Plantbalans Bromelia:

Optimale benutting van licht en warmte

Juli 2019

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

Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit
Glastuinbouw Nederland morgen groeit vandaag
KAS ALS ENERGIEBRON
Gewascoöperatie Bromelia

Plantbalans Bromelia:

Optimale benutting van licht en warmte

Juli 2019

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

Plant Lighting B.V.
Veilingweg 46
3981 PC Bunnik

info@plantlighting.nl
www.plantlighting.nl

REFERAAT

S.A.J. van den Boogaart, G. Trouwborst en S.W. Hogewoning. 2019. Plantbalans Bromelia: Optimale benutting van licht en warmte. Plant Lighting B.V., Bunnik. 41p.

projectnummer: 20093

Financiering:

Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit

KAS ALS ENERGIEBRON

Glastuinbouw Nederland
morgen groeit vandaag

Gewascoöperatie Bromelia

MechaTronix

Uitvoering project:

Plant Lighting

Botany
Agro R&D Facilities

© 2019 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 bijdragen vanuit de gewascoöperatie bromelia. 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 deze uitgave.

Inhoudsopgave

SAMENVATTING 5

DANKWOORD 7

1 INTRODUCTIE EN DOEL 8

2 MATERIAAL EN METHODEN 9

2.1 Plantmateriaal 10

2.2 Teelt en klimaat 10

2.3 Belichting 11

2.4 Metingen 12

2.5 Tijdlijn proef 13

3 RESULTATEN 14

3.1 Source 14

3.2 Sink 21

3.3 Eindoogst 27

4 DISCUSSIE EN CONCLUSIE 30

REFERENTIES 32

BIJLAGEN 33

Samenvatting

Introductie en doelstelling
Bromelia is een tropisch gewas dat in Nederland wordt geteeld bij een relatief lage temperatuur (21˚C in de winter) en bijbelicht met slechts ±40 µmol/m²/s SON-T. Dit onderzoek richt zich op de C3-soorten Guzmania Ostara en Vriesea Evita. Een efficiënte energiebenutting vindt plaats als aanmaak van assimilaten (source) en vraag naar assimilaten (sink) in balans zijn. Bij bromelia is niet bekend hoe die verhoudingen liggen. Het doel van dit onderzoek is om te achterhalen hoe de source en sink zich verhouden. Het resultaat geeft bromeliatelers de handvatten voor een teelt met een zo efficiënt mogelijke benutting van licht en warmte. Bovendien is de kennis die voorkomt uit dit onderzoek belangrijk om te kunnen rekenen aan de ideale kasconfiguratie en teeltstrategie.

Onderzoeksopzet
De onderzoeksvraag vereist een groeiproef bij verschillende licht-temperatuur combinaties. De twee bromeliasoorten zijn gedurende 30 weken (van oppotten tot veilingrijp) geteeld in drie onderzoekskassen met dagtemperaturen van 21, 24 en 27°C. Vochtdeficit en CO_2 werden gelijk gehouden. Alle drie de kassen waren verdeeld in drie zones met 40, 80 en 120 µmol/m²/s bijbelichting met breedband spectrum LED (Mechatronix). LED heeft in vergelijking met SON-T minder invloed op de gewastemperatuur en het spectrum was zo geselecteerd dat een vergelijkbare plantreactie als bij SON-T te verwachten was. Door te krijten werd in het voorjaar de winter kunstmatig verlengd.

Van alle 18 resulterende behandelingen (2 soorten * 3 licht* 3 temp.) zijn source- en sink-eigenschappen bepaald. Voor de source zijn de lichtonderschepping bepaald en fotosynthese-eigenschappen van de bladeren nauwkeurig gemeten. Voor de sink zijn de groeicurves in detail bepaald door 3-wekelijks het drooggewicht van vegetatieve en generatieve plantorganen te meten. Daarnaast zijn ook overige eigenschappen die de plantkwaliteit bepalen gemeten.

Resultaten en conclusies
De resultaten van dit onderzoek zijn verrassend. De verwachting van de onderzoekers was dat een tropisch gewas als bromelia bij de huidige teelttemperatuur van 20 tot 21°C sink-gelimiteerd zou zijn, en dat met een hogere temperatuur een betere lichtbenutting bereikt zou worden. Dit blijkt niet zo te zijn. De onderzochte Guzmania en Vriesea cultivars blijken onder de huidige winterse omstandigheden vooral source-gelimiteerd:

- Meer belichting gaf een forse toename in plantgewicht gedurende de gehele teelt, zowel voor wat betreft blad/schijnstam als bloem. Tot 80 µmol bijbelichting was de lichtbenutting voor groei even hoog als bij 40 µmol. De groei was bij 120 µmol nog altijd beduidend hoger dan bij 80 µmol, zij het met een iets lager rendement.
- Meer temperatuur leidde nauwelijks tot toename in plantgewicht. Alleen Guzmania nam na bloei-inductie bij 120 µmol wat langzamer toe in biomassa bij 21°C ten opzichte

van 24 en 27°C.

- Zelfs het aantal nieuwe bladeren dat gedurende teelt ontstond bleek vooral afhankelijk van de belichtingsintensiteit, en bij Vriesea in mindere mate ook van temperatuur. Dit is erg opvallend, juist omdat temperatuur vaak als verklarend parameter voor bladafsplitsingssnelheid wordt gegeven.

Een hogere temperatuur beïnvloedde wel de snelheid van de bloemontwikkeling: de hoogste temperatuur-behandeling (27°C) was respectievelijk 19 en 8 dagen sneller dan de 21 en 24°C behandelingen. Dat ging wel ten koste ging van het bloemgewicht bij de hoogste temperatuur.

De fotosynthese-eigenschappen verschilden niet heel veel tussen Guzmania en Vriesea. Guzmania benut licht iets beter. Huidmondjesopening is bij beide soort beperkt en CO_2 dosering geeft daardoor fors meer assimilatie.

Onder alle proefomstandigheden was verder een goede kwaliteit bromelia te telen (houdbaarheid is niet in detail gemeten). Belangrijk is op te merken dat de laagste gewichtsklassen niet meer voorkomen bij 80 µmol/m²/s of meer belichting. Dit kan een sterker argument zijn voor meer belichting dan het gemiddelde plantgewicht op zich. Immers, te lichte planten zijn onverhandelbaar of moeten langer in de kas blijven. Ook bloembreedte, bloemlengte en aantal bloemvertakkingen (enkel bij Vriesea) nemen toe bij meer belichting. Meer bloemlengte kan overigens juist onwenselijk zijn. Met gerichtere bemesting valt hier mogelijk nog aan te sturen.

De nogal verrassende resultaten (niet-sinkgelimeerd bij 21°C) komen zeker niet ongunstig uit voor wat betreft het toekomstbeeld van een fossielvrije glastuinbouw. Dit vergeleken met een scenario waarin de warmtebehoefte veel hoger zou zijn. Verhoging van de intensiteit belichting van 40 naar 80 µmol vraag slechts beperkt meer elektriciteit indien de huidige SON-T belichting vervangen wordt door energie-efficiënte LED-armaturen.

Dankwoord

Dit rapport geeft de resultaten weer van een onderzoek naar de plantbalans bij Bromelia. Voor een duurzame, rendabele en in de toekomst klimaatneutrale teelt van Bromelia is kennis over de optimale benutting van licht en warmte door dit gewas onmisbaar. Hieraan draagt dit onderzoek bij. Dit onderzoek is ondersteund door het programma 'Kas als Energiebron', gefinancierd door het Ministerie van LNV en Glastuinbouw Nederland, en door de gewascoöperatie bromelia. MechaTronix heeft de LED-belichting beschikbaar gesteld.

We willen een aantal personen nog met name hartelijk bedanken voor hun bijdrage: De begeleidende telers Marco Koolhaas (LKP Plants), Wilmar Kunz (Stofbergen Plant Company), Eline de Vos (Corn. Bak), Tobias Ottenhof (Tobias Ottenhof Bromelia's V.O.F.), Laurent Taerwe (Deroose plants en Exotic Plant) en Alex van der Lans (Best Bromelia) worden bedankt voor hun positief-kritische bijdrage in de BCO. LKP Plants en Stofbergen Plant Company worden tevens bedankt voor het regelen van het plantmateriaal. Koen Vangorp en Patrick Casteleyn (MechaTronix) worden bedankt voor het beschikbaar stellen en installeren van de LED-belichten en hun bijdrage in de BCO. Maarten Vliex, Bram van Rongen, Jos Jansen en de andere gewasverzorgers van Botany worden bedankt voor de uitvoering van de teelt. Edwin van Geest (Glastuinbouw Nederland) wordt bedankt voor het coördineren van de BCO's. De gehele gewascoöperatie Bromelia wordt bedankt voor hun financiële bijdrage aan dit project. 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.

Juli 2019,

Sander Hogewoning

1 Introductie en doel

Bromelia is een tropisch gewas dat in Nederland geteeld wordt bij een relatief lage temperatuur (21˚C in de winter). Er wordt veelal bijbelicht met SON-T (±40 µmol/m2/s). Er is veel diversiteit tussen soorten en het fotosynthese-systeem kan ook verschillen per soort: sommige Bromelia's zijn CAM (o.a. Aechmea), anderen C3 en er zijn ook tussenvormen. Dit onderzoek richt zich op de soorten Guzmania Ostara en Vriesea Evita. Uit eerdere metingen bleken Guzmania en Vriesea voornamelijk C3-eigenschappen te hebben (Marissen en Warmerhoven, 2004; Trouwborst et al, 2013a).

De groei van deze planten is traag. Uit eerder onderzoek bleek dat de fotosynthese sterk gelimiteerd wordt door de huidmondjesweerstand (Pot et al., 2015). Ook temperatuur bleek een belemmering voor de potentiële fotosynthese-snelheid. Verder bestaat het vermoeden dat temperatuur een beperkende factor is voor de bladafsplitsing, waardoor de plant zijn geproduceerde assimilaten niet goed kwijt kan ('sink-limitatie'). Dit leidt tot een lage lichtbenutting, en dus een inefficiënte benutting van energie.

Een efficiënte energiebenutting vindt plaats als aanmaak van assimilaten (source) en vraag naar assimilaten (sink) in balans zijn. Dit geldt voor alle gewassen. Te veel source leidt tot een lage licht-benutting omdat de plant zijn aangemaakte assimilaten niet goed in groei om kan zetten. Te veel sink geeft een slechte plantkwaliteit: de plant ontwikkelt snel nieuwe organen, maar heeft onvoldoende suikers. Bij bromelia is niet bekend hoe die verhoudingen liggen. De hypothese is dat warmte en licht veel efficiënter voor groei benut kunnen worden als geteeld wordt bij de juiste balans.

Doelstelling

Het doel van dit onderzoek is om te achterhalen hoe de source en sink zich verhouden bij Guzmania en Vriesea. Dit vraagt een groeiproef bij verschillende licht-temperatuur combinaties. Het effect daarvan op lichtbenutting en assimilatie (source) en plantontwikkeling (sink) wordt voor iedere licht-temperatuur combinatie in detail onderzocht (zie Materiaal en Methoden in hoofdstuk 2).

Het resultaat geeft bromeliatelers de handvatten voor een teelt met een zo efficiënt mogelijke benutting van licht en warmte. Bovendien is de kennis die voorkomt uit dit onderzoek belangrijk om te kunnen rekenen aan de ideale kasconfiguratie en teeltstrategie. Denk hierbij aan vragen als hoeveel belichting en van welk type (SON-T/ LED), welk type schermdoeken, hoeveel warmte is nodig en hoe daaraan te voldoen? Daarmee draagt de ontwikkelde kennis bij aan een toekomstbestendige teelt.

2 Materiaal en methoden

Er is een 30 weken durend experiment gedaan waarin een winterteelt van bromelia onder verschillende omstandigheden is uitgevoerd. Hieronder wordt de proefopzet puntsgewijs weergegeven. In de erop volgende paragrafen wordt een gedetailleerdere toelichting gegeven.

- Er zijn twee bromeliasoorten onderzocht: Guzmania (cv. Ostara) en Vriesea (cv. Evita).
- De planten zijn na levering onder gecontroleerde omstandigheden verder gekweekt van jonge plant tot bloei in 3 proefkassen, van Botany B.V. te Meterik (Figuur 1). De piepschuim trays staan onder de planten vanwege het beluchtingseffect.
- In iedere proefkas lagen 10 tafels van 9.32m^2 (1.73*5.39m), 6 tafels per afdeling zijn gebruikt voor de teelt.
- De drie proefkassen verschilden in dagtemperatuur (21, 24 en 27°C). De gerealiseerde etmaal temperatuur voor de drie verschillende temperatuur behandelingen waren: 21.4, 23.2 en 24.9°C. Hierbij zijn het vochtdeficit en de CO_2 concentratie hetzelfde gehouden voor alle behandelingen.
- In alle drie de proefkassen zijn drie vakken van twee tafels verschillende intensiteiten belichting aangelegd (40, 80 & 120 µmol/m^2/s), waarbij belicht is met LED.

Het bovenstaande resulteerde in achttien behandelingen, waarbij de behandelingen verschillen in temperatuur (3x), bromeliasoort (2x), en belichtingsintensiteit (3x). Deze opzet is om tussen de behandelingen verschillen te creëren in de source-sink ratio. Hiervoor diende belichtingsintensiteit als middel om verschillen in source te creëren en temperatuur om verschillen in sink te creëren.

Figuur 1. Gewas net na uitzetten in de proefkassen te Meterik.

2.1 Plantmateriaal

Planten zijn direct na oppotten aangeleverd door Stofbergen Plant Company (Guzmania Ostara) en LKP Plants (Vriesea Evita). Guzmania was eerder gezaaid, Vriesea was opgekweekt vanuit uit weefselkweek. Daarom was de partij Vriesea homogener bij start van de proef dan de partij Guzmania. De potmaat was 12 cm (zie substraat in Tabel 1). Van alle 18 combinaties (temperatuur * bromelia soort * lichtintensiteit) zijn groeicurves over de tijd bepaald, startende vanaf het oppotstadium. Hierbij zijn tenminste 30 planten per meetmoment gebruikt. Bij aankomst te Meterik zijn de planten in de respectievelijke behandelingen gezet, verdeeld over de drie proefkassen. In het plantschema is in acht genomen dat de lichtverdeling enigzins verschilt over een tafel, waardoor de keuze is gemaakt om op bepaalde locaties de meetplanten danwel de randplanten te zetten. In Bijlage 1: Plantschema staat het plantschema weergegeven.

2.2 Teelt en klimaat

Zie Tabel 1 voor specificaties van de teelt en Tabel 2 voor de gerealiseerde klimaatinstellingen. Bij het verzetten van de planten naar 32.2 pl/m² moesten de tafels geheel gevuld worden waardoor de lichtintensiteit op sommige posities wat meer afweek van het gemiddelde dan bij de eerdere plantafstanden (zie Bijlage 1). Bij de 3-weekelijkse oogst van 30 planten per tafel zijn die posities het eerst leeggelaten, waardoor de periode waarin een deel van de planten onder een iets afwijkend belichtingsniveau groeiden relatief kort was.

Gedurende de teelt zijn de ziekte en plagen biologisch bestreden. De lichttransmissie van het kasdek was ongeveer 50% zonder condens folie, 45% met condens folie, en 20% nadat het kasdek was gekrijt met ¼ ReduSol (20-03-2019). Hiermee is rekening gehouden bij de berekening van de hoeveelheid daglichtinstraling in de kas.

Watergift was naar behoefte uitgevoerd, welke verschilde per behandeling. Guzmania vraagt meer water dan Vriesea. De voedingsoplossing is wel gelijk gehouden, op start van de proef had deze een EC van 1.3 mS/cm waarna deze later is verhoogd naar 1.6 mS/cm op 7 december 2018. Na watergift is het gewas nagespoeld met regenwater.

Tabel 1. Teeltdetails.

Belichtingsintensiteit	40, 80 en 120 µmol/m^2/s met LED van MechaTronix (Figuur 2)
Cultivar	Guzmania Ostara en Vriesea Evita
Plantafstand	67.7 (start), 47.6 (na 6 weken) en 32.2 (na 12 weken) planten/m^2
Substraat	(jong) veen voor Guzmania | (ouder) veen + bark voor Vriesea
Watergift	De watergift en bemesting is naar behoefte uitgevoerd

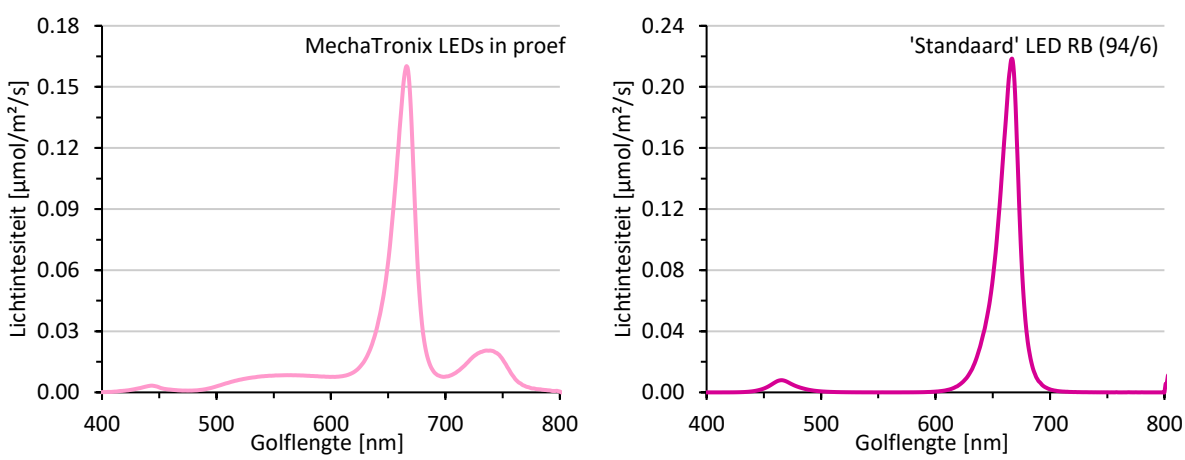
Tabel 2. Klimaatinstellingen.

Parameter	Setting
Temp.	21°C, 24°C, 27°C Dag; alle behandelingen 21°C Nacht (16:00-00:00 N)
CO_2	800 ppm
VD	max. 4.6 g/m^3 | min. 1.3 g/m^3
Belichting	40, 80 of 120 µmol/m^2/s (uitschakelen bij >150 W/m^2 instraling, inschakelen <130 W/m^2 instraling, na krijten uitschakelen bij >250 W/m^2 en in bij <230 W/m^2)
Belichtingstijd	00:00-16:00
Schermen	>240 W/m^2 instraling (energiescherm 80% en verduisteringsdoek 20% gesloten) (na krijten >340 W/m^2)

2.3 Belichting

Het gewas is belicht met dimbare LED belichting (MechaTronix) met een spectrum zoals weergegeven in Figuur 2. LED had de voorkeur boven SON-T vanwege de beperktere opwarming van het gewas per µmol licht vergeleken met SON-T, dat in tegenstelling tot LED ook fotonen in het nabij-infrarode gedeelte van het spectrum uitstraalt (warmtestraling). Hierdoor bleven de verschillen in planttemperatuur tussen de drie lichtbehandelingen per kas minimaal. Uit bladtemperatuur metingen is gebleken dat het verschil maximale enkele tienden graden is.

In de praktijk wordt bromelia met SON-T belicht. Omdat de spectrale samenstelling van licht een grote invloed kan hebben op de plantontwikkeling en niet bekend is of bromelia zich goed ontwikkelt bij een 'standaard' rood/blauw spectrum, is gekozen voor een breedband spectrum (Figuur 2 links). De fytochroom-balans van een plant is sterk bepalend voor een heel aantal ontwikkelings-responses en wordt bepaald door o.a. het lichtspectrum (zie bijvoorbeeld Trouwborst et al. 2013b). De te verwachte fytochroom-balans bij een zeker spectrum kan worden berekend en uitgedrukt in de zogenaamde PSS-waarde. De PSS-waarde voor het in deze proef gebruikte spectrum (PSS=0.84) komt overeen met dat voor het spectrum van SON-T (0.83 tot 0.85).



Figuur 2. Spectrum van de MechaTronix LED's in de proef en dat van 'reguliere' RB LED's

2.4 Metingen

2.4.1 Gewasmetingen

De groeicurve is bepaald voor vers- en drooggewicht van de hele plant en de bladoppervlakte. Dit is driewekelijks bepaald vanaf de eerste tot en met laatste teeltweek. Voor deze metingen werden de planten gescheiden van het substraat en afgespoeld met kraanwater. Het bepalen van de parameters is als volgt gedaan:

- Plantgewicht: volledig gewas (zonder wortels) zowel vers- als drooggewicht.
- Bladoppervlakte: lichtonderscheppend blad afgeknipt en gemeten met de LI-3100 bladoppervlaktemeter.

Naast de bovengenoemde metingen zijn er nog verschillende eenmalige metingen gedaan:

- Gewashoogte: hoogste punt van een behandeling op dag 122 (7-feb) van de teelt d.m.v. het plaatsen van een A4tje boven op het gewas.
- Bladgroen: SPAD metingen met de Chlorophyll Meter SPAD-502Plus gemeten op dag 133 (18-feb) en 157 (14-mrt). In de resultaten wordt alleen 14 maart weergegeven, omdat de resultaten erg op elkaar leken voor de twee meetmomenten.
- Blad/stengel verhouding: vers- en drooggewicht van deze twee plant organen gemeten op dag 127 van de teelt (12-feb).
- SLA: verhouding bladdrooggewicht en bladoppervlakte gemeten op dag 127 van de teelt (12-feb).
- Blad lengte en breedte: tezamen met bladoppervlakte metingen gemeten op dag 127 van de teelt (12-feb).

Bij eindoogst zijn extra metingen verricht om de gewasmorfologie in kaart te brengen:

- Aantal nieuwe en oudere bladeren: jongste blad is bij start proef bij ~30 planten per behandeling gemerkt, alle bladeren die na het gemerkte blad zijn ontwikkeld vallen in de categorie nieuwe bladeren.
- Bloemlengte: lengte vanaf hart van de plant tot het hoogste punt van de bloem.
- Bloembreedte: doorsnede bloem waar bloem het breedste is.
- Aantal (bloem)vertakkingen: aantal vertakkingen aan de bloemen bij Vriesea Evita.

2.4.2 Lichtuitdoving

Voor alle behandelingen is de lichtonderschepping vastgelegd. De lichtverdeling in het gewas is gemeten op de momenten dat planten op ruimte zijn gezet. Met behulp van een lijnsensor (LI-191R line quantum sensor) is de lichtintensiteit boven en onder het gewas bepaald. Dit is 3 maal uitgevoerd op verschillende momenten in de teelt door per behandeling op 4 posities te meten. Omdat temperatuur weinig invloed had op de bladoppervlakte zijn alle drie de temperaturen geclusterd om de lichtuitdoving per lichtbehandeling te bepalen (dus 12 waarnemingen: 4 per behandeling * 3 temperaturen). Door de resulterende 9 waarden (3 licht-behandelingen x 3 momenten) een trendlijn is getrokken om de k-waarde te bepalen. De combinatie van de LAI (geïnterpoleerd tussen meetmomenten) en de k-waarde resulteren in de lichtuitdoving.

2.4.3 Bladfotosynthese

Tijdens de proef zijn gedurende twee perioden fotosynthese-metingen uitgevoerd, net voor de bloei inductie (half januari, 100 dagen na planten) en bij start bloei (half maart, 155 dagen na planten). Deze metingen waren uitgevoerd met de Li-6400 en Li-6800 (zie foto Bijlage 3). De lichtresponse curves zijn uitgevoerd bij 800 ppm CO_2 en de CO_2-response curves bij 300 µmol/m²/s PAR (10% blauw, 90% rood). De metingen zijn uitgevoerd aan de 40 en 120 µmol/m²/s behandelingen in alle temperatuur behandelingen (m.u.v. 24°C 40 µmol/m²/s).

2.4.4 Klimaatmetingen

Het klimaat is gemonitord door middel van klimaatboxen waarbij de temperatuur, RV en het CO_2-gehalte om de 5 minuten zijn gelogd. De meetboxen in de afdelingen zijn gecontroleerd door met externe sensoren het klimaat te volgen. De lichtintensiteit boven het gewas is berekend met behulp van de solarimeter op de kas. Door met een PAR-sensor (LI-190R quantum sensor) buiten te loggen is de hoeveelheid µmol/watt vastgesteld van de solarimeter. Vervolgens is op verschillende momenten (begin teelt en voor en na krijten) de transmissie van de kas bepaald door over meerdere dagen de PAR op gewasniveau op drie verschillende locaties in de kas te loggen. Uit de verhouding berekende PAR buiten/ gemeten PAR binnen is de transmissie berekend (na correctie voor het lamplicht).

2.4.5 Statistische analyse

Analyses zijn uitgevoerd op de eindoogst gewichten, waarbij er 30 planten per behandelingen geanalyseerd zijn. Er is gebruik gemaakt van een two-way ANOVA zodat de temperatuur- en lichtbehandelingen tezamen geanalyseerd konden worden, de twee soorten zijn altijd los van elkaar geanalyseerd. De analyse is uitgevoerd met behulp van IBM SPSS Statistics 26.

2.5 Tijdlijn proef

In Tabel 3 staan de belangrijkste teelthandelingen vermeld.

Tabel 3. Tijdlijn proef.

datum	dagen na start proef	handeling
08-10-2018	0	0 meting / start proef
09-10-2018	1	Guzmania uitgezet op 67.7 m²
10-10-2018	2	Vriesea uitgezet op 67.7 m²
18-11-2018	41	Guzmania en Vriesea uitgezet op 47.6 m²
02-01-2019	86	Guzmania en Vriesea uitgezet op 32.2 m²
02-01-2019	86	Voeding Guzmania gestopt
08-01-2019	92	Voeding Vriesea gestopt
21-01-2019	105	Bloei-inductie Guzmania, 4 maal in totaal (21-1, 24-1, 28-1, 31-1)
28-01-2019	112	Bloei-inductie Vriesea, 4 maal in totaal (28-1, 31-1, 4-2, 7-2)
18-02-2019	133	Voeding Guzmania en Vriesea hervat
01-05-2019	205	Eindoogst 27°C D behandelingen
09-05-2019	213	Eindoogst 24°C D behandelingen
20-05-2019	224	Eindoogst 21°C D behandelingen

3 Resultaten

De resultaten zijn onderverdeeld in source (3.1), sink (3.2) en plantkenmerken bij de eind-oogst (3.3). In de bijlagen staan de resultaten van verdere detailmetingen.

3.1 Source

Om de gewasfotosynthese (de source) te kunnen bepalen zijn de volgende parameters nodig:

- Klimaat (CO_2, Temperatuur, PAR)
- Leaf Area Index (LAI, m^2 blad/m^2 grond)
- Lichtuitdoving
- Bladfotosynthese

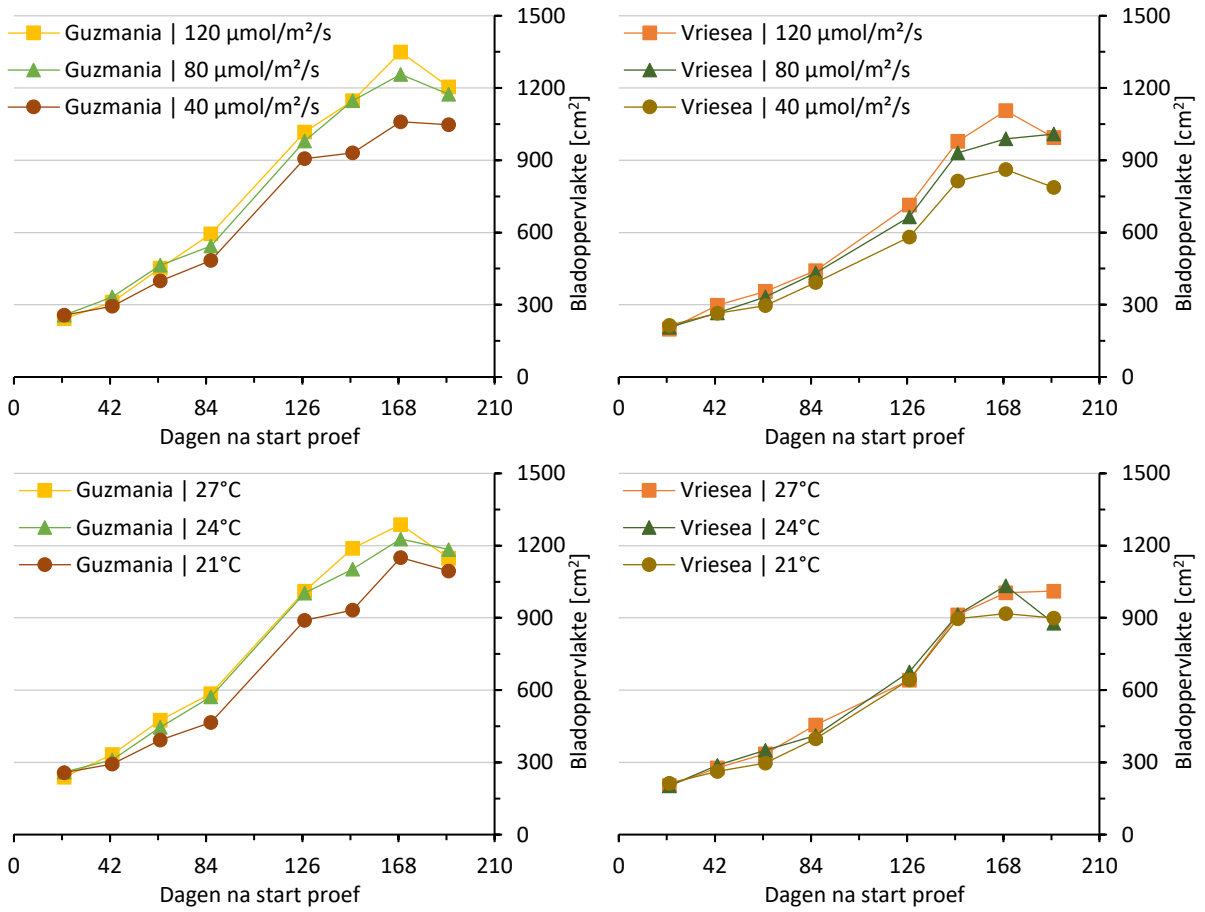
In dit hoofdstuk worden deze parameters verder toegelicht. De klimaatgegevens zullen niet expliciet vermeld worden maar worden uiteraard wel meegenomen in berekeningen.

3.1.1 Bladoppervlakte & LAI

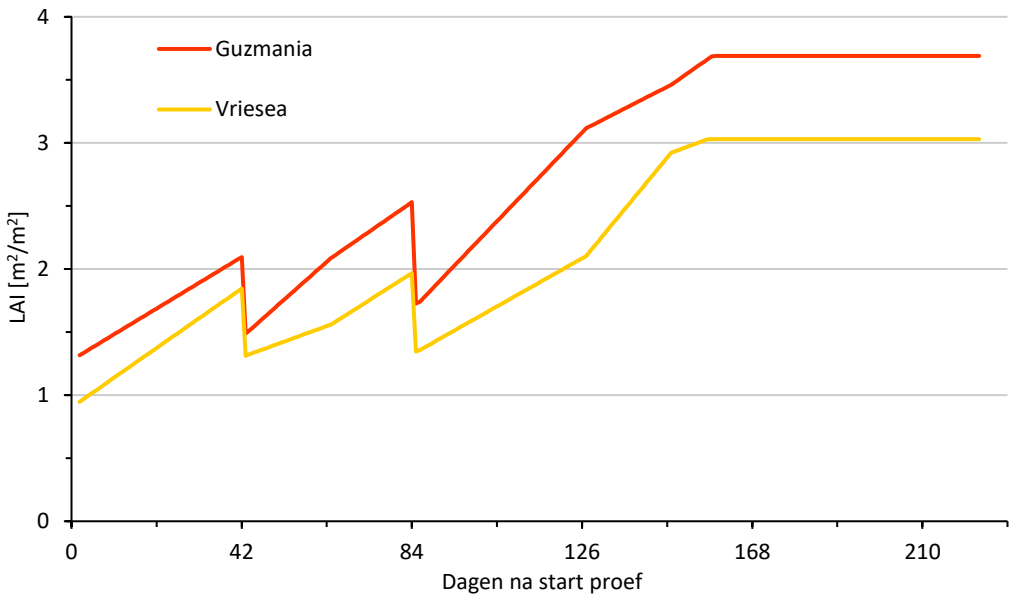
Een belangrijk onderdeel van de assimilatenproductie van een gewas is de hoeveelheid licht die het gewas kan opvangen en hoe het licht verdeeld wordt over het gewas. Hierbij zijn drie parameters van belang, namelijk de leaf area index (LAI), de verdeling van blad over het gewas en de bladstand, waarbij de laatste twee uitgedrukt worden in de k-waarde. De k-waarde is een maat voor lichtuitdoving: hoe hoger de k-waarde, hoe scherper de uitdoving.

Om de LAI te bepalen zijn iedere 3 weken bladoppervlakte metingen gedaan aan licht onderscheppend blad. Opmerkelijk genoeg zijn er nauwelijks (tot geen) verschillen waargenomen in bladoppervlakte tussen zowel de verschillende lichtbehandelingen als de temperatuurbehandelingen, met uitzondering van de 40 µmol/m^2/s behandelingen en de 21°C behandeling bij Guzmania (Figuur 3; in alle grafieken in de figuur zijn telkens de licht- en temperatuurbehandelingen gebundeld omdat er geen interacties van licht en temperatuur zijn waargenomen). Van een verhoogde temperatuur is bekend dat dit de plantontwikkeling versnelt en daarmee ook bladafsplitsing, wat de bladoppervlakte beïnvloedt. Echter is hier bij bromelia binnen de gegeven temperatuurreeks weinig van waar te nemen (alleen Guzmania loopt iets achter bij 21°C ten opzichte van de hogere temperaturen). Er is vanaf dag 150 duidelijk te zien dat de plant is gestopt met bladoppervlakte ontwikkeling, wat nagenoeg samenhangt met het moment van de bloei-inductie.

Gegeven het geringe effect van de behandelingen op bladoppervlakte is de keus gemaakt om de LAI te bepalen met de gemiddelde bladoppervlakte van alle behandelingen binnen een soort, dus alle licht- en temperatuur behandelingen tezamen. Daarnaast is het gemiddelde bladoppervlakte van de laatste 3 metingen gebulkt als plateau van het bladoppervlakte. Hierin komen duidelijk de 2 momenten van verzetten terug (Figuur 4).



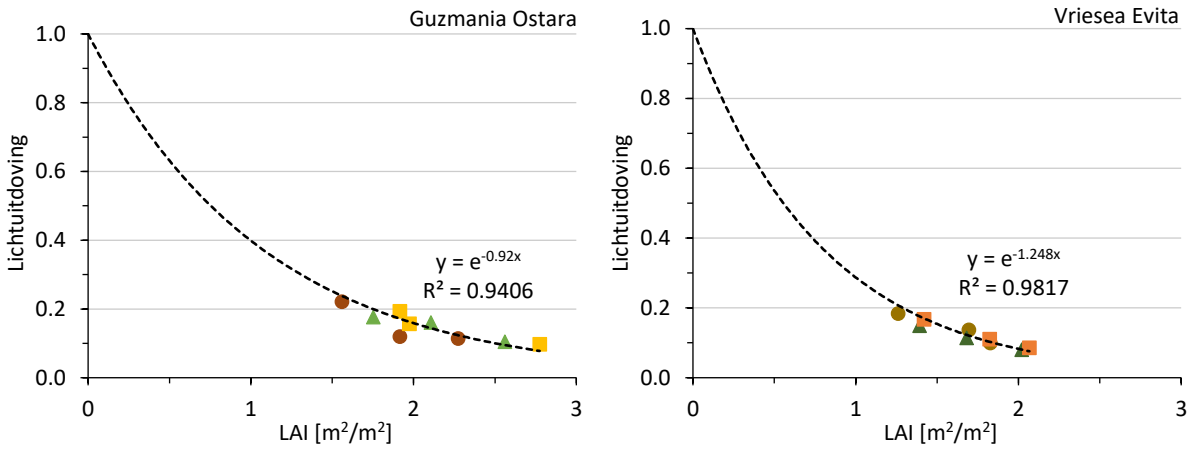
Figuur 3. Bladoppervlakte ontwikkeling vanaf oppotten tot veiling rijp bij twee bromelia soorten, Guzmania (links) Vriesea (rechts). In de bovenste twee grafieken zijn de verschillende lichtbehandelingen geplot, op de onderste twee de temperatuurbehandelingen. Ieder punt is een gemiddelde waarneming gebaseerd op 18 planten.



Figuur 4. Leaf Area Index (LAI) ontwikkeling van de twee bromelia soorten over de hele teelt. De twee stappen naar beneden zijn wanneer de planten op ruimte zijn gezet van respectievelijk 67.7 pl/m² naar 47.6 pl/m² en van 47.6 pl/m² naar 32.2 pl/m². De lijnen gebaseerd op het gemiddelde van alle licht- en temperatuurbehandelingen van een soort met 54 planten als gemiddelde (6 planten x 3 lichtbehandelingen x 3 temperaturen), waarbij de data tussen de meetmomenten is ingevuld door lineair te interpoleren.

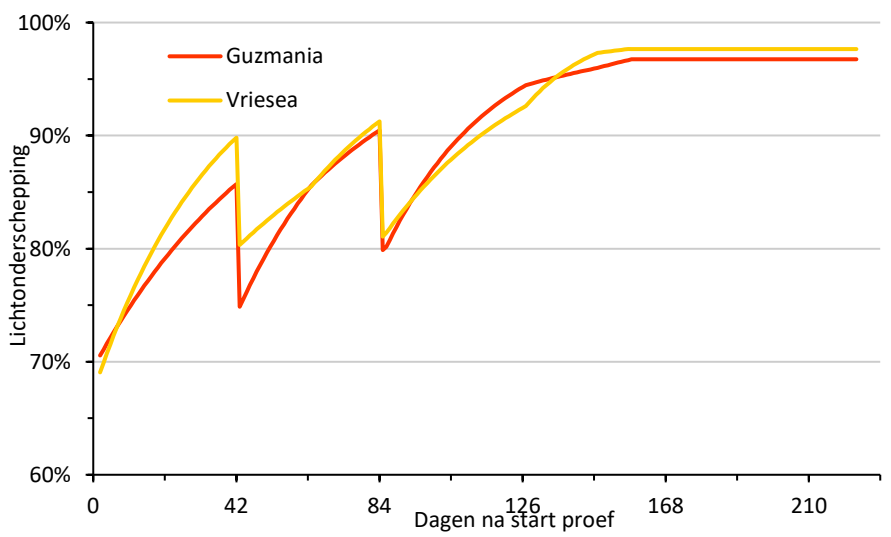
3.1.2 Lichtuitdoving en lichtonderschepping

Behalve de bladoppervlakte is ook op 3 momenten in de teelt de lichtuitdoving in de verschillende behandelingen gemeten. De lichtuitdoving is vervolgens tegen de LAI geplot in Figuur 5, en uit de curve is de k-waarde berekend. Opvallend is dat een bromelia een relatief hoge k-waarde heeft vergeleken met sommige andere gewassen. Dit valt deels te verklaren doordat in dit experiment bladoppervlakte gelijk wordt gesteld aan lichtonderscheppend bladoppervlakte (dus zonder de schijnstam daarin mee te nemen), waardoor de daadwerkelijke LAI mogelijk onderschat is, welke op zijn beurt de k-waarde verhoogt.



Figuur 5. Lichtuitdoving van de twee verschillende bromelia's, Guzmania (links) en Vriesea (rechts). Met de respectievelijke k-waardes 0.920 bij Guzmania en 1.248 bij Vriesea. Ieder punt is een gemiddelde van 12 lichtuitdovings-metingen (4 gemeten lichtuitdovingen per behandeling 3 temperaturen).*

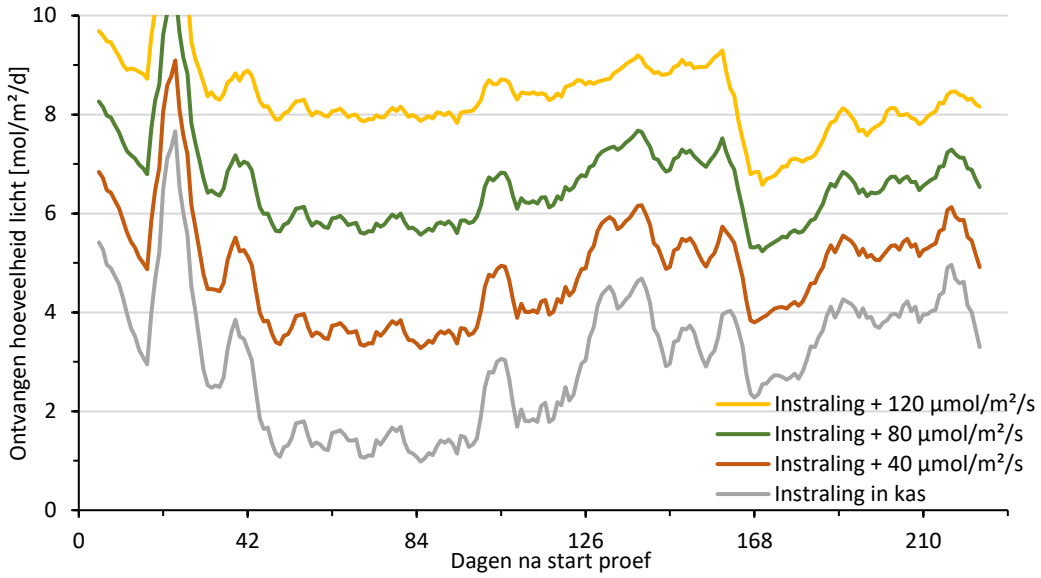
Een combinatie van Figuur 4 en Figuur 5 geeft de mogelijkheid om de lichtonderschepping door het gewas over de gehele teelt te simuleren, waarvan het resultaat te zien is in Figuur 6. Hierbij valt op dat dat de lichtonderschepping al vanaf het begin van de proef relatief hoog is en dat het lichtonderscheppend vermogen voor beide soorten bijna hetzelfde is.



Figuur 6. Lichtonderschepping van de twee bromelia soorten, waarbij alle licht- en temperatuurbehandelingen zijn geclusterd. De lichtonderschepping is gebaseerd op lichtuitdovingsmetingen (k-waarde) aan het gewas i.c.m. de LAI.

3.1.3 Instraling

De hoeveelheid belichting is van sterke invloed op de hoeveelheid ontvangen licht per dag. De mate waarin de belichting invloed heeft op de lichtsom per dag is seizoensafhankelijk: het aandeel belichting in de totale lichtsom (lamp- + daglicht) is groter in de winterperiode (proefdag 50 tot 100 (dec, jan)) dan in het voorjaar (proefdag 150+ (mrt, apr)). In de drie belichtingsbehandelingen was de lichtsom gemiddeld over de hele proef 4.8, 6.6 en 8.4 mol/m²/d.



Figuur 7. Ontvangen hoeveelheid licht voor zowel de drie lichtbehandelingen als enkel het aandeel daglicht. Er is gebruikt gemaakt van een voortschrijdend gemiddelde (van 7 dagen) om het piekerige uit de lijnen te halen.

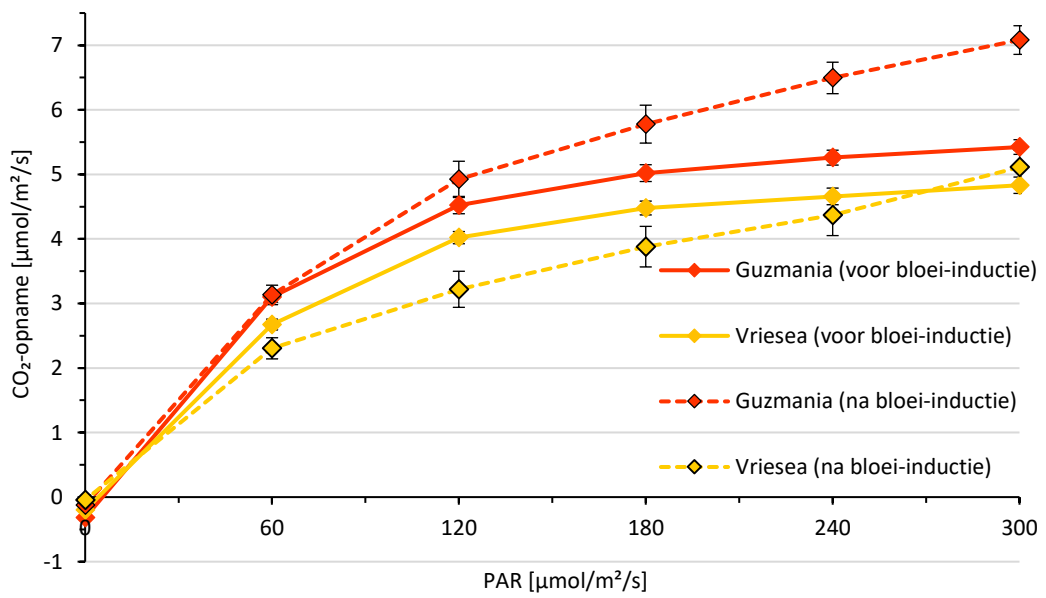
3.1.4 Bladfotosynthese

De (blad)fotosynthese is samen met de (lichtonderscheppende) bladoppervlakte bepalend voor de hoeveelheid assimilaten die het gewas produceert. Opvallend genoeg waren er beperkte verschillen in de lichtrespons van de fotosynthese tussen de verschillende temperatuur- en lichtbehandelingen (zie Bijlage 3). Daarom zijn in de Figuren 8-10 de data van al deze behandelingen gemiddeld. Bij bromelia is de hoeveelheid licht die de bovenste bladlaag ontvangt al snel verzadigend (Figuur 8), dit gebeurt namelijk al bij een instraling van tussen de 180 en 240 µmol/m²/s PAR. Dit is vooral duidelijk te zien bij de metingen voor bloei-inductie. De metingen na bloei-inductie lieten namelijk een sluiting van de huidmondjes zien gedurende de meting, waardoor de maximale potentiële fotosynthese-efficiëntie in geval dat de huidmondjesopening niet limiterend geweest was, niet goed gemeten kon worden.

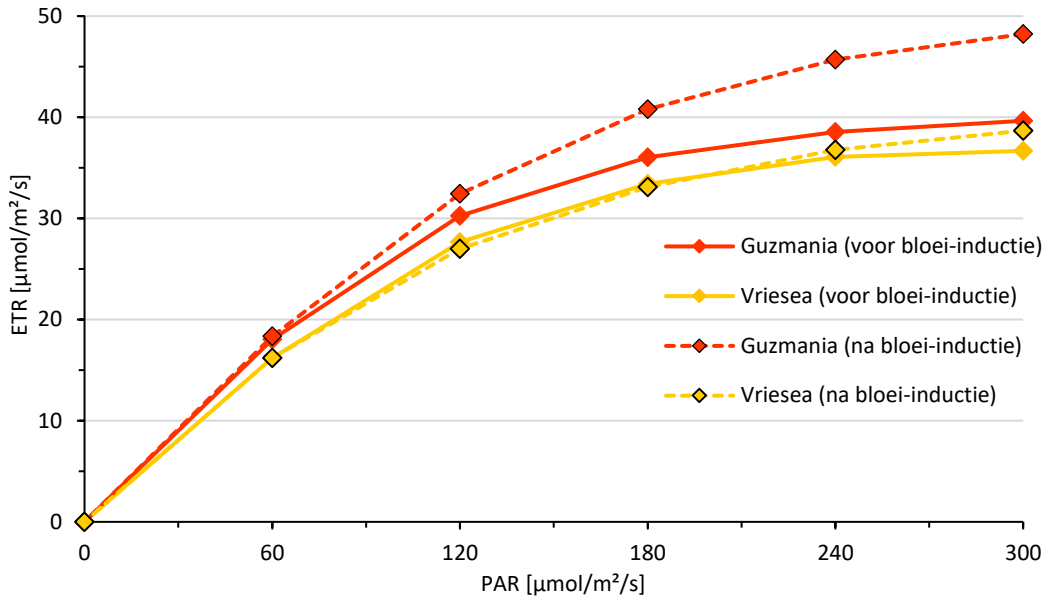
De maximale potentiële fotosynthese-efficiëntie is beter zichtbaar in Figuur 9, de ETR wordt namelijk in veel mindere mate beïnvloed door de sluiting van de huidmondjes. In dit figuur lopen de lijnen van Vriesea voor en na bloei-inductie exact hetzelfde. Bij Guzmania is wel een duidelijke toename te zien na bloei-inductie, wat op zijn beurt het verschil in fotosynthese tussen de 2 soorten ook aanzienlijk laat toenemen (Figuur 8). Een verklaring voor de toename in fotosynthese na bloei-inductie van Guzmania kan liggen bij de toegenomen sinksterkte door

de ontwikkelende bloem, waardoor de plant zijn suikers beter kwijt kan. Beide soorten reageren hetzelfde op de CO_2 concentratie in de kas (Figuur 10). Door de lage huidmondjesgeleidbaarheid ligt het verzadigingsniveau voor bromelia hoog, namelijk; >1000 ppm. De lage huidmondjesgeleidbaarheid bemoeilijkt namelijk het transport van CO_2 van de kaslucht naar de plantencellen.

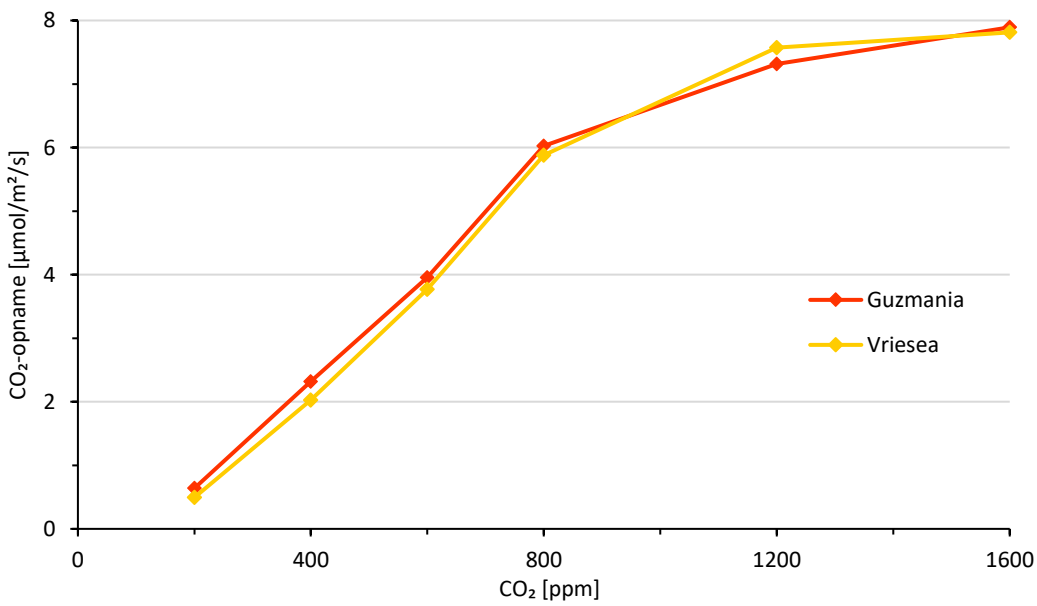
Dat de huidmondjesgeleidbaarheid een belangrijke rol speelt in de CO_2-opname is duidelijk te zien in Figuur 11. In de figuur is CO_2-opname door de bladeren uitgezet tegen huidmondjes-geleidbaarheid en een trendlijn door verschillende puntmetingen getrokken. Bij beide soorten is te zien dat de trendlijn richting verzading gaat bij een huidmondjesgeleidbaarheid hoger dan 0.025 mol/m²/s. Bij een lagere CO_2 concentratie dan de 800ppm tijdens de metingen zullen de huidmondjes nog eerder beperkend zijn. Ook is duidelijk te zien dat Vriesea gemiddeld genomen een lagere huidmondjesgeleidbaarheid heeft dan Guzmania, wat op zijn beurt de fotosynthese dus meer limiteert. Huidmondjesgeleidbaarheden van beneden de 0.010 zorgen ervoor dat de CO_2-opname niet meer zuiver gemeten kan worden.



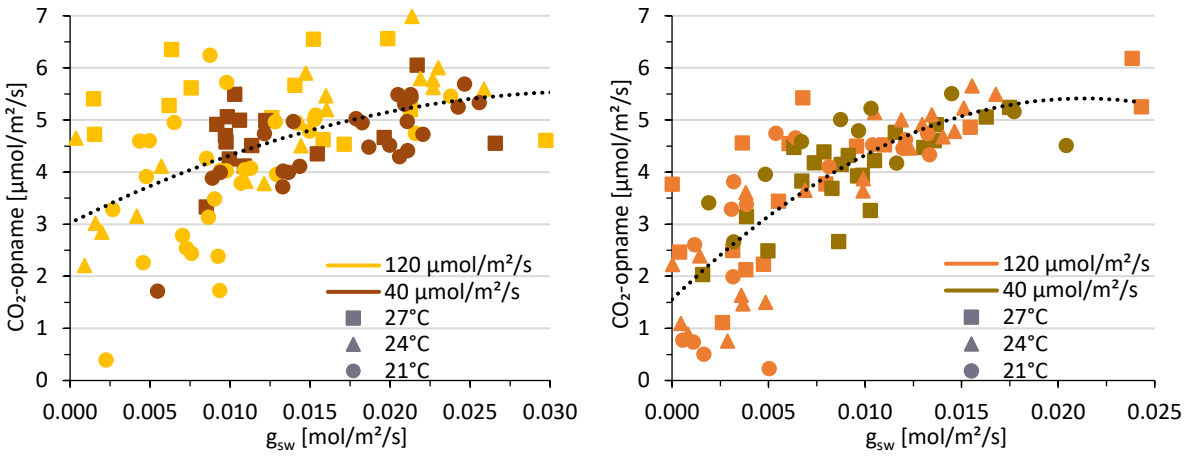
Figuur 8. Gemiddelde CO_2-opname bij 800 ppm CO_2 op verschillende momenten in de teelt voor bloei-inductie (dag 100) en na bloei-inductie (dag 155) voor de gemeten behandelingen. Inclusief SEM errorbars. Voor bloei-inductie is het verschil tussen de twee soorten kleiner dan erna. De fotosynthese capaciteit (maximale netto fotosynthese op een verzadigend lichtniveau) is bij Vriesea gelijk gebleven tussen de twee momenten, echter bij Guzmania is deze toegenomen. De metingen na bloei-inductie laten huidmondjessluiting tijdens de meting zien (meetvolgorde van hoog naar laag licht), waardoor het lijkt of geen verzadiging bereikt wordt na bloei-inductie.



Figuur 9. Gemiddelde ETR (electron transport rate) bij 800 ppm CO_2 op verschillende momenten in de teelt voor de gemeten behandelingen; voor bloei-inductie (proefdag 100) en na bloei-inductie (dag 155). De ETR is een maat voor de energie die beschikbaar is om suikers te maken en geeft dus de maximale potentiele fotosynthese efficiëntie weer, en wordt slechts beperkt beïnvloed door de stand van huidmondjes. Vriesea reageert hier exact hetzelfde zowel voor als na de bloei-inductie, Guzmania heeft zijn potentie wel verhoogd na bloei-inductie.

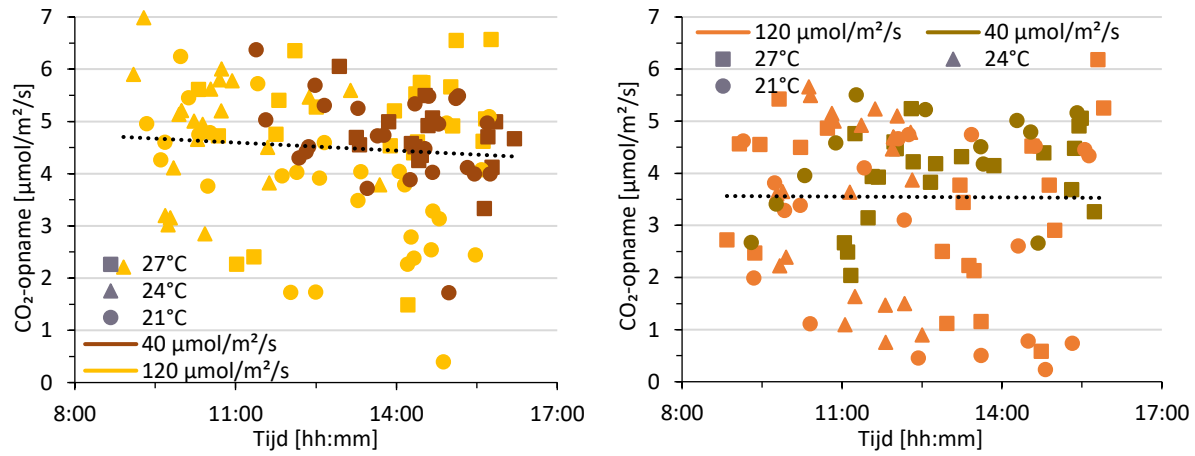


Figuur 10. Gemiddelde CO_2-opname bij 300 µmol/m²/s PAR bij verschillende CO_2 concentraties voor bloei-inductie (proefdag 100) voor de gemeten behandelingen. Door de lage huidmondjesgeleidbaarheid (g_{sw}) ligt het verzadigingsniveau voor CO_2 hoog, >1000 ppm. N.B. dit figuur kan een vertekend beeld geven, omdat de CO_2-response metingen enkel aan planten zijn gedaan met al een goede huidmondjesgeleidbaarheid. In realiteit ligt daarom het verzadigingsniveau mogelijk nog wat hoger.



Figuur 11. Effect van huidmondjesgeleidbaarheid (g_{sw}) op CO_2-opname bij 300 µmol/m²/s PAR en 800 ppm CO_2 gemeten voor bloei-inductie (proefdag 100) bij Guzmania (links) en Vriesea (rechts). Het is duidelijke te zien dat wanneer de g_{sw} onder de 0.010 zakt de relatie tussen g_{sw} en CO_2-opname instabieler wordt.

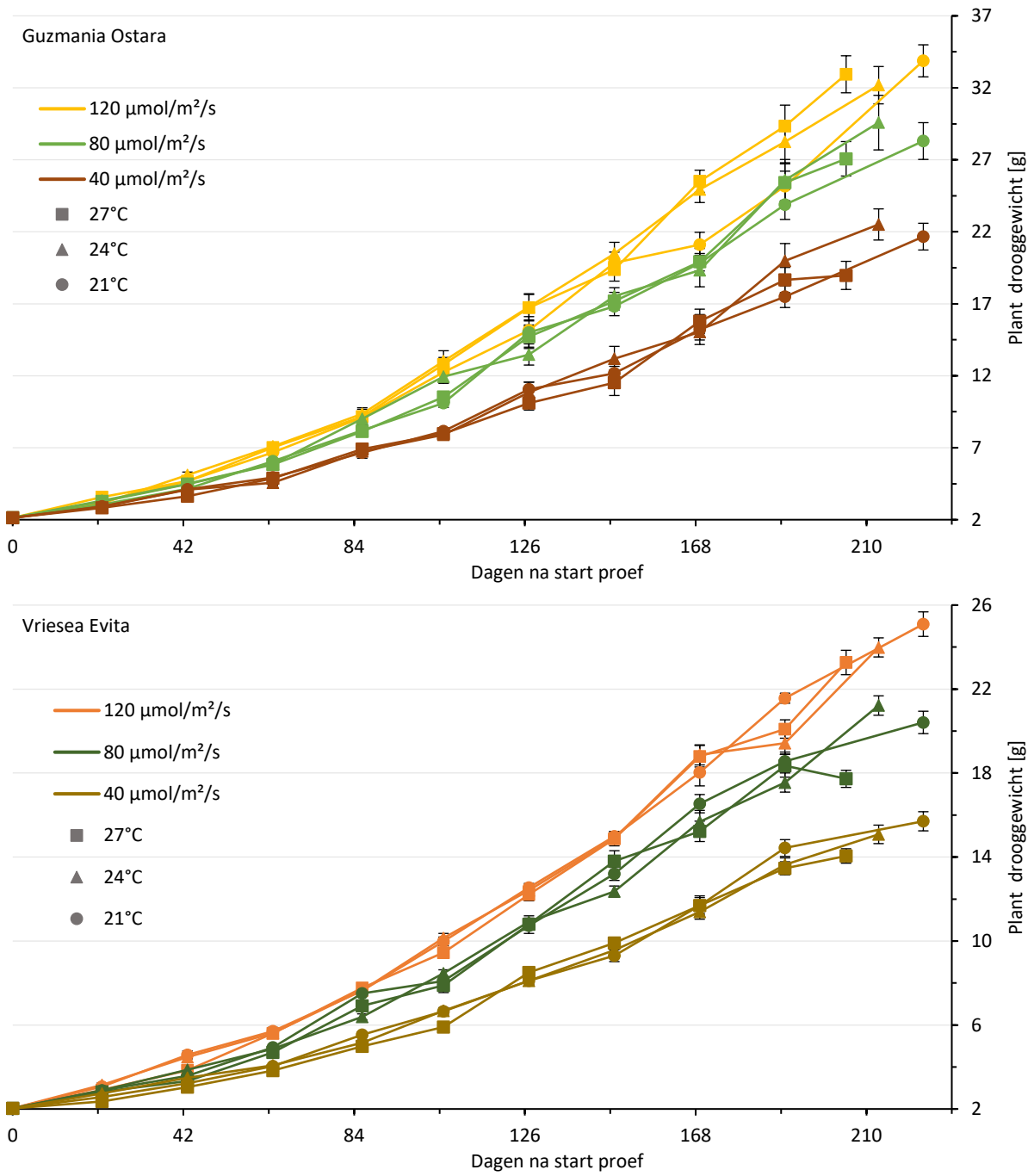
Guzmania en Vriesea verschillen in CO_2-opname efficiëntie, zoals al te zien was in Figuur 8. Echter Figuur 8 zou een onzuiver beeld kunnen geven doordat enkel gemeten is aan planten met een relatief hoge huidmondjesgeleidbaarheid. Daarom zijn alle metingen die voor bloei-inductie zijn uitgevoerd geplot in een grafiek (Figuur 12), ongeacht goede of slechte huidmondjesgeleidbaarheid. Guzmania heeft een gemiddelde CO_2-opname van 4.5 waarbij Vriesea slechts een opname heeft van 3.5, welke deels verklarend is voor het verschil in drooggewichtstoename (zie hoofdstuk 3.2).



Figuur 12. CO_2-opname bij 300 µmol/m²/s PAR en 800 ppm CO_2 van Guzmania (links) en Vriesea (rechts) voor bloei-inductie (proefdag 100), zonder dat geselecteerd is op bladeren met een redelijk goede huidmondjesopening. Guzmania ligt gemiddeld duidelijk hoger dan Vriesea en er is geen patroon zichtbaar van een behandelingseffect (temperatuur of belichting).

3.2 Sink

De gewasontwikkeling van bromelia is vastgelegd door verschillende parameters te meten. De groeicurves, blad/schijnstam verhoudingen en SLA worden in dit hoofdstuk verder toegelicht. Daarnaast zijn de grafieken van gewashoogte, bladkleur (SPAD-waarde als maat voor bladgroen), bladlengte en breedte in de bijlage 4 opgenomen. Zie ook foto's in Bijlage 5.



Figuur 13. De groeicurves voor de twee bromelia soorten per behandeling, inclusief SEM errorbars. Hierin is duidelijk te zien dat de belichting duidelijk effect heeft op de biomassa accumulatie (groei), en dat temperatuur nauwelijks effect heeft (behalve bij Guzmania bij de hoogste lichtintensiteit na bloei-inductie). Ieder meetpunt van de drooggewichten is een gemiddelde van 30 planten.

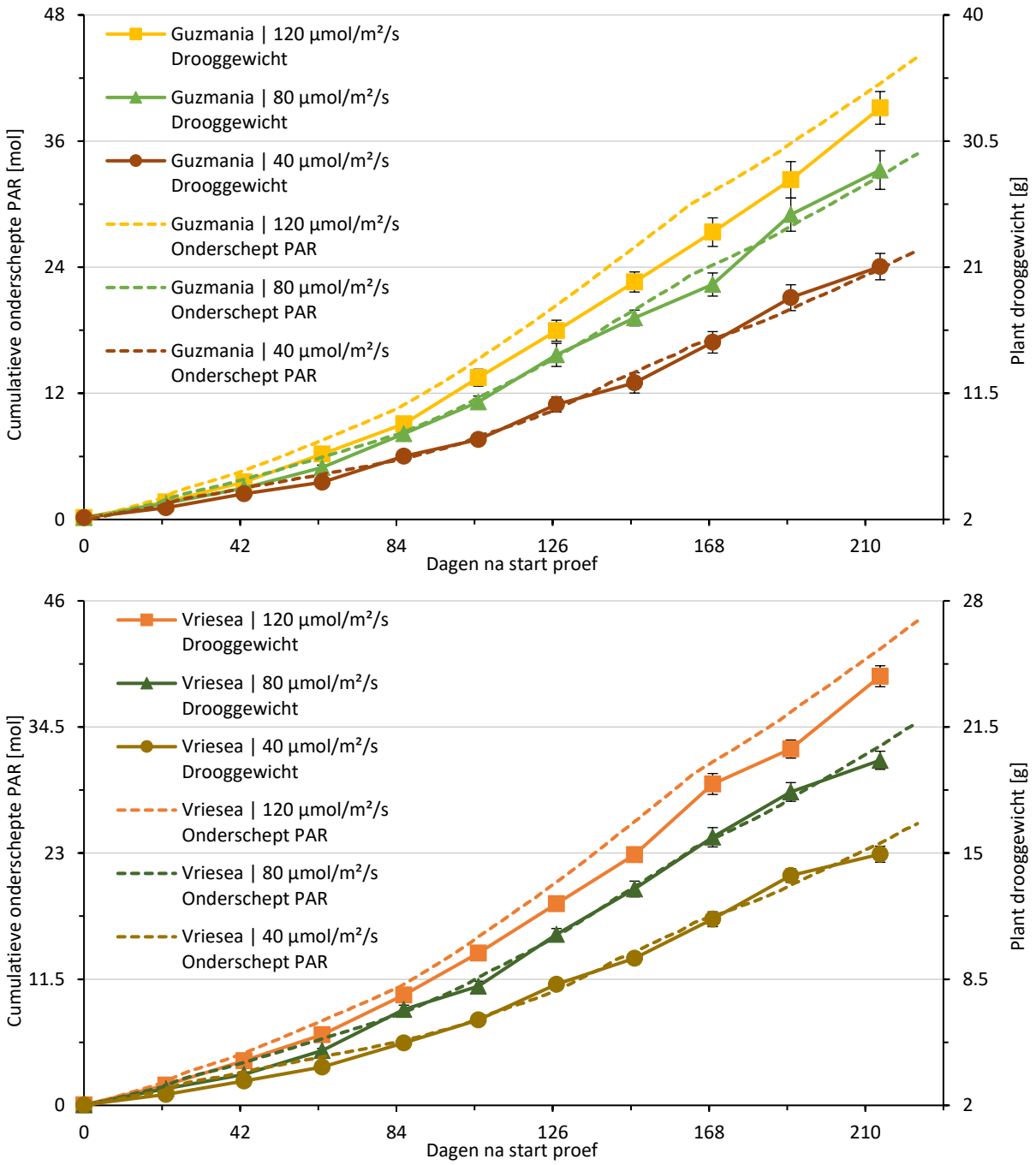
3.2.1 Groeicurves

In Figuur 13 is te zien dat licht een duidelijk effect heeft op de biomassa-accumulatie, en temperatuur verbazend genoeg nauwelijks. Alleen Guzmania maakt bij de hoogste lichtintensiteit (120 µmol/m²/s) na bloei-inductie iets minder droge stof aan bij de laagste temperatuur (21°C). Omdat er nauwelijks een effect van temperatuur is, is in Figuur 14 het effect van de lichtbehandelingen weergegeven gemiddeld over alle temperatuurbehandelingen. Op de linker y-as in Figuur 14 is de cumulatieve hoeveelheid onderschepte PAR per plant (niet per m²!) geplot, deze is gebaseerd op de hoeveelheid ontvangen licht van de belichting + zonlicht en de fractie onderschept licht (Figuur 6). De ontvangen hoeveelheid zonlicht is bepaald door conversies van de hoeveelheid licht boven het kasdek te vermenigvuldigen met de transmissie van het kasdek waarbij ook de sluiting en opening van de schermdoeken en krijten in acht is genomen. Uit de groeicurves (Figuur 14) kan duidelijk geconstateerd worden dat door meer belichting het gewas meer in gewicht toeneemt.

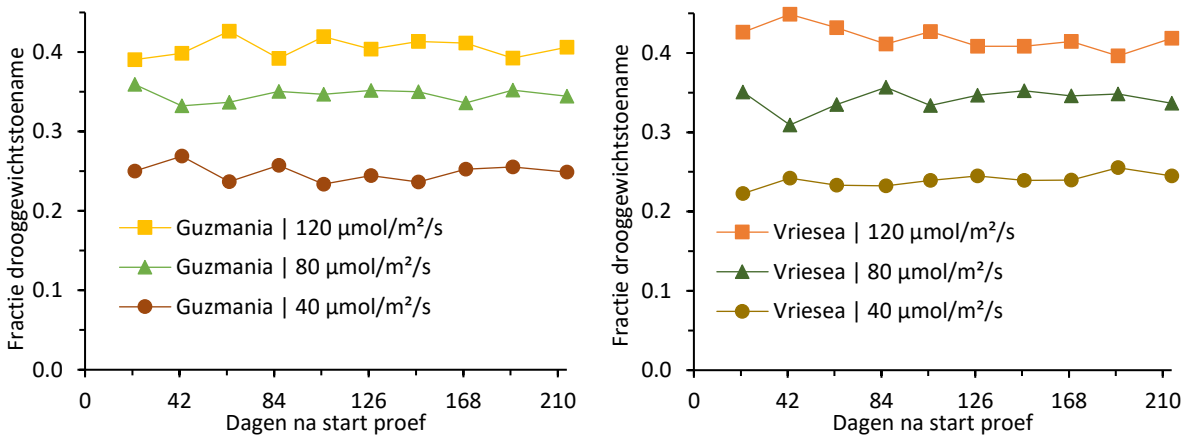
Wanneer er gekeken wordt naar de combinatie van de hoeveelheid onderschepte PAR en cumulatieve groei zit hier een enorm sterk verband in. Voor de 40 en 80 µmol/m²/s behandelingen bij beide soorten lopen deze twee lijnen vrijwel simultaan, waarbij de 120 µmol/m²/s behandelingen onder de hoeveelheid onderschepte PAR lijn vallen. Dit geeft aan dat het licht tot 80 µmol/m²/s bijbelichting volledig benut wordt voor groei, en dat het rendement van de lichtbenutting voor groei ergens tussen de 80 en 120 µmol/m²/s bijbelichting begint af te nemen. Dit fenomeen is ook goed waar te nemen in Figuur 15: hierin is de som van de drooggewichtstoename per 3 weken voor de drie lichtbehandelingen op 1 gezet. De 40 µmol/m²/s behandelingen representeren gemiddeld over de gehele proef 24% van het totaalgewicht met respectievelijk 34% en 41% voor de 80 en 120 µmol/m²/s behandelingen.

Let op, de daadwerkelijke meeropbrengst van meer belichting is sterk afhankelijk van de hoeveelheid instraling van buiten. De ratio's die aan de hand van Figuur 15 zijn gecalculeerd zullen in de praktijk dichterbij elkaar liggen, omdat een commerciële kas relatief meer zonlicht doorlaat dan de proefkas.

Wat verder erg opvallend is, is dat het effect op groei van een gegeven hoeveelheid belichting over de gehele proef hetzelfde blijft, dus zowel in de donkerste periode van het jaar (dec, jan (dag 50-100)) tot in de lichtere periodes (maart, april (dag 150+)). Dit wordt op zijn beurt deels verklaard door het krijten in de lichtere periode en lichtverzadiging van de bladfotosynthese.

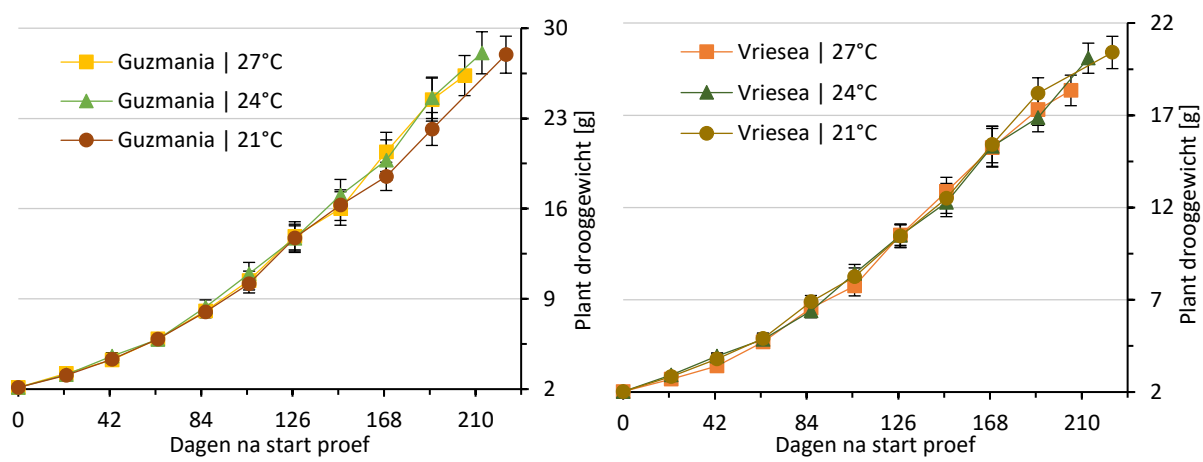


*Figuur 14. Groeicurves van de gehele plant (excl. wortels). De y-assen zijn zo aangepast dat de data-punten van de drooggewichten uit de 40 µmol/m²/s behandeling en de cumulatieve hoeveelheid onderschepte PAR (per plant) elkaar overlappen. Ieder meetpunt van de drooggewichten is een gemiddelde van 90 planten (3x temp. * 30 planten), met de respectievelijke SEM errorbars. De hoeveelheid onderschept licht per plant (niet per m²!) is bepaald aan de hand van de hoeveelheid belichting en ontvangen zonlicht. Bij het laatste meetpunt is als meetdag op de x-as het gemiddelde van de dag van eindoogst voor de drie temperatuurbehandelingen genomen.*



Figuur 15. Drooggewichtstoename per lichtbehandeling als fractie van de totale drooggewichtstoename van alle drie de belichtingsbehandelingen (de punten bij ieder meetmoment komen tezamen uit op 1). De grafiek geeft inzicht in de verhoudingen van de toegevoegde waarde van de belichting.

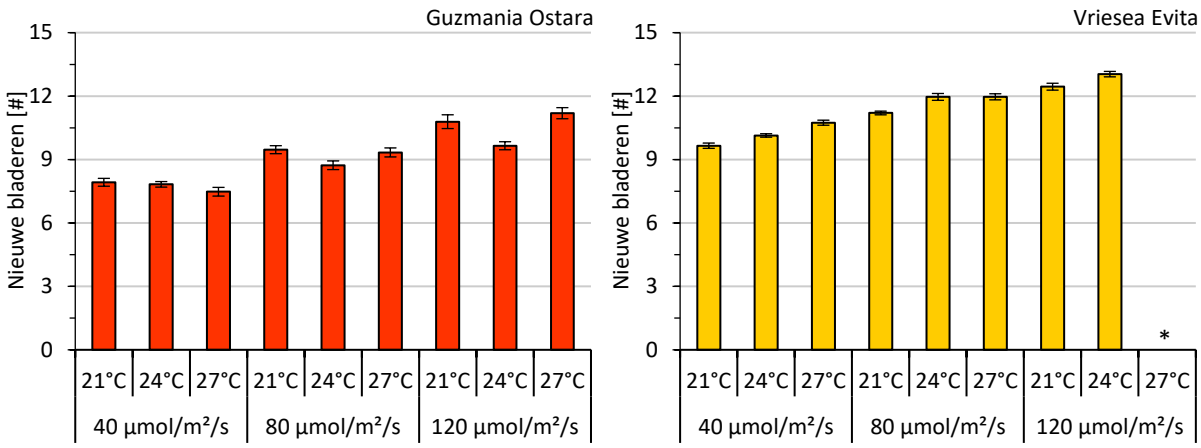
In Figuur 16 is effect van de temperatuurbehandelingen weergegeven gemiddeld over alle lichtbehandelingen. Duidelijk te zien is hier nogmaals dat temperatuur geen effect heeft op de biomassa-toename, behalve voor Guzmania na bloei-inductie bij de laagste temperatuur (21°C), en dan speelt dit temperatuureffect vooral bij de hoogste lichtintensiteit (120 µmol/m²/s; Figuur 13). Dit kan duiden op enige mate van sinklimitatie bij deze licht/temperatuurcombinatie. Bij de laagste temperatuur ontwikkelde de bloem zich minder snel (zie ook hoofdstuk 3.3). Uit het geheel aan waarnemingen valt echter te concluderen dat bromelia onder winterse omstandigheden toch vooral source-gelimiteerd is.



*Figuur 16. Groeicurves van de temperatuurbehandelingen bij Guzmania en Vriesea. Ieder meetpunt van de drooggewichten is een gemiddelde van 90 planten (3 lichtbehandelingen*30 planten), waarbij de laatste 3 punten een gemiddelde van 30 i.p.v. 90 planten zijn, met de respectievelijke SEM errorbars.*

3.2.2 Nieuwe bladeren

Het aantal nieuw ontwikkelde bladeren gedurende de proef is vooral afhankelijk van de belichtingsintensiteit, en bij Vriesea in mindere mate ook van temperatuur. Dit is erg opvallend, juist omdat temperatuur vaak als verklarend parameter voor bladafsplitsingssnelheid wordt gegeven. Nieuwe bladeren dragen niet per sé bij aan meer (lichtonderscheppend) bladoppervlakte in onze metingen, omdat nieuwe bladeren zich hoger op de schijnstam ontwikkelen en er dus voor zorgen dat een gedeelte van de oudste bladeren onder de categorie schijnstam vallen.

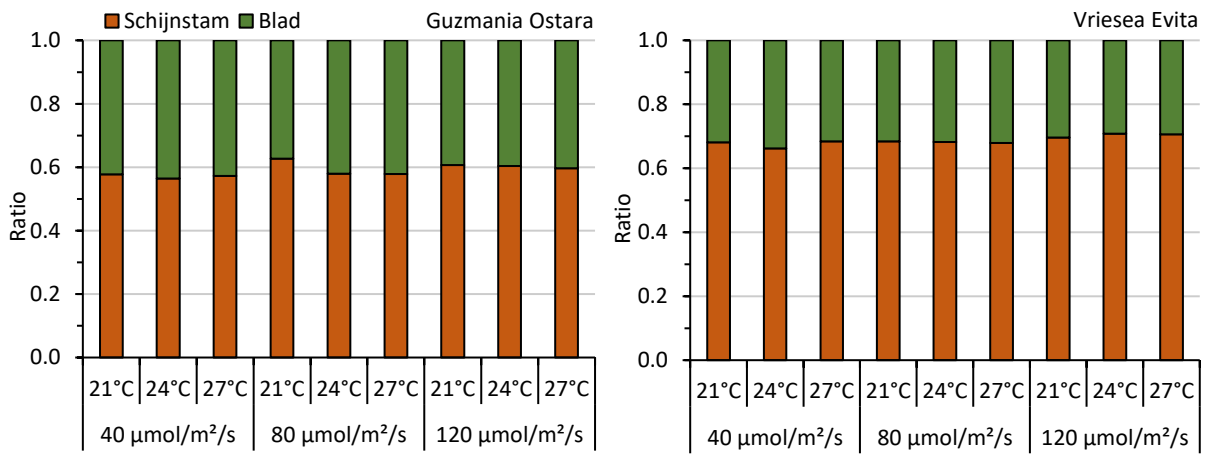


*Figuur 17. Het aantal nieuw ontwikkelde bladeren over de gehele lengte van de proef. *incorrect gemeten. Inclusief SEM errorbars (een gemiddelde van 30 planten per behandeling).*

3.2.3 Blad/schijnstam verhouding

De blad/schijnstam verhouding (

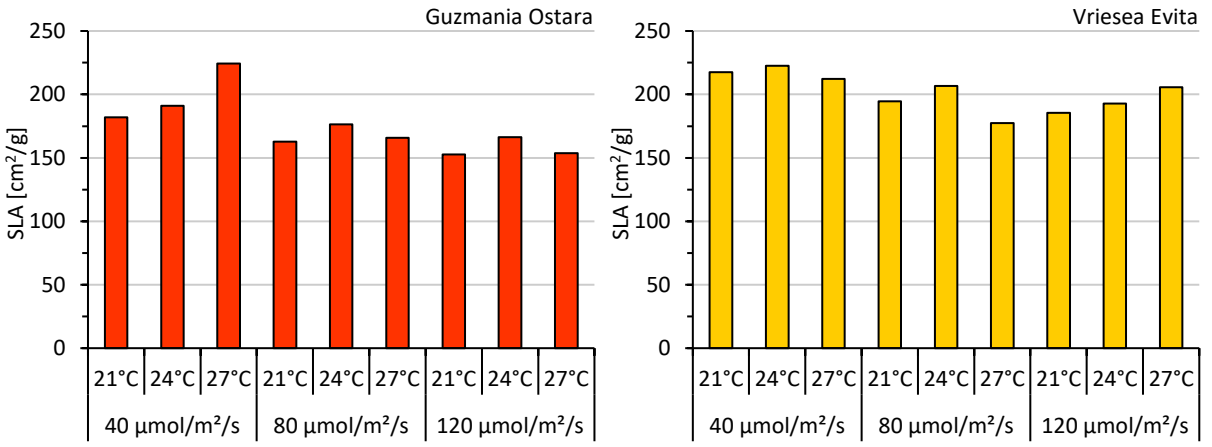
Figuur 18) wordt minimaal tot niet beïnvloed door de verschillende behandelingen. Er is een kleine tendens dat naarmate de plant meer licht ontvangt er relatief minder gewicht in (lichtonderscheppend) blad zit en dus meer in de schijnstam.



Figuur 18. De ratio (lichtonderscheppend) blad en schijnstam voor alle licht- en temperatuurbehandelingen gemeten op dag 127 van de teelt (12-feb). In de linker grafiek staat de Guzmania Ostara en de rechter Vriesea Evita weergegeven. Iedere meting is een gemiddelde van 30 planten.

3.2.4 SLA

De specific leaf area (SLA; Figuur 19) is een parameter voor de bladdikte (of eigenlijk de oppervlakte per gewichtseenheid, dus cm^2/g blad) van een gewas. Hoe lager de SLA hoe 'dikker' het blad. Bij zowel Guzmania als Vriesea is een tendens zichtbaar waarbij naarmate de lichtintensiteit toeneemt de bladdikte ook toeneemt (dus de SLA afneemt).



Figuur 19. De specific leaf area (SLA) van de verschillende licht- en temperatuurbehandelingen gemeten op dag 127 van de teelt (12-feb). In de linker grafiek staat Guzmania Ostara en in de rechter grafiek staat Vriesea Evita weergegeven. Iedere meting is een gemiddelde van 2 planten.

3.3 Eindoogst

Bij de eindoogst zijn dertig individuele planten per behandeling geoogst en gemeten, de twee soorten (Guzmania en Vriesea) zijn altijd gescheiden geanalyseerd.

Het effect van de lichtbehandelingen op het plantgewicht, zowel totaal-, blad/schijnstam- als bloemgewicht, is overduidelijk. De 120 µmol/m²/s behandeling is altijd het zwaarste, met daaropvolgend de 80 µmol/m²/s en de 40 µmol/m²/s behandelingen (Tabel 4).

Tabel 4. Eindoogst drooggewichten voor de drie verschillende lichtbehandelingen. Ieder punt is een gemiddelde van 30 planten. α > 0.001. Geen interacties met temperatuurbehandelingen.

	Guzmania Ostara			Vriesea Evita		
Drooggewicht	40 µmol	80 µmol	120 µmol	40 µmol	80 µmol	120 µmol
Totaal [g]	21.0^{c}	28.3^{b}	33.0^{a}	14.9^{c}	19.8^{b}	24.1^{a}
Blad/schijnstam [g]	11.6^{c}	15.3^{b}	17.5^{a}	9.5^{c}	12.1^{b}	14.5^{a}
Bloem [g]	9.5^{c}	13.0^{b}	15.5^{a}	5.5^{c}	7.7^{b}	9.6^{a}

De 27°C behandelingen waren respectievelijk 8 en 19 dagen sneller rijp dan de 24°C en 21°C behandelingen. Dit resulteerde in bloemgewicht verliezen, het bloemgewicht in de 27°C behandeling is namelijk lager dan in de 21°C behandeling (Tabel 5). Bij Vriesea vertaalde dit zich ook naar een verschil in totaalgewicht, echter bij Guzmania is dit niet significant.

Tabel 5. Eindoogst gewichten voor de drie verschillende temperatuurbehandelingen. Ieder punt is een gemiddelde van 30 planten. α > 0.001. ns = niet significant. Geen interacties met lichtbehandelingen.

	Guzmania Ostara			Vriesea Evita		
Drooggewicht	21°C	24°C	27°C	21°C	24°C	27°C
Totaal [g]	27.9^{ns}	28.1^{ns}	26.3^{ns}	20.4^{a}	20.1^{a}	18.3^{b}
Blad/schijnstam [g]	14.5^{ns}	15.0^{ns}	14.8^{ns}	12.2^{ns}	12.3^{ns}	11.6^{ns}
Bloem [g]	13.4^{a}	13.1^{ab}	11.5^{b}	8.2^{a}	7.8^{a}	6.7^{b}

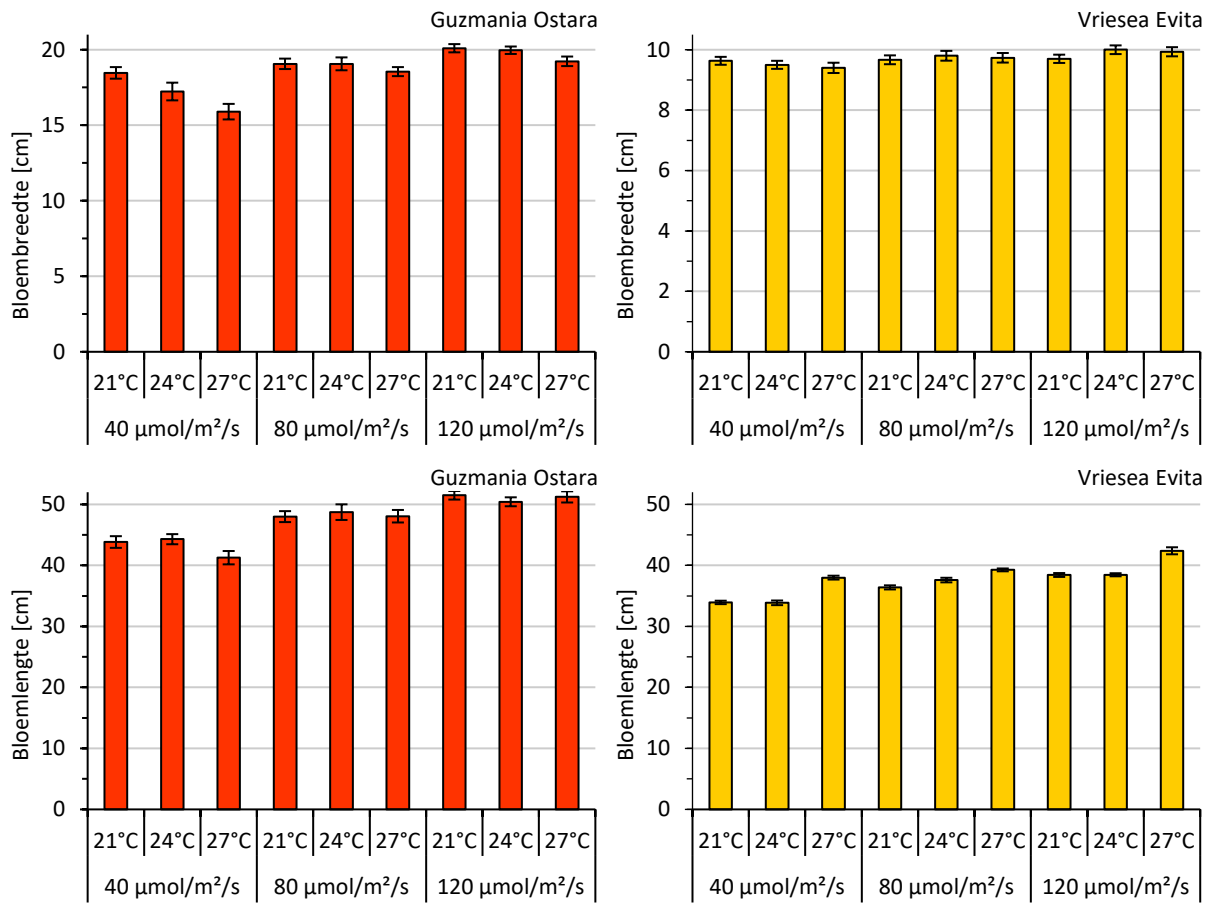
3.3.1 Kwaliteit eindoogst

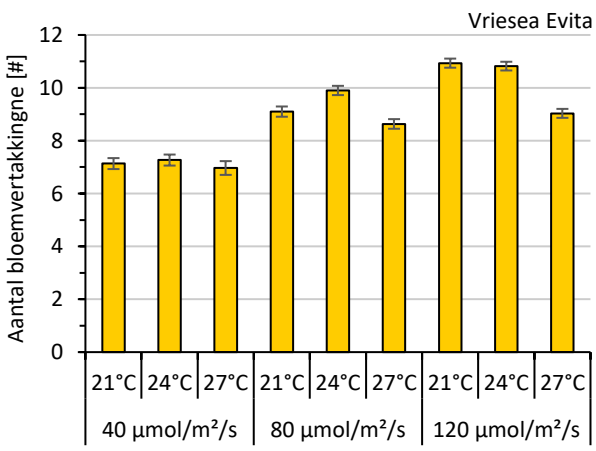
Vanuit de source/sink-balans gedachte is in voorgaande paragraaf uitgebreid ingegaan op plantgewicht. Voor een siergewas als bromelia is dat zeker niet het enige belangrijke aspect. Een aantal parameters zijn van belang bij de beoordeling op kwaliteit voor een kweker, dit zijn; bloembreedte, bloemlengte en aantal bloemvertakkingen (enkel bij Vriesea). Bij alle drie deze parameters is een duidelijke trend aanwezig waarbij meer belichting resulteert in een verhoging van de respectievelijke parameter (Figuur 20). Meer bloemlengte kan overigens juist onwenselijk zijn.

De 27°C behandeling lijkt bij Guzmania een negatief effect te hebben op bloembreedte, en bij Vriesea een negatief effect te hebben op het aantal bloemvertakkingen, ten opzichte van de andere twee temperatuur-behandelingen.

De planten zijn aan het einde van de teelt door de begeleidende bromeliatelers visueel beoordeeld en er zijn scores voor kwaliteit toegekend. Er bleek geen patroon te ontdekken bij

de Guzmania voor wat betreft de scores voor de verschillende behandelingen. Dit verschilt bij Vriesea, hier is het duidelijk dat de 40 µmol/m²/s behandelingen lager scoorden, daarnaast zijn de planten die in de 27°C behandelingen zijn gekweekt ook slechter beoordeeld dan de 21 en 24°C behandelingen. Uit een informele uitbloeiproef bij een teler zijn geen verschillen naar voren gekomen tussen de verschillende behandelingen. Echter, door de opzet van die test zijn hieraan geen harde conclusies te verbinden.





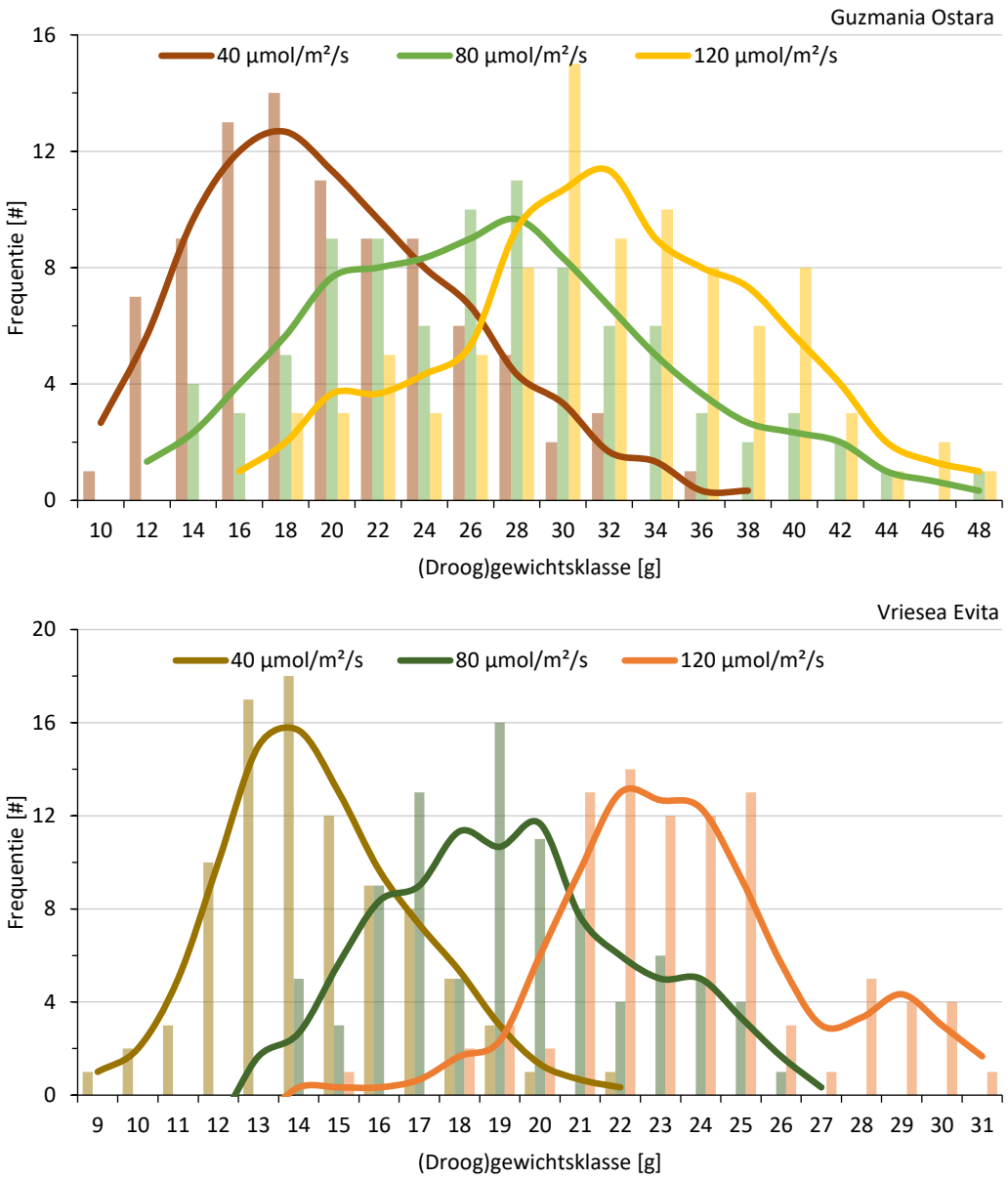
Figuur 20. Kwaliteitskenmerken van de bloemen bij Guzmania en Vriesea. Gemeten aan 30 planten, inclusief SEM errorbars. Bij zowel bloembreedte als lengte en aantal bloemvertakkingen is bij beide soorten een kleine stijging te zien bij de hogere lichtintensiteiten t.o.v. de lagere lichtintensiteiten. De 27°C behandelingen leveren in op bloembreedte (Guzmania) en aantal bloemvertakkingen (Vriesea).

3.3.2 Variatie eindoogst

De variatie van de eindgewichten voor zowel Guzmania als Vriesea laten een soortgelijk beeld zien, echter is dit beeld wat diffuser bij Guzmania door de grotere variatie binnen een behandeling vergeleken met Vriesea. Om de variatie te kwantificeren is de variatiecoëfficiënt berekend (Tabel 6), hieruit blijkt dat naarmate de belichtingsintensiteit toeneemt, de *relatieve variatie* afneemt. In Bijlage 2**: Boxplots eindoogst** is ook de variatie te zien per plant-orgaan gepresenteerd in de vorm van boxplots.

Tabel 6. Variatiecoëfficiënt van de verschillende soorten en belichtingsbehandelingen.

Soort |	Lichtbeh.	Variatiecoëfficiënt
Guzmania |	40 µmol/m²/s	0.27
Guzmania |	80 µmol/m²/s	0.29
Guzmania |	120 µmol/m²/s	0.20
Vriesea |	40 µmol/m²/s	0.16
Vriesea |	80 µmol/m²/s	0.15
Vriesea |	120 µmol/m²/s	0.13



*Figuur 21. (Droog)gewichtsklasse van de twee bromelia soorten bij eindoogst, voor elke behandeling zijn 90 planten gemeten (30 * 3 temperatuurbehandelingen). Eenzelfde beeld geldt voor zowel Guzmania als Vriesea, echter is dit bij Guzmania minder goed zichtbaar door de grotere spreiding van de gewichtsklassen.*

4 Discussie en conclusie

Discussie onderzoek

De resultaten van dit onderzoek zijn ronduit verrassend te noemen. De verwachting was dat een tropisch gewas als bromelia bij de huidige teelttemperatuur van 20 tot 21°C sink-gelimiteerd zou zijn, en dat met een hogere temperatuur een veel betere lichtbenutting bereikt zou worden, vooral bij de hogere belichtingsintensiteiten. Dit blijkt niet zo te zijn. Verrassend genoeg is de groei van de onderzochte Guzmania en Vriesea cultivars onder de huidige winterse omstandigheden vooral source-gelimiteerd. Dit blijkt uit de volgende resultaten:

- Meer belichting gaf een forse toename in plantgewicht gedurende de gehele teelt, zowel voor wat betreft blad/schijnstam als bloem.
- Meer temperatuur leidde nauwelijks tot toename in plantgewicht. Alleen Guzmania nam na bloei-inductie bij de hoogste intensiteit belichting (120 µmol/m²/s) wat langzamer toe in biomassa bij de laagste temperatuur (21°C) ten opzichte van 24 en 27°C.
- Zelfs het aantal nieuwe bladeren dat gedurende teelt ontstond bleek vooral afhankelijk van de belichtingsintensiteit, en bij Vriesea in mindere mate ook van temperatuur. Dit is erg opvallend, juist omdat temperatuur vaak als verklarend parameter voor bladafsplitsingssnelheid wordt gegeven.

Een hogere temperatuur beïnvloedde wel de snelheid van de bloemontwikkeling: de hoogste temperatuur-behandeling (27°C) was respectievelijk 19 en 8 dagen sneller dan de 21 en 24°C behandelingen. Dat ging wel ten koste ging van het bloemgewicht bij de hoogste temperatuur.

Inzichten belichting, CO_2 en temperatuur in teelt Guzmania en Vriesea

Doordat de hoeveelheid onderschept licht per plant is berekend, is mooi inzichtelijk gemaakt dat de benutting voor groei per eenheid onderschept licht gelijk is voor de 40 en de 80 µmol/m²/s behandelingen, terwijl de 120 µmol/m²/s minder efficiënt omgaat met de ontvangen hoeveelheid licht (Figuur 14). De productie is wel nog altijd beduidend hoger bij de 120 µmol/m²/s behandeling. Puur vanuit groei beredeneerd zou meer dan de 40 µmol/m²/s belichting die nu gebruikelijk is in de bromeliateelt dus lonend moeten zijn. Hoeveel intensiteit bijbelichting in een kas te installeren hangt af van meerdere factoren: Hoeveel PAR daglicht komt er al in de kas, hoeveel weken per jaar wordt extra bijbelichting goed benut, en wat is de minimale lichtsom die je wilt kunnen halen?

Voor bromelia moet niet alleen puur vanuit groei worden geredeneerd, maar vooral ook vanuit kwaliteit. Immers, de prijs wordt niet per kg plant bepaald, maar een plant moet wel aan zekere kwaliteitsstandaarden voldoen. Te kleine planten zijn onverhandelbaar of moeten weken langer in de kas blijven staan voordat de bloei geïnduceerd wordt. Dit is bewerkelijk en kosten en energie-inefficiënt. Uit de metingen van de individuele plantgewichten bij de eindoogst wordt goed inzichtelijk dat de laagste gewichtsklassen niet meer voorkomen bij 80

μmol/m²/s of meer belichting (Figuur 21). Dit kan een sterker argument zijn voor meer belichting dan het gemiddelde plantgewicht op zich. Ook bloembreedte, bloemlengte en aantal bloemvertakkingen (enkel bij Vriesea) nemen toe bij meer belichting (Figuur 20). Meer bloemlengte kan overigens juist onwenselijk zijn. Waarbij opgemerkt dat in de proef getracht is zo goed mogelijk met watergift en bemesting in te spelen op de verschillende klimaatomstandigheden, maar dat hier ongetwijfeld nog veel aan verbeterd kan worden. Vanuit die gedachte kan een teelt onder hogere intensiteiten belichting nog verder worden geoptimaliseerd.

Onder de gebruikte breedband-spectrum LED-belichting in deze proef groeide het gewas goed. Of een ander lichtspectrum ook een goede groei en kwaliteit geeft, en of hier nog verbetering mogelijk is, is nog onbekend.

Behoud van voldoende hoog CO_2 in de kas ook zeer belangrijk: Bromelia blijkt immers source-gelimiteerd en reageert door haar beperkte huidmondjesopening sterk op CO_2.

Een hogere temperatuur dan 21°C blijkt tot bloei-inductie niet zinvol. Mogelijk kan zelfs nog iets koeler geteeld worden tot bloei-inductie, echter, heel veel koeler lijkt voor een tropisch gewas als Bromelia niet te verwachten. Na inductie geeft een hogere temperatuur wel meer snelheid, dat wel ten koste gaat van bloemgewicht, vooral bij 27°C (Tabel 5). Bij opwarming van de kas door instraling moet warmte afluchten zoveel mogelijk worden voorkomen met het oog op behoud van CO_2 in de kas. Het effect van een hogere temperatuur op houdbaarheid na oogst is niet goed gemeten, maar lijkt op basis van een informele test niet problematisch.

Inpassing klimaatneutrale teelt van de toekomst

De nogal verrassende resultaten (niet-sinkgelimeerd bij 21°C) komen zeker niet ongunstig uit voor wat betreft het toekomstbeeld van een fossielvrije glastuinbouw. In dat toekomstbeeld is er geen gas beschikbaar voor verwarming en moet elektriciteit duurzaam worden opgewekt. Door de huidige SON-T (vaak verouderde 600W armaturen) te vervangen door moderne LED-armaturen kan met vrijwel eenzelfde elektriciteitsverbruik de stap van 40 naar 80 μmol/m²/s belichting worden gemaakt. De warmte moet dan komen vanuit de lampwarmte van de belichting, en bijvoorbeeld uit warmte-koude opslag. Actieve ontvochtiging beperkt de nachtelijke warmtevraag doordat het scherm volledig gesloten kan blijven. Bovendien kan de latente warmte uit de te ontvochtigen kaslucht worden teruggewonnen en worden gebruikt om met een warmtepomp een warmtebuffer op te warmen. Ook overdag hoeft zo minder gelucht te worden en kan dus de warmtevraag verder worden beperkt en CO_2 worden behouden. Dat laatste is belangrijk in een situatie waarin geen CO_2 uit rookgassen meer beschikbaar is. Alle techniek ten spijt maakt een relatief beperkte warmtevraag het stukken eenvoudiger om een rendabele teelt te kunnen realiseren.

Referenties

Marissen N, Warmenhoven MG. 2004. Literatuuronderzoek CAM-fotosynthese en CO2 bemesting bij Bromelia's. Aalsmeer: PPO-Glastuinbouw rapport 41780157. 26p.

Pot CS, de Vreede SJM, Trouwborst G, Hogewoning SW, 2015. Activeren van de fotosynthese door sturing op huidmondjes opening. Plant Dynamics B.V. & Plant Lighting B.V., Randwijk. 53p.

Trouwborst G, Hogewoning SW, Pot CS. 2013a. Meer rendement uit licht en CO2 bij Bromelia. Plant Lighting B.V. & Plant Dynamics B.V., 25 p.

Trouwborst G, Hogewoning, SW, Pot CS. **2013b**. Stuurlicht bij de tijd. Plant Lighting B.V. 61p.

Bijlagen

Bijlage 1: Plantschema

PLANTSCHEMA 67.7 pl/m²

120 µmol/m²/s

106	112	109
125	117	116
129	118	117
122	127	124
125		132
125		131
124	126	122
127	117	116
121	114	113

<-- 40 planten (12cm) -->

<-- 11 planten (12.5cm) -->

80 µmol/m²/s

83	76	69
88	81	76
95	89	80
	95	79
	93	79
91	84	76
87	77	68

<-- 32 planten (12cm) -->

<-- 13 planten (12.5cm) -->

40 µmol/m²/s

43	36	35
45	40	37
	44	38
		39
	46	39
45	41	38
43	38	36

<-- 32 planten (12cm) -->

<-- 13 planten (12.5cm) -->

PLANTSCHEMA 47.6 pl/m²

120 µmol/m²/s

106	112	109
125	117	116
129	118	117
122	127	124
125		132
125		131
124	126	122
127	117	116
121	114	113
107	107	

<-- 33 planten (15 cm) -->

<-- 11 planten (14 cm) -->

80 µmol/m²/s

75	71	
77	72	66
83	76	69
88	81	76
95	89	80
	95	79
	93	79
91	84	76
87	77	68
80	70	65
71	65	

<-- 36 planten (15 cm) -->

<-- 10 planten (14 cm) -->

40 µmol/m²/s

37	35	
39	35	
43	36	35
45	40	37
	44	38
		39
	46	39
45	41	38
43	38	36
41	36	34
37		

<-- 36 planten (15 cm) -->

<-- 10 planten (14 cm) -->

PLANTSCHEMA 32.2 pl/m²

120 µmol/m²/s

76	78	88	85
117	106	112	109
142	125	117	116
146	129	118	117
131	122	127	124
110	125	136	132
112	125	135	131
131	124	126	122
147	127	117	116
141	121	114	113
111	107	107	102

<-- 30 planten (17.5 cm) -->

<-- 10 planten (17.5 cm) -->

80 µmol/m²/s

75	71	63	48
77	72	66	53
83	76	69	57
88	81	76	59
95	89	80	59
101	95	79	58
99	93	79	59
91	84	76	59
87	77	68	57
80	70	65	53
71	65	58	46

<-- 30 planten (17.5 cm) -->

<-- 10 planten (17.5 cm) -->

40 µmol/m²/s

37	35	30	23
39	35	32	26
43	36	35	27
45	40	37	29
47	44	38	30
50	47	39	29
49	46	39	29
45	41	38	29
43	38	36	28
41	36	34	26
37	33	31	25

<-- 30 planten (17.5 cm) -->

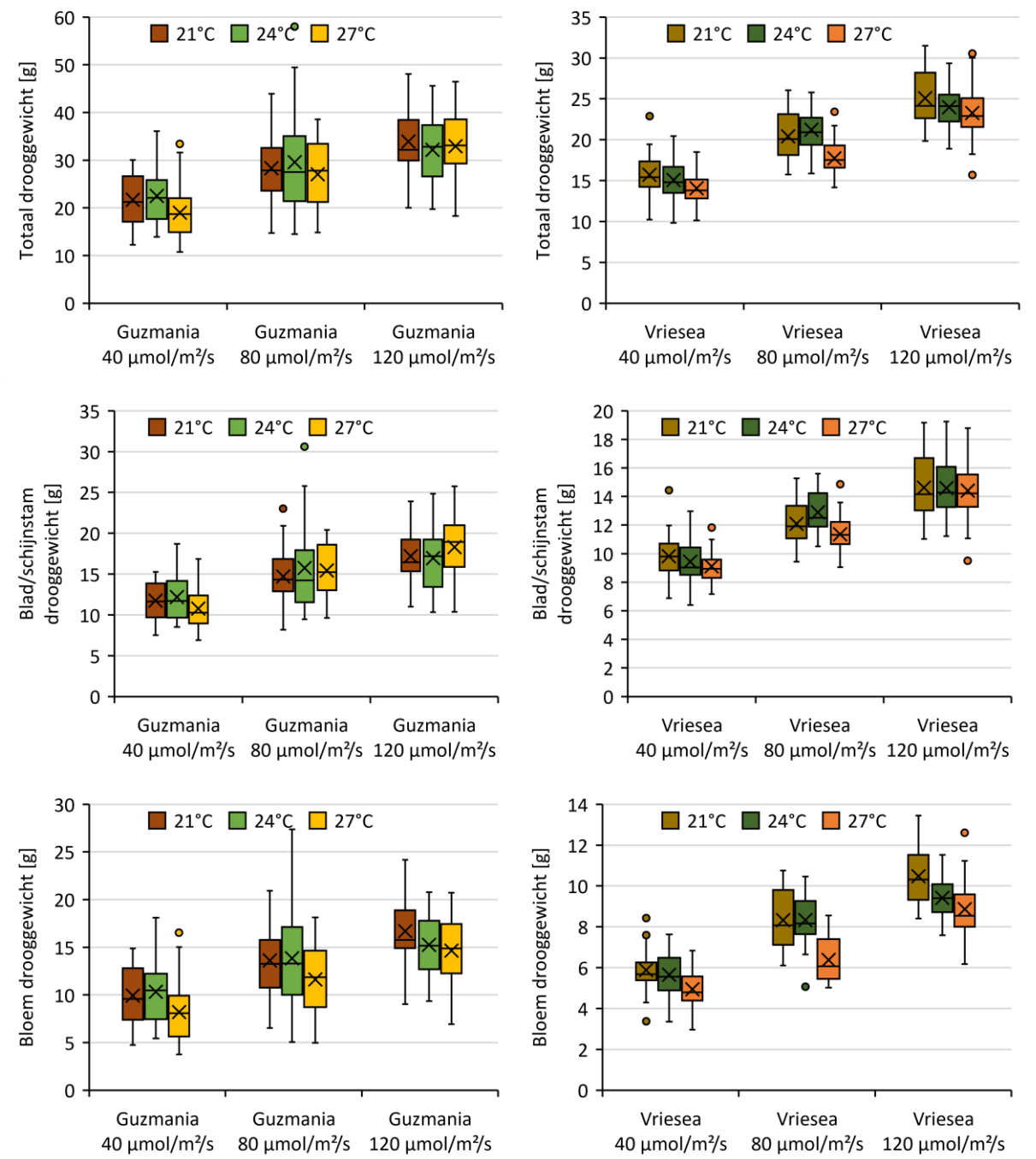
<-- 10 planten (17.5 cm) -->

Locatie waar planten staan

NB enkel de tafels waar Vriesea op heeft gestaan staan hier weergegeven, Guzmania is hetzelfde enkel dan gespiegeld

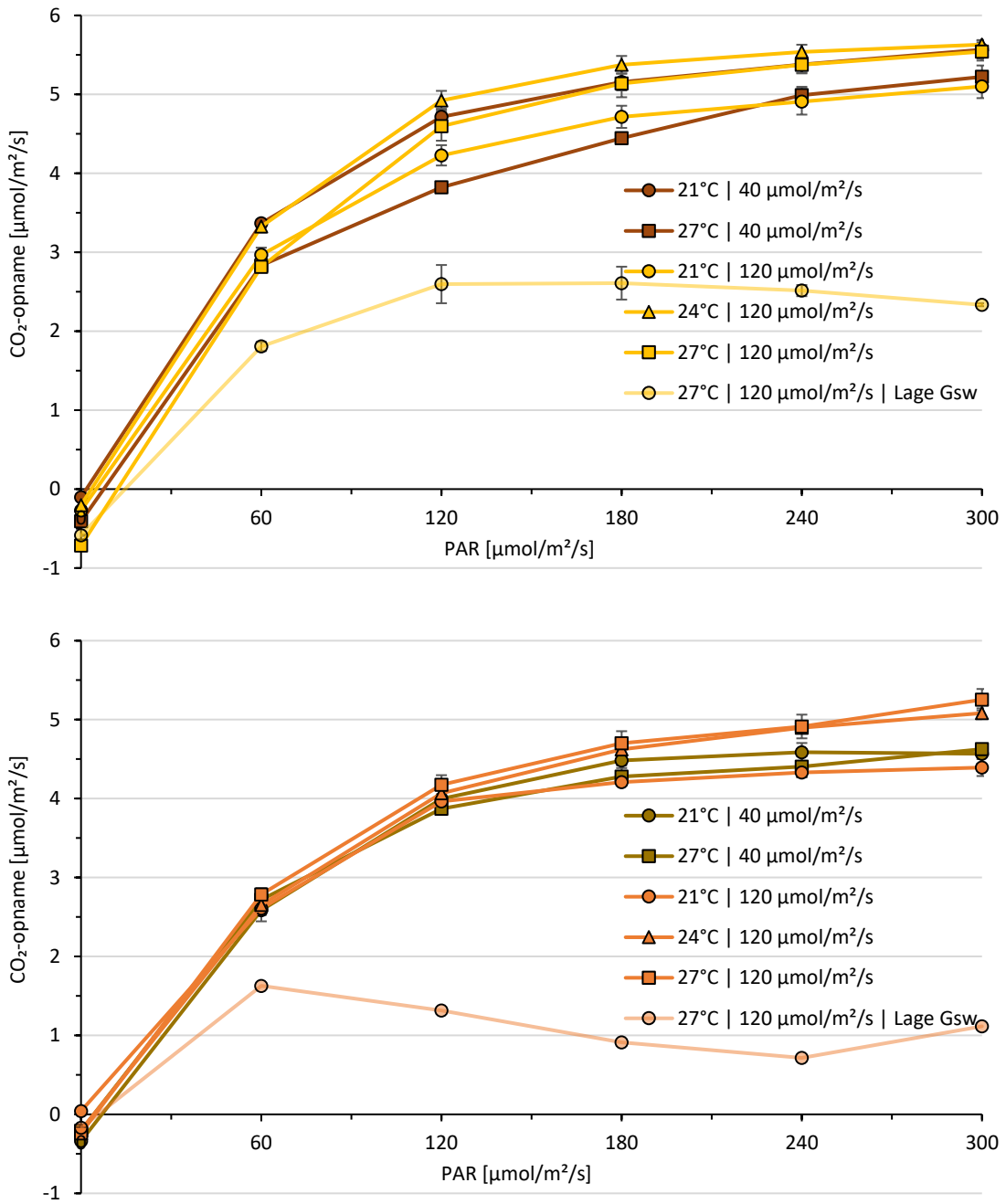
Figuur 22. Het plantschema voor de verschillende plantdichtheden. Op iedere tafel staan ook de lichtverdelingen weergegeven. In het plantschema is er zo veel mogelijk rekeningen gehouden om de licht verdeling zo uniform mogelijk te houden. Op de gekleurde velden hebben planten gestaan, aan de velden waar nummers bij staan zijn ook daadwerkelijk planten gemeten (andere zijn randplanten). Bij 32.2 pl/m² moest de tafel geheel gevuld worden waardoor de lichtintensiteit op sommige posities wat meer afwijkt van het gemiddelde. Bij de 3-weekelijkse oogst van 30 planten per tafel zijn die posities het eerst leeggelaten.

Bijlage 2: Boxplots eindoogst



Figuur 23. Boxplots van het totaal-, blad/schijnstam- (vegetatief deel plant) en bloemgewicht bij eindoogst. De boxplots dienen als volgt gelezen te worden: kruis is gemiddelde waarde, horizontale streep in gekleurde box is de mediaan (meest voorkomende gewichtsklasse), boven- en onderkant gekleurde box zijn grenzen eerste en derde kwartiel gewichtsklassen, en verticale zwarte strepen geven minimale en maximale gewichtsklasse-grenzen aan exclusief de uitschieters, welke als gekleurde stippen weergegeven worden. De 27°C behandeling bij vooral Vriesea levert in op bloemgewicht, en in veel mindere mate op blad/schijnstam gewicht. Guzmania lijkt ook in te leveren op bloemgewicht, al is dit in veel mindere mate.

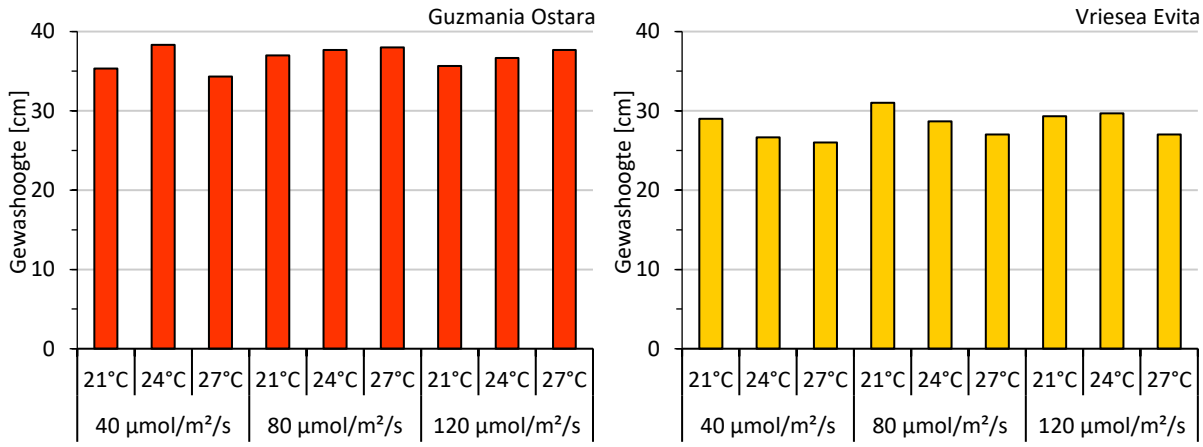
Bijlage 3: Lichtrespons van de fotosynthese



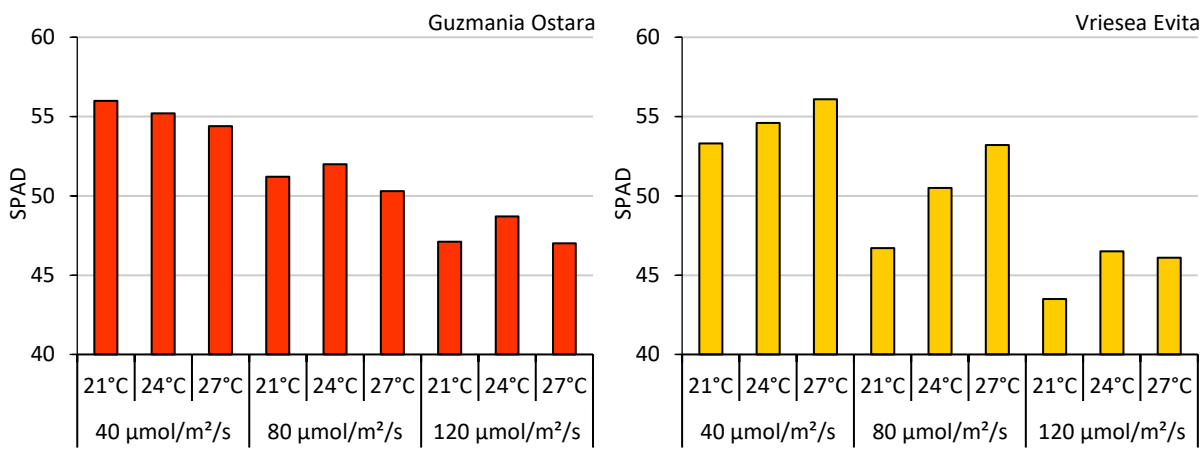
Figuur 24. Gemiddelde lichtrespons van de CO_2-opname bij 800 ppm CO_2 voor bloei-inductie (dag 100) voor de verschillende gemeten behandelingen. Inclusief SEM errorbars. Grafiek boven: Guzmania, grafiek onder: Vriesea. De absolute verschillen tussen de behandelingen zijn beperkt. Wel lag de fotosynthese veel lager bij bladeren met een lage huidmondjes-geleidbaarheid (lage Gsw).

Figuur 25. Fotosynthese-metingen met de Li-6800 fotosynthesemeter.

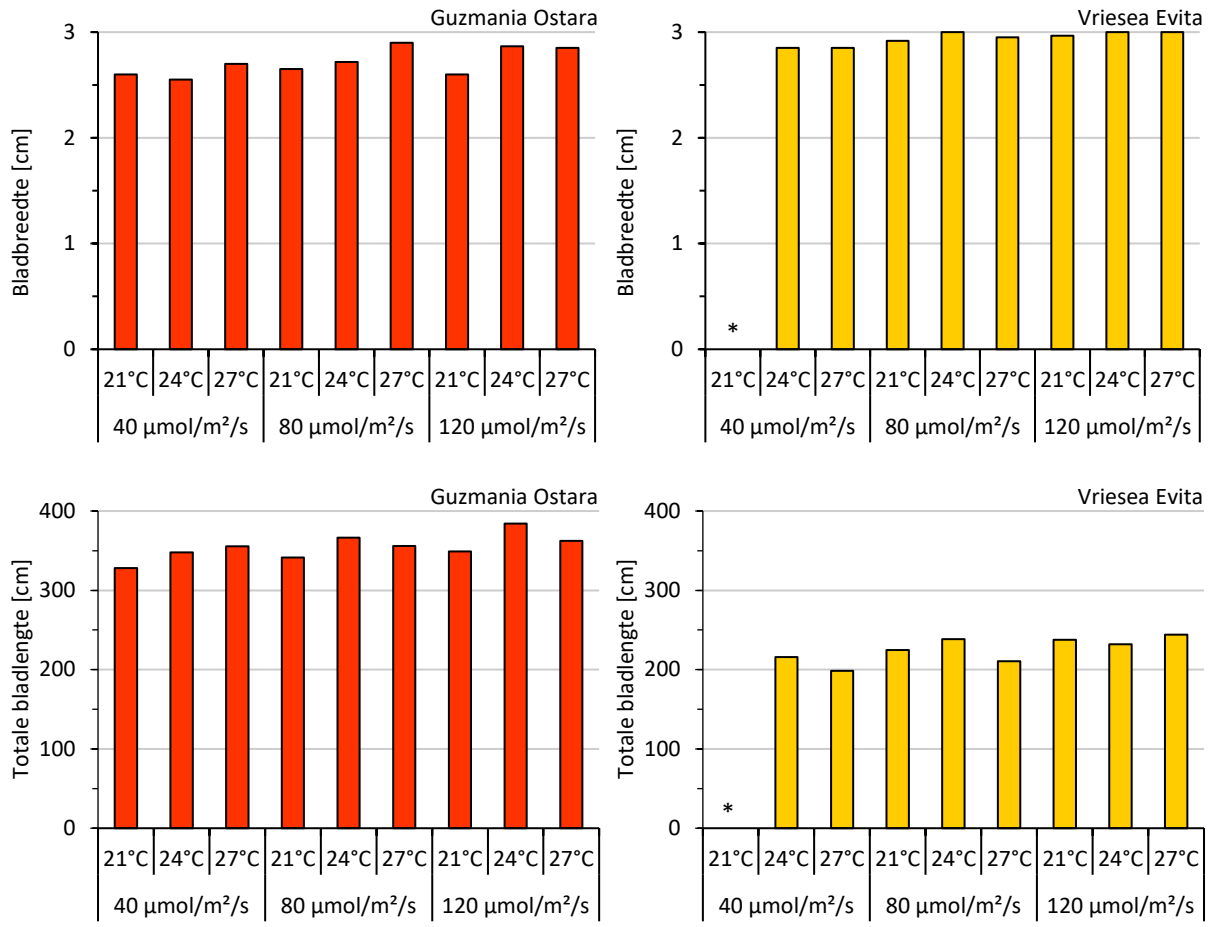
Bijlage 4: Overige metingen



Figuur 26. Gewashoogte op dag 122 (7-feb) van de teelt. Geen patronen te zien van behandelingen.



Figuur 27. SPAD (meting voor chlorofylconcentratie, mate van groenheid van het lichtonderscheppend blad). Gemeten op dag 157 (14-mrt). Naarmate de belichtingsintensiteit toeneemt neemt de groenheid (SPAD) af. Bij Vriesea worden de planten donkerder naarmate de etmaal temperatuur hoger ligt. De resultaten van de meting op 18 februari waren zeer vergelijkbaar (data niet in dit raspport).



*Figuur 28. Bladbreedte en bladlengte gemeten aan 6 planten per behandeling. *incorrect gemeten. Dag 127 (12-feb). De effecten zijn klein. Er lijkt enig effect van meer belichting op de bladbreedte te zijn.*

Bijlage 5: Foto's plantontwikkeling

Figuur 29. Vriesea Evita (links) en Guzmania Ostara (rechts) bij start proef op 08 oktober 2018.

Figuur 30. Vriesea Evita (links) en Guzmania Ostara (rechts) bij eindoogst op 09 mei 2019 na 213 dagen te zijn geteeld bij 24°C en 80 µmol/m²/s belichting.

64 dagen na start proef

106 dagen na start proef

148 dagen na start proef

190 dagen na start proef

Figuur 31. Guzmania Ostara in verschillende ontwikkelingsstadia geteeld bij 24°C en 80 µmol/m²/s belichting. Vanaf dag 64 zijn de intervallen tussen de foto's 6 weken. Eindoogst van deze behandeling was 213 dagen na start proef.

64 dagen na start proef

106 dagen na start proef

148 dagen na start proef

190 dagen na start proef

Figuur 32. Vriesea Evita in verschillende ontwikkelingsstadia geteeld bij 24°C en 80 µmol/m²/s belichting. Vanaf dag 64 zijn de intervallen tussen de foto's 6 weken. Eindoogst van deze behandeling was 213 dagen na start proef.