

Kansen voor energiebesparing in de Lisianthusteelt



Juni 2020

S.A.J. van den Boogaart, S.W. Hogewoning en G. Trouwborst

Kansen voor energiebesparing in de Lisianthusteelt

Juni 2020

S.A.J. van den Boogaart, G. Trouwborst, S.W. Hogewoning

Plant Lighting B.V.

Doordraai 1

3981 PE Bunnik

info@plantlighting.nl

www.plantlighting.nl

REFERAAT

S.A.J. van den Boogaart, S.W. Hogewoning en G. Trouwborst. 2020. Kansen voor energiebesparing in de Lisianthusteelt. Plant Lighting B.V., Bunnik. 44p.

Financiers:



Ministerie van Landbouw,
Natuur en Voedselkwaliteit



© 2020 Plant Lighting B.V.

Dit rapport is tot stand gekomen in samenwerking met het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en Glastuinbouw Nederland in het kader van het programma Kas als Energiebron, ter stimulering van energiebesparende maatregelen in de tuinbouw. Het onderzoek is mede mogelijk gemaakt door de bijdragen vanuit Florensis. De resultaten mogen vrij gebruikt worden, mits de bronnen worden vermeld.

Plant Lighting B.V. is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen als gevolg van gebruik van gegevens uit dit rapport.

Inhoudsopgave

SAMENVATTING.....	5
VOORWOORD	7
1 ALGEMENE INLEIDING EN DOELSTELLINGEN	8
2 OPKWEKFASE SCREENINGSRONDE.....	9
2.1 Inleiding.....	9
2.2 Materiaal en methoden	10
2.3 Resultaten	11
2.4 Conclusies opkweekfase screeningsronde.....	16
3 OPKWEKFASE (NA)ZOMERTEELT	17
3.1 Inleiding.....	17
3.2 Materiaal en methode	17
3.3 Resultaten	19
3.4 Conclusies opkweekfase (na)zomerteelt	26
4 AFKWEKFASE GEWASFOTOSYNTHESE EN GROEICURVE	27
4.1 Inleiding.....	27
4.2 Materiaal en methoden.....	29
4.3 Resultaten	30
4.4 Conclusies gewasfotosynthese en assimilatenvraag	40
5 REFERENTIES	41
BIJLAGE 1: PLANTSTADIA IN BEELD.....	42

Samenvatting

Inleiding en doel

Om in de toekomst lisianthus op een energiezuinige manier te telen, is er op verschillende vlakken kennisontwikkeling nodig. Dit rapport gaat in op zowel de opkweek- als de afkweekfase. In de opkweekfase is het effect van plantdichtheden en wortelruimte op de mogelijkheden voor verlengde opkweek onderzocht. Vanuit de gedachte dat de afkweekfase veel energie-intensiever is. Indien een verlengde opkweek leidt tot een kortere afkweek en gelijke kwaliteit, kan bespaard worden. In de afkweek is verder onderzocht wat de lichtrespons is van de fotosynthese voor een heel gewas (assimilatenproductie), en wat de assimilatenvraag is van lisianthus in verschillende fases de afkweek. Op momenten dat de gewasfotosynthese lichtverzadigd raakt bij voldoende buitenlicht, en/of het gewas een beperkte assimilatenvraag heeft, kunnen lampen beter worden uitgeschakeld om elektra te besparen.

Effect plantdichtheid in opkweek lisianthus

In de eerste onderzoeksrunde naar de effecten van plantdichtheid en wortelruimte in de opkweek zijn de volgende behandelingen toegepast, allen opgekweekt in de kas bij Florensis. Iedere behandeling is uitgevoerd bij drie verschillende variëteiten lisianthus. Waarbij het uitgangspunt is dat de meeste lisianthus voor de Nederlandse markt eerst wordt opgekweekt in 600-gaats trays, en na verspenen de laatste weken wordt opgekweekt in 240-gaats trays. Behandelingen:

- 600 → 240 gaats trays
- 408 → 240 gaats trays
- 408 → 160 gaats trays
- 330 → 160 gaats trays

Waarbij de start plantdichtheid (linker getal) bepalend is voor het wortelvolume, waarna de planten (bij het volledig dichtgroeien op de startdichtheid) verspeend zijn naar een ruimere tray (rechter getal) en vervolgens uitgeleverd zijn voor de afkweek bij telers in de praktijk. In de tweede ronde is de 408 → 240 gaats behandeling vervallen en is enkel gefocust op de soort Arosa 3 Red Imp.. Uit beide proefrondes is het volgende naar voren gekomen:

- Naarmate er meer ruimte wordt gegeven aan het opkweekmateriaal, wordt deze ook benut door het gewas, dus de laagste plantdichtheden groeien harder. De ruimte wordt zo efficiënt benut dat de productie per vierkante meter (gram drooggewicht) ongeacht de behandeling eender is. Het resultaat is dan ook een veel groter, robuustere plantje bij het moment van uitleveren.
- De grotere, zwaardere en verder ontwikkelde opkweekplanten zouden naar verwachting meer groeikracht moeten hebben wanneer ze in de kas worden uitgeplant. Echter, de (forse) verschillen die gerealiseerd waren tussen de behandelingen voor het moment van uitleveren zijn volledig verdwenen aan het einde

van de afkweek op het veilingrijpe stadium. Zowel vers- en drooggewicht, bladoppervlakte, als aantal bloemknoppen waren voor alle behandelingen hetzelfde. Een verlengde opkweek van één week resulteerde in een teeltversnelling van maximaal drie dagen in de afkweek.

Er kan worden geconcludeerd dat energie besparen in de afkweek door middel van het kweken van zwaarder plantmateriaal in de opkweek geen zin heeft.

Licht-respons fotosynthese op gewasniveau en assimilatenvraag in afkweek lisianthus

In de afkweek is een analyse naar de assimilatenproductie en assimilatenvraag uitgevoerd bij variëteit Arosa 3 Red Imperial. De lichtrespons van het gehele gewas is bepaald op basis van metingen van de lichtonderschepping, bladoppervlakte en bladfotosynthese op verschillende hoogtes in het gewas. Op basis hiervan is de licht-responscurve voor het gehele gewas modelmatig berekend. Om een indruk te krijgen van de assimilatenvraag gedurende de teelt is een groeicurve van het gewas gemeten gedurende de afkweek. Uit deze metingen is het volgende naar voren gekomen:

- De afbuiging van de lichtrespons van de gewasfotosynthese verloopt zeer langzaam. Er vindt nauwelijks echte lichtverzadiging plaats. Het lichtrendement bereikt z'n hoogste punt pas bij 400 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR. Vergeleken met andere gewassen ligt dit punt erg hoog. Dit wordt veroorzaakt door de hoge LAI en de hoge teelttemperatuur waardoor de onderhoudsademhaling hoog is. Bij 500W instraling (= ~ 750 μmol daglicht in de kas) is het rendement van het toegevoegde assimilatielicht van 320 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR slechts 53-70%. Bij hogere instraling zakt het rendement verder.
- Er vindt een enorme groeisput plaats na de 3^e week: het aantal bladparen, de LAI en het drooggewicht nemen vanaf dan enorm toe. Deze groeisput houdt de gehele teelt aan, het drooggewicht van het gewas blijft tot in het laatste stadium doorgroeien.

Concluderend kan gesteld worden dat de lichtbenutting van lisianthus hoog is. Kansen voor besparing op belichting bij lisianthus liggen vooral bij afschakelen van belichting bij hoge daglicht-instraling. Gericht telen op jaarrond gelijke kwaliteit vraagt eerder afschakelen van belichting in seizoenen met meer instraling. Vervanging van SON-T door LED biedt uiteindelijk de hoogste elektrabesparing. Een lagere teelttemperatuur levert netto meer assimilatie op, maar kost wel teeltsnelheid. Mogelijk kan hiervoor met plantdichtheid worden gecompenseerd.

Voorwoord

Dit rapport is uitgevoerd in het kader van het project “Duurzamere teelt Lisianthus door verlengde opkweek”. Het onderzoek richt zich op effecten van plantdichtheid in de opkweek en eventuele mogelijkheden van verlengde opkweek om energie te besparen in de afkweek (uitvoering 2019). Ook zijn mogelijkheden tot energiebesparing in de lisianthusteelt in de afkweek onderzocht (voorjaar van 2020).

Dit onderzoek is ondersteund door het programma ‘Kas als Energiebron’, gefinancierd door het Ministerie van LNV en Glastuinbouw Nederland. Verder heeft Florensis een bijdrage geleverd in de vorm van het (kostenloos) opkweken van opkweekmateriaal voor het onderzoek en de uitvoering van de proef ondersteund. Daarnaast willen we Lugt Lisianthus, Floralis Lisianthuskwekerij, van de Werken Lisianthus, en Kwekerij van der Hoeven bedanken voor het afkweken van het plantmateriaal.

Projectpartners Roy van Heesch en Arjan Brugman (Florensis) worden bedankt voor de prettige samenwerking. Edwin van Geest (Glastuinbouw Nederland) wordt bedankt voor de BCO-coördinatie. Voor het onderzoek naar de gewasfotosynthese zijn we een aantal dagen te gast geweest bij Lugt Lisianthus, dank daarvoor! Als laatste willen we de onderzoekscoördinatoren Dennis Medema en Leo Oprel van het programma Kas als Energiebron bedanken voor hun steun bij de totstandkoming en uitvoering van dit project.

Juni 2020,

Sander Hogewoning

1 Algemene inleiding en doelstellingen

Lisianthus is een zeer intensieve teelt met belichtingsniveau's die de 300 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ inmiddels gaan overstijgen. Om te voldoen aan de eisen die in de toekomst aan de glastuinbouw worden gesteld, zal ook de lisianthusteelt moeten verduurzamen: Minder elektraverbruik, op termijn zonder input van fossiele energie, en minimale inzet van bestrijdingsmiddelen. Dit onderzoek tracht daar aan bijdrage aan te leveren. Daarbij richt het onderzoek zich zowel op de opkweekfase als op de afkweekfase.

De opkweek-fase is energetisch veel minder intensief dan de ongeveer 8 weken durende afkweek. Dit vanwege de lagere teelttemperatuur, lagere intensiteiten belichting, en vooral vanwege de veel grotere plantdichtheid. In de opkweekfase is het effect van plantdichtheden en wortelruimte op de mogelijkheden voor verlengde opkweek onderzocht. Indien een verlengde opkweek leidt tot een kortere afkweek en gelijke kwaliteit, kan energie-efficiënter geteeld worden. Waarbij opgemerkt dat een lagere plantdichtheid in de opkweek wel kostprijsverhogend is voor het uitgangsmateriaal. Voor een praktische toepassing moeten er dus duidelijke voordelen in de afkweek te behalen zijn (kortere teelt, minder energieverbruik) om de hogere kosten te kunnen compenseren.

In de afkweek is verder onderzocht wat de licht-respons is van de fotosynthese voor een heel gewas (assimilatenproductie), en wat de assimilatenvraag is van lisianthus in verschillende fases de afkweek. Op momenten dat de gewasfotosynthese lichtverzadigd raakt bij voldoende buitenlicht, en/of het gewas een beperkte assimilatenvraag heeft, kunnen lampen beter worden uitgeschakeld om elektra te besparen.

Leeswijzer:

Het onderzoek is ingedeeld in verschillende hoofdstukken:

- Hoofdstuk 2: Opkweekfase screeningsronde. Hierin wordt onderzocht wat de meest kasrijke richtingen in de opkweek zijn.
- Hoofdstuk 3: Opkweekfase (na)zomerteelt. Hierin worden inzichten uit de screeningsronde verder uitgediept.
- Hoofdstuk 4: Afkweekfase: Gewasfotosynthese en assimilaten-vraag Lisianthus.

Na ieder hoofdstuk worden conclusies getrokken voor de betreffende teeltfase.

2 Opkweekfase | Screeningsronde

2.1 Inleiding

Tijdens de opkweek staan de plantjes in trays gedurende een vrij lange periode dicht op elkaar, en worden eenmalig verspeend naar trays met meer ruimte. Na verspenen is er meer ruimte per plant, maar zonder dat er meer wortelruimte komt. Het volume van de cup is wel groter, maar het plantje krijgt niet meer grond. Het wortelvolume is dus klein. Hierdoor moet in de laatste fase van de opkweek dagelijks gegoten worden. Vervolgens worden de plantjes geleverd aan de bloemenkweker voor de afkweek. De planten zijn dan nog vrij klein en worden geleverd met de kleine wortelkluitjes.

De hypothese is dat als in de opkweek eerder verspeend wordt naar een medium met meer wortelruimte, er grotere, robuustere planten kunnen worden afgeleverd aan de kwekers. Of mogelijk is het gunstiger direct in een substraat met meer volume te zaaien. Het is bekend dat wortelvolume een sterk beperkende factor voor groei kan zijn (Poorter et al., 2012). Uit voorgenoemde studie bleek dat de groei sterk toeneemt als het wortelvolume niet beperkend is, en dat dit vooral komt door een efficiëntere fotosynthese per oppervlakte-eenheid blad.

Zo redenerend heeft opkweek van *Lisianthus* in een systeem met meer wortelruimte de volgende mogelijke voordelen:

- Verlengde afkweek mogelijk, waardoor de afkweek wellicht korter duurt. Een kortere afkweek bespaart sowieso veel energie: van 8 naar 7 weken teelt bespaart 12.5%.
- Starten met robuustere planten vraagt tijdens de afkweek wellicht minder belichting voor eenzelfde eindkwaliteit. Zeker als de fotosynthese-efficiency per vierkante meter blad inderdaad hoger blijkt, in combinatie met een grotere bladoppervlakte. Dit geeft een 'rente op rente'-effect.
- Los van energie: Op tijd voldoende wortelvolume voorkomt mogelijk te snelle bloei (noodbloei). Nu is voldoende lengte soms een probleem, en dan wordt met Berelex gespoten. Dat kan wellicht worden voorkomen.

In deze screeningsronde is zonder zeer gedetailleerde metingen onderzocht welke strategieën in de opkweek kansrijk zijn om tot een efficiëntere afkweekfase te komen.

2.2 Materiaal en methoden

Er is een onderzoek gedaan naar het opkweken van robuuster lisianthus uitgangsmateriaal. Hieronder wordt de proefopzet puntsgewijs weergegeven:

- Trays (60x 40cm met verschillende zaaidichtheden, 600, 408 en 330 gaats) zijn door Florensis gezaaid en opgekweekt (opkweek vond plaats in kassen uitgerust met SON-T). NB Klimaatgegevens en zaaidata zijn niet opgenomen in het rapport, omdat deze onder het IP van Florensis vallen.
- Trays zijn door Florensis (op het moment van dichtgegroeide tray) verspeend naar de trays met de eindafstanden 240 of 160 gaats.

2.2.1 Plantmateriaal

In de screeningsronde zijn 3 variëteiten geselecteerd, namelijk:

1. Piccolo 2 White Pure (afkweek door van de Werken Lisianthus)
2. Arosa 3 Red & Arosa 3 Red Imp. (600 → 240 gaats; afkweek door Lugt Lisianthus)
3. Rosita 2 White Pure (afkweek door Kwekerij van der Hoeven)

2.2.2 Behandelingen

Er zijn in totaal vier behandelingen uitgevoerd, allen opgekweekt in de kas bij Florensis. Iedere behandeling is uitgevoerd op alle drie de variëteiten. De behandelingen waren ingestoken op het realiseren van verschillende plantdichtheden en wortelvolumes, namelijk:

- 600 → 240 gaats (controle)
- 408 → 240 gaats
- 408 → 160 gaats
- 330 → 160 gaats

Waarbij de start plantdichtheid (linker getal) bepalend is voor het wortelvolume, waarna de planten (bij het volledig dichtgroeien op de startdichtheid) verspeend worden naar een ruimere tray (rechter getal) en vervolgens na enige weken verdere opkweek uitgeleverd worden voor de afkweek.

2.2.3 Metingen

Tijdens de teelt is er bij iedere behandeling op twee momenten gemeten, namelijk net voor het uitleveren van het uitgangsmateriaal naar de kweker en het moment wanneer de referentie veilingrijp werd geacht. Bij het youngplant stadium en het veilingrijpe stadium is aan verschillende parameters gemeten, namelijk:

- Vers- en drooggewicht metingen op het moment van uitleveren naar de telers
- Bladoppervlakte op het moment van uitleveren
- Foto's op het moment van uitleveren
- Lengte van de tak na afkweek
- Aantal knoppen aan de tak (>1cm) na afkweek
- Aantal bloemen aan tak na afkweek
- Takgewicht na afkweek

2.2.4 Tijdlijn proef

In tabel 1 staan de belangrijkste handelingen vermeld.

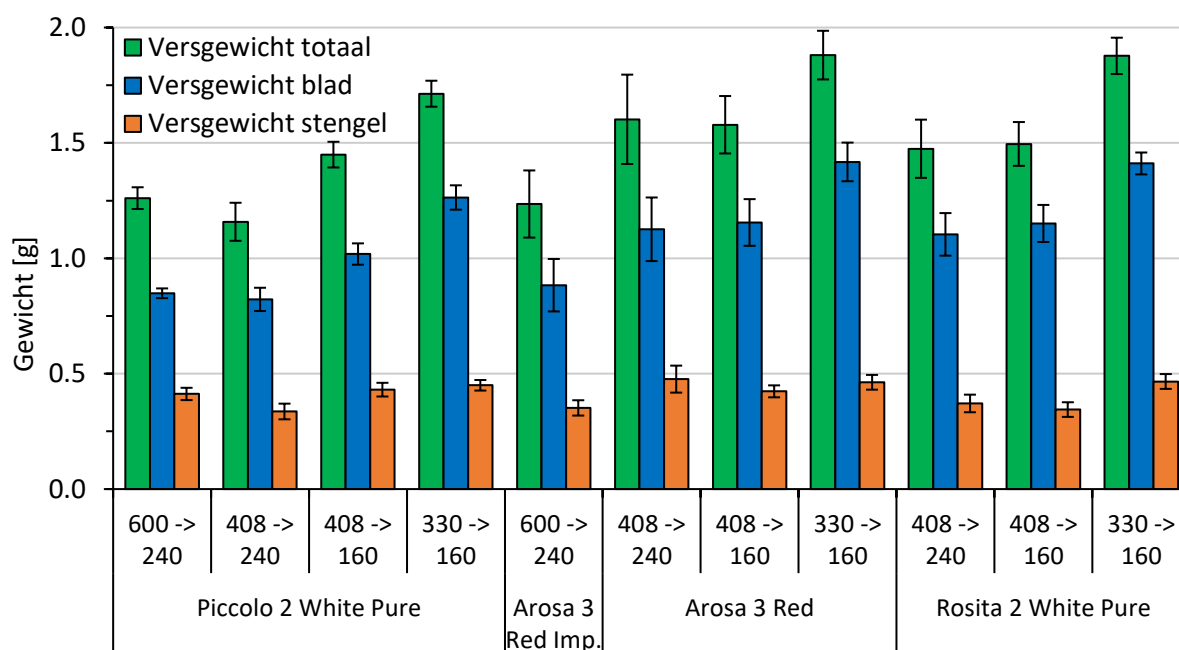
Tabel 1. Tijdlijn proef.

Datum	Handeling
21-02-2019	Variëteiten verspeend naar de einddichtheid
07-03-2019	Destructieve metingen aan het uitgangsmateriaal Uitgangsmateriaal uitgeleverd naar de respectievelijke telers
24-04-2019	Oogst (veilingrijp) Arosa 3 Red
29-04-2019	Oogst (veilingrijp) Piccolo 2 White Pure
03-05-2019	Oogst (veilingrijp) Rosita 2 White Pure

2.3 Resultaten

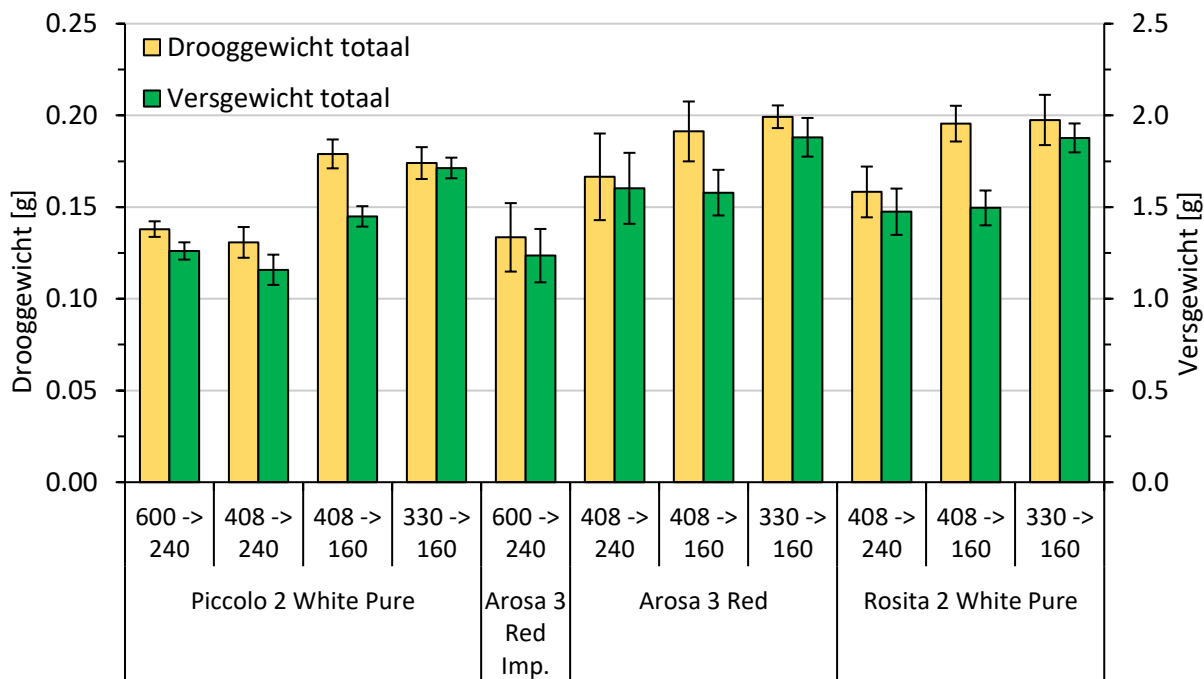
2.3.1 Opkweek

Door middel van oogsten van 40 planten per plantdichtheid en cultivar is een beeld verkregen over het effect van het ruimer opkweken van lisianthus uitgangsmateriaal. Hierin komt duidelijk naar voren dat wanneer de lisianthus meer ruimte wordt geboden, deze ook daadwerkelijk benut wordt in de vorm van gewichtstoename (Fig. 1). Deze trend is goed waarneembaar in alle drie de cultivars, waarbij vooral de start-plantdichtheid bepalend lijkt voor de uiteindelijke hoeveelheid versgewicht. Hierbij wijkt er slechts een af, namelijk 408 → 240 gaats bij Piccolo 2 White Pure.



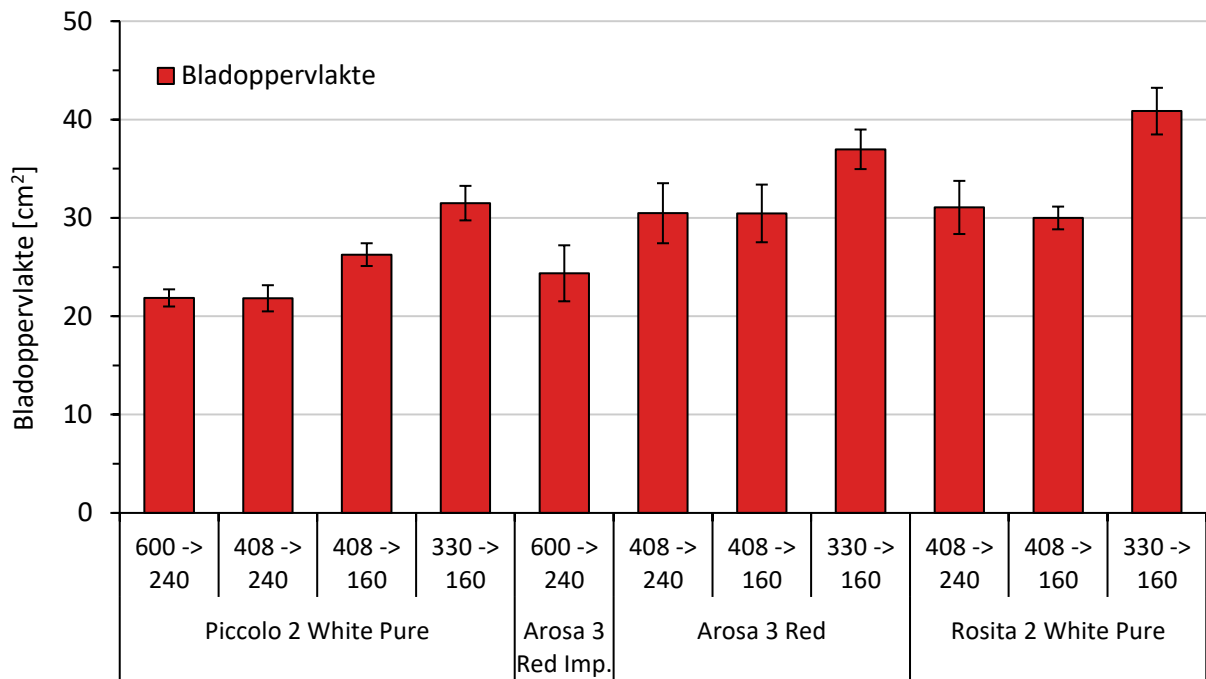
Figuur 1. Versgewichten van de bladeren, stengels en het totaal voor de drie verschillende variëteiten Piccolo 2 White Pure, Arosa 3 Red (Imp.) en Rosita 2 White Pure. Er is een duidelijke trend zichtbaar waarbij de start plantafstand bepalend is voor het eindgewicht, waarbij alleen de 408 → 240 gaats bij Piccolo 2 White Pure laag afwijkt. Error bars geven de standaarddeviatie (SD) weer, n=40.

Het beeld bij de drooggewichten (Fig. 2) verandert ten opzichte van versgewichten: bij de drooggewichten lijkt de bepalende factor juist de eindafstand te zijn (afstand na verspenen). Wederom is dit beeld zichtbaar bij alle behandelingen, maar ditmaal geen uitzonderingen. Opvallend is dan wel dat de 408 → 160 gaats behandelingen een relatief hoog drooggewichtspercentage bevatten, terwijl de drie andere behandelingen een vergelijkbaar lager drooggewichtspercentage bevatten.



Figuur 2. Droog- en versgewichten van de gehele (young)plant voor de drie verschillende variëteiten Piccolo 2 White Pure, Arosa 3 Red (Imp.) en Rosita 2 White Pure. Er is een duidelijke trend zichtbaar dat de eindplantafstand bepalend is voor het eindgewicht (drooggewicht). Error bars geven de standaarddeviatie (SD) weer, n=40.

Bladoppervlakte (Fig. 3) wordt weer bepaald door de start-plantafstand (afstand voor verspenen). Waarbij naar voren komt dat wanneer het lisianthus uitgangsmateriaal meer ruimte wordt geboden deze benut wordt om meer bladoppervlakte per plant aan te leggen. Zoals ook te zien is in Figuur 4 is de 330 → 160 gaats in alle variëteiten het meest robuuste plantje en heeft deze uiteraard het grootste perskluitje en dus de grootste wortelruimte. Mede hierdoor zou deze (naar het oordeel van de teeltbegeleider van Florensis) ook nog één week langer opgekweekt kunnen worden.



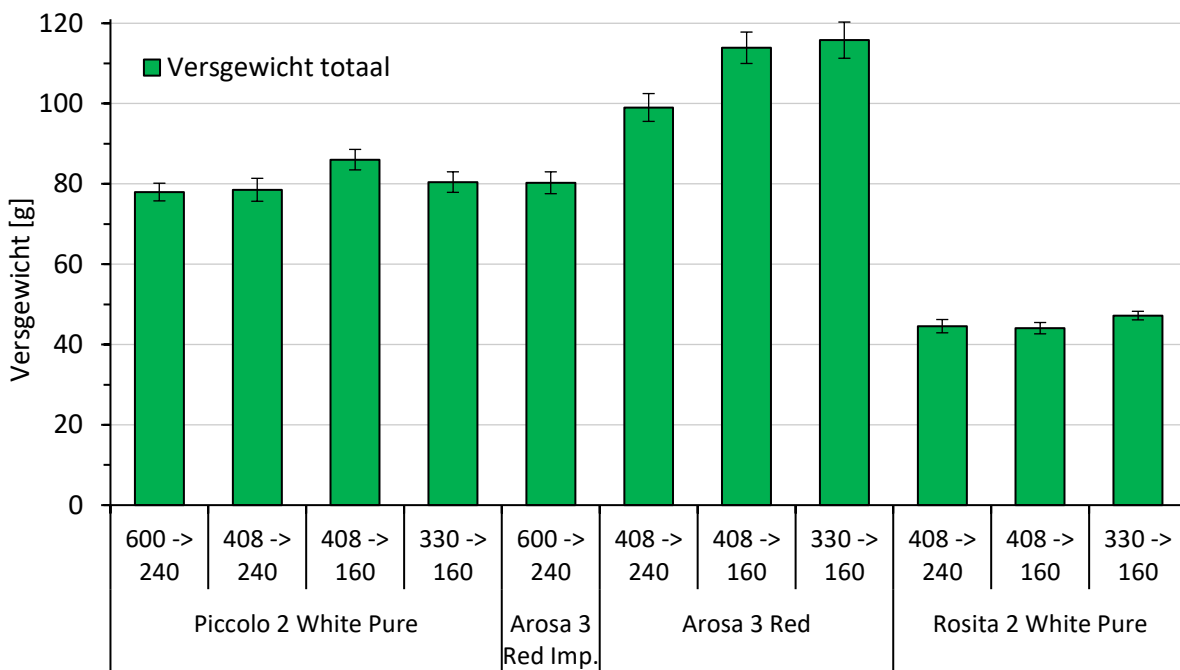
Figuur 3. Bladoppervlakte voor de drie verschillende variëteiten Piccolo 2 White Pure, Arosa 3 Red (Imp.) en Rosita 2 White Pure. Opvallend is dat de 330 → 160 gaats het meeste bladoppervlakte hebben, terwijl deze net zo veel drogestof bevatten als de 408 → 160 gaats. Error bars geven de standaarddeviatie (SD) weer, n=40.



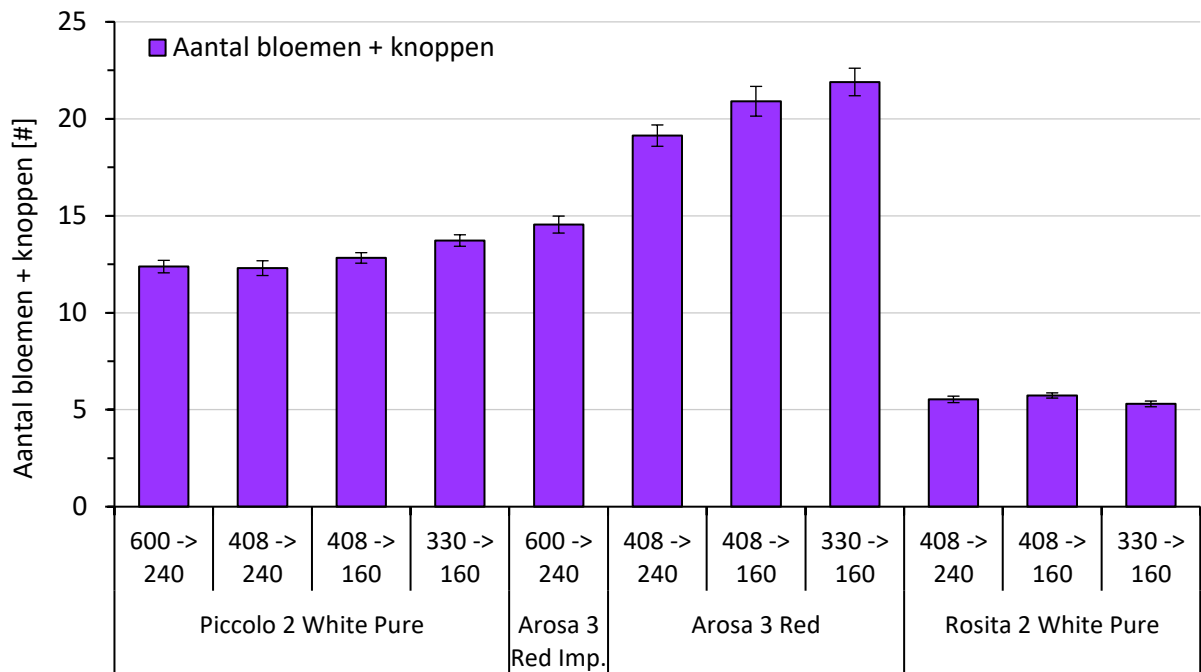
Figuur 4. Overzichtsfoto van 3 representatieve planten per behandeling aan het einde van de opkweek, het moment voor uitlevering naar de kwekers. NB Rosita 2 White Pure 600 → 240 gaats mist omdat deze niet correct geplant is geweest. De 600 → 240 gaats bij Arosa 3 Red is Arosa 3 Red Imp..

2.3.2 Afkweek

De verschillen die zijn gecreëerd in de opkweek vervallen grotendeels in de afkweek, tenminste dit geldt voor de variëteiten Piccolo 2 White Pure en Rosita 2 White Pure. Bij deze variëteiten zijn de verschillen uit de opkweek volledig verdwenen (Fig 5.). De voorsprong die er was voor de 330 → 160 gaats behandelingen is volledig gelijkgetrokken met de rest. Dit suggereert dat het resultaat in de afkweek onafhankelijk is van het startmateriaal (binnen de geteste bandbreedte). Bij Arosa 3 Red ligt dit echter anders, hierbij presteren de behandelingen met de eindafstand 160 gaats beter dan die met een eindafstand 240 gaats, het vergelijk met de 600 → 240 gaats is hierbij niet helemaal eerlijk omdat het hier een iets andere variëteit betreft namelijk Arosa 3 Red Imp.. Het aantal bloemen + bloemknoppen (Fig. 6) lijkt gekoppeld te zijn aan het versgewicht, de trend hier is namelijk eender als die in het versgewicht.



Figuur 5. Versgewichten van de takken van variëteiten Piccolo 2 White Pure, Arosa 3 Red (Imp.) en Rosita 2 White Pure. De oogstdatum verschilde tussen de variëteiten (Tabel 1). De verschillen die bij het uitleveren aanwezig waren, zijn volledig verdwenen bij Piccolo 2 White Pure en Rosita 2 White Pure, echter bij Arosa 3 Red (Imp.) is een duidelijke toename in takgewicht zichtbaar. Error bars geven de standaardfout (SEM) weer, n=30.



Figuur 6. De hoeveelheid bloem(knoppen) op de geoogste takken van variëteiten Piccolo 2 White Pure, Arosa 3 Red (Imp.) en Rosita 2 White Pure. De oogstdatum verschilde tussen de variëteiten (Tabel 1). De verschillen die bij het uitleveren aanwezig waren, zijn volledig verdwenen bij Piccolo 2 White Pure en Rosita 2 White Pure, bij Arosa 3 Red (Imp.) is een duidelijke toename in aantal bloem(knoppen) zichtbaar. Error bars geven de standaardfout (SEM) weer, n=30.

2.4 Conclusies opkweekfase screeningsronde

Dit vooronderzoek was uitgevoerd om te onderzoeken of meer ruimte tijdens de opkweek (zowel boven- als ondergronds) resulteert in robuuster uitgangsmateriaal, en wat de effecten hiervan zijn in de daaropvolgende afkweek bij de bloementeler. De uitkomsten hiervan waren bepalend voor de volgende opkweek-proef (hoofdstuk 3).

Opkweek

De start plantafstand lijkt bepalend te zijn voor de hoeveelheid versgewicht per plant aan het einde van de opkweek. De plant ruimer planten in de startfase heeft dus een direct effect op het eindproduct in de opkweek. Hetzelfde lijkt te gelden voor het effect van de plantafstand op de bladoppervlakte, deze neemt met een vergelijkbare ratio toe als het versgewicht. Bij zowel het versgewicht als bladoppervlakte is er een uitbijter, namelijk Piccolo 2 bij 408 → 240 gaats, deze presteerde niet meer maar vergelijkbaar met de 600 → 240 gaats.

Bij de drooggewichten lijkt de eindplantafstand juist bepalend te zijn, hierbij vallen de 408 → 160 gaats hoger uit dan verwacht. Dit is opmerkelijk, omdat ze dan ook een hogere drooggewicht percentage hebben vergeleken met de andere drie behandelingen. Daarnaast is de maximale potentie van de 330 → 160 gaats nog niet bereikt, deze zouden nog langer opgekweekt kunnen worden op de 160 gaats tray.

Afkweek

De verschillen die gecreëerd waren in de opkweek zijn bijna volledig vervallen in de afkweek. Bij zowel Piccolo 2 White Pure als Rosita 2 White Pure (bij de laatste mist de referentie 600 → 240 gaats) zijn er geen verschillen waar te nemen in zowel het versgewicht van de gehele tak als het aantal bloemen + knoppen. Dit suggereert dat bij deze telers of bij deze variëteiten het grotere plantmateriaal geen verschil maakt in het eventueel eerder dichtgroeien van het gewas of sterker zijn bij het aanslaan. Bij Arosa 3 Red (Imp.) ligt dit echter anders, hierbij is duidelijk eenzelfde trend in extra opbrengst te zien als aan het einde van de opkweek: Zowel het takgewicht als de generativiteit (aantal bloemen/bloemknoppen) namen fors toe. Hier lijkt dus wel sprake te zijn van een mogelijk snellere dichtgroei of beter aanslaan van het gewas na planten. Dit biedt kansen, ook met het oog op de nog niet getoetste verlengde opkweek bij lagere plantdichtheid. Plant uit verlengde opkweek kunnen wellicht sneller worden afgekweekt, waardoor de energiebehoefte per tak omlaag gaat. Hierop richt het vervolgonderzoek met Arosa 3 Red Imp. zich (Hoofdstuk 3).

3 Opkweekfase | (na)zomerteelt

3.1 Inleiding

De aanleiding en doelen van dit onderzoek sluiten aan op hetgeen van het screeningsonderzoek, zie hoofdstuk 2.1.

3.2 Materiaal en methode

Er is een vervolgonderzoek opgezet naar aanleiding van de resultaten van de voorstudie, welke potentie aantoonde in de soort Arosa 3 Red (Imp.). De aandacht richt zich in dit onderzoek op het gedetailleerder meten van de parameters en het toetsen van een verlengde opkweek. Hieronder wordt de proefopzet puntsgewijs weergegeven:

- Trays (60x 40cm met verschillende zaaidichtheden, 600, 408 en 330 gaats) zijn door Florensis gezaaid (op dezelfde dag) en opgekweekt in kassen uitgerust met SON-T belichting. NB Klimaatgegevens en zaaidata zijn niet opgenomen in het rapport, omdat deze onder het IP van Florensis vallen.
- Trays zijn door Florensis op het moment dat de tray dichtgegroeid was verspeend naar de trays met de eindafstanden 240 en 160 gaats.
- Op het 'reguliere' uitlever moment is de helft van de 160 gaats trays uitgeleverd aan de kwekerijen voor de afkweek, en de andere helft bleef achter voor een verlengde opkweek van één week.

3.2.1 Plantmateriaal

In deze onderzoeksronde zijn de Piccolo 2 White Pure en Rosita 2 White Pure vervallen en is alleen Arosa 3 Red Imp. geteeld. Dit omdat gebaseerd op de resultaten van het screeningsonderzoek (Hoofdstuk 2) in deze soort de meeste potentie zit. De Arosa 3 Red Imp. werd in deze proef bij zowel Lugt Lisianthus als Floralis Lisianthuskwekerij afgekweekt.

3.2.2 Behandelingen

Er zijn in totaal drie behandelingen uitgevoerd, allen opgekweekt in de kas bij Florensis. De behandelingen waren gericht op het realiseren van verschillende plantdichtheden en daardoor verschillende formaten van perskluitjes, namelijk:

- 600 → 240 gaats (controle)
- 408 → 160 gaats
- 330 → 160 gaats

Waarbij de start-plantdichtheid (linker getal) bepalend is voor het wortelvolumen, waarna de planten (bij het volledig dichtgroeien op de startdichtheid) verspeend worden naar een ruimere tray (rechter getal) en vervolgens uitgeleverd worden voor de afkweek (geplant op netto 100 pl/m²).

3.2.3 Metingen

Tijdens de teelt is er bij iedere behandeling op twee momenten gemeten, namelijk net voor het uitleveren van het uitgangsmateriaal naar de kweker en het moment wanneer de referentie veilingrijp werd geacht. Bij het youngplant stadium en het veilingrijpe stadium is aan verschillende parameters gemeten, namelijk:

Uitgangsmateriaal (vlak voor uitlevering naar kwekers):

- Vers- en drooggewicht van het blad en de stengel (gescheiden)
- Lengte van de plant (tot apex)
- Aantal bladparen
- Bladoppervlakte
- Overzichtsfoto's

Veilingrijp/eindproduct:

- Vers- en drooggewicht van het blad en de stengel aan de hoofdtak, blad en stengel van de zijtakken en bloem(knoppen)
- Lengte van de plant
- Aantal bladparen (aan de hoofdtak)
- Bladoppervlakte
- Aantal zijtakken
- Aantal knoppen (>1cm)
- Aantal bloemen

NB Hierbij vormen de behandelingen die de verlengde opkweek hebben ondergaan een uitzondering, deze zijn namelijk gemeten op het moment dat de takken niet verlengd waren opgekweekt veilingrijp waren, en vervolgens een derde maal gemeten op het moment dat deze ook daadwerkelijk veilingrijp waren.

3.2.4 Tijdljn proef

In tabel 2 staan de belangrijkste handelingen vermeld.

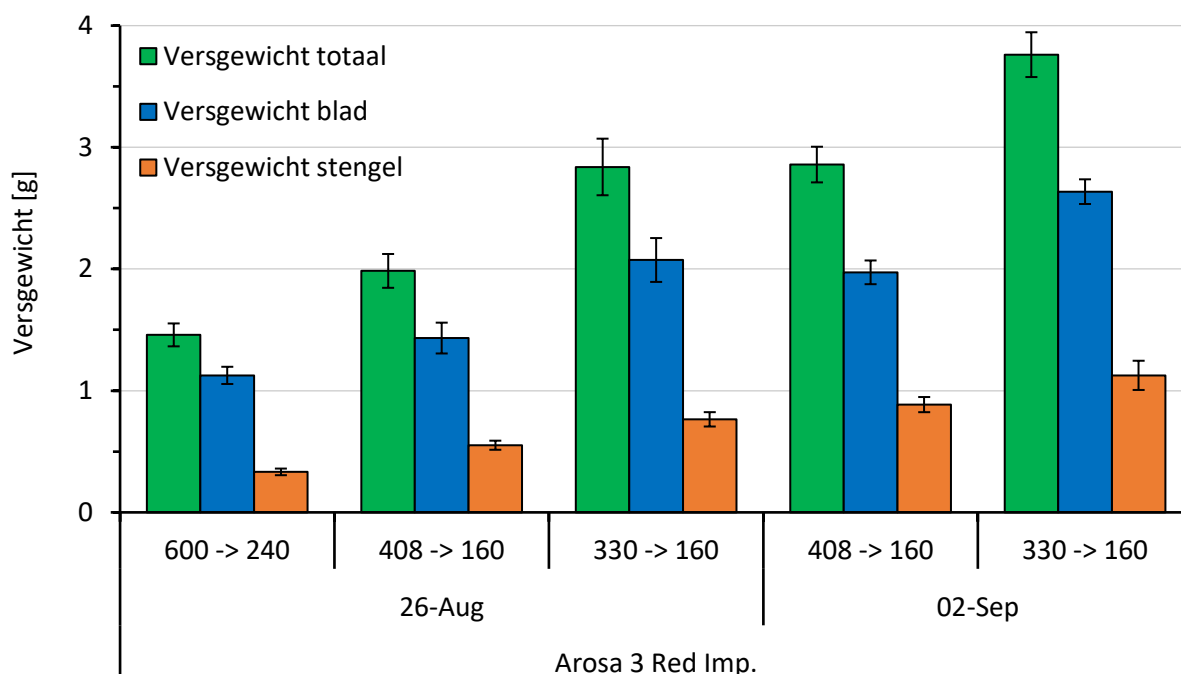
Tabel 2. Tijdljn proef.

Datum	Handeling
19-08-2019	408 → 160 gaats verspeend
22-08-2019	330 → 160 gaats verspeend
26-08-2019	Destructieve metingen aan het uitgangsmateriaal van de reguliere uitlevering
27-08-2019	(Reguliere) uitlevering naar Lugt Lisianthus
29-08-2019	(Reguliere) uitlevering naar Floralis Lisianthuskwekerij
02-09-2019	Destructieve metingen aan het uitgangsmateriaal van de verlengde opkweek
03-09-2019	Verlengde opkweek uitlevering naar Lugt Lisianthus
05-09-2019	Verlengde opkweek uitlevering naar Floralis Lisianthuskwekerij
14-10-2019	Oogst veilingrijpe stadium bij Lugt Lisianthus
17-10-2019	Tweede oogst van verlengde opkweek (veilingrijp) bij Lugt Lisianthus Oogst veilingrijpe stadium bij Floralis Lisianthuskwekerij
24-10-2019	Tweede oogst van verlengde opkweek (veilingrijp) bij Floralis

3.3 Resultaten

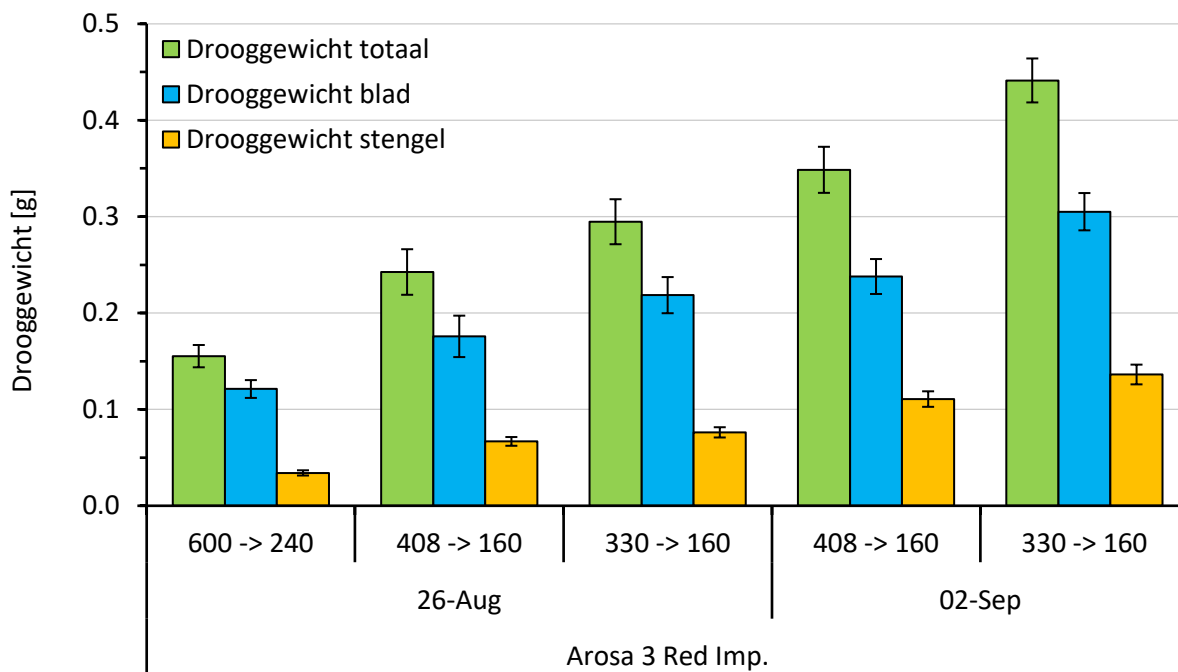
3.3.1 Opkweek

Door middel van oogsten van 48 planten per plantdichtheid en uitleveringsdatum is gemeten wat het effect is van het ruimer opkweken van lisianthus uitgangsmateriaal. Hierbij valt direct op dat de gerealiseerde verschillen veel groter zijn dan dat deze waren in het screeningsonderzoek (zie hoofdstuk 2.3.1). De 330 → 160 gaats behandeling is bijna dubbel zo zwaar als de reguliere opkweek (600 → 240 gaats; Fig. 7). Wanneer het uitgangsmateriaal een week langer bij Florensis blijft staan (verlengde opkweek), neemt het gewicht met nog eens 50% toe. Het lijkt er dus op dat uitgangsmateriaal bij een dichtheid van 160 per tray nog voldoende ruimte heeft om zich door te ontwikkelen.



Figuur 7. Versgewicht van de bladeren, stengels en het totaal van Arosa 3 Red Imp. onder de verschillende behandelingen. De 26-aug en 2-sep zijn de respectievelijke uitleverdata, 2-sep heeft dus een week langer in de opkweek gestaan (verlengde opkweek). Het effect van de verschillende plantdichtheden is veel groter dan in het screeningsonderzoek (opkweek februari). 330 → 160 gaats is bijna dubbel zo zwaar als de 600 → 240 gaats bij de uitlevering van 26-aug. Een week later uitleveren resulteert ook in bijna 50% extra gewichtstoename. Error bars geven de standaarddeviatie (SD) weer, n=48.

De drooggewichten (Fig. 8) tonen eenzelfde trend als de versgewichten. Wat nu duidelijker naar voren komt bij de drooggewichten is de relatie tussen de start-plantdichtheden, wanneer deze (start)plantafstand, respectievelijk 600, 408 en 330 gaats, wordt omgerekend naar productie per vierkante meter, resulteert dit in een gelijke productie per m² voor alle plantafstanden bij dezelfde uitleverdatum (Tabel 3). Dit laat zien dat het moment van dichtgroeien (LAI > 2.5 m²/m²) nauwelijks van elkaar verschilt, omdat immers de productie per vierkante meter sterk bepaald wordt door de LAI.

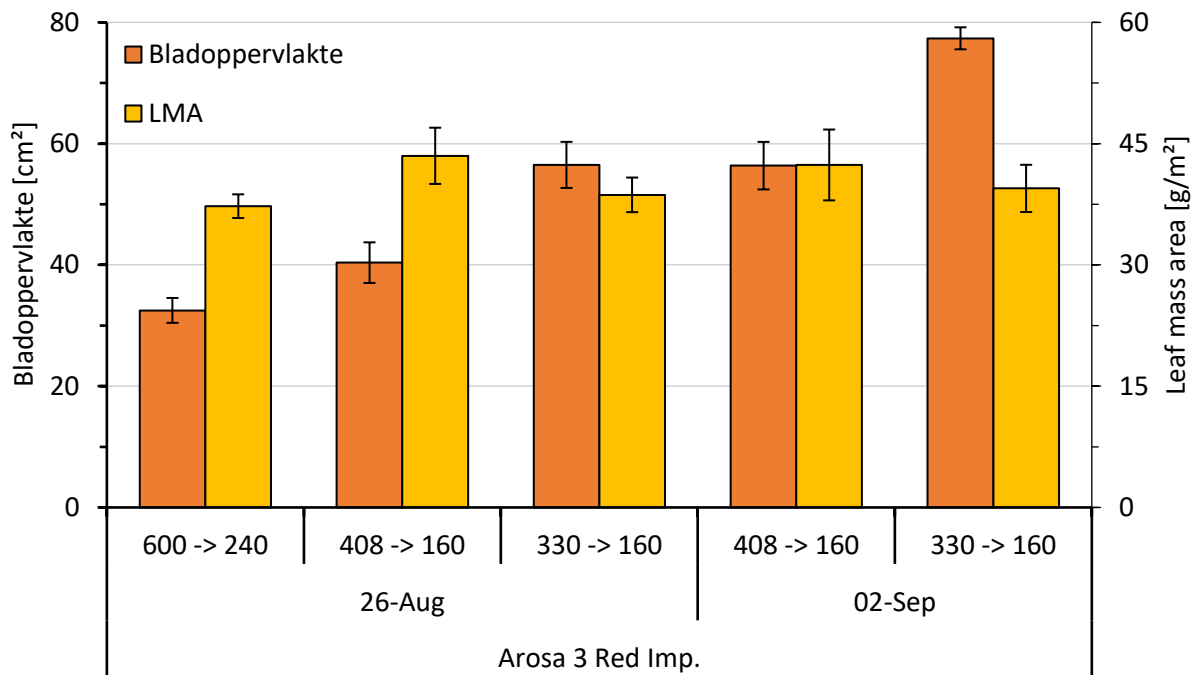


Figuur 8. Drooggewichten van de bladeren, stengels en het totaal van Arosa 3 Red Imp. onder de verschillende behandelingen. De 26-aug en 2-sep zijn de respectievelijke uitleverdata, 2-sep heeft dus een week langer in de opkweek gestaan (verlengde opkweek). Het effect van de verschillende plantdichtheden is veel groter dan in de screeningsronde (opkweek februari). Overall is er nu eenzelfde effect als bij de versgewichten, dus geen verschillen in drogestofpercentages. Error bars geven de standaarddeviatie (SD) weer, n=48.

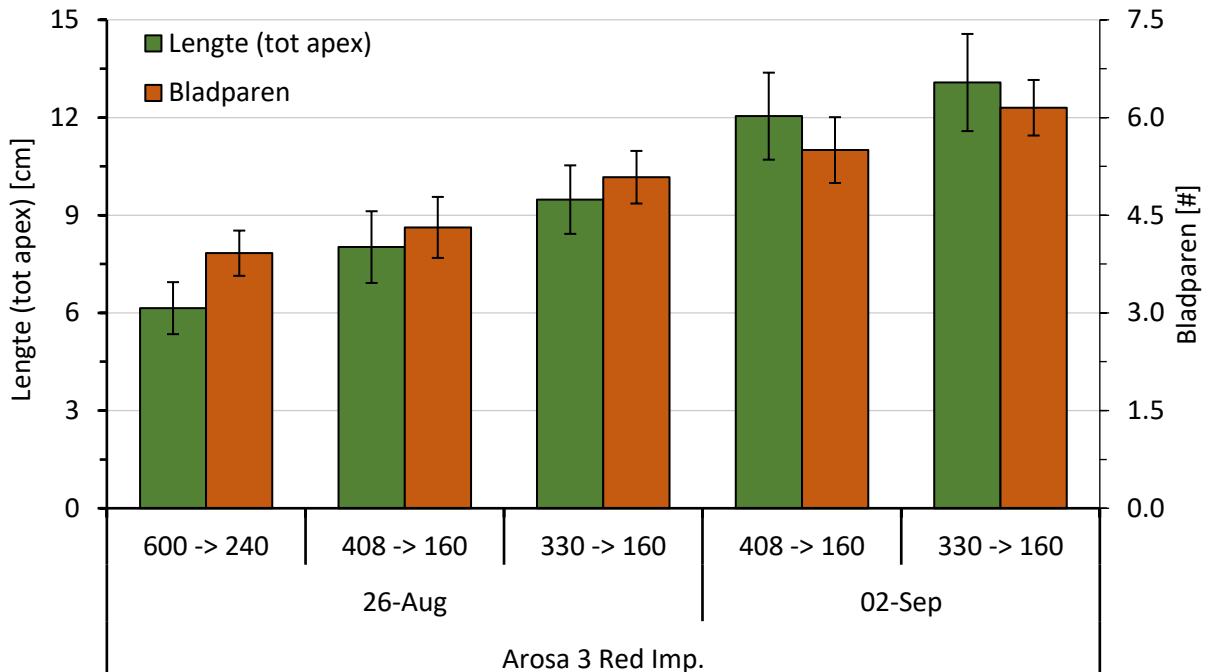
Tabel 3. Totaal vers-, drooggewicht en LAI van Arosa 3 Red Imp. onder de verschillende behandelingen per m² teeltoppervlakte aan het einde van de opkweek. De 26-aug en 2-sep zijn de respectievelijke uitlever data, 2-sep heeft dus een week langer in de opkweek gestaan (verlengde opkweek). De verschillende plantdichtheden hebben geen invloed op de totaal productie per vierkante meter, deze is namelijk nagenoeg hetzelfde (reguliere uitlevering 26-aug). De uitlevering van 2-sep (verlengde opkweek) resulteert in ~50% gewichtstoename. n=48.

Uitlever data	Behandeling	Versgewicht [kg/m ²]	Drooggewicht [g/m ²]	LAI [m ² /m ²]
26-aug	600 --> 240	3.65	388	8.1
	408 --> 160	3.37	412	6.9
	330 --> 160	3.90	405	7.8
2-sep	408 --> 160	4.86	593	9.6
	330 --> 160	5.17	607	10.6

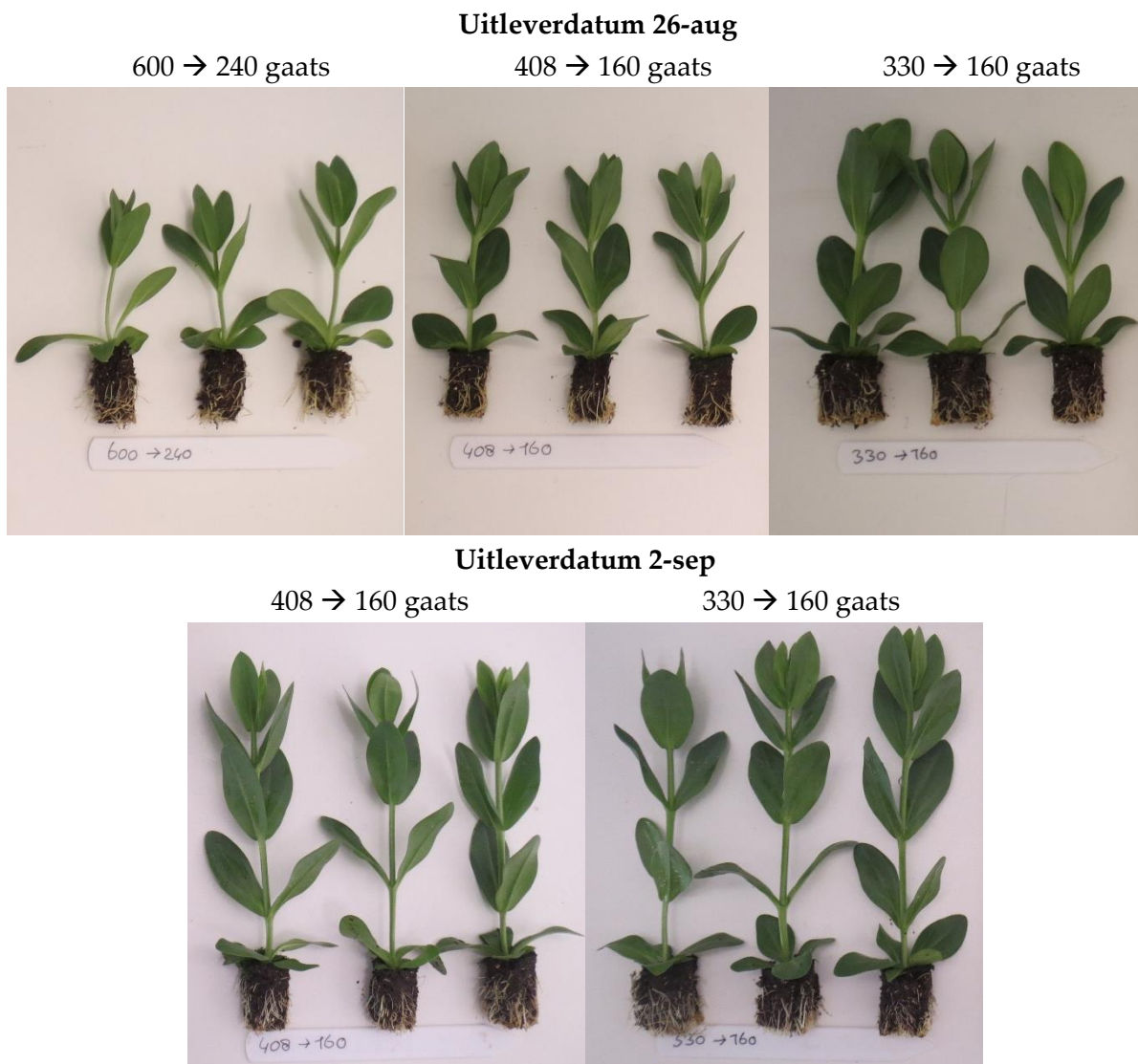
De bladoppervlakte (Fig. 9) ontwikkelt zich op dezelfde manier als het vers- en drooggewicht van de bladeren (Fig. 7 & 8), wat dan ook direct verklaart waarom de Leaf Mass per Area (LMA, drooggewicht per m² blad) eender is voor alle behandelingen (Fig. 9). De lengte van het gewas en de hoeveelheid bladparen lopen lineair met elkaar op naarmate de plantdichtheid afneemt (Fig. 10). Dit laat zien dat naast temperatuur ook de suikerproductie per individuele plant (source) invloed heeft op de bladinitiatie bij lisianthus in de opkweek. Bij de verlengde opkweek strekken de planten meer in relatie tot de hoeveelheid bladparen in vergelijking met de reguliere uitlevering. In figuur 11 zijn drie representatieve planten per behandeling weergegeven op de foto.



Figuur 9. Bladoppervlakte en LMA (drooggewicht per m² blad) van Arosa 3 Red Imp. onder de verschillende behandelingen. De 26-aug en 2-sep zijn de respectievelijke uitleverdata, 2-sep heeft dus een week langer in de opkweek gestaan (verlengde opkweek). Het effect van de verschillende plantdichtheden loopt parallel aan de toename in bladgewicht (zowel vers als droog), dit verklaart ook waarom LMA over de gehele linie hetzelfde blijft. Error bars geven de standaarddeviatie (SD) weer, n=48.



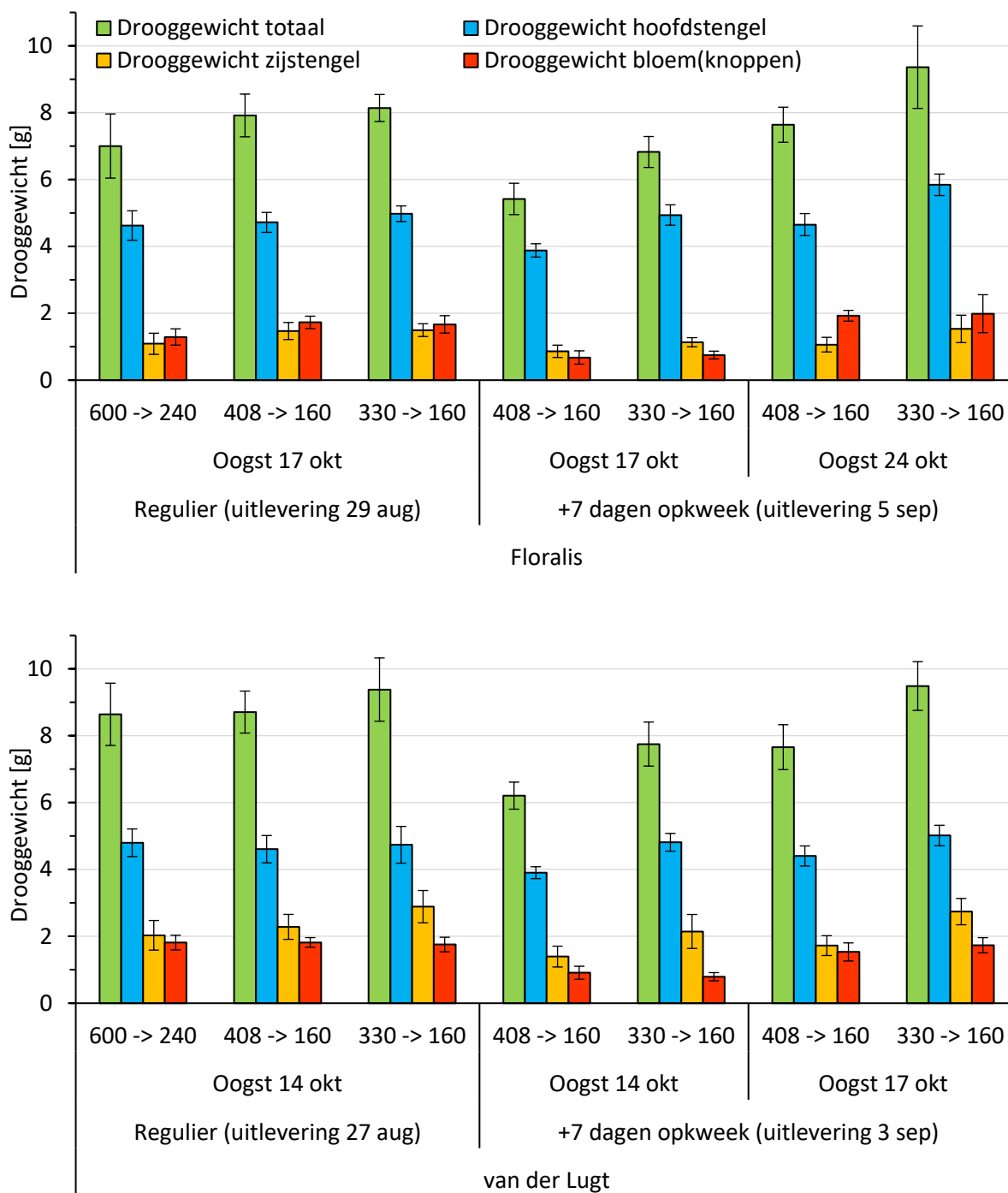
Figuur 10. Lengte en aantal bladparen van Arosa 3 Red Imp. onder de verschillende behandelingen. De 26-aug en 2-sep zijn de respectievelijke uitleverdata, 2-sep heeft dus een week langer in de opkweek gestaan (verlengde opkweek). Gewasontwikkeling verloopt voor lengte en bladparen sneller naarmate de plantdichtheid afneemt. Bij een verlengde opkweek verschuift de verhouding lengte/bladparen wat een indicatie geeft voor een gestrektere plant. Error bars geven de standaarddeviatie (SD) weer, n=48.



Figuur 11. Overzichtsfoto's van 3 representatieve van Arosa 3 Red Imp. planten per behandeling aan het einde van de opkweek, het moment voor uitlevering naar de kwekers.

3.3.2 Afkweek

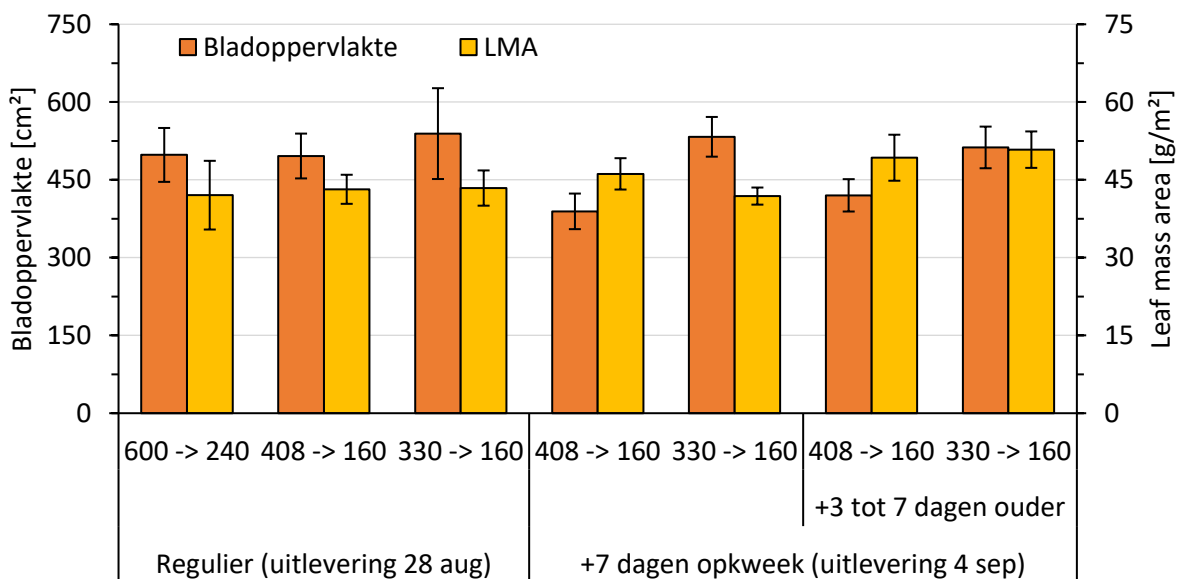
Het uitgangsmateriaal is na de metingen (zie hoofdstuk 3.3.1) uitgeleverd bij Lugt Lisianthus en Floralis voor de afkweek. Aan het einde van de afkweek op het veilingrijpe stadium van de referentiebehandeling (600 → 240 gaats), zijn 50 takken per behandeling geogst. Het uitgangsmateriaal uit de verlengde opkweek is op datzelfde moment geogst (onrijp), en op een later moment nogmaals geogst, namelijk op het moment dat deze veilingrijp waren. De drooggewichten van de takken staan in onderstaande Fig. 12.



Figuur 12. Drooggewichten van de bladeren, stengels en het totaal drooggewicht van Arosa 3 Red Imp. van de verschillende behandelingen na de afkweek op reguliere plantdichtheden (netto 100 pl/m²) bij van der Lugt te 's-Gravenzande en Floralis te Honselersdijk. Oogst veilingrijp stadium voor 'reguliere opkweek', en van de verlengde opkweek oogst in onrijp stadium en in veilingrijp stadium 7 en 3 dagen later voor respectievelijk Floralis en Lugt Lisianthus. Er zijn weinig verschillen waarneembaar tussen de behandelingen die zijn uitgeleverd op het 'reguliere' moment. Planten die een week langer zijn opgekweekt hebben er baat bij om op een lagere plantdichtheid te hebben gestaan (408 → 160 presteert minder goed dan 330 → 160). De planten met een verlengde opkweek werden 7 en 3 dagen later geoogst bij respectievelijk Floralis en Lugt Lisianthus. De trend is hetzelfde voor de twee teeltlocaties. Error bars geven de standaarddeviatie (SD) weer, n=50.

De grote verschillen tussen de behandelingen aan het einde van de opkweek komen niet tot uiting aan het einde van de afkweek (Fig. 12). De oogstgegevens van Floralis (Fig. 12 boven) laten weliswaar een wat lager drooggewicht zien voor de bloemen en zijtakken bij de dichtste planting (600→240 gaats), maar uit de tellingen van het aantal open bloemen bij oogst blijkt dat die behandeling ook iets minder rijp was (data niet in rapport). Dit kan dit verschil gedeeltelijk verklaren. In de metingen vbi van der Lugt zijn de zijstengels gemiddeld zwaarder bij de 330 → 160 opkweekbehandelingen. alles bij elkaar wegende zijn de verschillen aan het einde van de afkweek beperkt. Een verlengde opkweek resulteerde ook niet in een navenant kortere afkweekperiode. De week verlengde opkweek versnelde de afkweek met hooguit enige dagen.

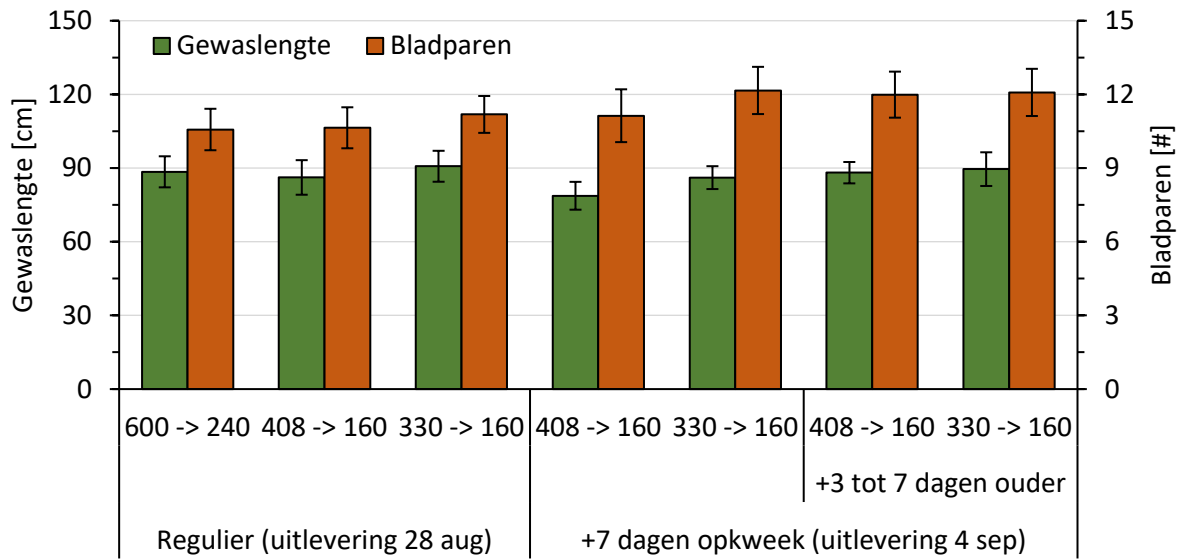
Vanwege de zeer vergelijkbare trends voor de afkweek bij Lugt Lisianthus als bij Floralis Lisianthuskwekerij zijn de hierop volgende figuren gebaseerd op het gemiddelde van beide tuinen. De bladoppervlakte bij oogst verschilde niet tussen de behandelingen bij de 'reguliere oogst' (Fig. 13). De 408 → 160 gaats uit de verlengde opkweek had uiteindelijk iets minder bladoppervlakte ontwikkeld dan de 330 → 160 gaats uit de verlengde opkweek.



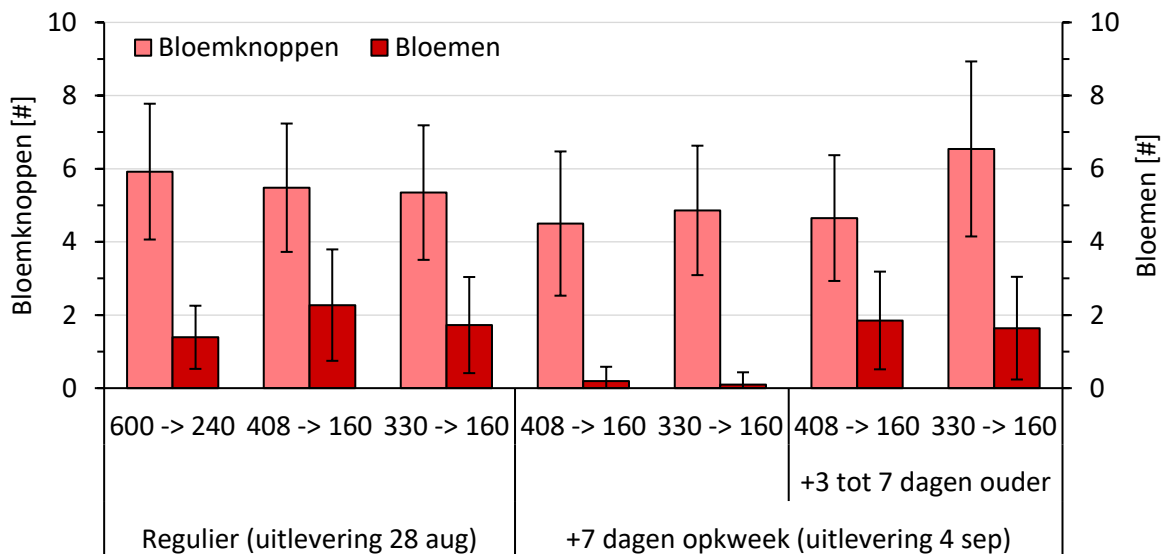
Figuur 13. Bladoppervlakte en LMA (drooggewicht per m² blad) van Arosa 3 Red Imp. van de verschillende behandelingen na de afkweek op reguliere plantdichtheden (netto 100 pl/m²), waarbij de gegevens van de twee teeltlocaties samengevoegd zijn. Oogst veilingrijp voor 'reguliere opkweek', en van de verlengde opkweek oogst in onrijp stadium en veilingrijp. Verschillen in bladoppervlakte en LMA zijn bij de 'reguliere' uitlevering volledig weggefallen, bij de verlengde opkweek valt het op dat de 408 → 160 planten beduidend minder bladoppervlakte hebben ontwikkeld dan de 330 → 160 planten. Error bars geven de standaarddeviatie (SD) weer, n=50.

Op het gebied van gewasstrekking (Fig. 14) hebben de behandelingen geen effect. Een lage plantdichtheid in de opkweek zorgt dus niet voor overmatige compactheid van het gewas. Dit geldt ook voor een verlengde opkweek (NB bespuitingen met Berelex kunnen het natuurlijke patroon verstoord hebben). Het aantal bladparen is gemiddeld 1 bladpaar meer bij de verlengde opkweek vergeleken met de reguliere uitlevering. Dit wijst op vertraging in bloeirespons bij verlengde opkweek. Inderdaad duurt de afkweek na een week verlengde opkweek niet navenant korter, maar hooguit enige dagen. Aan het aantal open bloemen per

tak (Fig. 15) is te zien dat het rijpheidsstadium vergelijkbaar was voor de oogst van de reguliere uitlevering en de verlengde opkweek. De omstandigheden bij de bloemenkweker lijken bloei dus sterker te bevorderen dan die bij het opkweekbedrijf. Plantdichtheid tijdens de opkweek had geen invloed op aantal bladparen ('generativiteit') en op het aantal bloemen en knoppen (Fig. 14 en 15).



Figuur 14. Gewaslengte en aantal bladparen van Arosa 3 Red Imp. uit de verschillende behandelingen na de afkweek op reguliere plantdichtheden (netto 100 pl/m²), waarbij de gegevens van de twee teeltlocaties samengevoegd zijn. Oogst veilingrijp voor 'reguliere opkweek', en van de verlengde opkweek oogst in onrijp stadium en veilingrijp. Over de gehele linie zijn er geen verschillen met betrekking tot gewaslengte zichtbaar, het aantal bladparen neemt wel toe bij de planten die één week langer in de opkweek hebben gestaan tegenover de reguliere uitlevering. Error bars geven de standaarddeviatie (SD) weer, n=50.



Figuur 15. Aantal bloemknoppen (>1cm) en open bloemen van Arosa 3 Red Imp. bij de verschillende behandelingen na de afkweek (veilingrijp stadium) op reguliere plantdichtheden (netto 100 pl/m²), waarbij de gegevens van de twee teeltlocaties samengevoegd zijn. Bloemzetting is vergelijkbaar binnen de reguliere aflevering. De verlengde opkweek is fors trager (3-7 dagen) dan de reguliere uitlevering: nauwelijks bloemen open, pas na meer dan 4 dagen extra teelt zijn de takken in een vergelijkbaar rijpings/ontwikkelingsstadium. Error bars geven de standaarddeviatie (SD) weer, n=50.

3.4 Conclusies opkweekfase (na)zomerteelt

Dit deelonderzoek was uitgevoerd om verder uit te diepen of meer ruimte tijdens de opkweek (zowel boven- als ondergronds) resulteert in robuuster uitgangsmateriaal, en wat de effecten hiervan zijn in de daaropvolgende afkweek bij de bloementeler. Hierbij is de aandacht specifiek gericht op de cultivar Arosa 3 Red Imp.. Deze had namelijk de meeste potentie (zie hoofdstuk 2.3).

Opkweek

Wanneer uitgangsmateriaal meer ruimte wordt geboden in de opkweek resulteert dit in grotere planten met meer bladoppervlakte, zwaardere planten (meer vers- en drooggewicht), en verder ontwikkelde planten (meer bladparen; Fig. 8-10). Bij een verlengde opkweek wordt het uitgangsmateriaal nog eens 50% zwaarder. De effecten van plantafstand en/of wortelruimte op de groei in de opkweek zijn dus groot.

Afkweek

Het grotere, zwaardere en verder ontwikkelde uitgangsmateriaal zou naar verwachting meer groeikracht moeten hebben wanneer het in de kas wordt uitgeplant. Dit zou weer voor een snellere dichtgroei van het gewas moeten zorgen, dat de lichtbenutting verhoogt en dus in een hogere productie/opbrengst per vierkante meter zou moeten resulteren. Echter, de (forse) verschillen die gerealiseerd waren tussen de behandelingen voor het moment van uitleveren zijn vrijwel vervallen aan het einde van de afkweek in het veilingrijpe stadium (Fig. 12). Robuuster uitgangsmateriaal levert dus geen teeltversnelling of beduidend betere takkwaliteit op. Het verlengen van de opkweek zorgde wel voor enige versnelling van de afkweek: maximaal 3 dagen sneller, maar daar tegenover staat wel 7 dagen extra opkweek. Er is geen duidelijke verklaring waarom er met de planten uit de verlengde opkweek wel verschillen tussen de behandelingen gemeten zijn aan het einde van de afkweek: 408 → 160 presteerde aan het einde van de afkweek minder goed dan de 330 → 160 in zowel takgewicht als bladoppervlakte.

Dit onderzoek lijkt vanwege de beperkte verschillen aan het einde van de afkweek op het eerste oog dus weinig kansen te bieden voor toepassing in de praktijk. Echter, mogelijk is het een optie om juist kleiner uitgangsmateriaal uit te leveren. Denk hierbij aan een verkorte duur op de verspeenafstand (240 gaats), of om deze fase volledig over te slaan. Des te langer er wordt opgekweekt, des te groter de ratio plantmateriaal per wortelkluutje wordt, wat mogelijk het 'aanslaan' in de kas bemoeilijkt. Het valt te overwegen dit te onderzoeken.

4 Afkweekfase | gewasfotosynthese en groeicurve

4.1 Inleiding

Lisianthus is juist in de afkweek een zeer intensieve teelt met belichtingsniveau's die de in een aantal gevallen de $300 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ inmiddels overstijgen. De wens is om de belichting zo efficiënt mogelijk te benutten voor groei en elektra te besparen waar mogelijk. Naar verwachting is het rendement van belichting overdag met name in de periode voorjaar, zomer en najaar beduidend lager dan in de winter. Dit omdat er dan ook een aanzienlijke intensiteit daglicht in de kas kan zijn. De toename van de gewas-fotosynthese loopt vanaf een zekere lichtintensiteit namelijk terug in efficiëntie per extra toegevoegde μmol licht. Voor lisianthus-bladeren bovenin het gewas begint het lichtrendement al af te nemen boven de 200 à $250 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR (zie Tabel 4).

Voor een heel lisianthus-gewas is het respons van de fotosynthese op toenemend licht nog niet bekend. Ook een heel gewas verliest rendement bij een toenemende lichtintensiteit, echter beduidend minder snel dan individuele bladeren boven in het gewas. Bij een zeer lichtminnend gewas als tomaat zien we bijvoorbeeld, afhankelijk van seizoen en teeltsysteem, dat bij individuele bladeren boven het gewas de lichtbenutting begint af te nemen vanaf $\pm 200 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR. Echter, voor een heel gewas neemt het rendement nog toe boven de $200 \mu\text{mol}$, en begint pas boven $\pm 300 \mu\text{mol}$ langzaam af te nemen. In het voorbeeld voor tomaat wordt het licht boven de $\pm 800 \mu\text{mol}$ nog maar voor minder dan 50% benut, en bij nog hogere intensiteiten nog minder.

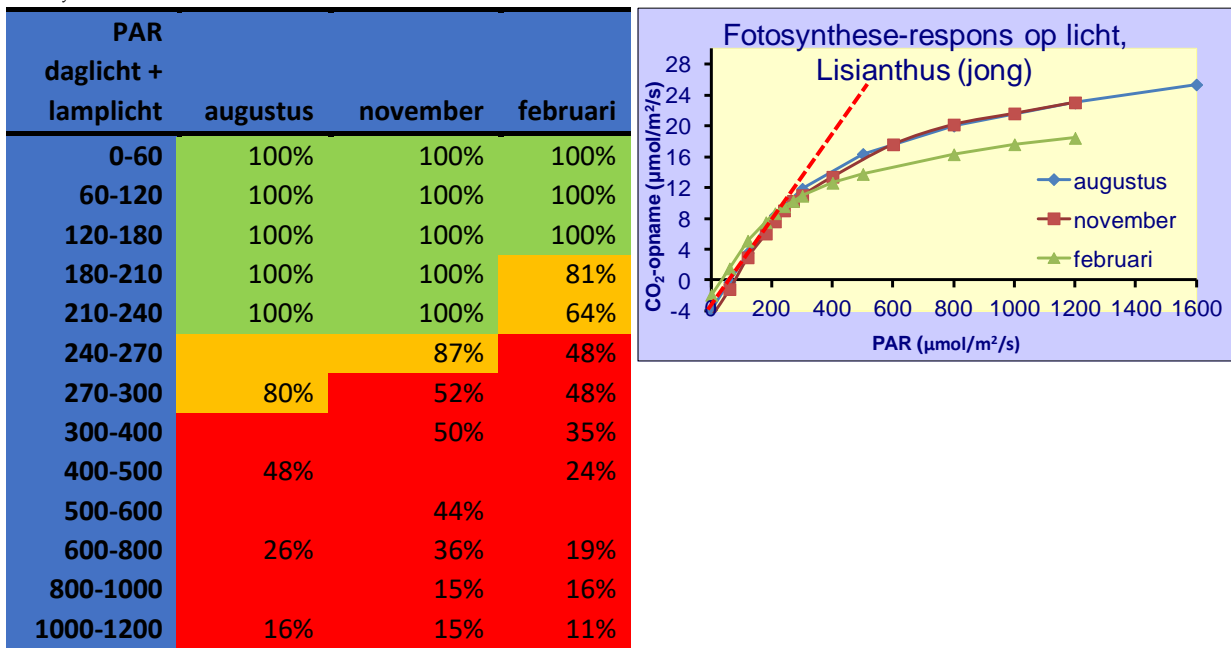
Met behulp van een lichtresponscurve voor het hele gewas kan de teler een keuze maken waar zijn economisch optimum ligt. Dit hangt niet alleen af van het rendement van de lichtbenutting voor fotosynthese, maar natuurlijk ook van de stroomprijs en de meerprijs voor een zwaardere bloemtak. Het verloop van de lichtresponscurve is afhankelijk van de gewas-ontwikkeling (bladoppervlakte, bladoriëntatie gewaslengte en beschaduwiging door bloemvorming), de bladfotosynthese efficiëntie en het CO_2 -niveau. Tevens kan er met een licht-responscurve voor het hele gewas gesimuleerd worden wat de gewasfotosynthese over een etmaal is bij verschillende instralingsniveaus en afschakelmomenten.

Een andere belangrijke vraag is of alle teeltstadia in de afkweek net zo veel assimilaten nodig hebben, of dat er aan het begin (stekmateriaal) en/of juist aan het einde van de teelt de vraag naar assimilaten lager ligt. Hiervoor zullen drooggewichtsmetingen van verschillende plantstadia worden uitgevoerd. Als er in een bepaald stadium van de ontwikkeling weinig vraag naar assimilaten blijkt te zijn, is het naar verwachting ook niet zinvol om de assimilatenproductie te maximaliseren.

Concreet zullen in dit hoofdstuk de volgende vragen worden beantwoord:

1. Hoe verloopt de lichtresponscurve voor een heel lisianthusgewas en wat is het lichtrendement?
2. Wat is het effect van afschakelen van de belichting bij verschillende instralingsniveaus (0, 250, 500 en 750Watt instraling) op de gewasfotosynthese over een etmaal?
3. Hoe verloopt de groeicurve van een Lisianthus? Dit geeft informatie over de assimilatenvraag per plantstadium.

Tabel 4. Verloop van het fotosyntheserendement van lisianthus bij toenemend lichtniveau bij individuele bladeren bovenin het gewas. Metingen in 3 seizoenen. Zolang als de gemeten lijnen evenwijdig met de rode stippellijn lopen is het fotosyntheserendement 100%. Bron: Trouwborst, Hogewoning en Pot. 2013. Meer rendement uit licht en CO₂ bij Lisianthus.



4.2 Materiaal en methoden

4.2.1 Plantmateriaal

Alle metingen zijn verricht bij Lugt Lisianthus (Honselersdijk) aan Arosa 3 Red Imp. in zes verschillende plantstadia (Tabel 5). Alle metingen zijn uitgevoerd in week 15 (6-10 april 2020). De foto's van de plantstadia staan in Bijlage 1.

Tabel 5. Gewasstadia, kapnummer en meethoogtes m.b.t. metingen bladfotosynthese in week 15. Voor foto's van de verschillende stadia zie Bijlage 1.

Gewas-stadium	Leeftijd [d]	Kapnummer	Planthoogte	Meethoogtes fotosynthese
Plantweek 8	46	Kap 25	87 cm, blad tot ±60 cm	Top, midden, onder
Plantweek 9	42	Kap 27	75 cm, blad tot ±60 cm	Top, midden, onder
Plantweek 10	34	Kap 32	64 cm, blad tot ±60 cm	Top, midden, onder
Plantweek 11	27	Kap 37	47 cm	Top, midden
Plantweek 12	18	Kap 3	15 cm	Top
Plantweek 13*	7	Kap 12	6 cm	Top

*NB het lijkt erop dat dit plantweek 14 moet zijn en dat plantweek 13 overgeslagen is.

4.2.2 Metingen en plan van aanpak

Om een lichtresponscurve voor het gehele gewas te kunnen bepalen, en om een (indicatieve) indruk te krijgen van de balans tussen assimilatie (aanbod) en vraag naar assimilaten in de verschillende groeistadia, zijn de volgende metingen gedaan:

- Drooggewicht metingen, in verschillende gewasstadia (Tabel 5; n=100 stengels). Dit om te monitoren hoe de groei (de 'assimilaten-sink') zich over de loop van de teelt ontwikkelt.
- Bladoppervlakte metingen, in verschillende lagen en verschillende gewasstadia (Tabel 5; n=100 stengels) om zo de karakteristiek van de bladverdeling over de gewaslengte te bepalen. Deze metingen zijn in combinatie met de lichtonderschepping metingen van belang om goed te kunnen bepalen hoe sterk het licht per bladlaag uitdooft.
- Lichtonderscheppingsmetingen met een 1m lange lijnsensor, in verschillende lagen en de verschillende gewasstadia (Tabel 5, n=8 per meethoogte). De lichtonderschepping van het gewas in combinatie met de gewasfotosynthese efficiëntie moet inzicht geven in het lichtgebruik per vierkante meter teeltoppervlakte.
- Bladfotosynthese metingen, in verschillende lagen en verschillende gewasstadia (Tabel 5; n=4-6 per meethoogte) om zo de fotosynthese-efficiëntie voor een geheel gewas te kunnen bepalen.

De fotosynthesemetingen zijn verricht met draagbare fotosynthesemeters (LI-6400 & LI-6800; Foto 1). Hiermee kan de bladfotosynthese nauwkeurig bepaald worden. De respons van de fotosynthese op lichtintensiteit en op CO₂-concentratie is gemeten.



Foto 1. Meting van de fotosynthese met een draagbare fotosynthesemeter (LI-6800) bij Lugt Lisianthus (Honselersdijk). In het apparaat kunnen PAR, CO₂, temperatuur en vocht gevarieerd worden. Op deze manier is de fotosynthese-snelheid gemeten bij oplopend PAR of CO₂ aan ingeklemde bladeren.

4.3 Resultaten

4.3.1 Groeicurve Lisianthus

Door 100 planten per gewasstadium te oogsten is een indicatie verkregen van het verloop van de groei van Lisianthus Arosa 3 Red Imp.. Uit praktisch oogpunt is de oogst op één moment uitgevoerd. Een nadeel hiervan is dat de lichthistorie van de gewasstadia niet gelijk is: Het jongste stadium heeft een andere, in deze periode waarschijnlijk hogere, lichtsom gehad, dan toen het oudste stadium jong was. Anderzijds veranderen de groeiomstandigheden in een kas ook wekelijks indien we gekozen hadden voor een wekelijkse oogst.

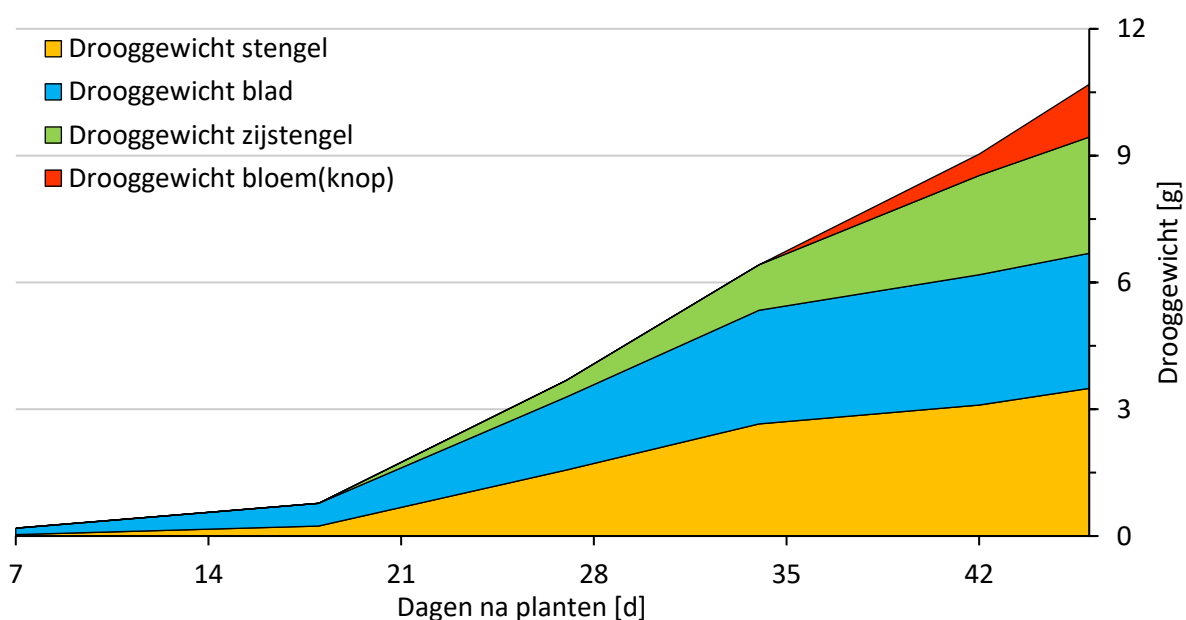
Een aantal opvallende zaken wordt puntsgewijze benoemd (zie tabel 6 en figuur 16):

- Er vindt een enorme groeisprong plaats in de 4^e tot en met de 7^e week (meetperiode na planten: 18-46 dagen): het aantal bladparen, de LAI en het drooggewicht (DW) nemen enorm toe. Het DW neemt tussen dag 18 en 46 min of meer lineair toe.
- Qua bladparen is de plant aan het einde van de 4^e week (week 10) al bijna uitontwikkeld.
- In de laatste twee weken zie je verdere verzwaring van de stengel, de bladeren, de zijscheuten en knoppen.

De piek van de groei ligt dus na dag 18. De lagere groeisnelheid tot dag 18 hoeft overigens niet verklaard te worden door een lagere assimilatievraag, maar kan ook komen door de veel lagere lichtonderschepping die eerste 18 dagen (LAI <math><3\text{m}^2\text{blad/m}^2\text{ grond}</math>, zie tabel 6).

Tabel 6. Groeipatroon van *Lisianthus Arosa 3 Red Imp.* uitgesplitst naar de verschillende plantendelen (n=100 takken). De beginnende knopvorming in plantweek 10 is niet als aparte categorie meegenomen.

Gewas- stadium	Leef- tijd [d]	Lengte [cm]	Blad- paren [#]	FW [g]	DW [g]	LAI [m ² /m ²]	DW stengel [g]	DW blad [g]	DW zij- scheut [g]	DW knop [g]
Plntwk 13	7	5.4	4.5	1.25	0.19	0.3	0.03	0.15		
Plntwk 12	18	14.8	6.6	8.01	0.77	1.5	0.24	0.53		
Plntwk 11	27	47.1	10.0	34.8	3.68	4.5	1.56	1.73	0.39	
Plntwk 10	34	63.4	10.4	48.9	6.42	5.7	2.65	2.69	1.08	
Plntwk 9	42	74.7	10.9	56.7	9.04	5.8	3.10	3.08	2.35	0.51
Plntwk 8	46	87.5	11.1	63.3	10.7	6.8	3.49	3.20	2.75	1.25

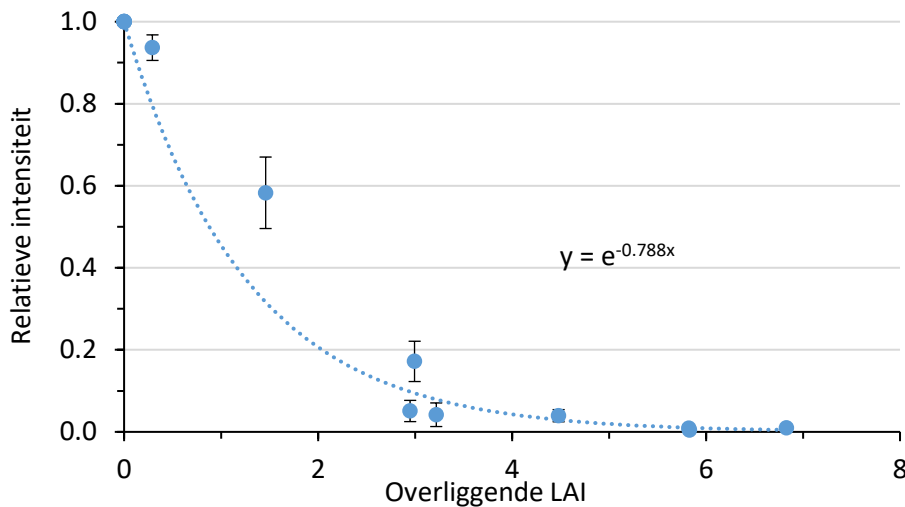


Figuur 16. Groeipatroon van *Lisianthus Arosa 3 Red Imp.*: totaal drooggewicht (n=100 takken) per kleur gesplitst in stengel, blad, zijstengel en bloemknoppen. Er is een vrijwel lineaire toename zichtbaar vanaf teeltdag 18, welke doorzet tot aan het einde van de teelt. Let op: de eerste teeltweken is de lichtonderschepping ook lager vanwege de LAI <math><3\text{m}^2\text{blad/m}^2\text{ grond}</math>.

4.3.2 Lichtuitdoving

Er zijn lichtonderscheppingsmetingen uitgevoerd met een 1m lange lijnsensor (LI-191) in alle gewasstadia. Bij de 3 oudste gewasstadia is ook op de halve hoogte in het gewas gemeten en is ook de LAI apart bepaald voor de bovenste helft van de planten (niet in tabel 6 opgenomen). Hierdoor werden meer meetposities verkregen. Figuur 17 geeft de resultaten weer. De stippellijn geeft de verwachte exponentiële uitdoving weer. Hierbij geeft het gewasstadium

week 12 met een LAI van 1.5 een afwijkende waarde. Dit komt omdat het gewas dan nog zeer open is (Bijlage 1).

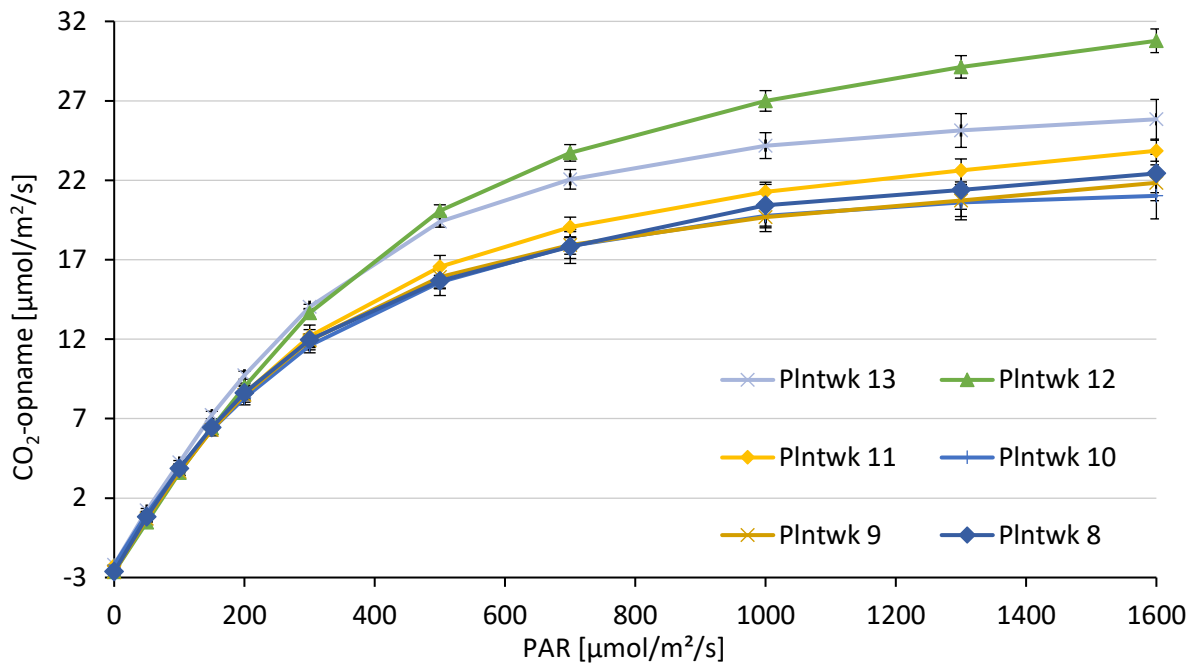


Figuur 17. Lichtuitdoving in alle gewasstadia. De stippellijn geeft een exponentiele lichtuitdoving weer. De error bars geven de SD weer (n=8). Het gewasstadium week 12 met een LAI van 1.5 heeft een relatief hoge waarde omdat het gewas dan nog heel open is (Bijlage 1). Door middel van lichtmetingen halverwege het gewas en metingen van de LAI aan de bovenste helft van de planten, konden er meerdere punten bepaald worden dan dat er plantstadia waren.

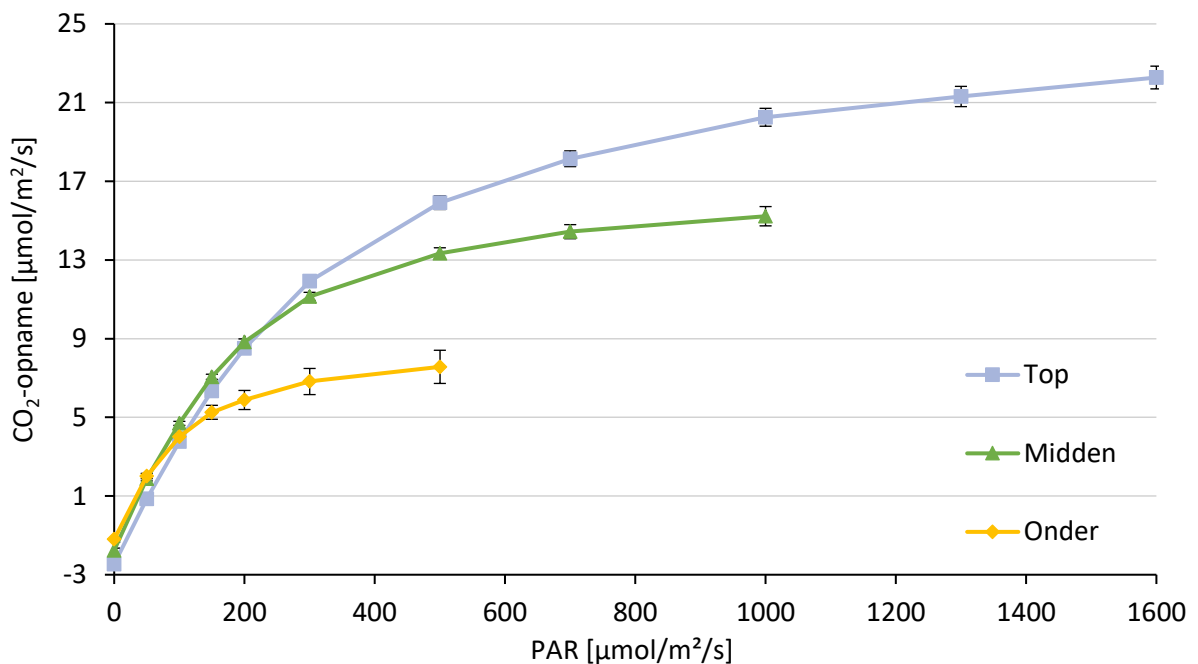
4.3.3 Fotosynthese op bladniveau

Van 6 tot 8 april 2020 zijn er aan de verschillende gewasstadia fotosynthesemetingen uitgevoerd (Tabel 5). De lichtrespons van de fotosynthese van de topbladeren gemeten bij 800 ppm CO₂ verschilde nauwelijks tussen de vier oudste gewasstadia. De fotosynthese-capaciteit van de twee jongste stadia (plantweek 12-13) was hoger (Figuur 18). Beide stadia hebben ook een hogere ETR-capaciteit (ETR is de door lichtopgewekte energiestroom om suikers te maken en wordt gemeten door middel van chlorofyl-fluorescentie), maar de huidmondjes van de planten van plantweek 12 stonden verder open dan van plantweek 13, waardoor de CO₂-opname nog hoger uitkwam. De fotosynthese-capaciteit (CO₂-opname onder een verzadigend lichtniveau) daalt van de top naar onderin het gewas en dat is volgens verwachting (Figuur 19). Gemiddeld genomen lag het lichtverzadigingsniveau van de topbladeren voor de vier oudste gewasstadia op 1000 μmol/m²/s PAR.

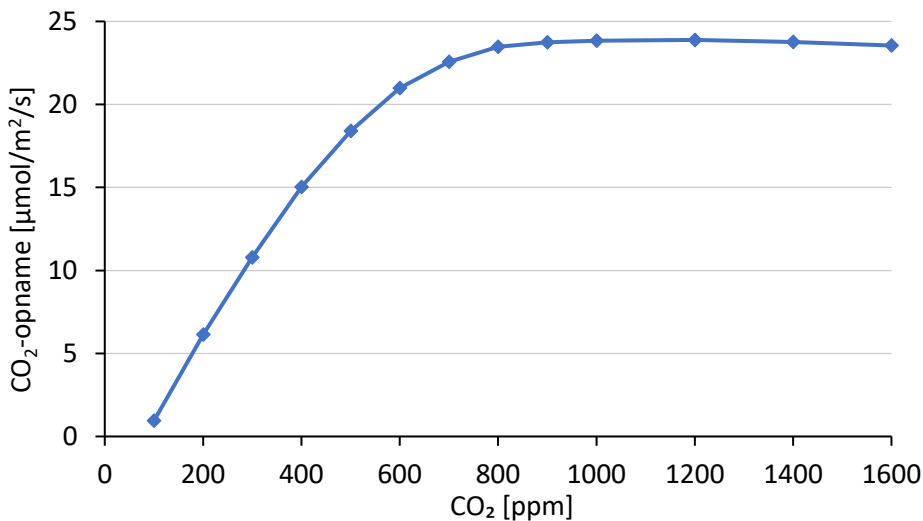
Figuur 20 geeft de CO₂-respons van de fotosynthese weer. Te zien is dat de CO₂-opname boven de 800 ppm CO₂ niet of nauwelijks meer toenam.



Figuur 18. Lichtrespons van de fotosynthese van topbladeren van Arosa 3 Red Imp. in zes verschillende gewasstadia (plantweken). De metingen zijn uitgevoerd in week 15 bij 800 ppm en een bladtemperatuur van rond de 30 °C (n=4-6).



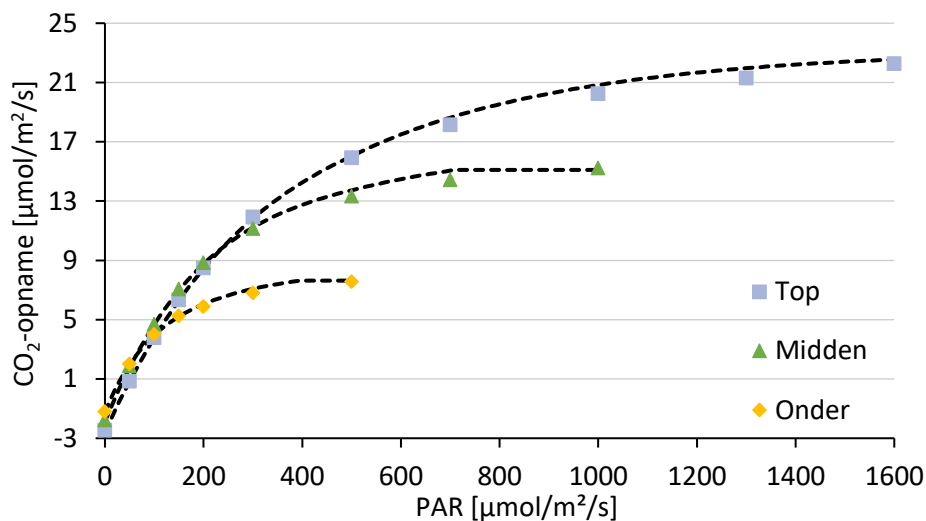
Figuur 19. Fotosyntheseresponse op meerdere gewashoogtes bij Arosa 3 Red Imp.. De meethoogtes lagen voor de drie oudste stadia (plantweek 8, 9 en 10) op ± 60 cm, ± 40 cm en ± 20 cm hoogte. Voor de jongere planten uit plantweek 11 lag de meethoogte van top en middenbladeren op ± 40 cm en ± 20 cm hoogte. Middenbladeren hadden ongeveer een LAI van $2 \text{ m}^2/\text{m}^2$ en bladeren onderin een LAI van $4 \text{ m}^2/\text{m}^2$ boven zich. De curves verschilden nauwelijks tussen de vier oudste gewasstadia en zijn daarom als gemiddelden weergegeven (respectievelijk n=22, 21 en 11). Gemiddeld genomen lag het lichtverzadigingsniveau van de topbladeren voor de vier oudste gewasstadia op $1000 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR. De metingen zijn uitgevoerd bij 800 ppm CO₂ en een bladtemperatuur van rond de 30 °C.



Figuur 20. CO₂-respons van de fotosynthese van topbladeren van Arosa 3 Red Imp. in het eindstadium. De metingen zijn uitgevoerd bij 1000 μmol/m²/s PAR en een bladtemperatuur van 32.5 °C (n=4). NB dit is gemeten bij bladeren waarvan de huidmondjes redelijk goed open stonden. Bij bladeren waar de huidmondjes minder ver openstaan, kan het optimum bij een iets hogere CO₂-concentratie liggen.

4.3.4 Van blad- naar gewasfotosynthese

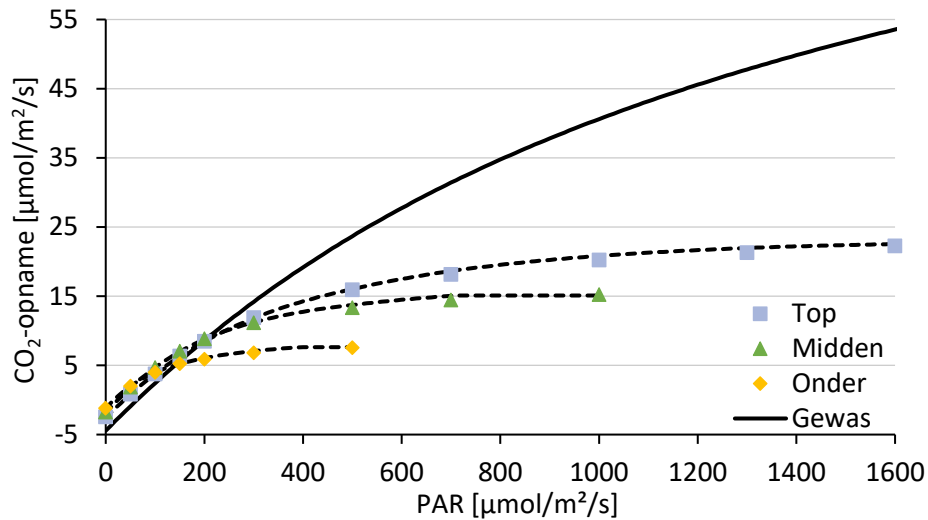
Met behulp van curve-fitting zijn de fotosynthese-parameters bepaald. Met behulp van deze parameters kan de fotosynthese berekend worden bij iedere willekeurige PAR-waarde en CO₂-niveau. Het resultaat wordt in Figuur 21 weergegeven.



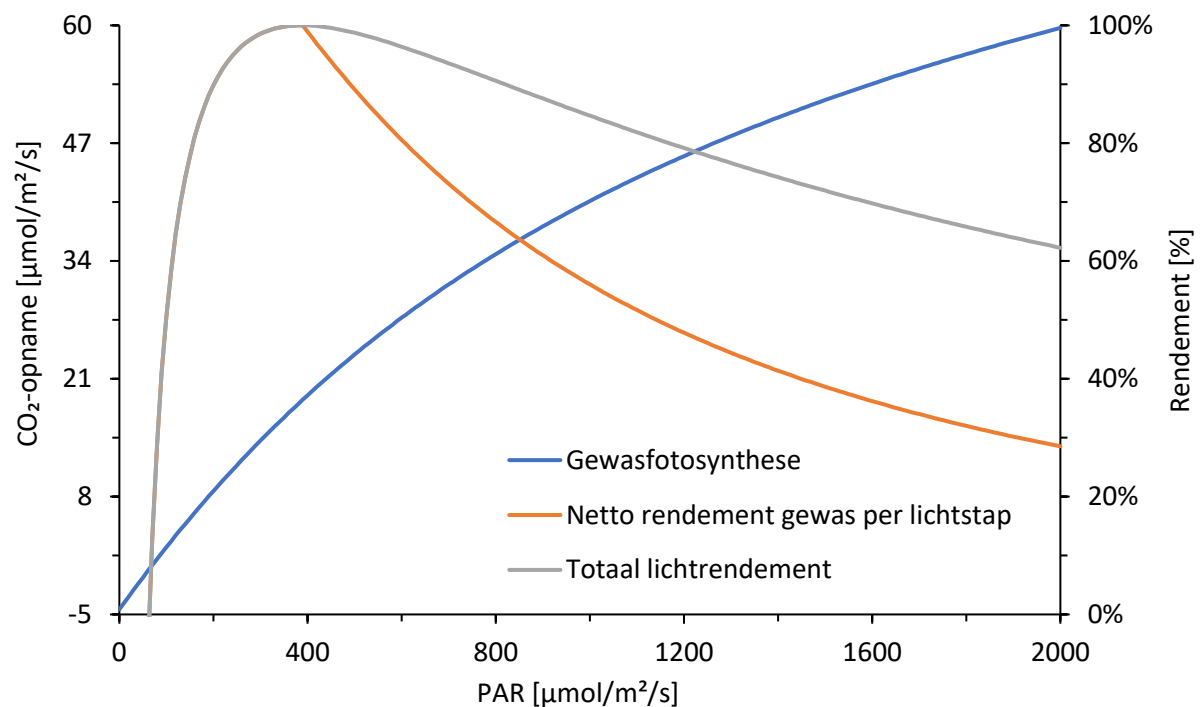
Figuur 21. Fotosyntheseresponse op meerdere gewashoogtes bij Arosa 3 Red Imp.. Zelfde figuur als fig. 19, maar nu zijn de gestreepte lijnen de berekende bladfotosynthese volgens het Farquhar, von Caemmerer & Berry model.

Voor de gewasfotosynthese is er gesimuleerd met een LAI van 6 m²/m² en een k-waarde voor lichtuitdoving van 0.788 (zie Figuur 17). Deze waarde ligt dicht bij waarden die ook gemeten zijn bij andere gewassen. Er is gesimuleerd met een 10-laags model waarbij de fotosynthese-karakteristieken per gewaslaag van 0.6 m²/m² daalden van boven naar onder. Figuur 22 geeft de gewasfotosynthese weer ten opzichte van de gemeten bladfotosynthese in drie gewaslagen.

Te zien is dat waar de bladfotosynthese van de topbladeren bij $1000 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR verzadigd raakt, de gewasfotosynthese nog lang niet verzadigd is.



Figuur 22. Gewasfotosynthese (voor dichtgegroeid gewas) en bladfotosynthese op de drie gewashoogtes. Te zien is dat de bladfotosynthese veel minder snel licht-verzadigd is dan het topblad.



Figuur 23. Berekend totaalrendement (netto gewasfotosynthese voor dichtgegroeid gewas gedeeld door PAR) en netto lichtrendement van de gewasfotosynthese voor iedere $1 \mu\text{mol}$ toegevoegd licht. Dit is de relatieve efficiëntie van de vorming van assimilaten. Het bruto rendement van de fotosynthese neemt iets eerder af dan het netto rendement vanwege onderhoudsademhaling (respiratie). Onder het 100%-punt wordt totale lichtbenutting weergegeven als netto assimilatenproductie/PAR (100% rendement=hoogste getal $A_{\text{netto}}/\text{PAR}$).

Bij de gewasfotosynthese behoort een andere daling van het lichtrendement dan van de bladfotosynthese zoals uitgedrukt in procenten in Tabel 4. Figuur 23 geeft het bij Figuur 22 behorende verloop weer van het lichtrendement van het gewas. Het lichtrendement wordt op twee manieren weergegeven:

- Totaal rendement van het licht (grijze lijn): Netto gewasfotosynthese gedeeld door PAR (genormaliseerd naar 100% bij het hoogste getal). Doordat er een flink gewas staat ($LAI=6 \text{ m}^2/\text{m}^2$) dat aangepast is aan hoog licht, en doordat de teelttemperatuur hoog is, is er al rond de $70 \text{ } \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR nodig om netto assimilaten over te houden. Het totale rendement van het licht neemt dus in eerste instantie alleen maar toe en pas boven de $400 \text{ } \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR begint dit af te nemen. Maar zelfs bij $2000 \text{ } \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ligt het totale rendement van het licht nog op $\sim 60\%$.
 - NB het bruto rendement van de fotosynthese neemt eerder af dan het netto rendement vanwege onderhoudsademhaling (respiratie) die hoog is bij zo'n dicht gewas en hoge teelttemperatuur. Bij een halvering van de LAI daalt het 100%-punt naar een lagere PAR-waarde.
- Het lichtrendement kan ook worden weergegeven als het netto rendement van iedere $1 \text{ } \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR boven het 100-procentpunt. Deze weergave van de efficiëntie geeft dus inzicht in de efficiëntie van het toegevoegde lamplicht. Dan is te zien dat efficiëntie van het extra licht wat erbij komt, veel sneller daalt. Bij $400 \text{ } \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR wordt dus de laatst bijgekomen μmol (van 399 naar 400) voor 100% benut. Bij $750 \text{ } \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR ($\sim 500\text{W}$ instraling) wordt de laatst bijgekomen μmol (van 749 naar 750) voor maar $\sim 70\%$ benut. De totale lichtbenutting ligt dan nog wel op de 92%.

Beneden een zeker rendement wegen de stroomkosten van belichting niet meer op tegen de meerproductie, er kan dan beter afgeschakeld worden. Gesteld dat die grens ligt 70% efficiëntie, dan wordt deze dus bereikt bij $\pm 750 \text{ } \mu\text{mol}$ PAR (daglicht+lamplicht) in de kas. Bij een lamplichtniveau van $320 \text{ } \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR wordt dit punt dus bereikt bij $430 \text{ } \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR van buiten ($\pm 290 \text{ W}$ instraling). Boven deze waarde kan dan trapsgewijze het licht worden uitgeschakeld en zal de laatste afschakelstap dan bij de 500W instraling ($\pm 750 \text{ } \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR) liggen.

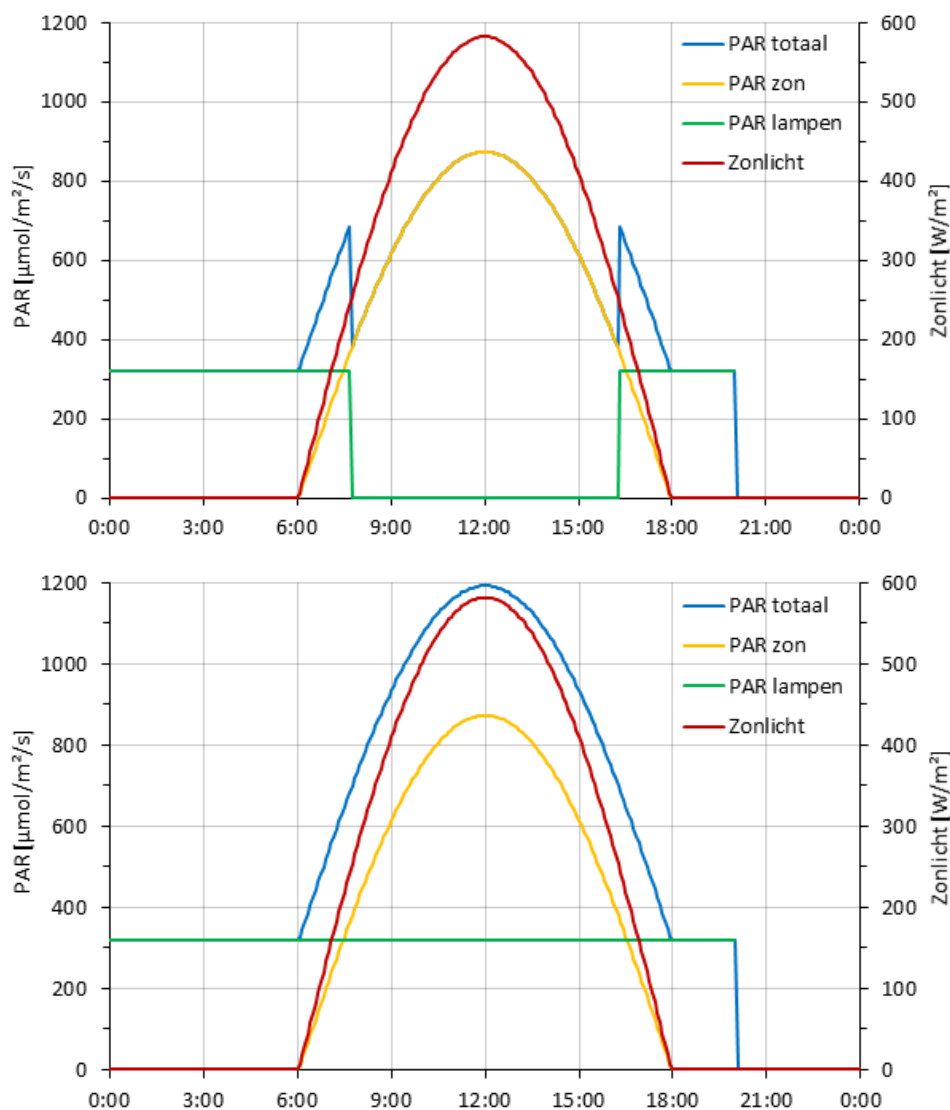
4.3.5 Assimilatenproductie over een etmaal bij verschillende afschakelmomenten

Met behulp van het gewasfotosynthesemodel kan ook de netto assimilatenproductie van het gewas over een etmaal berekend worden bij verschillende afschakelmomenten (wattages instraling). Er is gekozen om de berekening van de gewasfotosynthese over een etmaal uit te voeren op onbewolkte dagen: 'parabooldagen'. Op zulke dagen wordt het afschakel- en aanschakelmoment bij een zeker wattage 1 keer per dag bereikt. Figuur 24 geeft hiervan een voorbeeld weer: Afschakelen bij 250W instraling of afschakeling bij 750W instraling, wat niet bereikt wordt en dus de lampen 20 h/d aan staan.

Verder zijn voor dit rekenvoorbeeld de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Gewastemperatuur van 28°C (dag/nacht).
- 800 ppm CO_2 .
- Daglengte van 20 uur. In principe van 0:00-20:00 uur. NB mogelijk dat in de praktijk de belichting loopt van 22:00-18:00. Voor de conclusies maakt dit echter niets uit.
- Geïnstalleerd vermogen SON-T van $320 \text{ } \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ($\sim 25.000\text{lux}$).

- Geen getrapte afschakeling of aanschakeling, NB hierdoor daalt de lichtintensiteit dus in 1 keer met $320 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Dit is waarschijnlijk niet praktijkconform, maar dit maakt voor de conclusies niets uit.
- $\text{LAI}=6 \text{ m}^2/\text{m}^2$
- Fotosyntheseparameters zoals weergegeven in Figuur 21 en 22. Voor tussenliggende bladlagen is geïnterpoleerd.
- Lichtuitdovingscoëfficiënt van 0.788.
- De berekeningen zijn uitgevoerd voor 21 december (kortste dag), 21 maart (tussen langste en kortste dag in), 21 april en 21 juni (langste dag). NB het stralingspatroon van de zon wordt als zonnetijd weergegeven (hoogste punt van de zon om 12:00, in Nederland is dit tijdens de wintertijd om 12:40 en tijdens de zomertijd om 13:40). Dit heeft geen invloed op de berekeningen.



Figuur 24. Twee scenario's belichting op een heldere 21 maart. De gele lijn geeft de PAR aan van de zon. Er wordt afgeschakeld bij 250 watt (boven) en 750 watt (onder) instraling (rode lijn en rechters). De groene lijn geeft de belichting aan die om 7:45 wordt uitgezet en 16:15 weer wordt aangezet vanwege de grens van 250 watt (boven) en om 20 uur uit gaat.

De netto gewasfotosynthese wordt weergegeven in tabel 7. Hierbij valt het volgende op:

- Bij een heldere decemberdag is de gewasfotosynthese over een etmaal negatief. Er blijkt zo'n 5 mol/m² PAR per dag nodig om netto assimilaten over te houden (gegeven een gewas bij hoge temperatuur dat gewend is aan hoog licht). NB andere plantendelen zoals de stengel, wortel en knoppen hebben ook onderhoudsademhaling, dus om als geheel gewas netto niet achteruit te gaan is er nog meer mol PAR nodig.
- In de winter blijkt de efficiëntie in gram per mol het hoogst te liggen: ongeveer 1.5 g assimilaten per mol PAR.
- Belichten tot een niveau van 250W aan instraling levert de hoogste efficiëntie op in gram per mol, zelfs op 21 maart, 21 april en 21 juni verhoogt daglichtloos belichten de efficiëntie van het gewas.
- Als er wordt afgeschakeld bij een hoog wattage instraling (500W of zelfs 750W), stijgen de PAR-sommen aanzienlijk over het seizoen. Een belangrijk nadeel van het pas afschakelen bij hoge wattages instraling is dat de jaarrond kwaliteit weer met het seizoen gaat mee fluctueren. Terwijl als er gekozen wordt voor een lagere daglichtdrempel, de dag-sommen PAR in zomer en winter veel dichterbij elkaar komen en zo ook de takkwaliteit over het jaar heen. Hierbij moet wel rekening gehouden worden met het feit dat de gemiddelde teelttemperatuur ook stijgt richting de zomer, waardoor de teeltduur afneemt en er dus gemiddeld meer assimilaten per dag geproduceerd moeten worden dan in de winter. Als de teeltduur in de zomer 7 dagen korter is (7 in plaats van 8 weken), dan moet voor een gelijke takkwaliteit in de zomer als de winter er per dag ($56/49=1.14$) minstens 14% meer assimilaten geproduceerd worden. Hier is meer dan 14% meer licht voor nodig vanwege de dalende efficiëntie (hogere onderhoudsademhaling, afbuiging lichtrespons-curve). Tevens zal in de zomer ook het CO₂-gehalte lager liggen dan 800 ppm, waardoor de lichtbenuttings-efficiëntie verder daalt.
 - In de winter wordt er maximaal 26 mol PAR behaald per dag. In de zomer zal er dan voor een vergelijkbare kwaliteit ruwweg $26 \text{ mol} * 1.14$ (teeltsnelheid) * 1.3 (verlies aan efficiëntie door een veel lager CO₂-gehalte) ≈ 38 mol PAR nodig zijn.

Tabel 7. Netto gewasfotosynthese en efficiëntie over een etmaal voor scenario's met afschakelen bij verschillende wattages instraling. De uitgangspunten achter deze berekening staan aan het begin van de paragraaf weergegeven. De post 'Quitte' is op de simulatiedag 21 december uitgevoerd.

Afschakelen bij [W/m ²]	Uren lamp aan	PAR [mol/m ² /d]	Netto gewas- fotosynthese [g CO ₂ /m ² /dag]	Efficiëntie g CO ₂ /mol PAR
Basis(principes)				
Onderhoud Quitte	0:00	0	-10.2	
	02:00	2.7+2.3=5.0	0.0	0
21 december				
uit	00:00	2.7	-4.49	
250	20:00	25.9	37.7	1.46
21 maart				
uit	00:00	23.8	28.0	1.18
250	11:30	37.1	51.8	1.39
500	16:00	42.3	57.2	1.35
750	20:00	47.0	61.2	1.30
21 april				
uit	00:00	34.1	40.8	1.20
250	09:30	45.1	60.2	1.34
500	13:10	49.3	64.7	1.31
750	20:00	57.3	70.7	1.23
21 juni				
uit	00:00	45.3	54.3	1.20
250	07:20	53.7	68.9	1.28
500	11:00	57.9	73.4	1.27
750	15:40	63.3	77.5	1.22

4.4 Conclusies gewasfotosynthese en assimilatenvraag

In onderstaand overzicht worden de onderzoeksvragen puntsgewijze beantwoord:

1. Hoe verloopt de lichtresponscurve voor een heel gewas en wat is het lichtrendement?
 - De afbuiging van de lichtrespons van de gewasfotosynthese verloopt langzaam. Er is op gewasniveau geen sprake van een scherpe lichtverzadiging terwijl die op bladniveau rond de 1000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR ligt.
 - Het lichtrendement bereikt z'n hoogste punt bij 400 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR. Vergelijken met andere gewassen ligt dit punt erg hoog. Dit wordt veroorzaakt door de hoge LAI en de hoge teelttemperatuur.
 - Bij 500W instraling is het rendement van het toegevoegde licht van 320 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR aan belichting slechts 53-70%.
2. Wat is het effect van afschakelen van de belichting bij verschillende instralingsniveaus (0, 250, 500 en 750Watt instraling) op de gewasfotosynthese over een etmaal?
 - Belichten tot een niveau van 250W aan instraling levert de hoogste efficiëntie op; zelfs op 21 maart, 21 april en 21 juni verhoogt daglichtloos belichten de efficiëntie van het gewas. Bij voorkeur wordt er dus zoveel mogelijk daglichtloos belicht.
 - Als er wordt afgeschakeld bij een hoog wattage instraling (500 of zelfs 750 watt), stijgen de PAR-sommen aanzienlijk over het seizoen. Een belangrijk nadeel van afschakelen bij hoge wattages instraling is dat de jaarrond kwaliteit weer met het seizoen gaat mee fluctueren. Terwijl als er gekozen wordt voor een lage daglichtdrempel de dag-sommen PAR in zomer en winter veel dichterbij elkaar komen en zo ook de takkwaliteit over het jaar heen
3. Hoe verloopt de groeicurve van een Lisianthus? Dit geeft informatie over de assimilatenvraag per plantstadium.
 - Er vindt een enorme groeisput plaats na de 4^e week (gemeten vanaf 18 dagen na planten): het aantal bladparen, de LAI en het DW nemen enorm toe. Deze groeisput houdt de gehele teelt aan. De lagere groeisnelheid tot dag 18 hoeft overigens niet verklaard te worden door een lagere assimilatenvraag, maar kan ook komen door de veel lagere lichtonderschepping aan het begin van de teelt.

Kansen met het oog op energiebesparing:

- Getrapt afschakelen bij een relatief lage instraling in seizoenen met meer daglicht.
- Focus op jaarrond een gelijkwaardig product: Als de takkwaliteit in de winter van voldoende niveau is, zou de rest van het jaar op dag-sommen van tussen de 26-38 mol gestuurd kunnen worden.
- Telen bij een lagere teelttemperatuur geeft een verlies aan teeltsnelheid, maar de netto assimilatie zal wel stijgen: Als in de winter de teelttemperatuur daalt van 28°C naar 20°C, stijgt de netto assimilatie van 37.7 gram/ m^2/dag met 15% naar de 43.4 gram/ m^2/dag . Mogelijk kan een hogere plantdichtheid het verlies aan teeltsnelheid compenseren?

5 Referenties

- Poorter, H, Bühler J, Dusschoten D, Climent, J. & Postma J. 2012.** Pot size matters: A meta-analysis of the effects of rooting volume on plant growth. *Functional Plant Biology* 39: 839-850.
- Trouwborst G, Hogewoning SW & Pot CS. 2013.** Meer rendement uit licht en CO₂ bij Lisianthus. Plant Lighting B.V. & Plant Dynamics B.V., 23p.

Bijlage 1: Plantstadia in beeld



Plantweek 13 (Foto 7 april 2020, week 15), plantjes net aangeslagen, nauwelijks groter dan stekstadium, rond de 6 cm lang.



Plantweek 12 (Foto 7 april 2020, week 15), plantjes groeien, 15-20 cm lang.



Plantweek 11 (Foto 7 april 2020, week 15), visueel een enorm verschil met voorgaande stadium, rond de 40 cm lang.



Plantweek 10 (Foto 7 april 2020, week 15), bloemknopjes zichtbaar.



Plantweek 9 (Foto 7 april 2020, week 15), eerste kleur op bloemknoppen zichtbaar.



Plantweek 8 (Foto 7 april 2020, week 15).