten klasse 1/mol PAR) van de planten onder verschillende lichtstrategieën, berekend aan het einde van de proef.

Behandeling	Loch Ness	Von
L13	3.0	2.6
M13	2.8	2.4
M18	1.9	2.5
H18	1.8	2.2
Gemiddeld	2.4	2.4

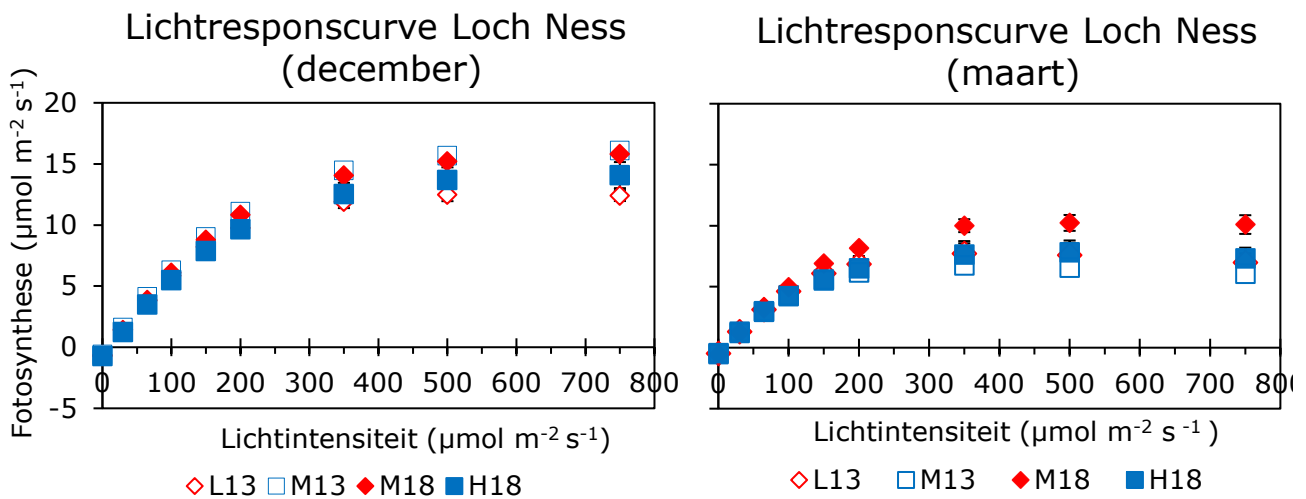
De berekende energie-efficiëntie op basis van de productie en het berekende totale energieverbruik (zie Par. 2.2.1.7) was bij de behandelingen L13, M13, M18 en H18 bij het ras Von resp. 21.5, 21.9, 23.7 en 24.2 (g/kWh). Bij lang belichten (18 uur) is de energie-efficiëntie dus hoger dan bij kort belichten (ruim 13 uur). Deze conclusie geldt niet voor Loch Ness, omdat de producties bij lang belichten sterk afweken (zie boven). Als de stroom uit een duurzame bron komt, is M18 te prefereren. Als de stroom opgewekt wordt door een WKK en de warmte wordt voor dezelfde kas gebruikt,

2.2.8 Fotosynthese

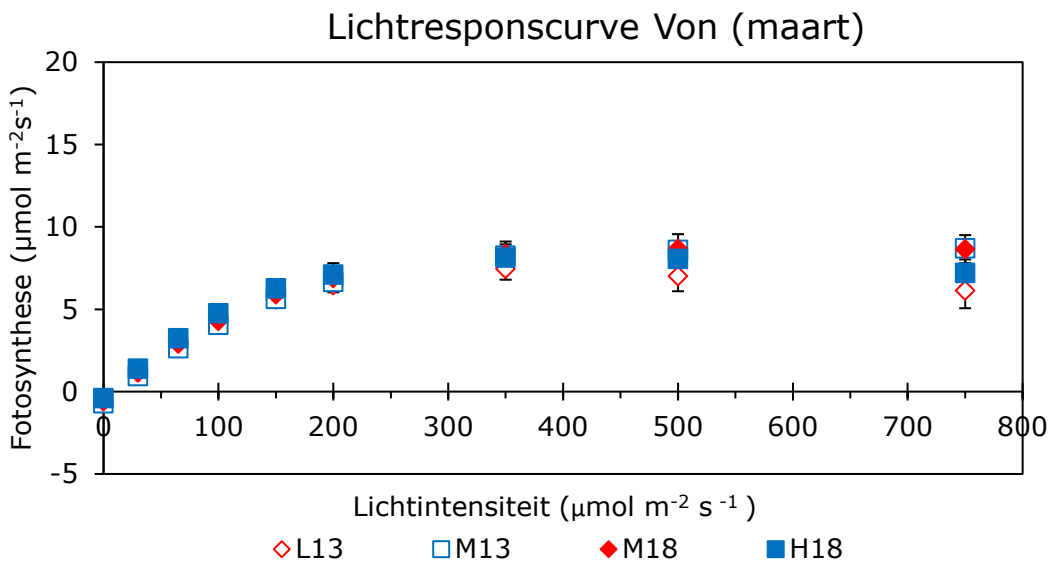
Door fotosynthesemetingen uit te voeren is gekeken naar de efficiëntie van de planten onder de verschillende LED lichtstrategieën. Uit onderzoeken door Plant Lighting kwam bijvoorbeeld naar voren dat bij de groentegewassen paprika en aubergine, de fotosynthese efficiëntie bij lang belichten af kan nemen. Ook bij bramen en frambozen bleek dat er een 'middagdip' in de fotosynthese op kan treden (Janse *et al.* 2022).

Als bij Loch Ness de behandelingen met gelijke lichtsommen, maar met een verschillende belichtingsduur met elkaar worden vergeleken (M13 vs. M18), dan was de fotosynthese bij M18 alleen in maart hoger dan bij M13. Bij de metingen in maart bij het ras Von lopen deze behandelingen qua fotosynthese echter vrijwel gelijk op. In dit onderzoek blijkt dus dat langer belichten bij braam niet ten koste hoeft te gaan van de fotosynthesesnelheid. Bij Loch Ness was de fotosynthese zowel in december als maart bij behandeling M18 wat hoger dan bij L13 en H18.

Verhoging van de lichtintensiteit doet met name in december de fotosynthese toenemen. In maart was de fotosynthese ongeveer een factor 2 lager dan in december. Het is bekend dat de fotosynthese bij een hoge plantbelasting hoger is dan bij een lage plantbelasting (Lykins *et al.* 2021; Janse *et al.* 2022). Begin maart waren de planten grotendeels afgeogst. Boven de 500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{m}^{-1}$ en bij een CO_2 concentratie van en 600 ppm, bleek in maart de fotosynthese bij beide rassen af te nemen. Dit duidt onder deze omstandigheden op lichtverzadiging.



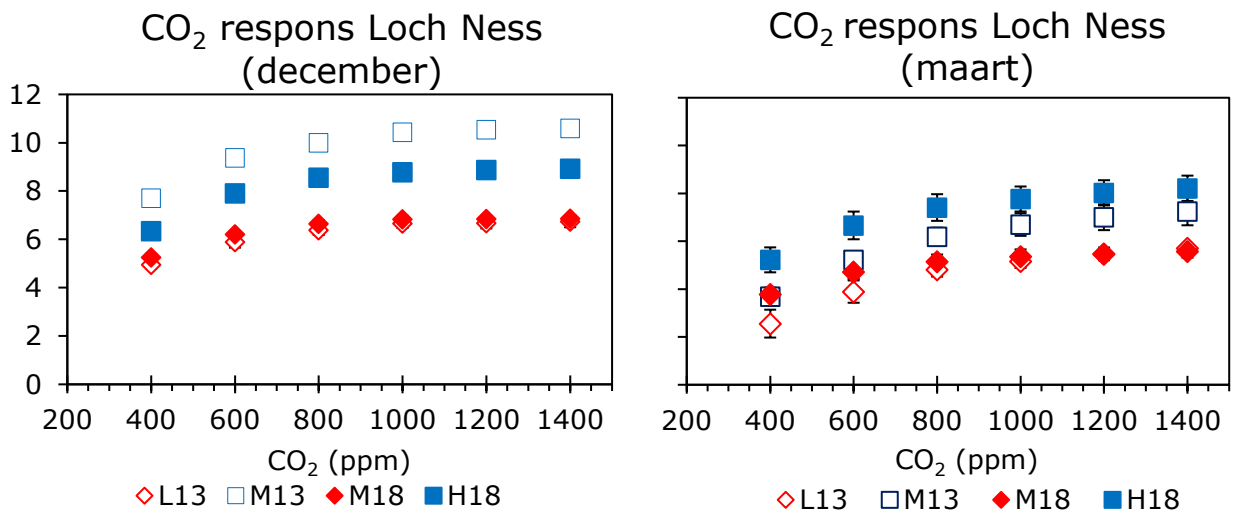
Figuur 29 Fotosynthese waarden onder oplopende lichtintensiteiten bij bramenplanten van het ras Loch Ness in december (A) en maart (B). De metingen werden uitgevoerd bij een CO_2 waarde van 600 ppm. De data zijn gemiddeldes \pm standaardfout van 6 planten per behandeling.



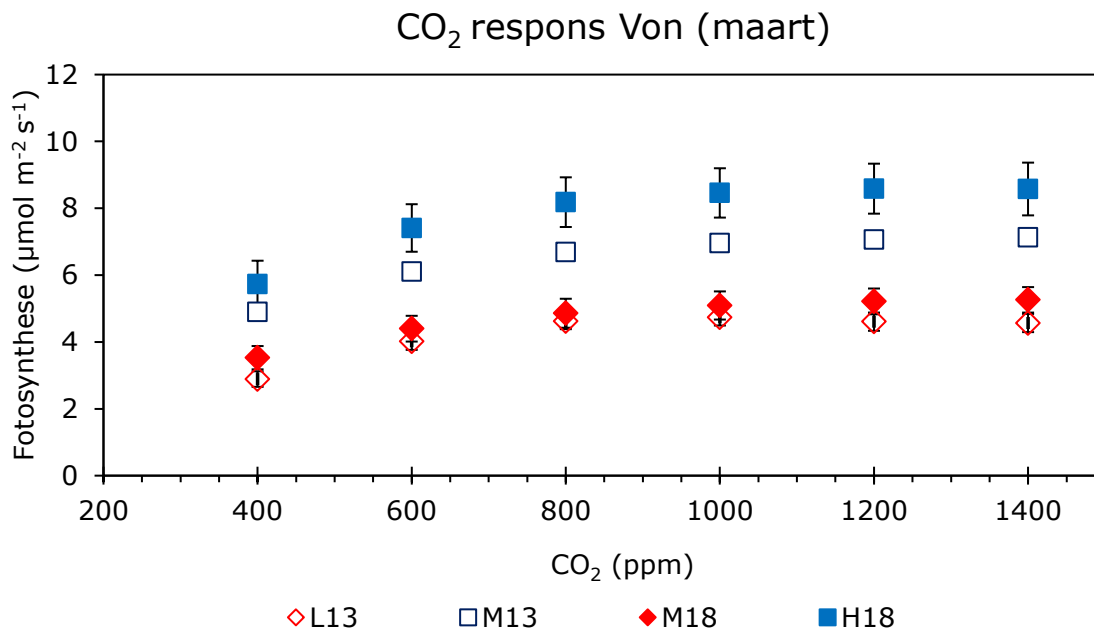
Figuur 30 Fotosynthese waarden onder oplopende lichtintensiteiten bij bramenplanten van het ras Von in maart. De metingen werden uitgevoerd bij een CO_2 waarde van 600 ppm. De data zijn gemiddeldes \pm standaardfout van 6 planten per behandeling.

De fotosynthese waarden waren ook bij verschillende CO_2 niveaus in december wat hoger dan in maart (Figuur 31). De grootste stijging in fotosynthese werd gevonden tussen CO_2 concentraties van 400-800 ppm. Daarboven nam de fotosynthese nauwelijks toe. Bij de meting in maart waren in het ras Von dezelfde effecten te zien als in Loch Ness (Figuur 32).

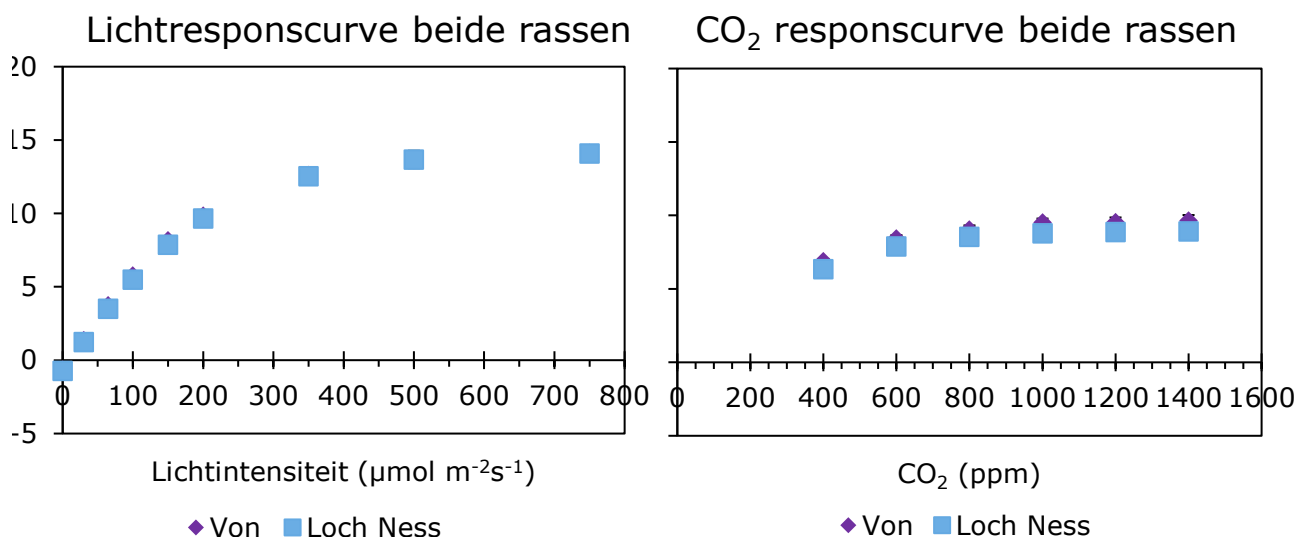
Tussen de rassen Von en Loch Ness was er geen verschil in fotosynthese onder de verschillende lichtintensiteiten of CO_2 waarden (Figuur 33). De rasverschillen in productie moeten dus veroorzaakt zijn door hoe de assimilaten planten omgaan met het licht en hoe de assimilaten verdeeld worden over de verschillende gewasdelen (zie ook Par. 2.2.6.1).



Figuur 31 Fotosynthese waarden onder oplopende CO₂ waarden bij bramenplanten van het ras Loch Ness in december (A) en maart (B). De metingen werden uitgevoerd bij een lichtintensiteit van 150 μmol m⁻² s⁻¹. De data zijn gemiddeldes ± standaardfout van 6 planten per behandeling.

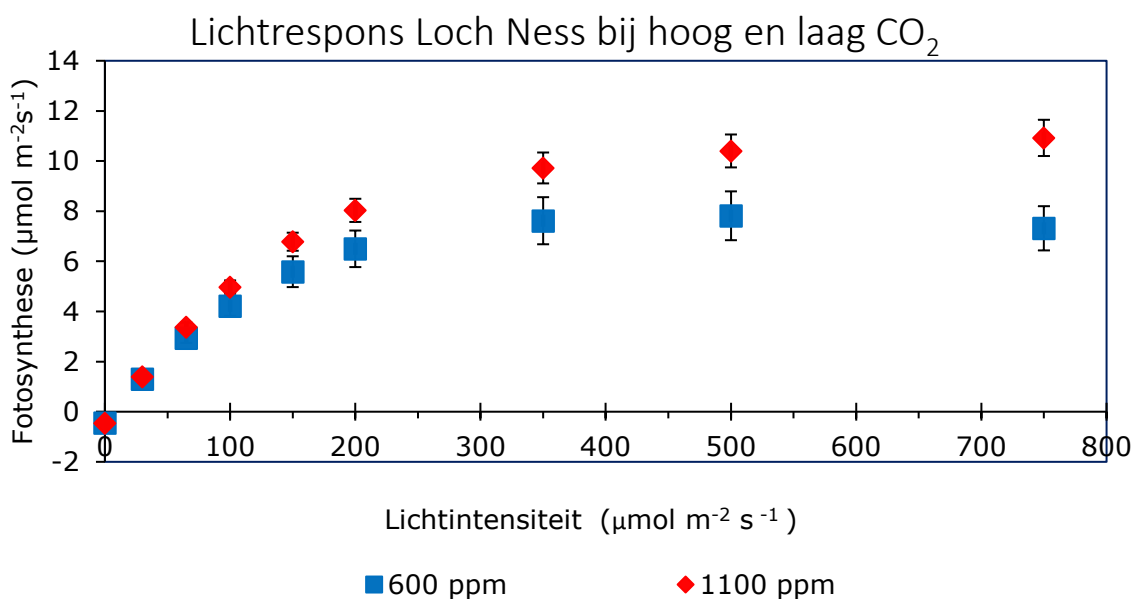


Figuur 32 Fotosynthese waarden onder oplopende CO₂ waarden bij bramenplanten van het ras Von in maart. De metingen werden uitgevoerd bij een lichtintensiteit van 150 μmol m⁻² s⁻¹. De data zijn gemiddeldes ± standaardfout van 6 planten per behandeling.



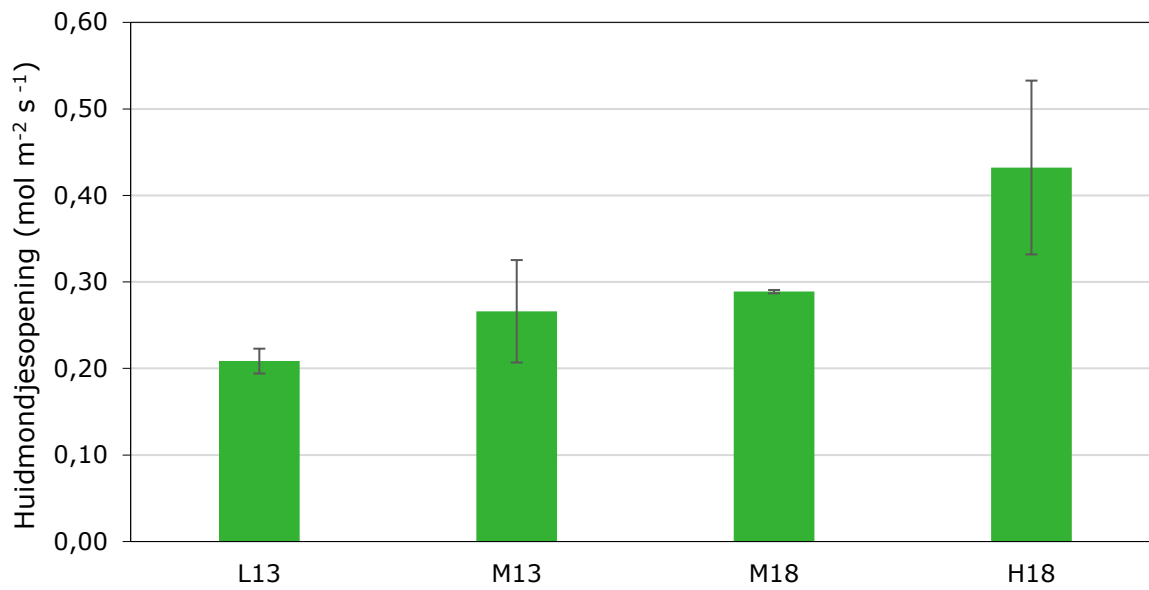
Figuur 33 Licht- en CO₂ responscurves van bramenplanten van het ras Von en Loch Ness die geteeld waren onder een lichtintensiteit van 150 µmol m⁻² s⁻¹ en een belichtingsduur van 18 uur. De metingen zijn uitgevoerd bij een CO₂ gehalte van 600 ppm en de CO₂ responscurve is gemeten bij een lichtintensiteit van 150 µmol m⁻² s⁻¹. De data zijn gemiddeldes van 6 planten per ras.

Naast de aparte lichtrespons en CO₂ respons is er ook gekeken naar het effect van hoog en laag CO₂ onder verschillende lichtintensiteiten. Uit de resultaten blijkt dat hoge CO₂ waarden voornamelijk positieve effecten hadden op de fotosynthese bij hogere lichtintensiteiten boven 200 µmol m⁻² s⁻¹ (Figuur 34). Bij een lichtintensiteit tussen de 0 – 200 µmol m⁻² s⁻¹ waren de verschillen tussen 600 en 1100 ppm CO₂ gering.



Figuur 34 Fotosynthese waarden van bramenplanten van het ras Loch Ness onder oplopende lichtintensiteiten bij 2 verschillende CO₂ niveaus. De planten waren gegroeid onder een lichtintensiteit van 150 µmol m⁻² s⁻¹ en lange belichtingsduur. De data zijn gemiddeldes ± standaardfout van 6 planten.

Volgens verwachting was de opening van de huidmondjes in de bladeren van Loch Ness groter bij een hogere lichtintensiteit van 140 µmol m⁻² s⁻¹ vergeleken met 100 µmol m⁻² s⁻¹ (Figuur 35). Een langere belichtingsduur zorgde vooral bij de hoogste lichtintensiteit voor een verdere toename in de huidmondjesopening.



Figuur 35 Huidmondjesopening in bladeren van braam van het ras Loch Ness onder verschillende lichtstrategieën. De data zijn gemiddeldes \pm standaardfout van 10 bladeren.

3 Onderzoek Delphy bij Bosch Growers

3.1 Inleiding

Parallel aan het onderzoek bij WUR Glas heeft er een monitoringsproject op een praktijkbedrijf van Bosch Growers (Berkel en Rodenrijs) gelopen, waarbij Delphy het grootste gedeelte van de waarnemingen heeft verricht. De fotosynthese- en lichtonderscheppingsmetingen werden uitgevoerd door WUR Glas. Op dit praktijkbedrijf werden bramen onder glas met SON-T-lampen geteeld. In dit monitoringsproject zijn geen specifieke behandelingen aangebracht maar werd de gewasontwikkeling gemonitord.

Het doel van de proef was het monitoren van de groei en ontwikkeling van het gewas in een praktijkteelt om deze te kunnen vergelijken met het onderzoek bij WUR Glas. Hieronder worden de opzet en belangrijkste resultaten besproken.

3.2 Materiaal en methoden

3.2.1 Plantmateriaal en kasinrichting

In week 41 van 2020 is bij Bosch Growers een belichte winterteelt met bramen (cv. 'Loch Ness') gestart in een kas (Venlo-type) met een plantdichtheid van 1 plant/m². Het plantmateriaal was afkomstig van dezelfde plantenkweker als de 'Loch Ness' planten in de proef bij WUR Glas. In de betreffende afdeling was een tweetal telvakken van acht planten aangelegd: in pad 30 en pad 33. De kas was uitgerust met 145 µmol SON-T lampen, verdeeld over twee strengen. De verwarming gebeurde via de onderbuis (buisrail). De kas was uitgerust met zuivere CO₂ dosering (OCAP) en beschikte over een energiescherm (Luxous 1547D) en een vernevelingsinstallatie.

Via de klimaatmeetbox (Priva) werd de kastemperatuur, het CO₂ gehalte in de kaslucht en de relatieve luchtvochtigheid gemeten. De instellingen voor ventilatie en verwarming werden geregistreerd in een Priva-klimaatcomputer. PAR licht in de kas is berekend d.m.v. instraling (weerstation buiten de kas), transmissie van het kasdek (70%) en schermdoek en schakeling van de belichtingsinstallatie. In week 44 is een Priva Planttemperatuur camera geïnstalleerd waarmee de planttemperatuur werd gemeten en de VPD kon worden berekend.

3.2.2 Metingen

Op het tijdstip van planten is er van twee planten het vers- en drooggewicht bepaald om het drogestof percentage bij aanvang van de teelt vast te stellen. Vanaf planting tot en met de eerste oogst is wekelijks het opschot verwijderd. Hier is per telvak het vers- en drooggewicht van bepaald. Vanaf de planting is er (mits aanwezig) per week een tiental vruchten per telvak gelabeld om de uitgroeiduur te bepalen.

Vanaf de oogst in week 51 zijn tweemaal per week (op maandag en donderdag) alle rijpe vruchten van de planten geoogst en per plant geregistreerd. Het aantal geoogste vruchten is geteld voor bepaling van het gemiddeld vruchtgewicht (GVG). Per plant is het vers- en drooggewicht (gedroogd op 70 graden voor 7 dagen) van de vruchten bepaald en van de gelabelde vruchten kon de uitgroeiduur worden bepaald. Er is geoogst tot en met het ruimen van de teelt in week 11 van 2021. Bij het ruimen is van alle planten het totale versgewicht gemeten en van een viertal planten (twee per telvak) het drooggewicht om het drogestof percentage van de planten te bepalen.

Aanvullend aan de oogstmetingen is er door WUR Glas een tweetal metingen uitgevoerd aan de fotosynthese en lichtonderschepping: op 2 december 2020 en op 23 februari 2021. Driemaal is de houdbaarheid en kwaliteit van het geogste product beoordeeld door WUR Glas: op 9 februari, 23 februari en 9 maart 2021. Tweemaal is de refractie van het geogste product bepaald: op 8 januari en 23 februari 2021.



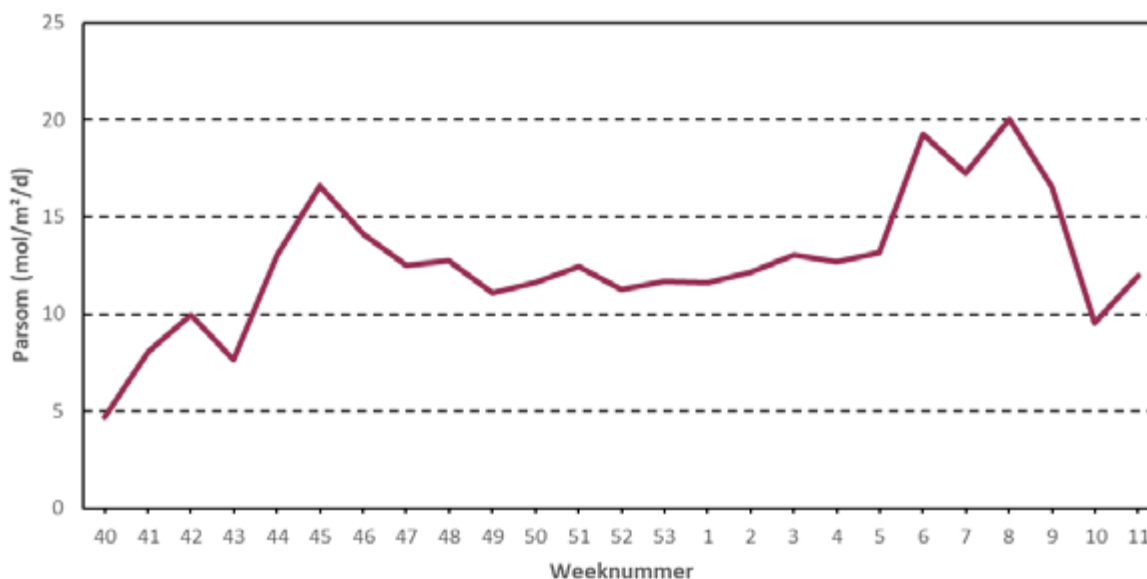
Figuur 36 Links: Gewasstand in telvak 30 in week 4. Rechts: gewasstand in telvak 30 in week 44.

3.3 Resultaten en discussie

3.3.1 Klimaat

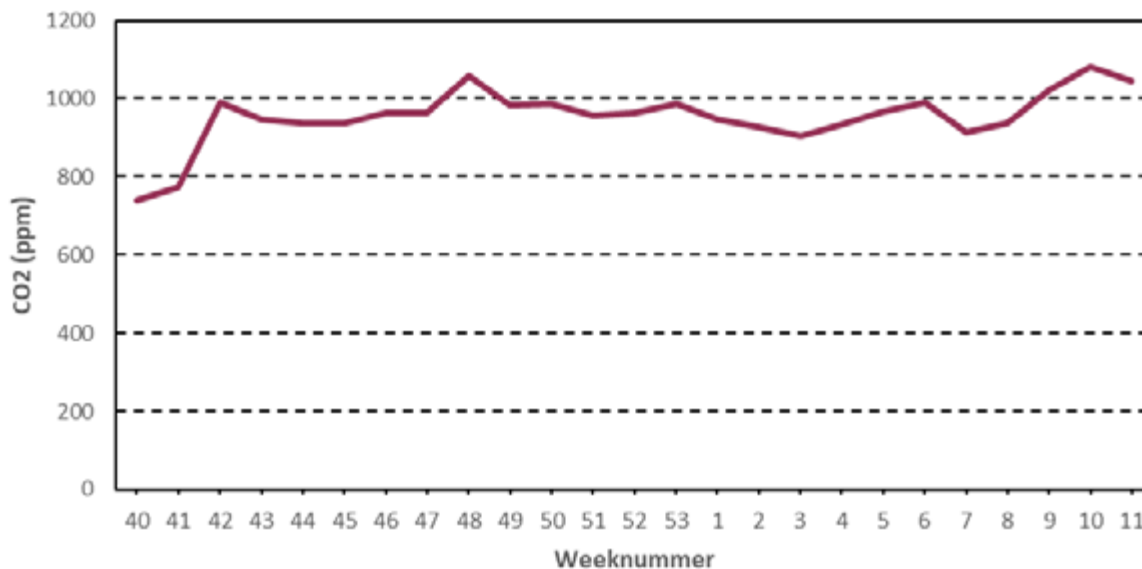
Gedurende de teelt is er een gemiddelde kastemperatuur gerealiseerd van 19.6°C. Vanaf week 43 tot en met week 46 is er een hogere etmaaltemperatuur aangehouden van boven de 20°C. Vanaf week 47, als de eerste vruchten gezet waren, daalde de gemiddelde etmaaltemperatuur naar onder de 20°C. Richting het einde van de teelt, vanaf week 7, werd er gemiddeld een hogere etmaaltemperatuur gerealiseerd van boven de 20°C.

Vanaf week 44, wanneer de canes bladoppervlak opbouwden, is er begonnen met belichting. Vanaf dat moment is er 18 uur belicht, waarmee er per dag ruim 9 mol/m² aan PAR-licht werd toegevoegd. Als resultaat is er elke week meer dan 10 mol/m²/d PAR gerealiseerd (Figuur 37). De PAR-sommen namen toe vanaf week 6 tot gemiddeld 20 mol/m²/d in week 8. Vanaf week 8 is de belichting geleidelijk afgeschakeld.



Figuur 37 Gemiddelde dagelijkse PAR-sommen per week, dat is de som van de PAR-instraling in de kas en de PAR-straling van de belichtingsinstallatie.

Vanaf week 42 is er CO₂ gedoseerd tijdens de lichtperiode. Overdag leidde dit tot een gemiddeld CO₂ gehalte van 955 ppm in de kas (Figuur 38). Vanaf week 42 was er elke week minimaal 900 ppm in de kaslucht als het licht was. In week 48 en vanaf week 9 wordt er meer dan 1000 ppm gerealiseerd.

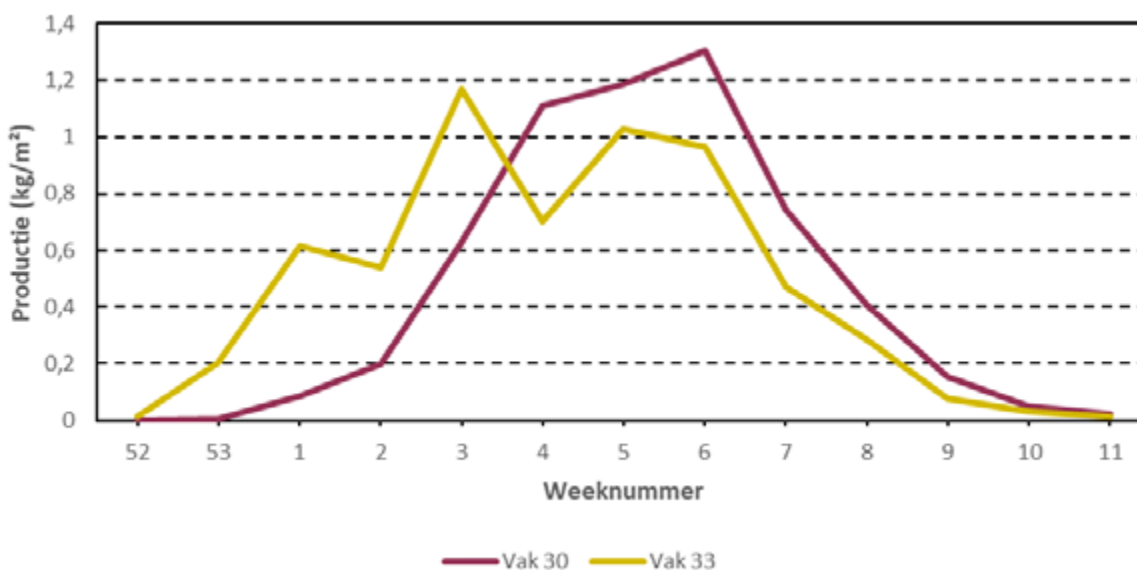


Figuur 38 CO₂ gehalte in ppm wanneer er licht (zon- en/of lamplicht) werd gemeten.

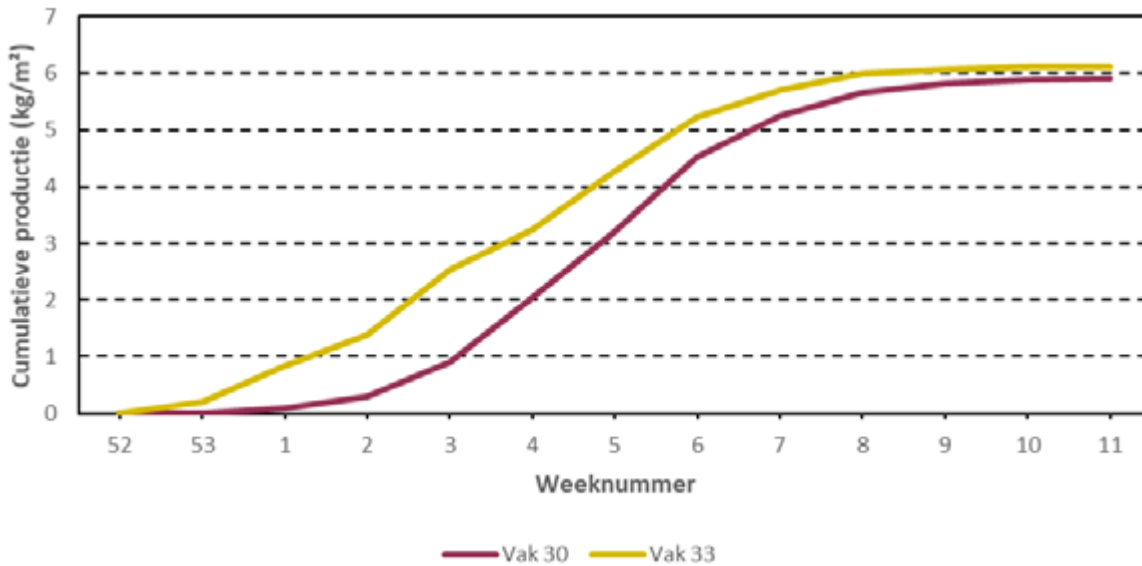
3.3.2 Gewasontwikkeling en productie

Vak 33 kwam vanaf week 52 in productie (Figuur 39). Een week later volgde ook vak 30. De vroegere productie in vak 33 was echter afkomstig van maar één plant. De productiepiek van vak 33 lag in week 3, terwijl die van vak 30 pas in week 6 een piek bereikte en deze ook iets hoger uitkwam dan in vak 33. Uiteindelijk kwam de cumulatieve productie in beide telvakken vrijwel gelijk uit, namelijk in vak 30 en 33 resp. 5.9 en 6.1 kg/m² (Figuur 40).

De variatie tussen de planten onderling, en daarmee ook in productiepatroon in de twee meetvakken, was dus groot. Dit werd veroorzaakt door de kwaliteit van het plantmateriaal. Ook bleef een aantal planten achter in productie als gevolg van botrytis en het slecht uitgroeien van de canes. Dit veroorzaakte voor vak 33 rond week 4 een productiedaling.

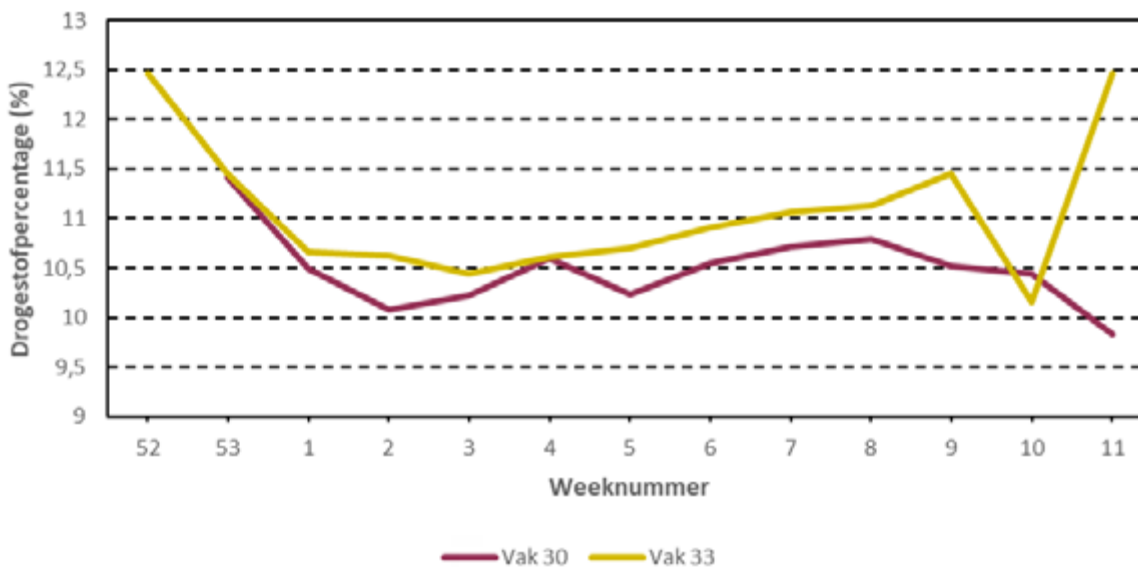


Figuur 39 Wekelijkse versgewicht productie (klasse I en II) voor de twee telvakken: 30 en 33.



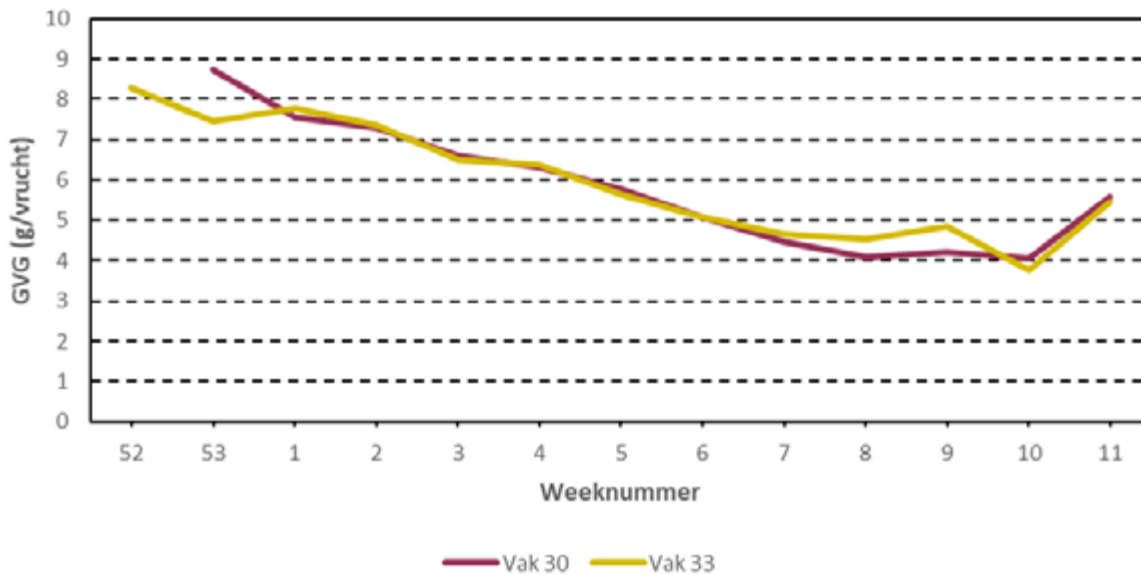
Figuur 40 Cumulatieve productie aan versgewicht (klasse I en II) voor de twee telvakken: 30 en 33.

Van de geogste vruchten is het drooggewicht bepaald om zo het drogestof percentage te weten te komen. Het drogestof percentage van de geogste vruchten lag altijd boven de 10% (Figuur 41). De eerste vruchten die geogst werden, hadden met 12.5% (vak 33) en 11.4% (vak 30) het hoogste drogestof percentage. Tussen week 1 en week 4 nam dit weer af naar een relatief laag gehalte. Richting het einde van de teelt nam het drogestof percentage alleen in vak 33 weer toe, waarschijnlijk vooral als gevolg van een afnemende plantbelasting en daarnaast een toenemende PAR-som. Het gemiddeld drogestof percentage over de hele teelt was 10.5%.



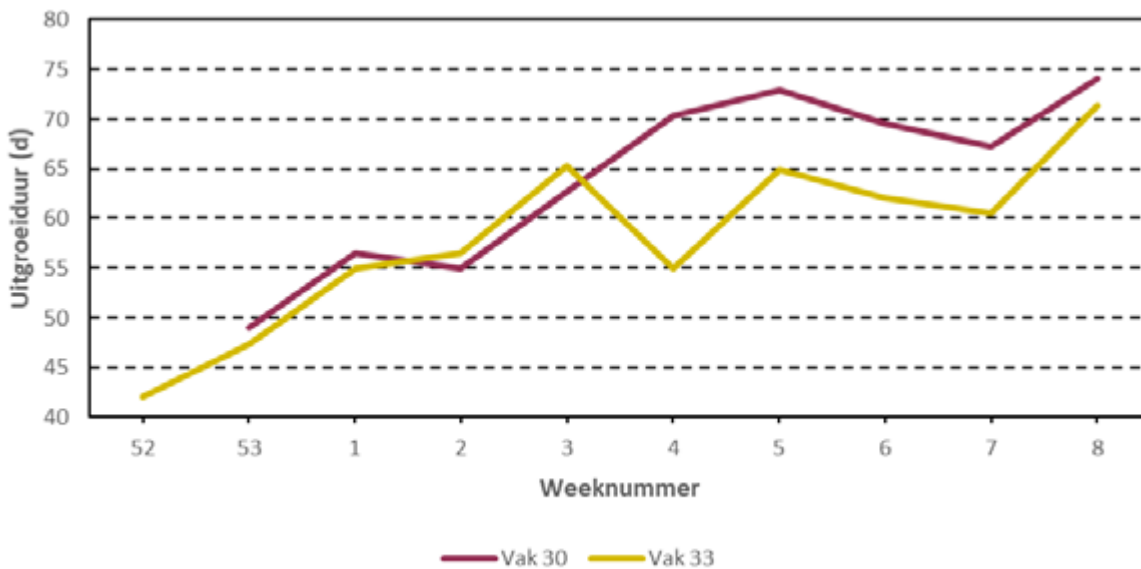
Figuur 41 Drogestof percentage van de geogste vruchten per week weergegeven.

Het gemiddeld vruchtgewicht (GVG) van de geogste vruchten liet gedurende de teelt een dalende trend zien. In het begin zat het GVG op ruim 8 gram per vrucht (Figuur 42). Richting het einde van de teelt was er een lineair dalende lijn vanwege de hogere plantbelasting en hogere concurrentie voor suikers van de vruchten. In week 10 zat het GVG gemiddeld rond de 4 gram per vrucht. Het GVG in vak 30 kwam uit op gemiddeld 5,4 gram, terwijl dit in vak 33 5.9 gram was. In de laatste twee weken van de teelt nam het GVG weer iets toe, waarschijnlijk door de lagere plantbelasting.



Figuur 42 Gemiddeld vruchtgewicht (g) per week.

De gemiddelde uitgroei duur van de geogoste vruchten, nam toe gedurende de teelt (Figuur 43). De uitgroei duur tijdens de eerste vruchten was 41 dagen voor vak 33 en 49 dagen voor vak 30. De laatst geogoste vruchten hadden een gemiddelde uitgroei duur van 71 à 73 dagen. Gemiddeld hadden de vruchten in vak 30 en 33 een uitgroei duur van rep. 60 en 69 dagen.



Figuur 43 Gemiddelde uitgroei duur per week van de gelabelde vruchten uit vak 30 en 33.

Van het totale drooggewicht (dat is het totale drooggewicht van de vegetatieve delen min het gemiddelde gewicht van de canes + het totale drooggewicht van de generatieve delen = 1083 g/m²), was er 470 g/m² (42%) naar de vegetatieve delen en 613 g/m² (58%) naar de vruchten gegaan.

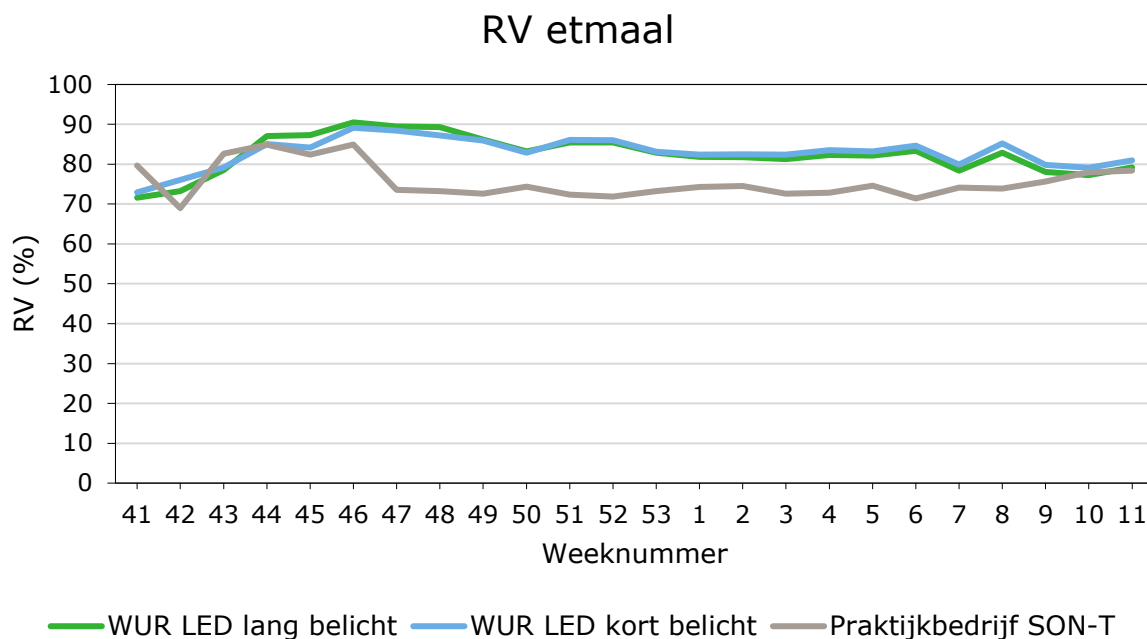
4 Vergelijking resultaten praktijkbedrijf met WUR Glas

In dit hoofdstuk worden de resultaten van het praktijkbedrijf vergeleken met die van WUR Glas.

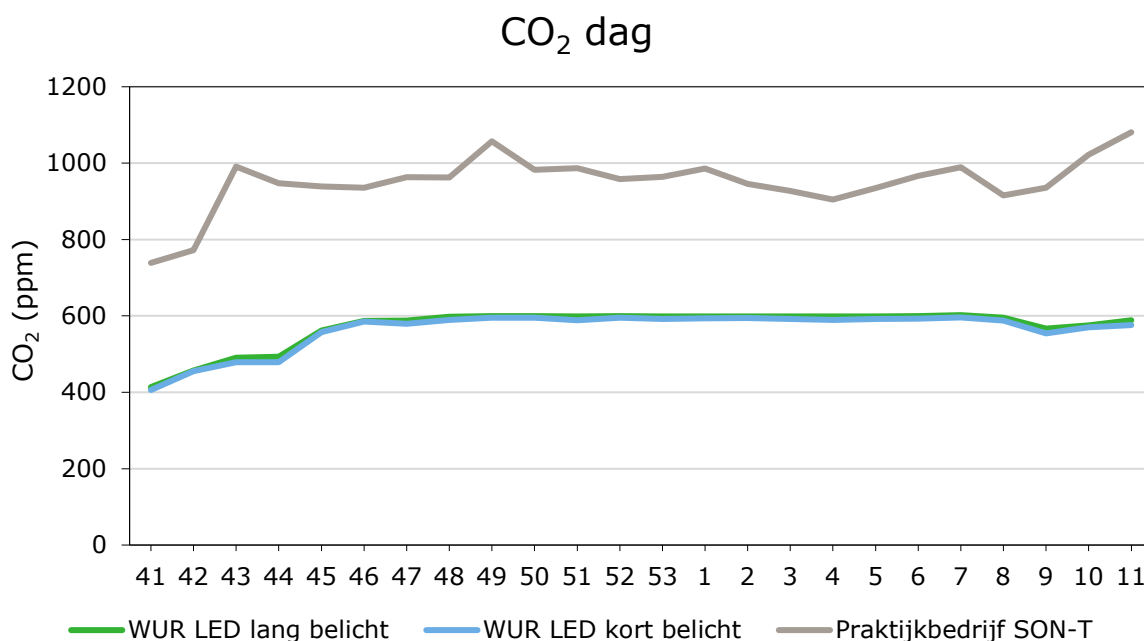
4.1 Klimaat

Op het praktijkbedrijf werd een andere temperatuurstrategie toegepast dan bij WUR Glas. Bij WUR Glas is qua temperatuur rustiger gestart en werd gedurende het grootste gedeelte van de teelt een wat lagere temperatuur aangehouden. Over de gehele teelt was de gemiddelde kastemperatuur bij Bosch Growers en WUR Glas resp. 19,6 en 17,4 °C, dus was er ruim 2 °C verschil in gerealiseerde etmaaltemperatuur tussen beide proeflocaties.

In het onderzoek bij WUR Glas was de relatieve luchtvochtigheid gedurende de teelt duidelijk hoger (+ 8%) dan op het praktijkbedrijf (Figuur 44). Dit was vooral het gevolg van de strategie bij WUR Glas om energie te besparen, dus o.a. een lagere temperatuur aanhouden en minder ventileren om ook het CO₂ verbruik te minimaliseren. Het CO₂ niveau in de onderzoekskassen van de WUR was duidelijk lager dan op het praktijkbedrijf, namelijk resp. 570 en 960, dus bijna 300 ppm verschil in CO₂ (Figuur 45).



Figuur 44 Gerealiseerde relatieve luchtvochtigheid gedurende de teelt bij WUR glas met LED lampen en het praktijkbedrijf met SON-T lampen. Bij de WUR werd in de ene kas een lange belichtingsduur aangehouden en in de andere kas een korte belichtingsduur.

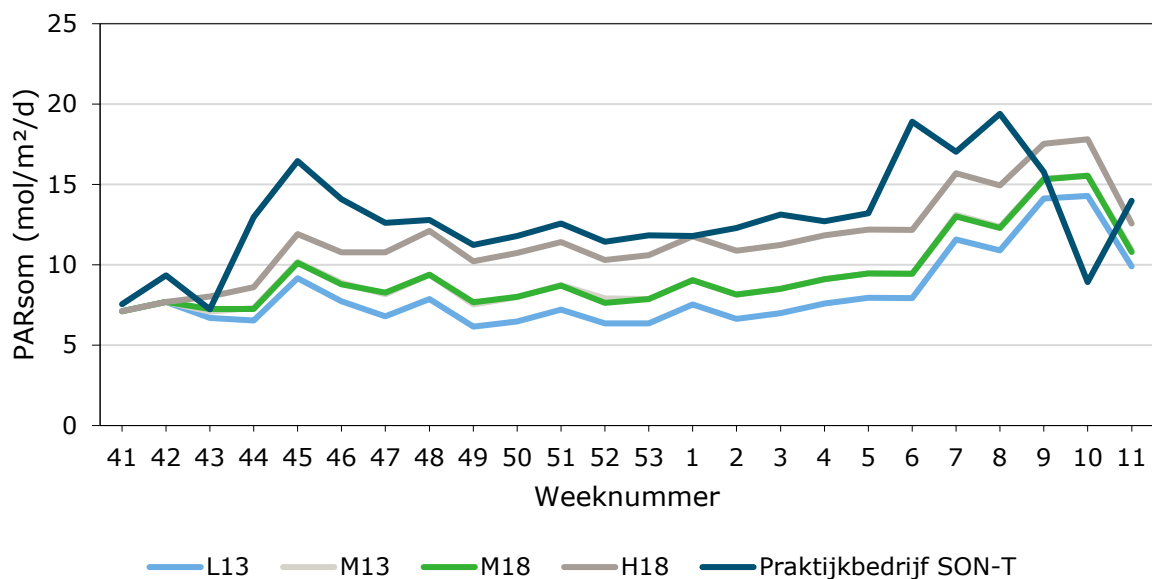


Figuur 45 Gerealiseerde CO₂ concentratie tijdens de dagperiode (met zonlicht en/of groeilicht) gedurende de teeltperiode bij de WUR met LED lampen en het praktijkbedrijf met SON-T lampen. Bij de WUR werd in de ene kas een lange belichtingsduur aangehouden en in de andere kas een korte belichtingsduur.

De totale PAR som (zonlicht + belichting) was het hoogst op het praktijkbedrijf (Figuur 46 en 47). In week 45 waren er een paar mooie dagen met hoge instraling van het zonlicht. Op het praktijkbedrijf werd in die week gemiddeld 18 uur per dag belicht, waardoor de lichtsom hoog uitkwam, terwijl er toen in de proef bij de WUR nog niet maximaal werd belicht. De totale cumulatieve lichtsom was met 2163 mol/m² het hoogst bij het praktijkbedrijf, ten opzichte van 1952 mol/m² bij de hoogste lichtbehandeling bij de WUR (Figuur 45). Dat betekent dat de berekende stralingsom bij Bosch Growers bijna 11% hoger was dan bij de WUR. Dit verschil kan deels verklaard worden door een lagere lichtdoorlatendheid van de kas bij de WUR, doordat de onderzoeksafdelingen relatief klein waren, wat de transmissie beperkt. Een hoge lichtdoorlatendheid van de kas blijft belangrijk voor de assimilatenproductie. Daarnaast had het praktijkbedrijf een net wat hogere lichtintensiteit van 145 μmol m⁻² s⁻¹ tegenover 140 μmol m⁻² s⁻¹ bij de WUR.

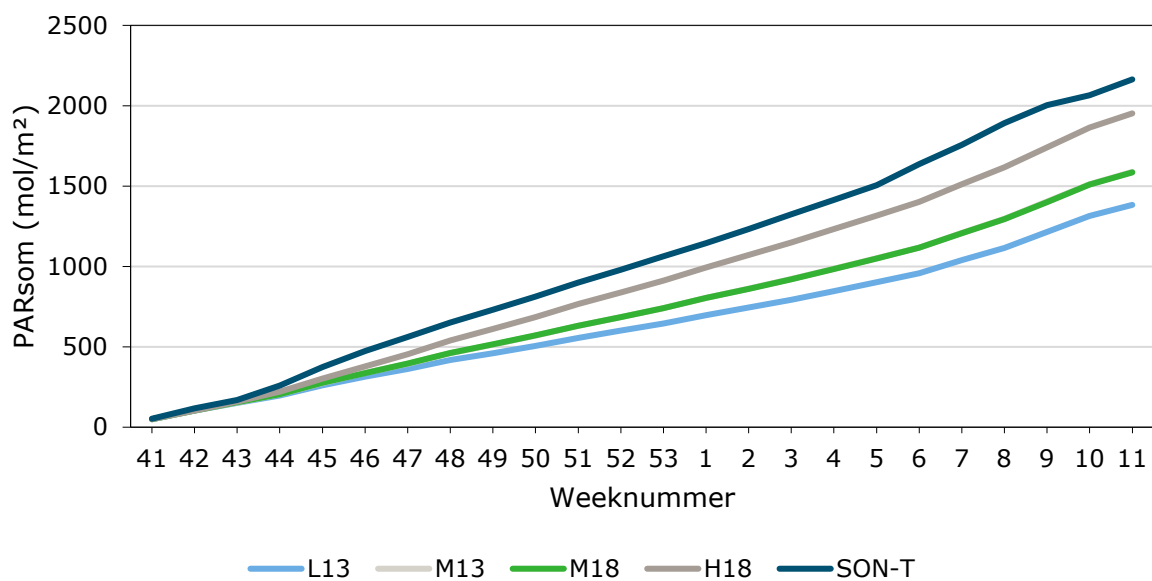
Het elektriciteitsverbruik van SON-T is uiteraard veel hoger (bijna factor 2) dan van de LEDs die in de proef bij de WUR zijn toegepast. Bij de SON-T lampen wordt de extra stroom grotendeels omgezet in warmte. De cijfers van het gasverbruik bij Bosch Growers ontbreken, mede omdat de geproduceerde warmte door de WKK zowel in een belichte als onbelichte kas werd gebruikt.

PAR-som totaal (zon+belichting)



Figuur 46 De berekende totale PAR-som van het zonlicht en de belichting, met de verschillende lichtbehandelingen in de proef van de WUR en het SON-T licht bij het praktijkbedrijf.

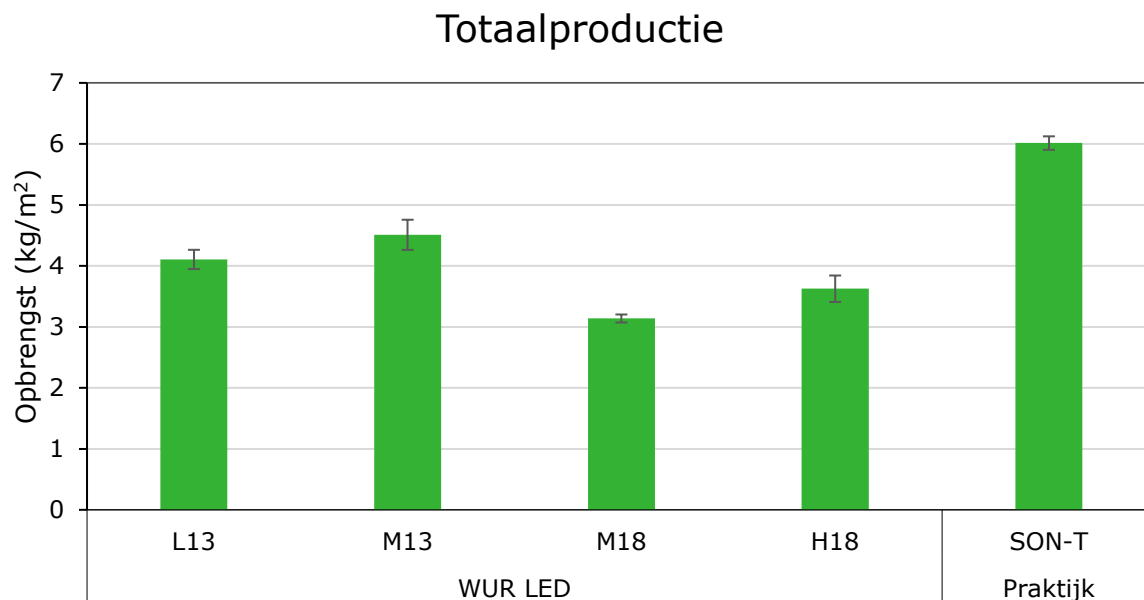
Cumulatieve PARsom (zon+belichting)



Figuur 47 De cumulatieve, berekende PAR-som van het zonlicht en de belichting, met de verschillende lichtbehandelingen in de proef van de WUR en het SON-T licht bij het praktijkbedrijf.

4.2 Productie, kwaliteit en houdbaarheid

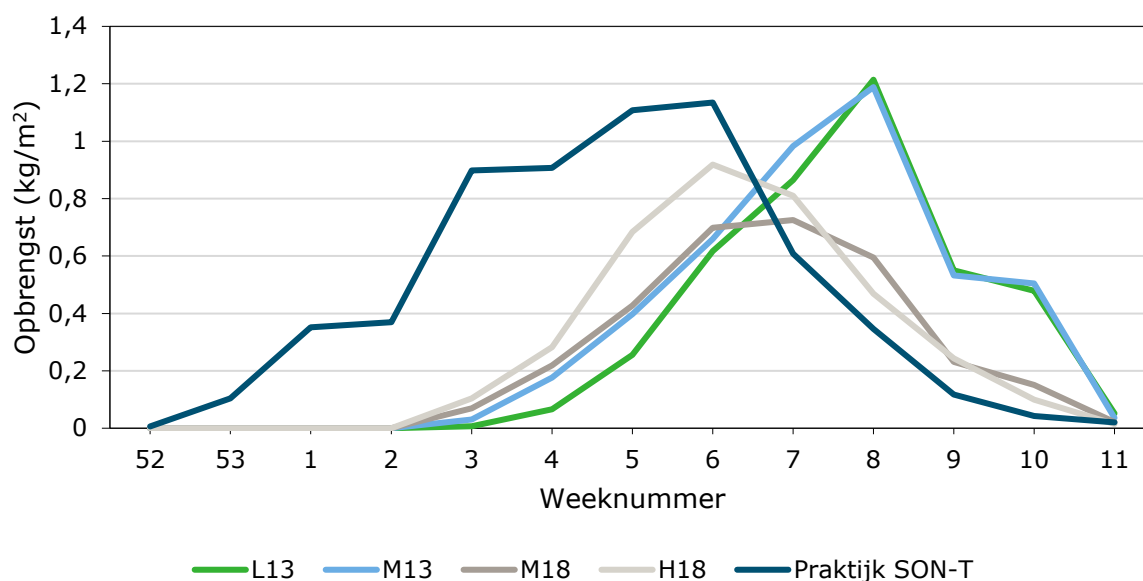
De gerealiseerde productie was in de proefvelden met 6,0 kg/m² bij Bosch Growers fors hoger dan bij de WUR, waar de hoogste productie 4,5 kg/m² was (Figuur 48). Deze opbrengst bij de WUR was gerealiseerd bij een korte belichtingsduur van 13,2 uur in combinatie met 134 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ LEDs, wat de vergelijking met het praktijkbedrijf moeilijker maakt, aangezien op het bedrijf een lange belichtingsduur werd aangehouden van 18 uur met 145 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Bij de lange belichtingsduur met LEDs en hogere intensiteit was de gerealiseerde productie bij de WUR lager dan 4,5 kg/m². Dit heeft zoals al eerder is aangegeven, vermoedelijk te maken met de kwaliteit van het plantmateriaal in de proef bij de WUR, wat zorgde voor productieverval tussen beide kassen, waarbij de productie in de kas met de langere belichtingsduur veel lager uitviel dan verwacht mocht worden op basis van de productieresultaten bij het ras Von. Volgens berekeningen met behulp van de lichtbenuttingsefficiëntie van Von, kwam de geschatte opbrengst bij deze belichtingsstrategie bij het ras Loch Ness uit op 5 kg/m². Dit is echter nog steeds 1 kg/m² ofwel zo'n 17% lager dan in de proefvelden op het praktijkbedrijf. Dit verschil kan diverse oorzaken hebben: een 11% lagere lichtsom, minder hoog CO₂ niveau (gemiddeld 300 ppm lager), een ca. 2 °C lagere etmaaltemperatuur en/of misschien een hogere RV (+7%). Daarnaast was er nog een verschil in lamptype, maar de indruk is dat dit geen of slechts een zeer beperkt effect heeft gehad op het productieverval. Het spectrum van SON-T en de gebruikte LEDs is verschillend. Zo bevat het spectrum van SON-T verrood en ontbreekt dit in de gebruikte LEDs. Maar in eerder uitgevoerd onderzoek met braam gaf extra verrood eerder een productieverhoging dan -verhoging (Janse en Weerheim, 2022).



Figuur 48 Totale productie van bramen in kg/m² van het ras Loch Ness bij de proef van WUR Glas en het praktijkbedrijf met SON-T belichting. De data zijn gemiddeldes \pm standaardfout van twee velden, elk met 9 planten.

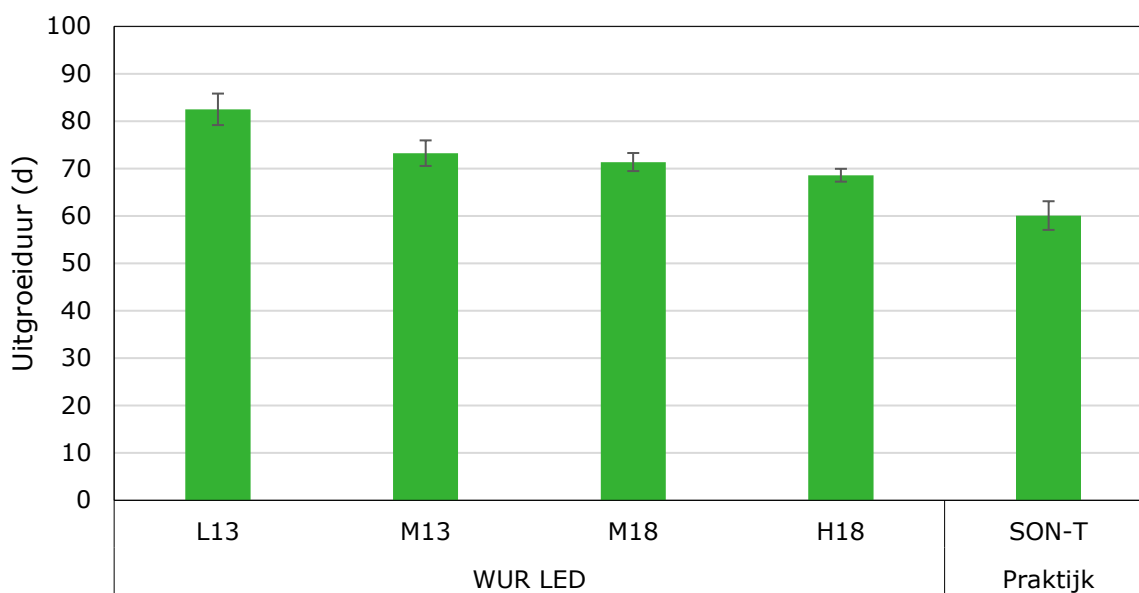
De productie kwam bij Bosch Fruit eerder op gang dan bij de WUR (Figuur 49). Dit was het gevolg van de hogere etmaaltemperaturen die in het begin van de proef werden aangehouden op het praktijkbedrijf. Hierdoor werd het gewas meer gestimuleerd en liepen processen sneller. Ook de uitgroeiduur was hierdoor korter dan bij de WUR, gemiddeld acht dagen korter vergeleken met de hoogste lichttrap (Figuur 50).

Productieverloop



Figuur 49 Productieverloop van de bramen in kg/m² per week voor het ras Loch Ness bij de proef van WUR Glas en het praktijkbedrijf onder de verschillende lichtstrategieën.

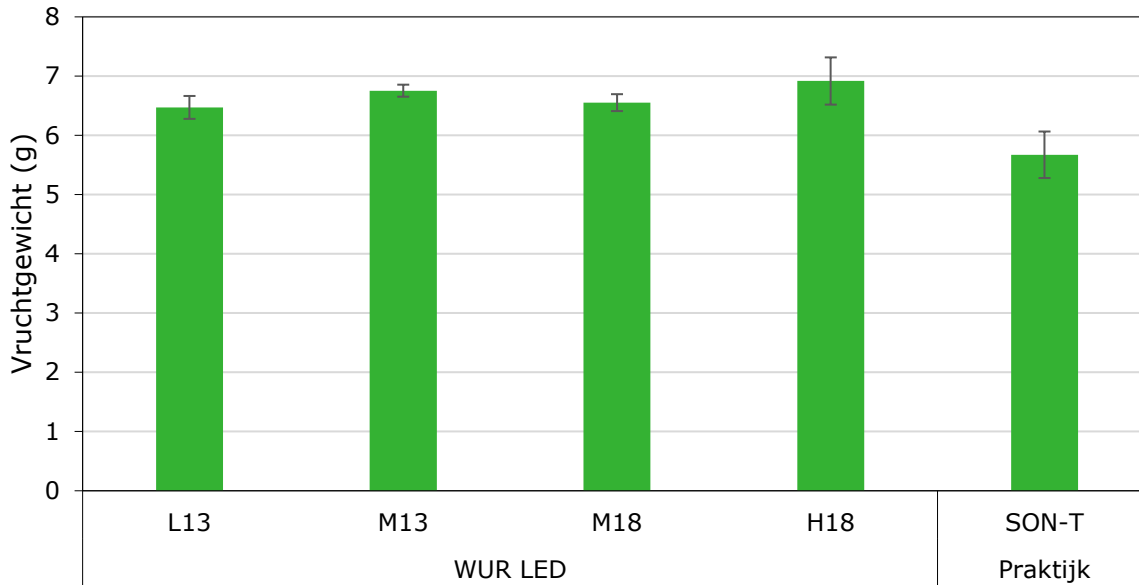
Uitgroeiduur



Figuur 50 Gemiddelde uitgroeiduur in dagen van de bramen onder de verschillende lichtstrategieën in de proef bij de WUR en het praktijkbedrijf met SON-T. De data zijn gemiddeldes \pm standaardfout van meerdere oogstmomenten.

Het gemiddeld vruchtgewicht was hoger bij de 4 behandelingen bij WUR Glas (Figuur 51). Het hogere gemiddeld vruchtgewicht bij WUR Glas heeft waarschijnlijk vooral te maken met de lager gerealiseerde temperaturen in vergelijking met het praktijkbedrijf.

Gemiddeld vruchtgewicht



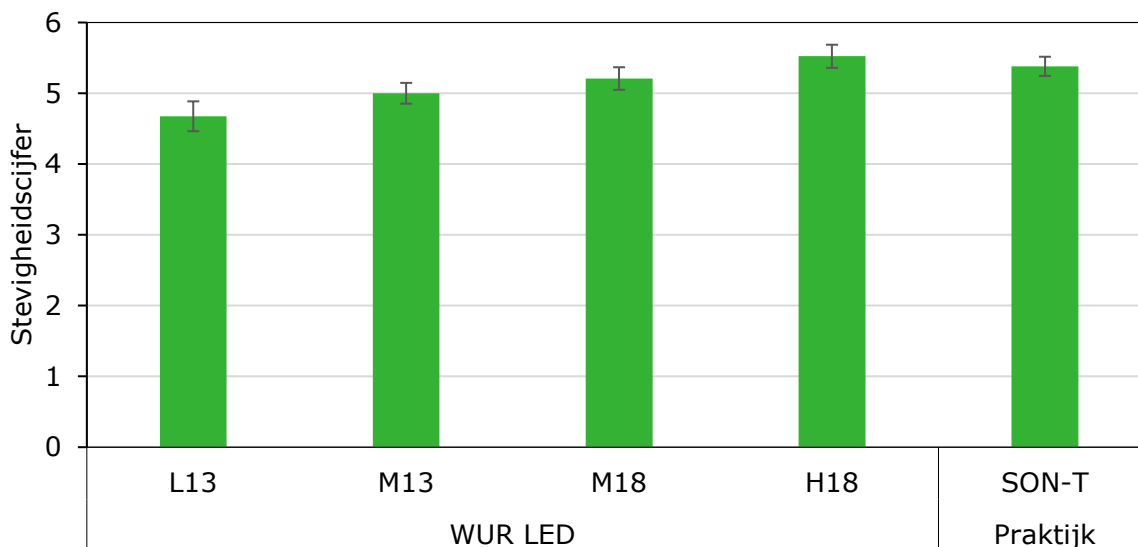
Figuur 51 Gemiddeld vruchtgewicht van de bramen onder de verschillende lichtstrategieën in de proef bij de WUR en het praktijkbedrijf met SON-T. De data zijn gemiddeldes \pm standaardfout van meerdere oogstmomenten.

De stevigheid van de bramen na 7 dagen bij het praktijkbedrijf met SON-T was vergelijkbaar met de bramen onder de langste belichtingsduur met hogere intensiteit bij de WUR (Figuur 52). De stevigheid leek bij WUR Glas wat af te nemen met afnemende lichtintensiteit en belichtingsduur. Daarentegen was het percentage rode bolletjes bij 18 uur belichten het laagst.

Het percentage rode bolletjes na 7 dagen lag wel iets hoger bij het praktijkbedrijf, 80% tegen 68% bij H18 in de proeven van de WUR (Figuur 53).

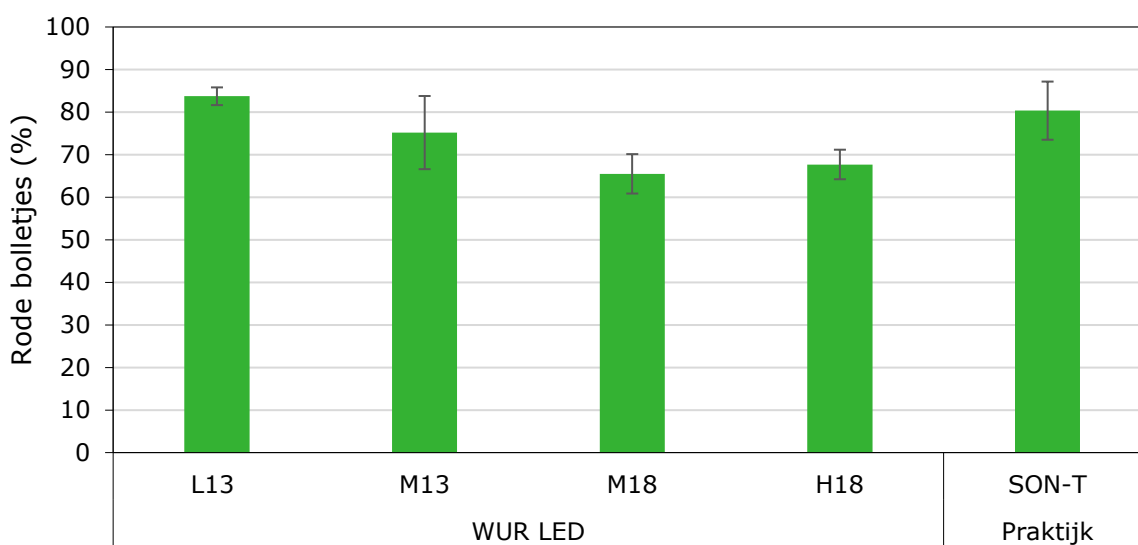
Bij vd. Bosch is als extra na 10 dagen bewaring ook een monster met bramen beoordeeld, waarbij tijdens de bewaarperiode niet tussentijds op stevigheid is beoordeeld. Het percentage vruchten met rode bolletjes bleek inderdaad iets lager te blijven dan bij de monsters waarbij tussentijds 2 maal op stevigheid was beoordeeld via voorzichtig voelen met de vingers. Het percentage vruchten met rode bolletjes met en zonder tussentijdse beoordeling op stevigheid was na 10 dagen resp. 83 en 66%. Dit is een bevestiging dat handling een belangrijke oorzaak is van het ontstaan van rode bolletjes (Janse *et al.* 2022).

Stevigheid na 7 dagen



Figuur 52 Stevigheid van de bramen van het ras Loch Ness na een bewaarperiode van 7 dagen bij de proeven van de WUR en een praktijkbedrijf met SON-T. De data zijn gemiddeldes \pm standaardfout van meerdere inzetdata.

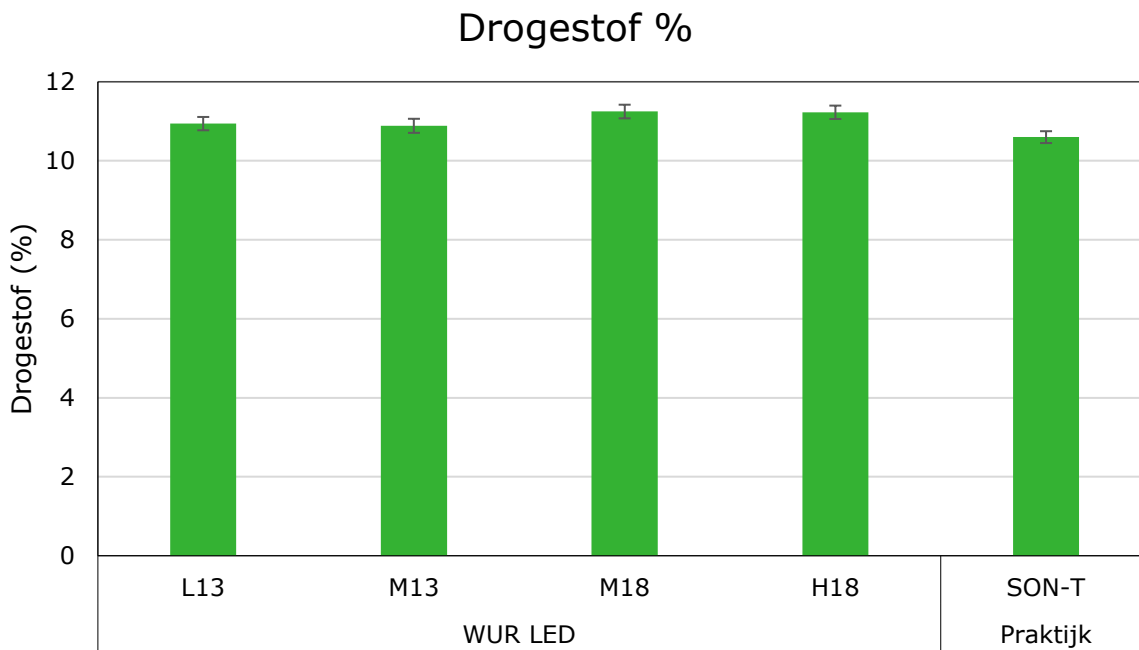
% rode bolletjes na 7 dagen



Figuur 53 Het percentage bramen met rode bolletjes na een bewaarperiode van 7 dagen onder verschillende lichtstrategieën in de proeven bij de WUR en SON-T bij het praktijkbedrijf. De data zijn gemiddeldes \pm standaardfout van drie houdbaarheidsproeven met 2 herhalingen per proefveld.

De gemiddelde refractie over 3 meetdata was bij WUR Glas in de behandelingen L13, M13, M18 en H18 resp. 9.3, 9.5, 9.9 en 10.0 °Brix. Op het praktijkbedrijf was dit gemiddeld 8.9 °Brix en was daarmee dus ruim 1 °Brix lager dan bij een vergelijkbare behandeling bij de WUR. Mogelijk is dit voor een belangrijk deel veroorzaakt door de 2°C hogere temperatuur op het praktijkbedrijf.

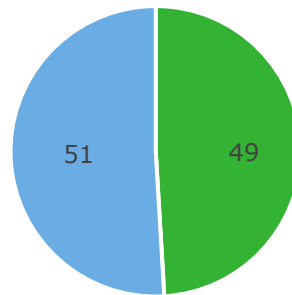
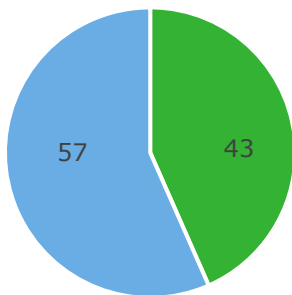
Het percentage drogestof van de vruchten was lager bij het praktijkbedrijf met SON-T belichting, waarschijnlijk wederom als gevolg van de hogere temperatuur. De vruchten rijpen ook sneller af (Figuur 54). Dit resultaat komt overeen met verschillen in refractie. Daarentegen hebben de bramenplanten bij Bosch Fruit in totaal meer assimilaten naar de vruchten verdeeld ten opzichte van de bramenplanten bij de WUR bij de behandeling met de hoogste lichtsom, waar relatief meer assimilaten naar de vegetatieve delen gingen (Figuur 55).



Figuur 54 Het drogestof percentage van de bramen bij de WUR onder verschillende lichtstrategieën en het praktijkbedrijf met SON-T. De data zijn gemiddeldes \pm standaardfout van meerdere oogstmomenten.

Praktijkbedrijf SON-T

WUR H18

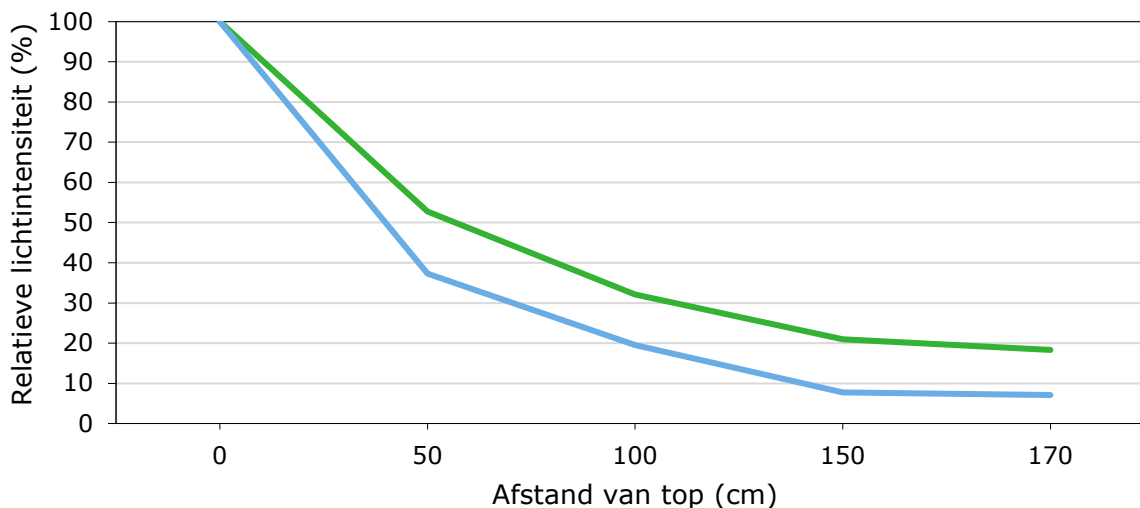


■ Vegetatieve delen ■ Vruchten ■ Vegetatieve delen ■ Vruchten

Figuur 55 De percentuele verdeling van de droge stof over de vegetatieve delen en vruchten in het ras Loch Ness bij het praktijkbedrijf met SON-T en bij de proef bij de WUR met de hoogste lichttrap.

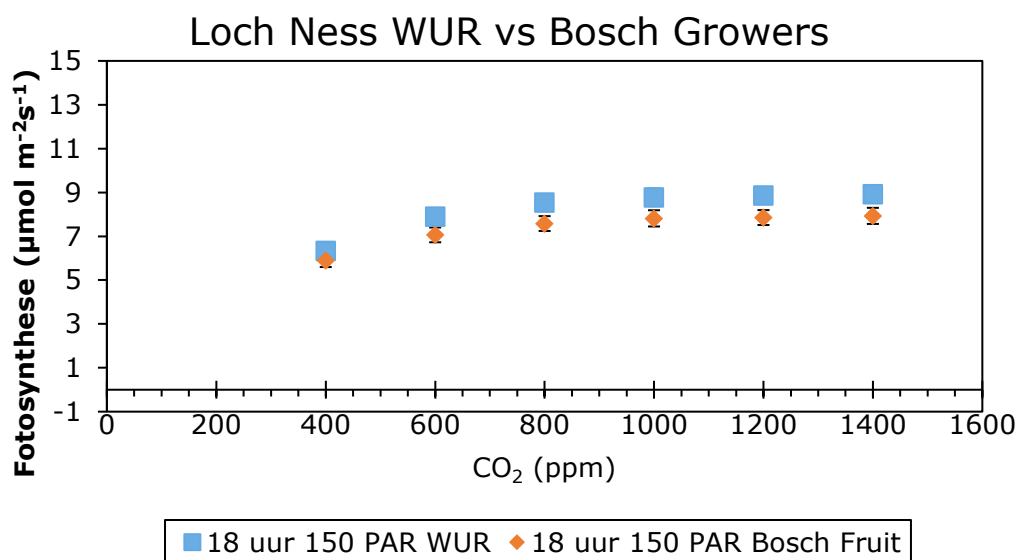
De bramenplanten bij het praktijkbedrijf onderschepten meer licht dan de planten bij de WUR in de behandeling met lange belichtingsduur en hogere intensiteit (H18). Dit is in Figuur 56 te zien aan de relatieve lichtintensiteit.

Lichtonderschepping



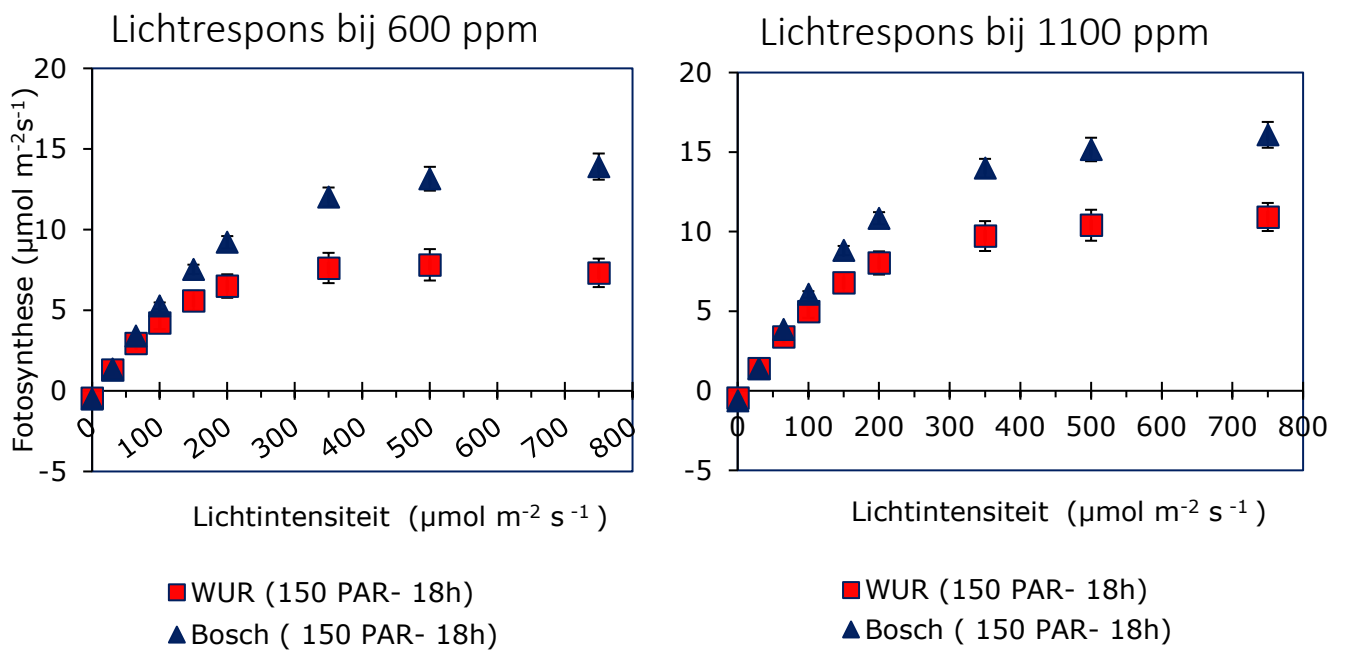
Figuur 56 De relatieve lichtintensiteit op verschillende hoogtes in het gewas bij de proeven bij de WUR en het praktijkbedrijf met SON-T. Dit relateert aan de hoeveelheid licht wat onderscheept is in het braamgewas.

De fotosynthese waarden van de bramenplanten lieten begin december bij de WUR een kleine verhoging zien in vergelijking met het praktijkbedrijf onder alle CO₂ niveaus met een lichtintensiteit van 150 μmol m⁻² s⁻¹ (Figuur 57).



Figuur 57 Fotosynthese waarden onder oplopende CO₂ niveaus bij bramenplanten van het ras Loch Ness bij de WUR en bij het praktijkbedrijf met SON-T. De metingen werden in december uitgevoerd bij een lichtintensiteit van 150 μmol m⁻² s⁻¹. De data zijn gemiddeldes ± standaardfout van 6 planten per behandeling.

In maart was de fotosynthese bij lichtintensiteiten boven de 150 μmol m⁻² s⁻¹ bij Bosch Growers duidelijk hoger dan bij de WUR (Figuur 58). De planten gingen hier dus efficiënter met het licht om dan bij de WUR. Mogelijk heeft dit te maken met de slechtere kwaliteit van het plantmateriaal en een snellere veroudering van het blad bij de WUR.



Figuur 58 Fotosynthese waardes in maart onder oplopende licht niveaus bij bramenplanten van het ras Loch Ness bij de WUR en bij het praktijkbedrijf met SON-T. De metingen werden uitgevoerd bij een CO_2 waarde van 600 en 1100 ppm. De data zijn gemiddeldes \pm standaardfout van 6 planten per behandeling.

5 Conclusies

Onderzoek bij WUR Glas met LEDs:

- Het onderzoek heeft aangetoond dat bramen goed onder LEDs kunnen worden geteeld.
- Ondanks een gelijke hoeveelheid licht per dag, was de productie bij een lange belichtingsduur van 18 uur met lagere lichtintensiteit ($100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) minstens even hoog dan bij kort belichten (ruim 13 uur) met hogere intensiteit ($140 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).
- Hierdoor kunnen de investeringskosten voor LEDs lager zijn.
- Langer belichten met een lagere lichtintensiteit verminderde bij een gelijke etmaaltemperatuur ook het gasverbruik; bij een vergelijkbare lichtsom was dit 10% minder.
- Meer licht vervroegde de oogst (bij dezelfde etmaaltemperatuur) en verhoogde de productie door meer vruchten met een hoger vruchtgewicht. De lichtbenuttingsefficiëntie nam wel iets af bij een hoger lichtniveau.
- Een langere belichtingsduur verkortte bij eenzelfde lichtsom de uitgroeiduur met ca. 10% ofwel zo'n 8 dagen.
- Een hoge CO_2 concentratie van bijv. 1100 ppm is bij braam alleen zinvol bij hogere lichtintensiteiten. De grootste stijging in fotosynthese vindt plaats tussen 400 en 800 ppm CO_2 .
- In maart is de fotosynthesesnelheid duidelijk lager dan in december. Dit is waarschijnlijk het gevolg van ouder blad en een lagere plantbelasting.
- Een hogere lichtsom gaf een lichte verhoging van de refractie en het vitamine C-gehalte, maar een iets lager zuurgehalte van de vruchten.
- In vergelijking met een korte belichtingsduur, gingen er bij de twee onderzochte rassen bij een lange belichting procentueel meer assimilaten naar de vegetatieve delen.
- Bij het ras Von kwamen er ten opzichte van Loch Ness relatief veel assimilaten in de vegetatieve delen terecht.
- Von produceerde minder, maar gaf duidelijk grotere bramen die 30% minder zuur bevatten dan die van Loch Ness, wat positief is voor de smaak. Ook hadden de vruchten van Von een langere houdbaarheid.
- Bij lange bewaring van het plantmateriaal i.v.m. de late start van een belichte teelt, is goed plantmateriaal van essentieel belang voor een goede productie.

Vergelijking resultaten onderzoek bij Bosch Growers en WUR Glas:

- Op het praktijkbedrijf met SON-T was de gerealiseerde lichtsom, de gemiddelde etmaaltemperatuur en de CO_2 concentratie resp. 11%, 2°C en 300 ppm hoger dan bij een vergelijkbare behandeling bij WUR Glas met LED-belichting. De RV was op het praktijkbedrijf 7% lager.
- Het e.e.a. heeft op het praktijkbedrijf geleid tot een ca. 4 weken eerdere start van de oogst, een kortere uitgroeiduur, een hogere productie van vruchten met een lager drogestof gehalte en refractie van de vruchten.
- De fotosynthese was op het praktijkbedrijf in december lager en in maart hoger dan bij de best vergelijkbare behandeling bij WUR Glas van 18 uur en een lichtintensiteit van $140 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Literatuur

Janse, J., P. de Visser, K. Weerheim, M. Raaphorst en T. van Twist, 2021.

Energiezuinige winterteelt framboos met focus op CO₂. Wageningen University & Research Business Unit Glastuinbouw en Bloembollen. Rapport WPR-1056, 56 p.

Janse, J. en K. Weerheim, 2022.

Licht op houtig kleinfruit. LED-onderzoek bij bramen en frambozen. Rapport WPR, in press.

Janse, J., B. Jongenelen, G. Heijerman, M. van Hoogdalem, F. Kempkes, S. Jochems en P. de Visser, 2022.

Toekomstbeeld fossielvrij houtig kleinfruit. Een deskstudie. Wageningen University & Research Business Unit Glastuinbouw en Bloembollen. Rapport WPR-1148, 54 p.

Lykins, S., K. Scammon, B.T. Lawrence en J.C. Melgar, 2021.

Photosynthetic light response of florican leaves of erect blackberry cultivars from fruit development into the postharvest period. *HortScience*, 56(3), 347-351.

Pérez-Pérez, G.A., Fabela-Gallegos, M.J., Vázquez-Barríos, M.E., Rivera-Pastrana, D.M., Palma-Tirado, L., Mercado-Silva en E., Escalona, V., 2018.

Effect of the transport vibration on the generation of the color reversion in blackberry fruit. *Acta Hort.* 1194: 1329–1336.

Rivas, A., K. Liu en E. Heuvelink, 2021.

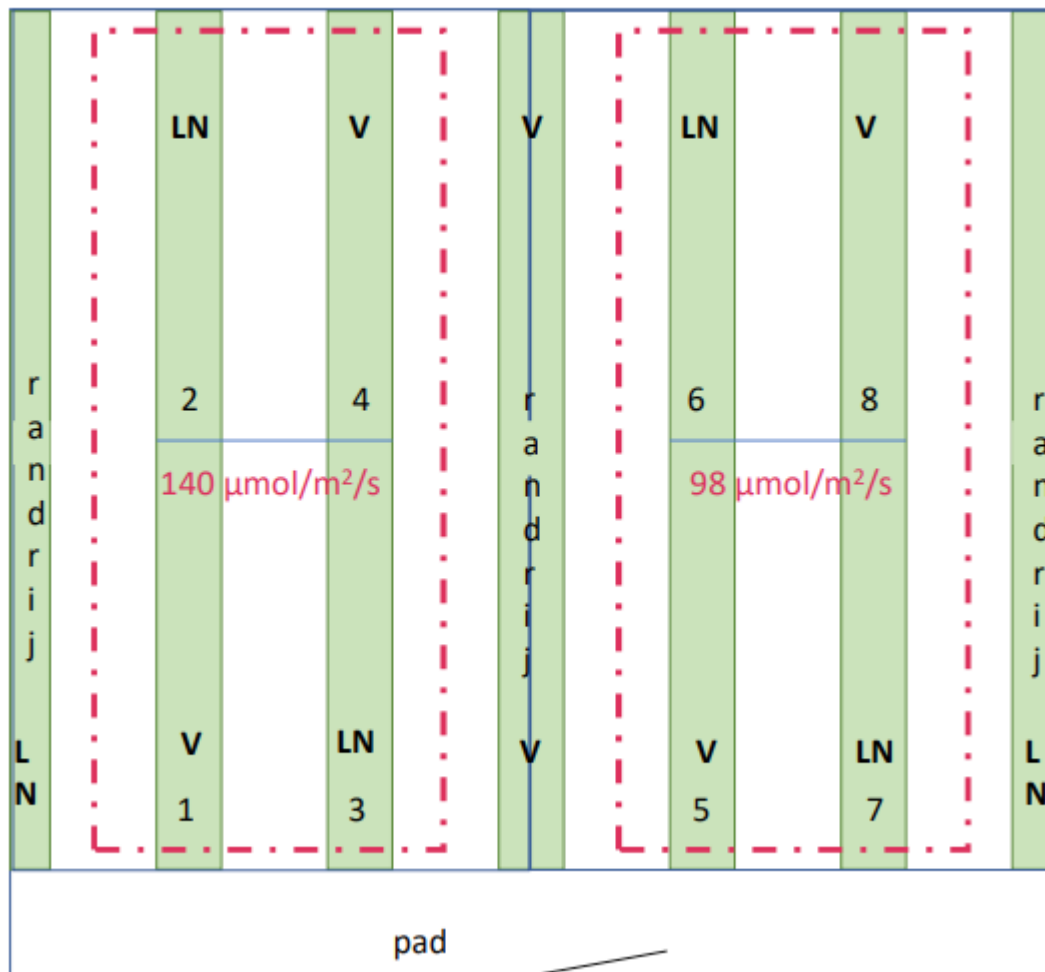
LED Intercanopy Lighting in Blackberry During Spring Improves Yield as a Result of Increased Number of Fruiting Laterals and Has a Positive Carryover Effect on Autumn Yield. *Frontiers in Plant Science*, 12(July), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.620642>.

<https://www.kasalsenergiebron.nl/onderzoeken/20185-paprika-energiezuinig-met-led/>

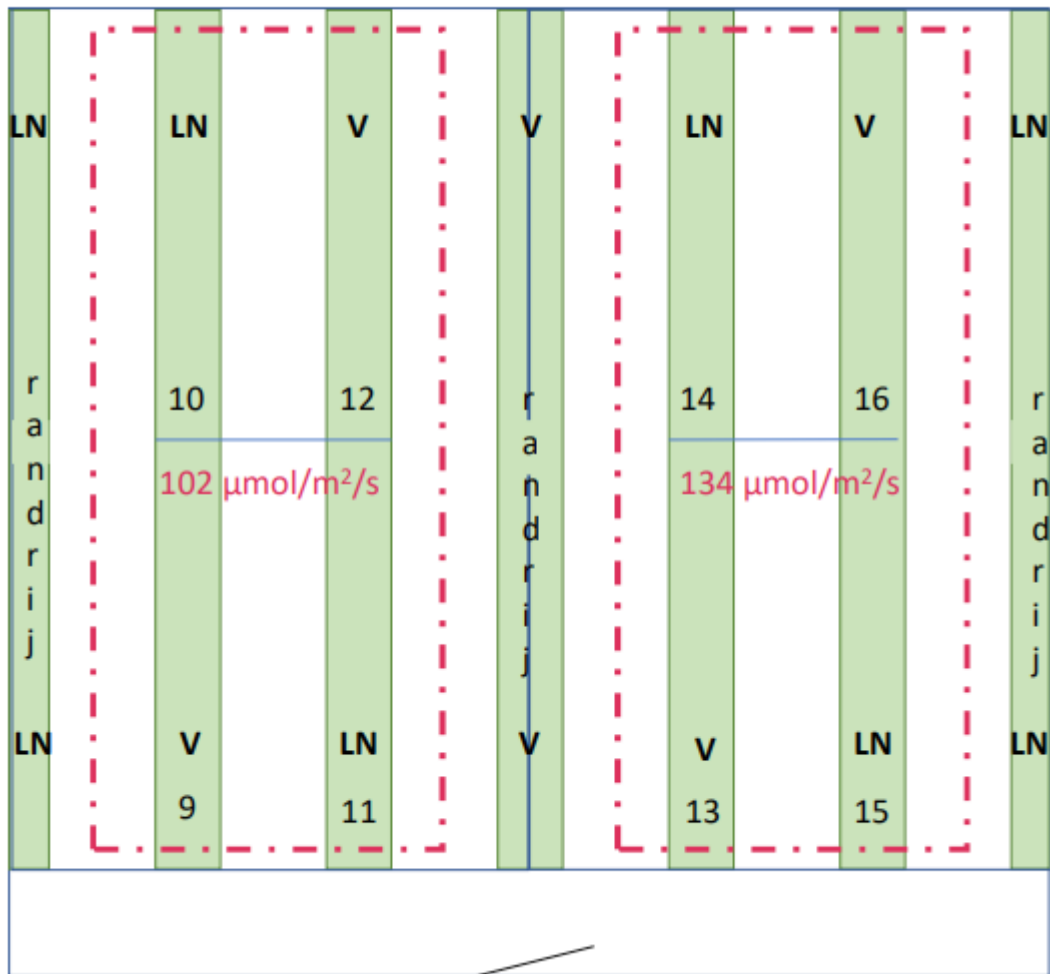
<https://www.kasalsenergiebron.nl/nieuws/onderzoek-naar-succesvol-en-energiezuinig-aubergine-belichten/>

Bijlage 1 Proefopzet in kas 802 en 803

Kas 802: lange belichtingsduur



Kas 803: korte belichtingsduur



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



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

Rapport WPR-1159

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, 6.800 medewerkers (6.000 fte) en 12.900 studenten 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.