

Chrysant in balans



Maart 2019

S.A.J. van den Boogaart, S.W. Hogewoning, R. Muilwijk, G. Trouwborst, C. Rappoldt en A. Schapendonk

Chrysant in balans

Maart 2019

S.A.J. van den Boogaart¹, S.W. Hogewoning¹, R. Muilwijk¹, G. Trouwborst¹, C. Rappoldt² en A. Schapendonk³

¹Plant Lighting B.V., Veilingweg 46, 3981 PC Bunnik
info@plantlighting.nl

²EcoCurves B.V., Kamperfoelieweg 17, 9753 ER Haren
kees.rappoldt@ecocurves.nl

³Photosyntax B.V., Englaan 8, 6703 EW Wageningen
ad@photosyntax.nl

REFERAAT

S.A.J. van den Boogaart, S.W. Hogewoning, R. Muilwijk, G. Trouwborst, C. Rappoldt en A. Schapendonk. 2019. Chrysant in balans. Plant Lighting B.V., Bunnik. 78p.

Financiering:



Ministerie van Economische Zaken



**Gewascommissie
Chrysant**

Sponsoring stekken:



Uitvoering project:



© 2019 Plant Lighting B.V.

Dit rapport is tot stand gekomen in opdracht van Kas als Energiebron en de Gewascommissie Chrysant. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Plant Lighting B.V. en de bovengenoemde opdrachtgevers.

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

Samenvatting

De chrysantenteelt gebruikt veel elektriciteit. In 2013 was het aandeel 15% van het totale elektriciteitsgebruik binnen de Nederlandse tuinbouw, wat vergelijkbaar is met tomaat. Het doel van dit onderzoek is om energiebesparing te behalen in de chrysantenteelt. Dit zou verwezenlijkt kunnen worden door minder te belichten. Echter, wanneer is dit haalbaar binnen een teelt zonder opbrengst te verliezen?

Zoals bij ieder gewas moet voor een efficiënte lichtbenutting voor groei de assimilatie (source) in balans zijn met de vraag naar assimilaten (sink). Bij een gewas met een gedetermineerde groei, zoals chrysant, varieert de vraag naar assimilaten gedurende de ontwikkeling van het gewas. Bij uitgroei van de bloemen van troschrysant is de vraag zeer hoog, terwijl de vraag beduidend lager zal zijn na knopvorming, wanneer de hoofdtak tot stilstand komt en de zijtakken onder de top nog niet snel uitlopen. In die periode is het gewas mogelijk 'sinkgelimiteerd' en zou bespaard kunnen worden op belichting. Voorwaarde voor besparing op belichting zonder productieverlies is dan dat het gewas in zo'n periode geen koolhydraten-reserves aanmaakt die later weer gemobiliseerd kunnen worden als de vraag naar assimilaten hoger is.

We hebben een experiment uitgevoerd van half februari tot eind april 2018 in twee proefkassen (18 en 22°C), met per proefkas de twee cultivars Bacardi en Baltica, geplant op vijf verschillende dichtheden, 17, 35, 52, 70 en 87 pl/m². Er is belicht met 140 µmol/m²/s SON-T. De analyse bestond uit wekelijkse metingen aan stengel-, blad- en bloemgewicht, bladoppervlakte, aantal bladeren en aantal zijstengels. Ondersteund door koolhydratenanalyses plus fotosynthese metingen (licht- en CO₂-response curves). Deze metingen zijn gebruikt om een groeimodel te parametriseren waarmee het verloop de groei, de source en de sink zijn gesimuleerd. Vervolgens zijn met dat model de besparingsmogelijkheden berekend.

Een besparing van 7% (t.o.v. een variabele daglichtdrempel) of 25% (t.o.v. een vaste daglichtdrempel) op het elektriciteitsgebruik is mogelijk onder de volgende aannamen: (1) Er ontwikkelen zich geen lage zijtakken aan het begin van de teelt, (2) Gevormde reserves worden na enkele dagen gefixeerd en kunnen later niet alsnog worden gebruikt voor de uitgroei van zijtakken en bloemen. Met name de tweede aanname is cruciaal en de proef heeft aanwijzingen opgeleverd dat die niet correct is. Het lijkt erop dat opgebouwde reserves later weer zijn gebruikt voor groei. Dit betekent dat minder belichten bij een lagere vraag naar assimilaten alsnog tot een lagere productie leidt. Aan het eind van de teelt is er namelijk altijd een tekort aan assimilaten door de uitgroei van de zijtakken met bloemen bovenin het gewas. Eventuele reserves kunnen in die periode dus vermoedelijk weer worden gebruikt. Dan is besparen op belichting eerder in de teelt dus mogelijk geen verstandige maatregel, afhankelijk van de energieprijzen en eventuele meerprijs van zwaardere takken. De ontwikkeling van dit groeimodel voor chrysant biedt een breed scala aan mogelijkheden om de consequenties van teeltmaatregelen te berekenen.

Inhoudsopgave

SAMENVATTING	4
DANKWOORD	7
1 ACHTERGROND EN DOEL	8
1.1 Theoretische achtergrond source/sink balans	9
1.2 Leeswijzer.....	10
2 MATERIAAL EN METHODEN POTENTIËLE GROEI.....	11
2.1 Plantmateriaal.....	12
2.2 Teelt en klimaat	12
2.3 Metingen.....	12
2.4 Tijdlijn proef.....	15
3 MATERIAAL EN METHODEN OPSLAG RESERVES	16
3.1 Plantmateriaal.....	16
3.2 Teelt en klimaat	16
3.3 Metingen.....	17
3.4 Tijdlijn proef.....	18
4 RESULTATEN KAS PROEVEN	19
4.1 Source.....	19
4.2 Sink gewasontwikkeling	27
4.3 Sink Potentiële groei	29
4.4 Biomassa verdeling.....	30
5 DISCUSSIE KAS PROEVEN	32
6 MATERIAAL EN METHODEN MODEL	34
6.1 Fotosynthese	34
6.2 Plantontwikkeling.....	34
6.3 Groei.....	35
7 VERGELIJKING MODEL MET DE KASPROEF	37
7.1 Drooggewichten	37
7.2 Zijtakken.....	40
7.3 Bacardi en Baltica	40
8 SCENARIO BEREKENINGEN	42
8.1 Proefkas	42
8.2 Lichtere kas	44

8.3	Besparing op de belichting	45
8.4	Meer of minder belichting	50
9	DISCUSSIE MODEL STUDIE	52
9.1	Conclusie	52
9.2	Vervolg vragen	53
	REFERENTIES	54
	BIJLAGEN	55
	Bijlage 1: Plantschema vollegrond	55
	Bijlage 2: Plantschema potplantenkas (koolhydraten-proef)	57
	Bijlage 3: Carbohydrate analysis Chrysanthemum	59
	Bijlage 4: Specific leaf area (SLA)	60
	Bijlage 5: Gewasontwikkeling	61
	Bijlage 6: De virtuele kas	66
	Bijlage 7: Daglichtdrempel	67
	Bijlage 8: Effect van belichting bij 18°C	69
	Bijlage 9: Effect van belichting bij 22°C	74

Dankwoord

Dit onderzoek is ondersteund door het programma 'Kas als Energiebron', gefinancierd door het Ministerie van Economische Zaken en LTO Glaskracht Nederland en door de landelijke gewascommissie chrysant. Doelstelling is een efficiëntere benutting van licht en zoeken naar mogelijkheden voor energiebesparing, door kennis te ontwikkelen over het verloop van de balans tussen assimilatie en vraag naar assimilaten gedurende de teelt. Hiertoe is een groeiproef uitgevoerd op basis waarvan een groeimodel is geparametriseerd. Met dit model is berekend wat de mogelijkheden voor besparing en de consequenties voor gewasproductiviteit zijn. Het onderzoek is uitgevoerd onder leiding van Plant Lighting B.V. De groeiproef vond plaats in onderzoekskassen van Botany en de modelmatige berekeningen zijn uitgevoerd door Ecocurves B.V. en Photosyntax B.V.

We willen een aantal personen nog met name hartelijk bedanken voor hun bijdrage en inzet: Onderzoekscoördinatoren Leo Oprel (EZ) en Dennis Medema (LTO Glaskracht Nederland) van het programma 'Kas als Energiebron' voor kritische discussie over het onderzoeksvoorstel. Jan Barendse en zijn opvolger Aron Boerefijn (LTO Glaskracht) worden bedankt voor hun coördinerende rol bij dit project. Aike Post en Geert van Geest (Deliflor) worden bedankt voor het beschikbaar stellen van de stekken voor de proef en nuttige adviezen. De teeltmannen en onderzoekers van Botany worden bedankt voor hun inzet om de teelt goed te laten verlopen. Theo Roelofs (Delphy) wordt bedankt voor zijn teeltbegeleiding.

Maart 2019,

Sander Hogewoning

1 Achtergrond en doel

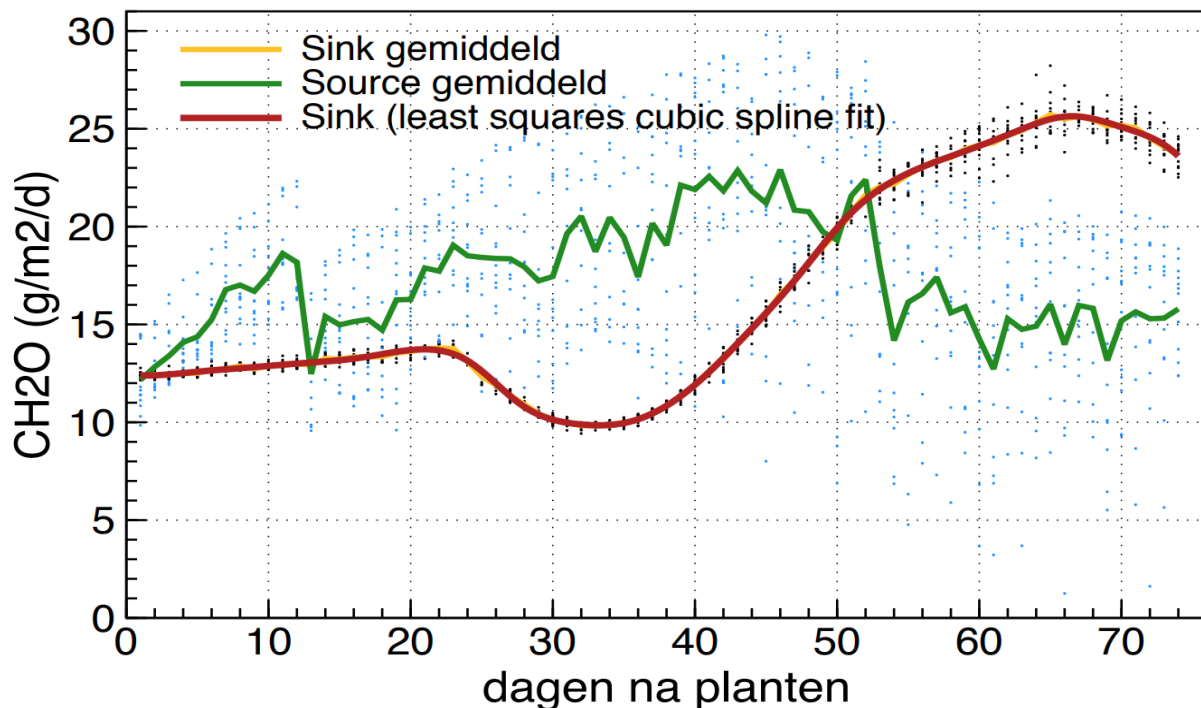
De chrysantenteelt is intensief en goed planbaar. Het elektriciteitsverbruik ligt hoog: in 2013 was het aandeel 15% van de totale consumptie binnen de glastuinbouw, dat is vergelijkbaar met dat van tomaat (LEI rapport 'Groei elektriciteitsconsumptie glastuinbouw', 2013). Door de afname van het areaal roos wordt chrysant wellicht zelfs het siergewas met het grootste elektriciteitsverbruik. Er zijn een aantal richtingen die kunnen leiden tot een forse afname in verbruik van elektriciteit, zonder verlies aan productiviteit of kwaliteit. De belangrijkste richtingen zijn:

- Gebruik van efficiëntere belichtingsarmaturen
- Meer/efficiënter gebruik van daglicht in de kas
- Niet meer belichten dan nodig en verstandig is

Waar de eerste twee genoemde richtingen vooral een uitdaging zijn voor fabrikanten van lampen en materialen, vergt de laatstgenoemde richting vernieuwende plantenfysiologische kennis, gecombineerd met een modelmatige aanpak. Dit rapport richt zich op de laatstgenoemde richting.

Idealiter wordt precies zoveel belicht dat (1) het licht zo efficiënt mogelijk in assimilaten wordt omgezet en (2) de assimilaten ten volle benut worden voor groei. Met andere woorden: 'source' (aanbod assimilaten) en 'sink' (vraag naar assimilaten) moeten perfect in balans zijn. Dit is een samenspel tussen licht en temperatuur en is afhankelijk van het gewasstadium (LAI en sinksterkte) en de CO₂ concentratie. Het liefst wordt een balans gevonden bij een hoge productiesnelheid (betere benutting investeringen) tegen zo laag mogelijk energieverbruik (kosten). Voor dit laatste is het binnenhouden van (latente) warmte van belang, echter wel binnen veilige grenzen, dat wil zeggen beperking ziektedruk en nog voldoende verdamping voor nutriënten-aanvoer. In het kader van een duurzame teelt valt te overwegen latente warmte actieve ontvochtiging terug te winnen door met behulp van een warmtepomp een wamtebuffer op te warmen om de kas mee te verwarmen.

Dit project beoogt het complexe samenspel van 'source' en 'sink' voor chrysant te kunnen beheersen via een combinatie van gericht onderzoek en modelmatige berekeningen om de potentiële groeisnelheid in beeld te brengen. Met deze kennis moeten chrysantentelers met minder belichting minimaal een vergelijkbare productie kunnen behalen. De verwachting is dat de gebalanceerde belichting aanzienlijke besparingen zal laten zien ten opzichte van de vaste belichting. De beoogde winst wordt verwacht tussen dag 20 en 48 van de teelt, dit is de periode waarbij de bladgroei aan de hoofdtak ten einde loopt (Rappoldt en Schapendonk, 2017). In die periode loopt de vraag naar assimilaten tijdelijk terug (figuur 1).



Figuur 1. Voorbeeld van hoe de dagelijkse source en sink van chrysant zou kunnen verlopen op basis van simulaties met startdag 41 (feb) met een plantdichtheid van 44 pl/m² in de periode 2003-2014. Nb. Deze simulatie is gedaan met een nog NIET goed geparametriseerd model in de voorstudie en daarom slechts indicatief. De curves zijn gebaseerd op het meerjarig gemiddelde. Het figuur geeft aan wanneer er, theoretisch, een overschot of een tekort is aan assimilaten. De berekening van de sinkontwikkeling is gedaan door afzonderlijke sinks (bladeren, internodiën, bloemen etc.) te berekenen op basis van ontwikkelingssnelheid (voorstudie: Rappoldt en Schapendonk, 2017).

1.1 Theoretische achtergrond source/sink balans

Plantengroei wordt grotendeels bepaald door de balans van 'source' en 'sink' en de sterkte hiervan (Li et al., 2015). De source van het gewas wordt bepaald door de fotosynthese van het gewas. Hier zijn de leaf area index (LAI), de hoeveelheid licht en de CO₂ concentratie de bepalende factoren. De sinksterkte van organen is de kracht waarmee ze assimilaten kunnen aantrekken, wat uitgedrukt kan worden als potentiële groeisnelheid (Schapendonk en Brouwer, 1984; Marcelis, 1996). In dit onderzoek, waarbij gekeken wordt naar chrysanten, is de grootste sink de knop en bloemvorming aan het einde van de teelt. Echter ook in mindere mate zijn zowel de hoofdtak, zijtakken als jong blad ook sinks in eerdere stadia van de teelt.

Afhankelijk van de source-sink balans worden de assimilaten op verschillende manieren benut. In geval van de sinkgelimiteerd gewas (meer productie van assimilaten dan vraag naar assimilaten) worden assimilaten niet direct benut voor groei, en wordt mogelijk de fotosynthese-efficiëntie ook lager. Zoiets is mogelijk te verwachten bij troschrysant op het moment dat de hoofdtak stopt met groeien en knop gaat vormen, maar de zijtakken onder de top nog niet snel uitlopen (rond dag 30-40 na planten, zie figuur 1). Echter, in deze periode worden de verwachte overschotten aan assimilaten mogelijk opgeslagen in de bladeren en/of stengels in de vorm van fructanen en zetmeel. De vraag is in dat geval of die reserves in een

later stadium, wanneer de vraag naar assimilaten weer toeneemt, weer gemobiliseerd kunnen worden voor groei of niet. Kennis over het verloop van de source/sink balans van chrysant gedurende de teelt, de mogelijkheid tot opslag van reserves en de mogelijkheid tot latere benutting van reserves is benodigd om te kunnen bepalen of en wanneer op bepaalde momenten in de teelt minder belicht kan worden zonder dat dat veel invloed heeft op de productie.

1.2 Leeswijzer

Het eerste deel van het rapport (hoofdstuk 2- 5) beschrijft het experimentele gedeelte van het onderzoek naar potentiële groeisnelheid uitgevoerd in proefkassen. Dit dient vooral als bron van gegevens benodigd voor de modelberekeningen. Vervolgens wordt omschreven hoe die metingen zijn gebruikt om het model te verfijnen en de belangrijke modelparameters te bepalen voor de gebruikte cultivars Bacardi en Baltica (Hoofdstuk 6), het resultaat hiervan wordt in Hoofdstuk 7 beknopt beschreven. In Hoofdstuk 8 staan de resultaten van scenario berekeningen, waarbij het verloop van de source en de sink voor verschillende plantdatums is uitgerekend met behulp van simulaties over een periode van 12 jaar (2003-2014). Hoofdstuk 9 sluit af met een discussie van de resultaten en conclusies.

2 Materiaal en methoden | Potentiële groei

Er is een onderzoek gedaan van 10 weken in de (voorjaars)teelt van chrysant. Hieronder wordt de proefopzet puntsgewijs weergegeven. In de erop volgende paragrafen wordt een toelichting gegeven.

- Trays met stekplanten zijn in het juiste startstadium aangeleverd door Deliflor Chrysanten.
- De planten zijn onder gecontroleerde omstandigheden verder gekweekt in 2 proefkassen van ~300 m² netto ieder bij Botany te Meterik (Foto 1).
- In iedere proefkas lagen 4 bedden van 20*1.38 m (27.6*4=110.4 m²). Er zijn twee cultivars onderzocht, Bacardi en Baltica.
- De cultivars zijn op 5 verschillende plantdichtheden geplant (17, 35, 52, 70 en 87 pl/m²)
- Het klimaat is in beide proefkassen hetzelfde met uitzondering van de temperatuur (18 en 22°C), wat een behandeling is. Hierbij is de VD hetzelfde gehouden voor beide behandelingen.

Het bovenstaande resulteerde in twintig behandelingen, waarbij de behandelingen verschillen in temperatuur, cultivar, en plantdichtheid. Hierbij staat centraal om tussen de behandelingen verschillen te creëren in de source-sink ratio. Hiervoor diende plantdichtheid als middel om verschillen in source te creëren. Waarbij de temperatuur diende als middel om verschillen in sinksterkte te creëren.



Foto 1. Planten net na planten in de proefkassen te Meterik. De plantdichtheden verschillen per plotje.

2.1 Plantmateriaal

Van de cultivars Bacardi en Baltica zijn groeicurves over de tijd bepaald, startende vanaf het stek materiaal. Na aankomst te Meterik zijn de stekken op de respectievelijke plantdichtheden gezet, verdeeld over de twee proefkassen. In het plantschema is in acht genomen dat de cultivars mogelijk kunnen verschillen in morfologie waardoor de keuze is gemaakt de kas in twee gelijke helften onder te verdelen voor de cultivars. In bijlage 1 staat het plantschema weergegeven.

2.2 Teelt en klimaat

Zie tabel 1 voor specificaties van de teelt en tabel 2 voor de gerealiseerde klimaatinstellingen. Gedurende de teelt zijn er ook ALARbespuitingen uitgevoerd, waarbij meer ALAR gedoseerd is bij de hogere plantdichtheden om de plantlengte tussen de behandelingen zo gelijk mogelijk te houden.

Tabel 1. Teeltdetails.

Dichtheden	17, 35, 52, 70 en 87 pl/m ² (met minimaal 350 planten per behandeling)
Cultivar	Bacardi en Baltica
Substraat	Volle grond + meegeleverd perskluitje
Bedbreedte	138 cm
Watergift	De watergift en bemesting is naar behoefte uitgevoerd

Tabel 2. Klimaatinstellingen.

Parameter	Afdeling 21 (18°C)	Afdeling 22 (22°C)
Temp.	18°C D/N	22°C D/N
CO ₂	700-800 ppm	700-800 ppm
RV	80-85% D/N	85% D/N
VPD	0.4-0.5 kPa	0.4-0.5 kPa
Belichting	140 µmol/m ² /s (uitschakelen bij >375W/m ² instraling)	140 µmol/m ² /s (uitschakelen bij >375W/m ² instraling)
Belichtingstijd	10 dagen LD (22:00-18:00uur) daarna KD (07:00-18:00uur)	10 dagen LD (22:00-18:00uur) daarna KD (07:00-18:00uur)

2.3 Metingen

Ten behoeve van de bepaling van de source/sink balans zijn de volgende metingen verricht:

2.3.1 Gewasmetingen

Ten behoeve van de sink-berekeningen zijn de groeicurves bepaald voor plantlengte, voor vers- en drooggewicht van stengel, blad en bloemen en voor het aantal bladeren. De LAI (m² bladoppervlakte per m² grondoppervlakte) is ook gemeten ten behoeve van de source-berekening. Al deze metingen zijn wekelijks gedaan vanaf de eerste tot en met laatste teeltweek. Voor deze metingen werden planten net boven de perskluit afgeknipt, waarbij de

oogst telkens per dichtheid werd uitgevoerd. Bij ieder meetmoment werd minimaal één rij randplanten aangehouden, dit zowel aan de buitenranden van het plantbed als aan de zijde waar een week eerder geoogst is geweest. Het bepalen van de parameters is iedere week als volgt gedaan:

- Lengte hoofdstengel: aantal cm van snijvlak tot apex/bloemknop.
- Aantal bladeren: aantal bladeren waarvan de bladschijf langer dan 4 cm is.
- Bladgewicht hoofdstengel: alle bladeren groter dan 4 cm zijn samengevoegd en gewogen.
- Stengelgewicht hoofdstengel: hoofdstengel en alle zijstengels korter dan 5 cm en blad kleiner dan 4 cm tezamen gewogen.
- Bloem/knopgewicht: alle knoppen zijn geplukt, samengevoegd en gewogen.
- Bladgewicht zijstengel: alle bladeren groter dan 3 mm zijn samengevoegd en gewogen.
- Stengelgewicht zijstengel: zijstengels langer dan 5 cm en blad kleiner dan 3 mm tezamen gewogen.
- Aantal zijstengels: alle zijstengels langer dan 5 cm.
- Aantal bladeren zijstengels: alle bladeren groter dan 3 mm.
- Dikte hoofdstengel: aantal mm op breedste punt.
- Bladoppervlakte: van één tak per behandeling zijn bladeren van de hoofdstengel en zijstengels afzonderlijk van elkaar gefotografeerd. Deze foto's zijn later geanalyseerd in ImageJ om de bladoppervlakte te bepalen.

Verder zijn tweewekelijkse line-up foto's van gehele takken om het ontwikkelingsstadium vast te leggen.

Aan de hand van de bladoppervlakte bepalingen is er een gemiddelde SLA (specific leaf area) over de gehele teelt vastgesteld per behandeling, door bladoppervlakte te delen door blad-drooggewicht. Vervolgens is hiermee de LA (leaf area) per teeltweek berekend voor alle andere gemeten takken.

2.3.2 Lichtuitdoving

Ten behoeve van de source-berekening is voor alle behandelingen de lichtonderschepping vastgelegd. De lichtverdeling in het gewas is rond dag 20, 40 en 60 na planten gemeten. Met behulp van een lijnsensor (LI-191R line quantum sensor) is de lichtintensiteit op verschillende gewashoogtes bepaald. Deze meting is uitgevoerd onder 100% HPS licht met de verduisteringsdoeken dicht. Vervolgens is de Monsi-Saeki (1953) vergelijking gebruikt om de extinctiecoëfficiënt te bepalen:

$$I = I_0 e^{-k \cdot LAI}$$

Waarbij I de intensiteit is op een bepaalde meethoogte, I_0 is de lichtintensiteit boven het gewas en LAI is de overliggende LAI op een bepaalde meethoogte. Voor de LAI is de aanname gedaan dat deze gelijkmatig is verdeeld over de gewashoogte. In werkelijkheid zal dat niet zo zijn, maar een preciezere bepaling zou erg bewerkelijk geweest zijn en relatief weinig effect op de uiteindelijke uitkomsten van de modelberekeningen hebben gehad.

2.3.3 Bladfotosynthese

Ten behoeve van de source-berekening zijn op drie momenten tijdens de proef fotosynthesemetingen uitgevoerd (rond dag 20, 40 en 60 na planten). Deze metingen waren uitgevoerd met de Li-6400 fotosynthese-meetapparatuur met de gesloten bladkamer. De lichtresponse curves zijn uitgevoerd bij 800 ppm CO₂ en de CO₂-response curves bij 1000 µmol/m²/s PAR (10% blauw, 90% rood). De gemeten curves dienen als input voor de fotosynthese-module van het kas-gewasmodel. De fotosynthese-module werkt op basis van het Farquhar, von Caemmerer & Berry model (1980). De lichtrespons van de fotosynthese wordt hierbij beschreven door een zogenaamde non rectangular hyperbola van Thornley (1976):

$$P_n = -R_d + \frac{\alpha \cdot PPF + P_{\max} - \sqrt{((\alpha \cdot PPF + P_{\max})^2 - 4\theta \cdot \alpha \cdot PPF \cdot P_{\max})}}{2\theta}$$

Waarbij P_n staat voor netto fotosynthese, R_d staat voor dark respiration, PPF voor photosynthetic photon flux, $P_{\max}$ voor fotosynthese-capaciteit, α voor initiële efficiëntie van de fotosynthese, θ is een scalingsconstante tussen de initiële helling en $P_{\max}$. De CO₂-respons van de fotosynthese is gemeten om maximale carboxylatie-efficiëntie ($V_{\max}$) te bepalen (zie o.a. Yin et al 2004).

2.3.4 Klimaatmetingen

Het klimaat is gemonitord door middel van klimaatboxen waarbij de temperatuur, RV en het CO₂-gehalte om de 5 minuten zijn gelogd. De beide meetboxen in de 18°C en 22°C afdeling zijn gecontroleerd door met externe sensoren een week lang 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 de transmissie van de kas bepaald door over meerdere dagen de PAR op gewasniveau op drie verschillende locaties in de kas te loggen en te vergelijken met de hoeveelheid PAR buiten de kas (op basis van de Solarimeter).

2.3.5 Statistische analyse

De destructieve metingen waren gebaseerd op 5 meetmonsters per behandeling ($n=5$), waarbij twee of meer takken per monster geclusterd waren. Dus minimaal 10 takken per meetweek per behandeling. De hoeveelheid takken die geclusterd werden per monster startte met vier in teeltweek 2 & 3 (20 takken per behandeling), werd verminderd tot drie in teeltweek 4 & 5 (15 takken per behandeling) en vervolgens naar twee in teeltweek 6 en verder (10 takken per behandeling). De effecten van temperatuur en dichtheid op de gemeten respons variabelen zijn via een two-way ANOVA geanalyseerd gevolgd door de Fisher's protected least significant difference test (l.s.d) op 95% betrouwbaarheid.

2.4 Tijdlijn proef

In tabel 3 staan de belangrijkste teelthandelingen vermeld.

Tabel 3. Tijdlijn proef.

datum	handeling
14-2-2018	0 meting / start proef
16-2-2018	Stek geplant in de kas
26-2-2018	Korte dag gestart + extra belichting geïnstalleerd
5-3 / 9-3	Takken beginnen zijtakken te vormen (in de laagste plantdichtheden)
19-3 / 23-3	Knopvorming zichtbaar
30-3-2018	Hoofdknoppen uitgenomen
16-4-2018	Eindoogst Bacardi 22°C
19-4-2018	Eindoogst Bacardi 18°C
24-4-2018	Eindoogst Baltica 18°C
25-4-2018	Eindoogst Baltica 22°C

3 Materiaal en methoden | Opslag reserves

Parallel aan het onderzoek van 10 weken naar de late winter/begin voorjaarsteelt van chrysant, is er ook een proef gedaan om na te gaan of er reserves worden opgebouwd. Deze proef is uitgevoerd in een aparte proefkas. De doelstelling is achterhalen of chrysant een overschot aan assimilaten opslaat in een sinkgelimiteerde periode van de teelt, en of die assimilaten weer worden gemobiliseerd in een latere periode met meer vraag naar assimilaten. De planten zijn in potten gekweekt op teelttafels in verschillende plantdichtheden. Op dag 40 van de teelt zijn alle planten ontpot en op een dichtheid van 52 pl/m² in de vollegrond geplant, zodat vanaf die periode de takken dezelfde assimilatenproductie hebben. In theorie zouden dan vanaf dag 40 de takken enkel verschillen in de hoeveelheden opgeslagen koolhydraten. De vraag was of die reserves later in de teelt in meer of mindere mate worden opgebruikt. Hieronder wordt de proefopzet weergegeven. In de erop volgende paragrafen wordt een toelichting gegeven. In bijlage 2 staat het plantschema weergegeven.

3.1 Plantmateriaal

Bij aankomst te Meterik zijn de stekken op de respectievelijke plantdichtheden gezet (tabel 4) in potten (Ø10 cm) met potgrond. Hierbij zijn de potten op eb en vloed tafels geplaatst (afd. 44). De cultivars zijn van elkaar gescheiden in verband met mogelijke verschillen in morfologie. Zie de klimaatinstellingen Tabel 5 en het tijdschema van deze proef in Tabel 6.

3.2 Teelt en klimaat

Zie tabel 4 voor specificaties van de teelt en tabel 5 voor de gerealiseerde klimaatinstellingen.

Tabel 4. Teeltdetails.

Plantdichtheden	16, 34, 54, 71 pl/m ²
Substraat	Potgrond + meegeleverd perskluitje
Potgrootte	Ø10cm (1 liter)
Watering	De watering en bemesting is naar behoefte uitgevoerd

Tabel 5. Klimaatinstellingen, na teeltdag 40 zijn ze in afd. 22 geplaatst (zie tabel 2).

Parameter	Afdeling 44 (potplanten) geldig tot dag 40 daarna afd. 22 (22°C)
Temp.	18°C D/N
CO ₂	700-800 ppm
RV	80-85% D/N
VPD	0.4-0.5 kPa
Belichting	140 µmol/m ² /s (uitschakelen bij >400 W/m ² instraling; Nb. lage transmissie kas)
Belichtingstijd	10 dagen LD (22:00-18:00uur) daarna KD (07:00-18:00uur)

3.3 Metingen

3.3.1 Sampling

Voor de bepaling van de koolhydraten-reserve in de takken zijn er op teeltdag 40 (vlak voor verplanten), teeltdag 53 en bij eind oogst monsters genomen van de takken (8 takken per behandeling). Dit is op drie verschillende hoogtes gedaan, waarbij voor het blad enkel de top en midden bladeren zijn gemonsterd:

Top	→	van 10 tot 14 cm onder de kop
Midden	→	4 cm van het midden van de tak
Onder	→	van 10 tot 14 cm boven het snijvlak

Hierbij zijn telkens stukken van ± 4 cm stengel geknipt en 8 bladpionsjes van $\varnothing 1$ cm van de bladeren, waarbij de bladpionsjes zo min mogelijk op de nerven zijn genomen (figuur 2). Het gesampelde materiaal is daarna zo snel mogelijk in de vloeibare stikstof gedompeld alvorens het in de -80°C vriezer opgeslagen werd.



Figuur 2. Voorbeeld van de genomen monsters voor de koolhydraten analyse. (links: de gehele plant met de monsters omcirkeld; midden: de gemonsterde samples en de hoogtes waar deze zijn genomen; rechts: een blad waaruit sample-pionsjes gesneden zijn).

3.3.2 Koolhydraten analyse

De koolhydraten analyse is uitgevoerd met een HPLC (high pressure liquid chromatography) op het lab te Wageningen volgens een biochemisch protocol voor de analyse van suikers, fructanen en zetmeel (bijlage 3). Er is in de verschillende plantendelen gemeten wat het gehalte is aan oplosbare suikers, fructanen en zetmeel.

3.3.3 Statistische analyse

Zie hoofdstuk 2.3.5, waarbij de analyse gebaseerd is op 8 takken per behandeling (n=8).

3.4 Tijdslijn proef

In tabel 6 staan de belangrijkste teelthandelingen vermeld.

Tabel 6. Tijdslijn proef.

datum	handeling
15-2-2018	Start proef
16-2-2018	Stek geplant in de potten
26-2-2018	Korte dag gestart
5-3 / 9-3	Takken beginnen zijtakken te vormen
19-3 / 23-3	Knopvorming
29-3-2018	Uitgeplant naar volle grond kas 22 °C (alles 52pl/m ² ; figuur 3)
29-3-2018	Dag 40 koolhydratensamples genomen
30-3-2018	Hoofdknoppen uitgenomen
11-4-2018	Dag 53 koolhydratensamples genomen
17-4-2018	Eindoogst Bacardi; koolhydratensamples
26-4-2018	Eindoogst Baltica; koolhydratensamples



Figuur 3. Het plantbed na verplanten van potten naar volle grond (alle behandelingen op 52 pl/m²).

4 Resultaten | Kas proeven

4.1 Source

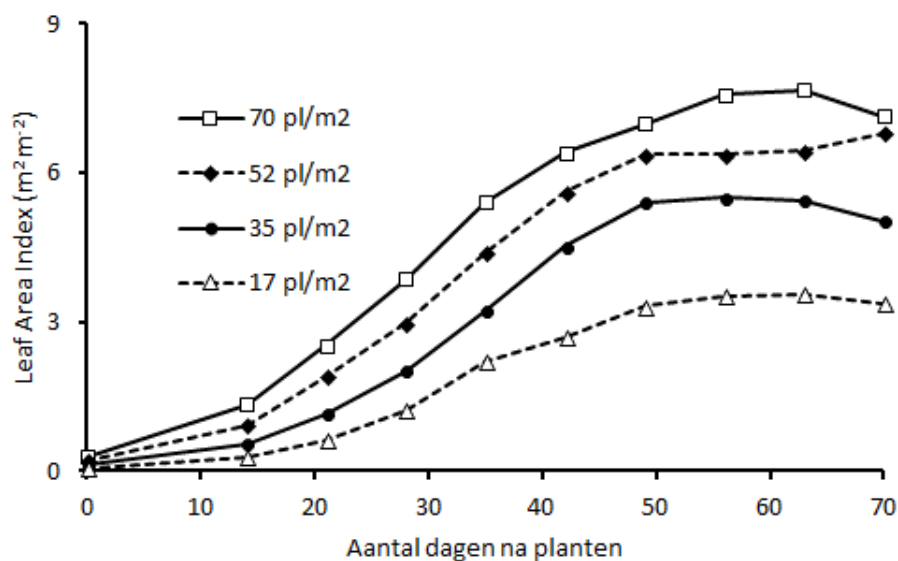
Om de gewasfotosynthese gedurende de plantontwikkeling van stek tot oogstbare tak te kunnen berekenen zijn de volgende parameters nodig:

- Klimaat
 - CO₂
 - Temperatuur
 - PAR boven gewas
- Leaf area index (LAI-m² blad/m² grond)
- Lichtverdeling in het gewas
- Fotosynthese-eigenschappen van individuele bladeren

Daarnaast is er nog een andere bron welke ook onder de source valt, de opgeslagen koolhydraten. De laatste drie uit het bovengenoemde rijtje en de koolhydraten opslag worden in het verslag verder toegelicht, waarbij de factoren die onder het klimaat vallen via de meetbox geregistreerd zijn en als input voor het model zijn gebruikt.

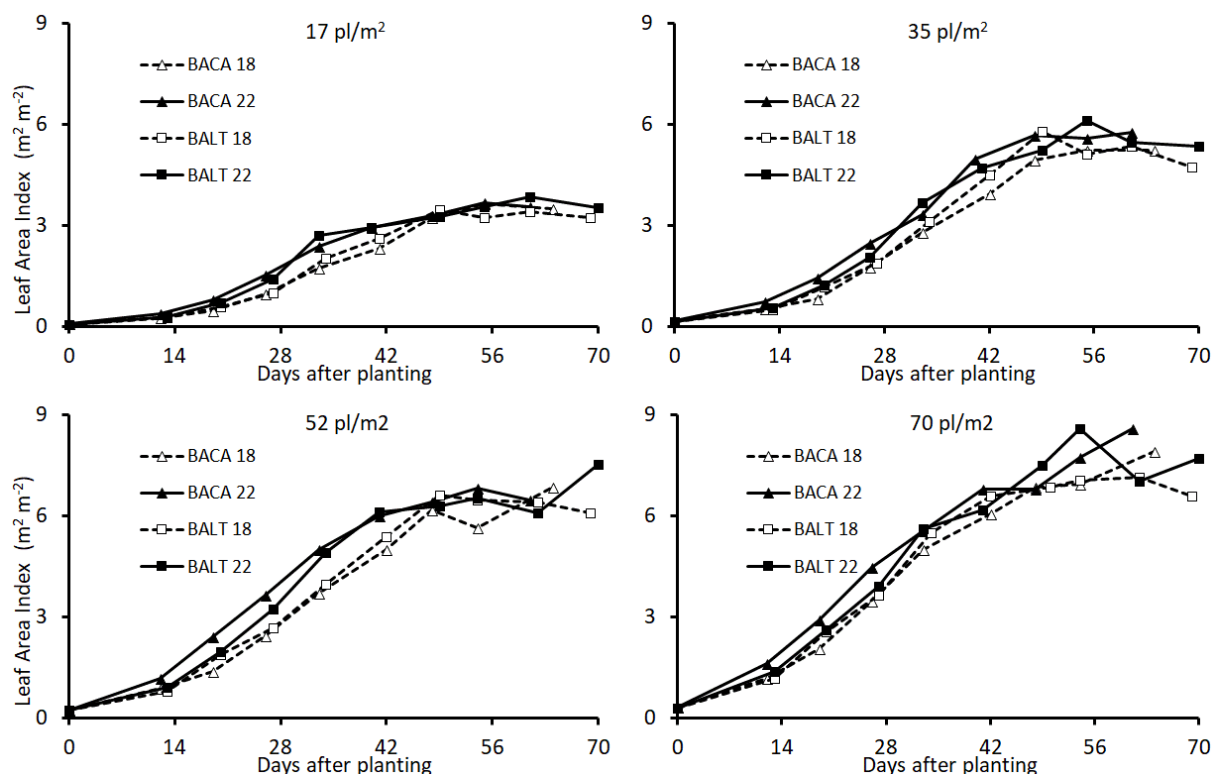
4.1.1 LAI

De leaf area index (LAI) in dit rapport is berekend op basis van de specific leaf area (SLA-m² blad per gram droog blad) maal het wekelijks gemeten drooggewicht van de bladeren. Per week is de SLA vastgesteld van één representatieve tak per behandeling, echter, de SLA waarmee gerekend is, is de gemiddelde waarde per behandeling voor alle teeltweken. Deze keuze is gemaakt doordat de SLA per meetmoment te veel varieerde (bijlage 4), waarbij hoe hoger de plantdichtheid, hoe hoger de SLA.



Figuur 4. Leaf Area Index (LAI) van chrysant voor 4 plantdichtheden over de tijd (n=20). De waarden per plantdichtheid zijn een gemiddelde voor de twee cultivars en twee temperaturen, omdat LAI voor deze factoren weinig verschilden (zie ook Figuur 5).

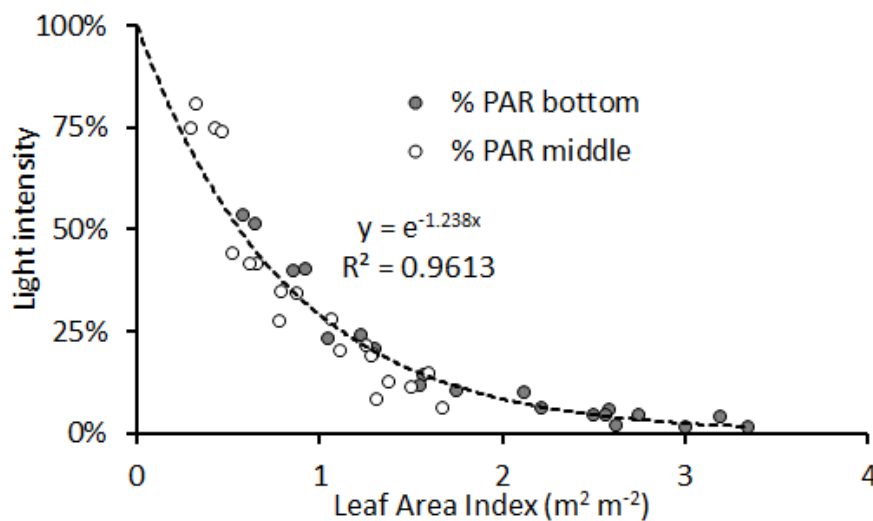
De LAI verschilde niet of nauwelijks tussen cultivar of temperatuur binnen een plantdichtheid (figuur 5). Wel ontwikkelde de LAI zich sneller bij 22°C dan bij 18°C. Het verschil vakt af bij het LAI-plateau voor de behandeling. De verschillen tussen de plantdichtheden zijn prominenter, waarbij (logischerwijs) hoe hoger de plantdichtheid hoe hoger de LAI (figuur 4). Desondanks neemt de lichtonderschepping voor het volgroeide gewas niet veel toe bij een hogere plantdichtheid, want wanneer de LAI 3 is levert dit al 90% lichtonderschepping op. Echter hoe hoger de plantdichtheid, hoe hoger de snelheid waarmee het gewas zich sluit en efficiënter gebruik kan maken van alle instraling. Verder valt op dat het gewas vanaf ongeveer dag 50 na planten geen bladontwikkeling meer heeft.



Figuur 5. Leaf Area Index (LAI) van de verschillende plantdichtheden met het effect van cultivar en temperatuur over de tijd. Ieder punt is het gemiddelde van één behandeling ($n=5$). BACA = Bacardi, BALT = Baltica, 18 & 22 is de temperatuur in °C. Ieder figuur representeert een van de plantdichtheden.

4.1.2 Lichtuitdoving

Op dag 20 na planten is voor het eerst lichtuitdoving bepaald. Bij deze eerste meting is het licht boven, in het midden en onder het gewas gemeten bij alle behandelingen, waarbij de gemiddelde plantlengte lag op 42 cm. De k-waarde (=maat voor lichtuitdoving, hoe hoger, hoe scherper de uitdoving) van dag 20 is uitzonderlijk hoog: 1.2 (figuur 6). De LAI is berekend als gemiddelde van de voorliggende en naliggende oogst voor deze k-waarde bepaling, mogelijk onderschat dit de LAI op dat moment wat de hoge k-waarde kan verklaren in verband met een niet lineaire toename van LAI over de tijd. Bovendien kan de k-waarde overschat zijn vanwege de aanname dat de LAI gelijkmatig verdeeld is over de lengte van de stengel, terwijl de bladeren onderin gemiddeld kleiner zullen zijn dan bovenin op dag 20.



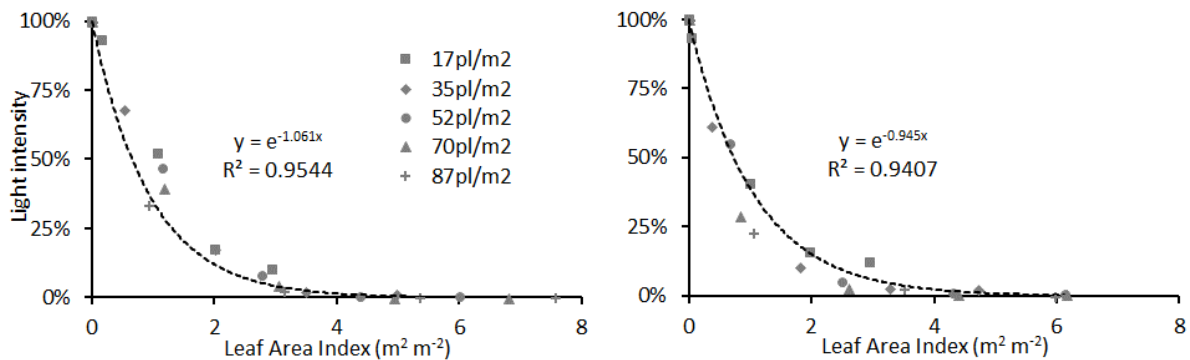
Figuur 6. Lichtuitdoving bij chrysant rond dag 20. Iedere punt is een gemiddelde waarneming ($n=4$) van de procentuele lichtintensiteit midden in (grijs) of onder het gewas (blauw). De waarnemingen zijn uitgevoerd bij beide temperaturen, cultivars en 5 plantdichtheden (2 kascompartimenten*2 cv's*5 dichtheden). De zwarte lijn geeft de exponentiele uitdoving van het licht weer over alle experimentele eenheden en meethoogtes. Let op: de lichtuitdoving is uitgezet tegen LAI, vandaar dat de lichtuitdoving voor verschillende plantdichtheden weinig kon verschillen (zie ook figuur 7 en 8).

Rond dag 40 en 60 vanaf planten is opnieuw de lichtuitdoving bepaald. De gemiddelde plantlengte van de gemeten plots lag toen respectievelijk op 76 cm en 82 cm. Daarom is op 5 hoogtes de lichtintensiteit bepaald: 0, 22.5, 45, 67.5 en 90 cm. De overliggende LAI is berekend door per plantdichtheid en cultivar een lineaire interpolatie te maken van de LAI ten opzichte van de lengte: dus bij een bepaalde meethoogte is de bovenliggende LAI berekend als:

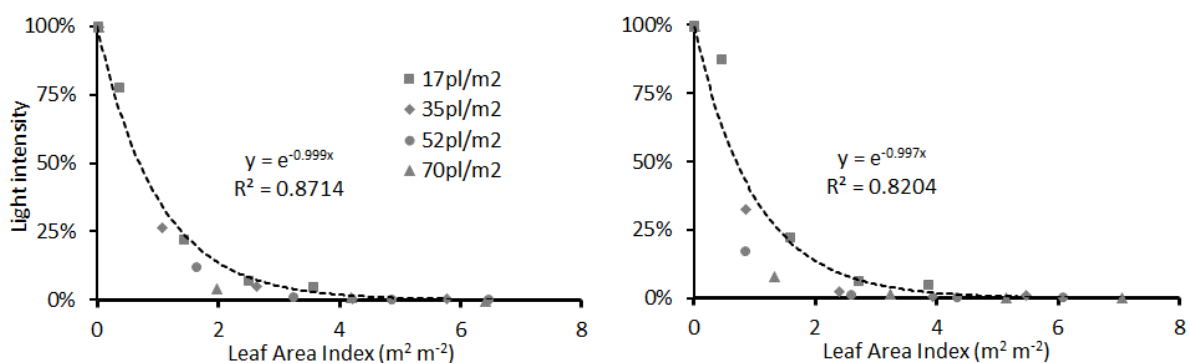
- $LAI * (\text{lengte tak minus meethoogte}) / \text{lengte tak}$

Per meethoogte zijn er op dag 40 en 60 respectievelijk 5-6 en 4-5 waarnemingen per plantdichtheid gedaan. Er is alleen gemeten in de 22°C-afdeling. De meetpunten met hoge LAI-waardes beïnvloeden de lijn dermate dat deze visueel niet door het gemiddelde van alle punten loopt. Op dag 60 was er al volop bloei aanwezig bij Bacardi en in mindere mate bij Baltica. De figuren 7 en 8 geven de resultaten weer voor respectievelijk dag 40 en 60, de volgende zaken vallen op:

- De gefitte k-waarde verschilt nauwelijks tussen beide cultivars en tussen beide meetperiodes.
 - Dit is opvallend omdat op dag 60 Bacardi volop in bloei stond en bij Baltica de bloemen halfopen waren. Hierdoor zou er een hogere k-waarde bij Bacardi verwacht worden.
- Op dag 40 liggen tot een LAI van 3 de k-waarden van de lichtuitdoving van de hoge dichtheden ruwweg lager en de meetwaarden van de lage dichtheden hoger. Aldus is de k-waarde iets onderschat bij de hoge dichtheden/overschat bij de lage dichtheden.



Figuur 7. Lichtuitdoving bij chrysant Bacardi (links) en Baltica (rechts) rond dag 40. Ieder punt is een gemiddelde waarneming ($n=5-6$) van de procentuele lichtintensiteit op 4 hoogtes in het gewas ten opzichte van de lichtintensiteit vlak boven het gewas. De waarnemingen zijn uitgevoerd bij één temperatuur, twee cultivars en 5 plantdichtheden (1 kascompartiment*2 co's*5 dichtheden). Per cultivar geeft de zwarte lijn de exponentiele uitdoving van het licht weer over alle experimentele eenheden en meethoogtes.



Figuur 8. Lichtuitdoving bij chrysant Bacardi (links) en Baltica (rechts) rond dag 60. Bacardi bloeide al volop, bij Baltica waren de bloemen half open. Ieder punt is een gemiddelde waarneming ($n=4-5$) van de procentuele lichtintensiteit op 4 hoogtes in het gewas ten opzichte van de lichtintensiteit vlak boven het gewas. De waarnemingen zijn uitgevoerd bij 1 temperatuur, twee cultivars en 5 plantdichtheden (1 kascompartiment*2 co's*5 dichtheden). Per cultivar geeft de zwarte lijn de exponentiele uitdoving van het licht weer over alle experimentele eenheden en meethoogtes.

4.1.3 Bladfotosynthese

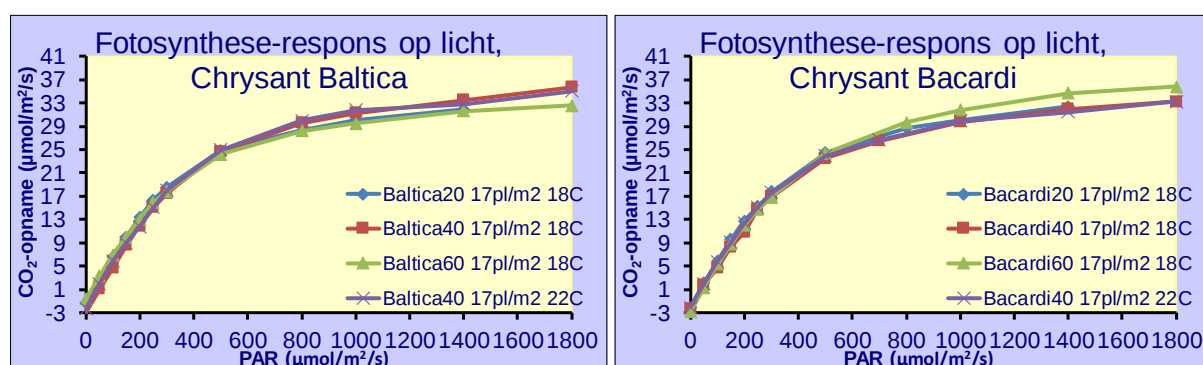
De volgende vragen aangaande het verloop van de fotosynthese-respons op lichtintensiteit en CO₂ stonden centraal:

- Effect van cultivar?
- Effect van teelttemperatuur?
- Effect van teeltweek (de lichtintensiteit van buiten neemt fors toe)?
- Effect van plantdichtheid (kans op sinklimitatie bij de lage dichtheden)?
- Effect van meethoogte in gewas?

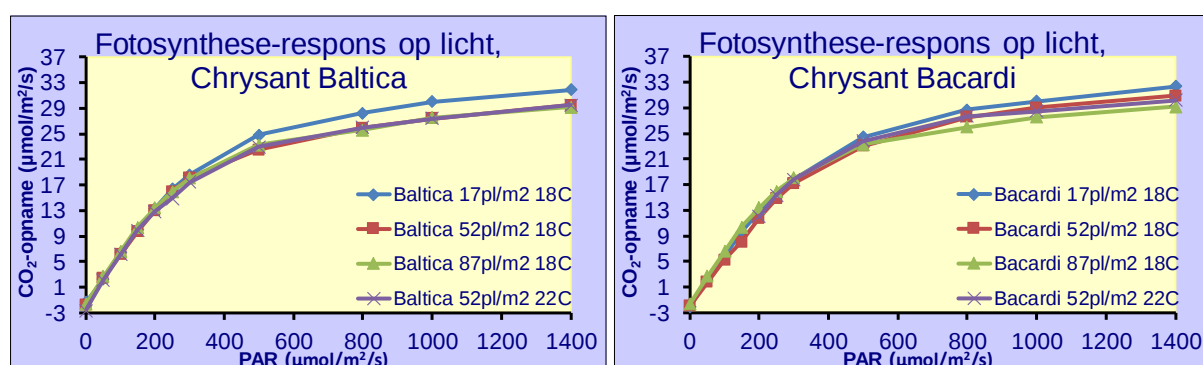
In tabel 7 wordt in woorden per deelvraag aangegeven wat het effect is. De bijbehorende figuren staan eronder weergegeven.

Tabel 7. Gestelde vragen en antwoorden met betrekking tot de lichtrespons van de fotosynthese.

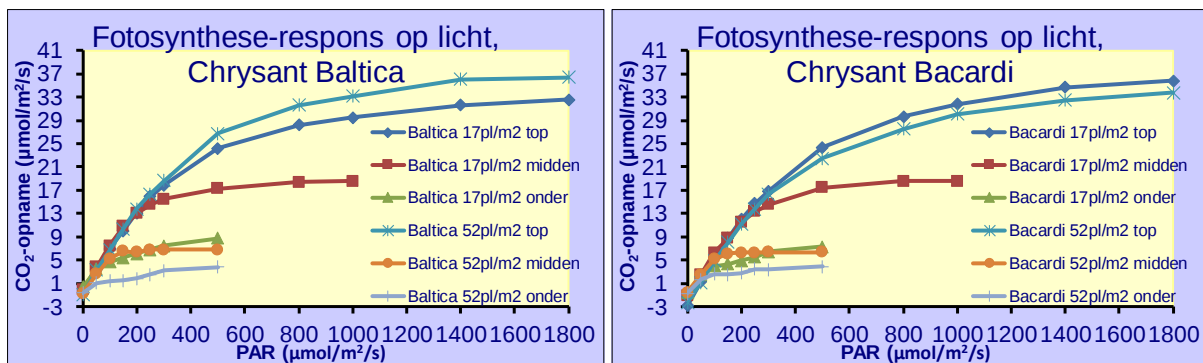
vraag	Effect op de lichtrespons van de fotosynthese
cultivar	Gedurende de drie meetmomenten waren er nauwelijks cultivarverschillen in de lichtrespons van de fotosynthese van onbeschaduwde topbladeren (Figuur 9&10&11).
teelttemperatuur	Op dag 20 en dag 40 is nagegaan of teelttemperatuur een effect had op de lichtrespons bij een bepaalde plantdichtheid. Dit bleek geen effect te hebben (Figuur 9&10).
meetperiode	Gedurende de drie meetmomenten zijn er nauwelijks verschillen in fotosynthese-capaciteit (Figuur 9).
plantdichtheid	Er is niet of nauwelijks een effect van plantdichtheid op de bovenste (onbeschaduwde) bladeren (Figuur 10).
meethoogte	Het effect van de meethoogte is groot en laat een interactie zien met de plantdichtheid: de maximale fotosynthese van de midden-bladeren ligt veel lager bij 52pl/m ² dan bij 17pl/m ² (Figuur 11).



Figuur 9. Lichtrespons van de bladfotosynthese van onbeschaduwde topbladeren van chrysant Baltica (links) en Bacardi (rechts) gedurende de groeiperiode 20, 40 en 60 dagen na planten in de 18°C kas. Tevens wordt de lichtrespons op dag 40 bij 22°C getoond. De metingen vonden plaats bij een CO₂-niveau van 800 ppm (n=3-6).



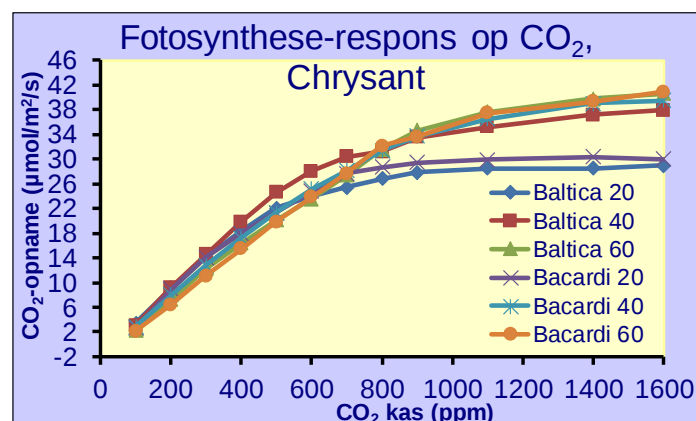
Figuur 10. Effect van plantdichtheid op de lichtrespons van de bladfotosynthese van onbeschaduwde topbladeren van chrysant Baltica (links) en Bacardi (rechts) 20 dagen na planten in de 18°C kas. Tevens wordt de lichtrespons op dag 40 bij 22°C getoond. De metingen vonden plaats bij een CO₂-niveau van 800 ppm (n=3-5).



Figuur 11. Effect van meethoogte op de lichtrespons van de bladfotosynthese van chrysant Baltica (links) en Bacardi (rechts) 40 dagen na planten in de 18°C kas. De metingen vonden plaats bij een CO₂-niveau van 800 ppm ($n=3-6$).

Het effect van de meethoogte laat een interactie zien met de plantdichtheid (Figuur 11). Halverwege het gewas halveert de fotosynthese-capaciteit (P_{max}) bij 17pl/m², terwijl de fotosynthesecapaciteit van de middenbladeren bij 52 pl/m² even laag uitkomt als de onderste bladeren van 17 pl/m²: ruwweg 80% lager dan de P_{max} van de topbladeren. Het verval in P_{max} is ruwweg gelijk voor beide cultivars. Bij de zwaar beschaduwde bladeren (midden en onder van 52pl/m² en onder van 17 pl/m²) was de gemeten huidmondjesgeleidbaarheid (maat voor huidmondjesopening) zeer laag: orde grootte van 15-40 mmol/m²/s terwijl de huidmondjesgeleidbaarheid voor de topbladeren rond de 160-260 mmol/m²/s uitkwam. Dit laat ook zien dat de onderste bladeren weinig bijdragen aan de verdamping.

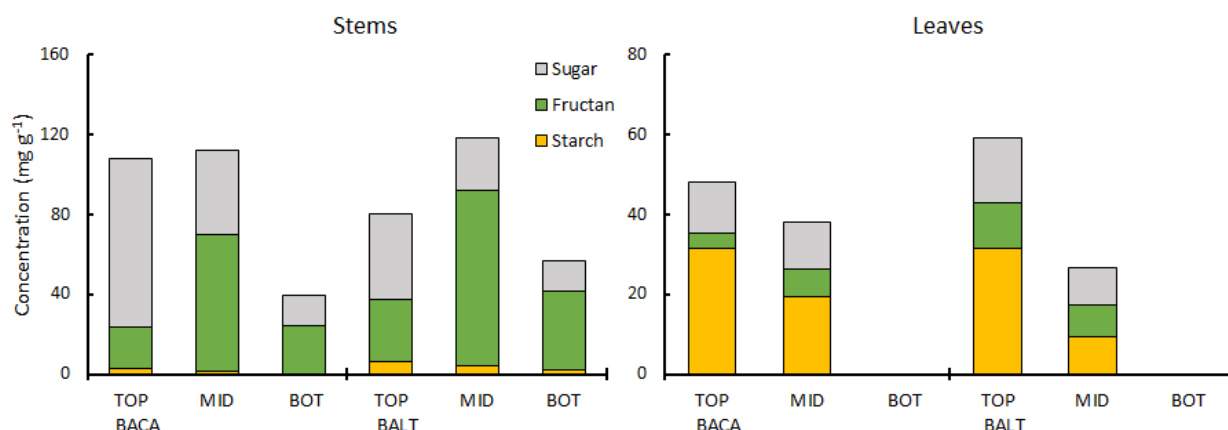
Net als de fotosynthese-respons op toenemend licht laat de fotosynthese-respons op toenemend CO₂ een verzadiging zien: naarmate er meer CO₂ gedoseerd wordt, wordt de toename in CO₂-opname (fotosynthese) steeds kleiner (Figuur 12). Op dag 20 ligt de fotosynthese onder hoog licht en hoog CO₂ fors lager dan op dag 40 en 60. Dit lijkt tegenstrijdig te zijn met Figuur 9. Echter, dit komt doordat op dag 20 de huidmondjes verder open waren, terwijl de lichtreactie (ETR) juist wat minder efficiënt verliep, vergeleken met dag 40 en 60. Het netto resultaat is dat er tussen de meetdagen nauwelijks verschil was in lichtverzadigde fotosynthese bij een vast CO₂ niveau van 800 ppm (Figuur 9), maar wel bij een hoger CO₂ niveau (Figuur 12).



Figuur 12. Effect van CO₂ op de bladfotosynthese van chrysant Baltica en Bacardi 20, 40 en 60 dagen na planten in de 18°C kas. De metingen vonden plaats bij een lichtniveau van 1000 μmol/m²/s ($n=3$).

4.1.4 Koolhydratenopslag

De monsters zijn genomen op dag 40 om te bepalen of er opslag van koolhydraten is en waar deze koolhydraten zich bevinden. Dag 40 na planten is gekozen omdat verwacht wordt dat dan de source/sink ratio hoog is. Uit de analyse is gebleken dat de hoogste concentraties koolhydraten in de middelste delen van de stengel opgeslagen zijn, waarbij dit voor de bladeren de topbladeren zijn (Figuur 13). Hierbij is vooral bepalend of de fructaan en/of zetmeel gehaltes hoog zijn, omdat dit een reserve-koolhydraat is. De suikerconcentraties (glucose, fructose, sucrose) vielen binnen waarden van een normaal dag / nacht patroon en zijn hier daarom verder buiten beschouwing gelaten.

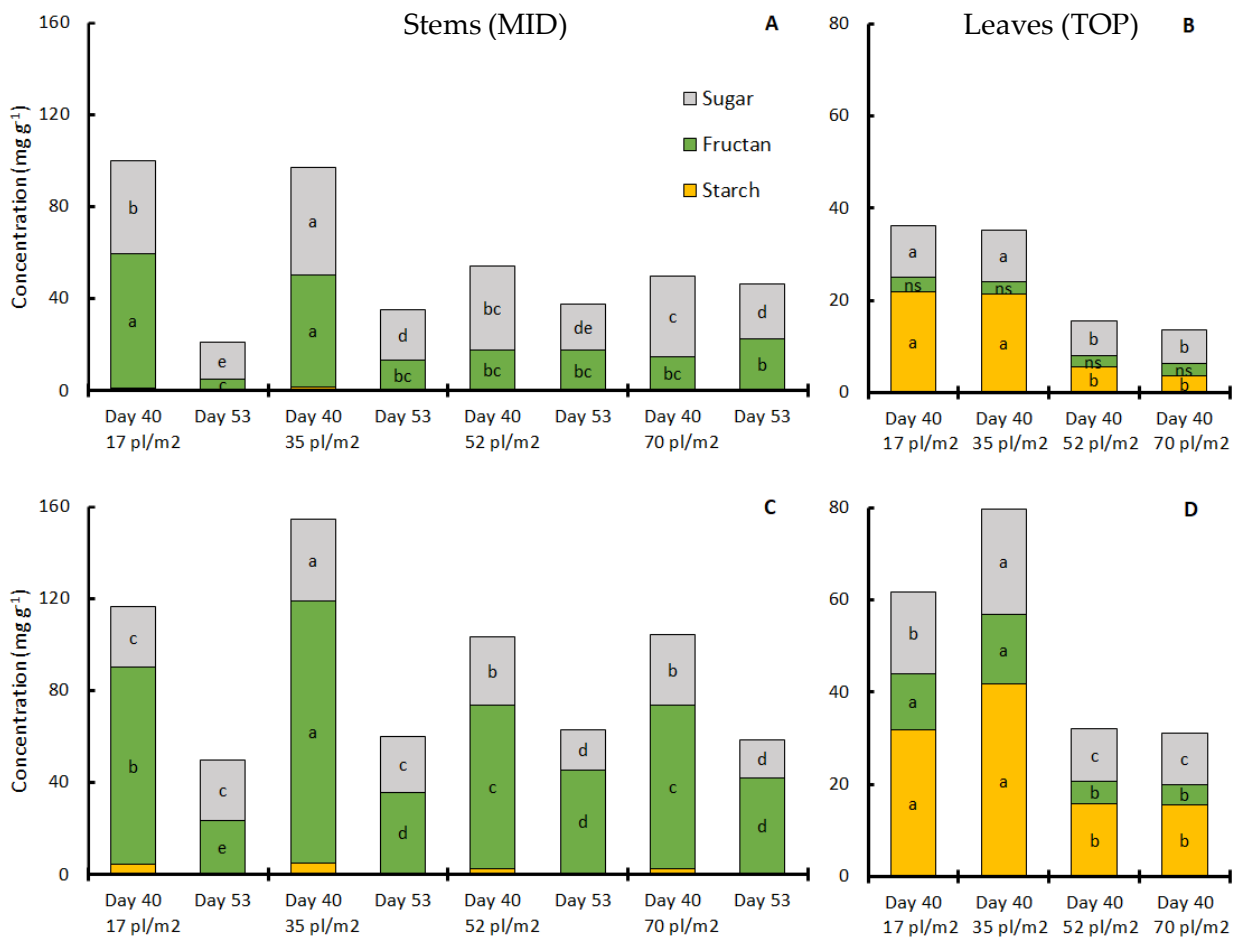


Figuur 13. Koolhydraten gehaltes in de stengel en bladeren op verschillende hoogtes (zie 3.3) van twee cultivars, Bacardi en Baltica geteeld op 17 pl/m² (n=4). Suiker is de som van glucose, fructose en sucrose.

Aansluitend op de analyse om te meten waar de reserve-koolhydraten zich in de plant bevinden, is er verder gegaan met de analyse voor de verschillende behandelingen. In de stengels van beide cultivars was een minimale hoeveelheid zetmeel aanwezig (figuur 14). In de bladeren echter is zetmeel de grootste bron van reserve-koolhydraten. In de bladeren is de koolhydraat-reserve beduidend hoger voor 17 en 32 pl/m² dan voor 52 en 70 pl/m² (m.u.v. fructaan in Bacardi (figuur 14 rechtsboven), deze is niet significant verschillend). In de stengels van Bacardi (figuur 14 linksboven) was op dag 40 minder fructaan opgeslagen dan in de stengels van Baltica (tot 12% van het drooggewicht bij 35 pl/m²).

Verder is opvallend dat er op dag 53, dat is 13 dagen nadat alle planten op eenzelfde plantdichtheid van 52 pl/m² in de volle grond zijn geplant, de hoeveelheid reserve-fructaan sterk afgenomen is. Dat verschil tussen dag 40 en 53 valt vooral op bij 17 en 35 pl/m². Dit duidt erop dat de fructaan-reserve weer benut kan worden wanneer de vraag naar assimilaten toeneemt.

Dag 53 voor de bladeren is niet geanalyseerd, omdat deze relatief weinig opslagkoolhydraten bevatten en het bladgewicht goed is voor enkel een derde van het vegetatieve plantgewicht tegenover de twee derde van de stengel. Daarnaast zijn de eindoogst monsters niet geanalyseerd, omdat op dag 53 al bijna geen opslagkoolhydraten meer beschikbaar waren en daarmee al aangetoond is dat de fructaan-reserve in de stengel 'mobiel' is.



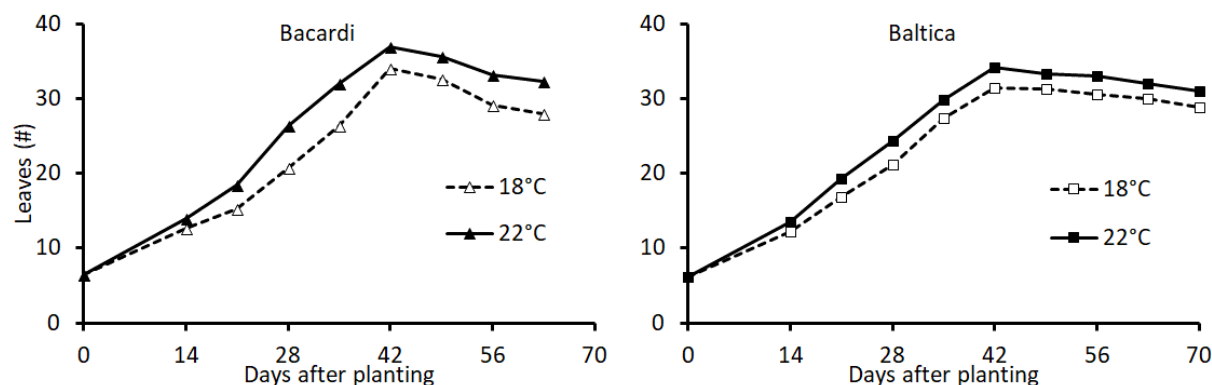
Figuur 14. Verloop van koolhydraten gehalten in de stengel en bladeren van twee cultivars, Bacardi (A,B) en Baltica (C,D), bij verschillende plantdichtheden ($n=6$). Suiker is de som van glucose, fructose en sucrose. De afzonderlijke koolhydraten zijn met een two-way ANOVA geanalyseerd. Verschillende letters binnen een koolhydraat per figuur geven significante verschillen weer met behulp van de l.s.d ($P < 0.05$).

In het algemeen zijn de hoeveelheden reserve-koolhydraat op dag 40 niet heel groot. Hoewel tot 10% fructaan in de stengel van Baltica (dag 40, 35 pl/m²) wellicht heel wat lijkt (nb in de grafiek is het 12%, maar dat is van een sample uit het midden van de stengel waar het meeste fructaan is opgeslagen), gaat de hoeveelheid reserve omgerekend naar het drooggewicht van de hele stengel en het blad op dag 40 om hooguit 0.7 gram. Waarvan rond de 0.5 gram omgezet kan worden in groei. Het eindgewicht van de takken was ± 17 g bij een praktijkconforme plantdichtheid van 52 pl/m². Dus het extra te winnen takgewicht op basis van zo'n reserve is beperkt (3%).

4.2 Sink | gewasontwikkeling

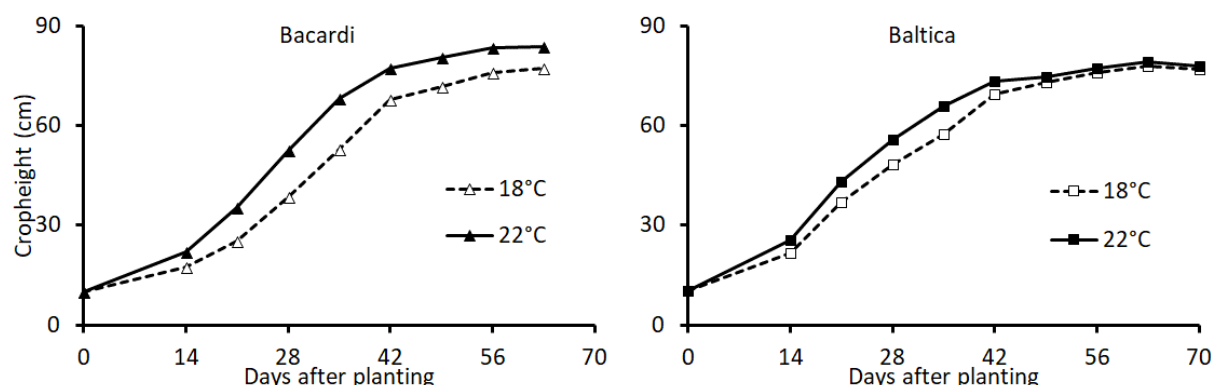
De gewasontwikkeling van de chrysanten wordt voor de parameters aantal bladeren, gewashoogte, aantal zijstengels per parameter anders beïnvloed door de behandelingen.

Het aantal bladeren aan de hoofdtak wordt enkel door temperatuur bepaald (figuur 15 & 35 in bijlage 5), waarbij de 22°C behandeling meer bladeren voortbrengt dan de 18°C. Daarnaast is het opvallend dat de cultivar Bacardi bladeren verliest. Dit komt door afstervend blad onderaan de stengel bij de hogere plantdichtheden (bijlage 5). Bij Baltica is dit effect minimaal.



Figuur 15. Aantal bladeren op de hoofdstengel gedurende de voorjaarseelt, met links de cultivar Bacardi en rechts Baltica. Ieder punt is een gemiddelde van 4 dichtheden met 5 herhalingen ($n=20$).

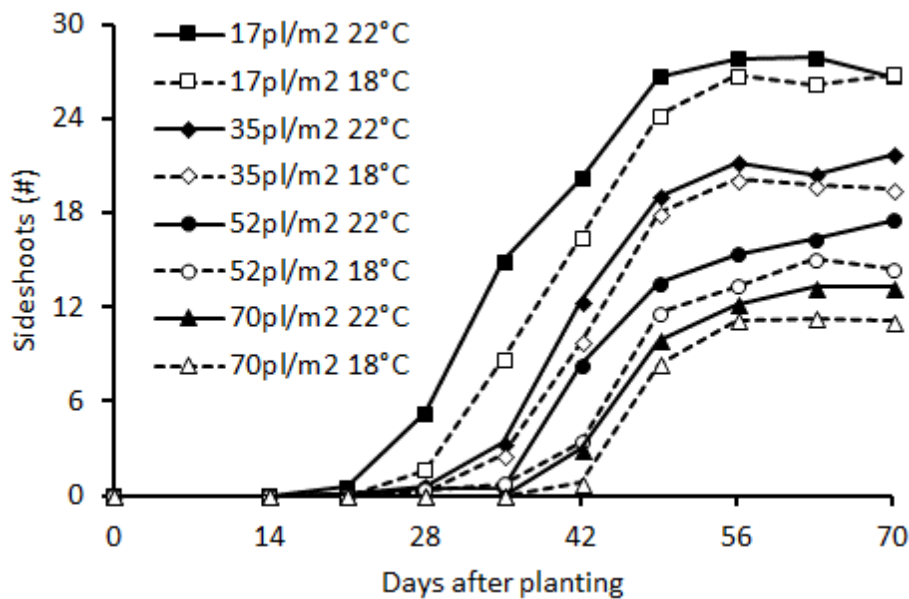
De gewashoogte zoals hieronder weergegeven (figuur 16) is gebaseerd op het gemiddelde van de dichtheden (bijlage 5), deze zijn met behulp van ALAR bespuitingen zo veel mogelijk hetzelfde gehouden. De hogere plantdichtheden werden uiteindelijk toch wel wat langer, zie figuur 37 in bijlage 5. De planten in de 22°C proefafdeling waren bij oogst iets langer dan bij 18°C voor Bacardi, en de lengte van beide cultivars ontwikkelde sneller bij 22°C (figuur 16).



Figuur 16. Het verloop van de gewashoogte gedurende de voorjaarseelt, met links de cultivar Bacardi en rechts Baltica. Ieder punt is een gemiddelde van 4 plantdichtheden en 5 herhalingen ($n=20$).

Het aantal zijstengels werd vooral bepaald door de plantdichtheid en in mindere mate door de temperatuur (figuur 17). Het cultivar-effect was klein (Figuur 36 in bijlage 5). Hierbij geldt hoe lager de plantdichtheid hoe meer zijstengels, voor temperatuur geldt het tegenovergestelde. In het geval van 17 pl/m² bij 22 graden kan het aantal zijstengels tot 28

oplopen. Zijstengels vanaf dag 42 zijn te danken aan uitloop voor bloemknoppen, en zijn een ander type zijtakken dan welke eerder gevormd zijn. Zie ook figuur 18 en de foto's in Bijlage 5 voor een indruk van het effect van plantdichtheid op de uitloop van de zijstengels.



Figuur 17. Aantal zijstengels >5cm gedurende de voorjaarsteelt van chrysant. De onderbroken lijnen zijn steeds de 18°C behandelingen en de doorgetrokken lijnen de 22°C. Ieder punt is het gemiddelde van beide cultivars (n=10).

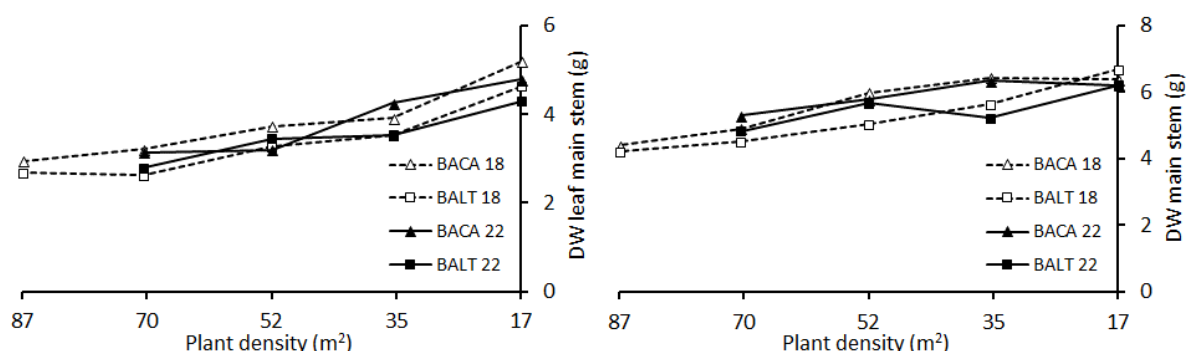


Figuur 18. Visuele weergave van de zijstengel ontwikkeling tussen de dichtheden op dag 49 met (links) Baltica 22°C, 17 pl/m² en (rechts) Baltica 22°C, 52 pl/m². Hierbij valt op dat 17 pl/m² niet enkel meer zijstengels produceert maar ook van groter formaat.

4.3 Sink | Potentiële groei

Voor het bepalen van de potentiële groei om de sinksterkte uiteindelijk te kunnen bepalen, moet er per orgaan vastgesteld worden of het maximale gewicht binnen de proef is behaald, dus wanneer plantorganen niet meer zwaarder worden ondanks toename van de source (= lagere plantdichtheid in deze proefopzet). Het tijdstip van eindoogst is enkel afhankelijk van de cultivar en temperatuur.

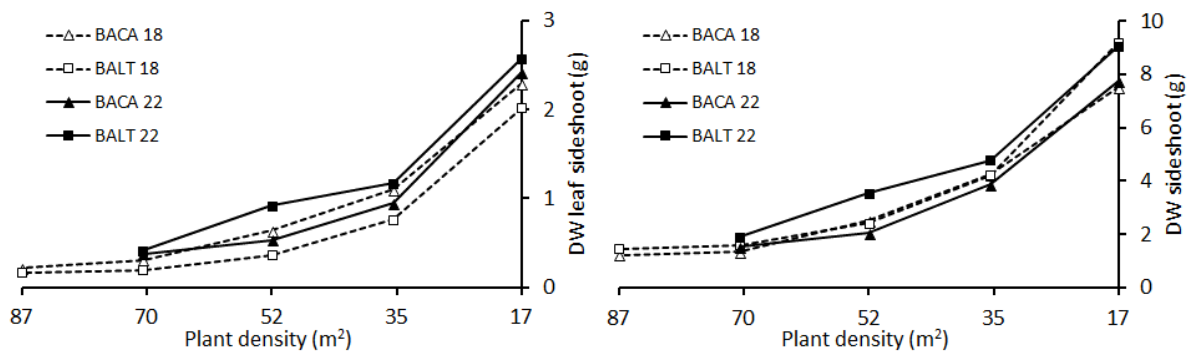
Het bladgewicht aan de hoofdstengel is hoger naarmate de plantdichtheid minder wordt en laat bij eindoogst voor de afnemende plantdichtheden tot 17 pl/m² nog steeds geen verzadiging zien (figuur 19 links). Echter, de toename in gewicht bij afnemend plantdichtheid is niet heel groot, zeker niet in verhouding tot de toename in gewicht van de zijstengels en bloemen (volgt verderop). Bij de hoofdstengel (figuur 19 rechts) is de toename in stengelgewicht bij lagere plantdichtheid ook beperkt en wordt bij Bacardi het maximale gewicht bereikt bij 35 pl/m². Bij Baltica 22°C is het stengelgewicht van 35 pl/m² wat afwijkend van de trend. Dit berust op toeval (variatie tussen takken), want de week voor eindoogst was het gewicht van de hoofdtak 5.7 gram tegenover 5.2 gram bij de eindoogst.



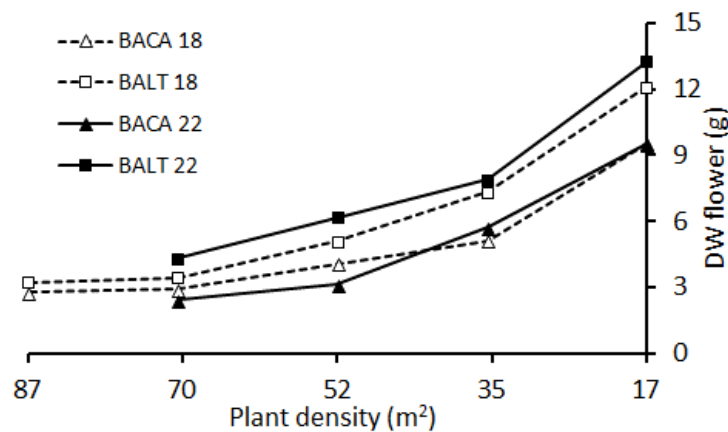
Figuur 19. Plantdichtheid effecten op het drooggewicht van blad van de hoofdstengel (links) en de hoofdstengel zelf (rechts). De punten zijn het gemiddelde van de eindoogst samples (n=5).

De potentiële groei van de zijstengels en de bladeren van de zijstengels bleek niet te bepalen, want het drooggewicht hiervan bleef exponentieel toenemen naarmate de plantdichtheid lager werd (figuur 20). Dit gaat ook op voor de knoppen / bloemen (figuur 21). Het bloemgewicht hangt ook grotendeels samen met dat van de zijstengels omdat deze de mogelijkheid bieden voor de plant om meer bloemen te dragen.

Rond dag 40 was het aandeel van de zijtakken (stengel, blad en bloemknop) al rond de 30% van het totale drooggewicht van de takken bij 17 pl/m², terwijl het aandeel zijtakken bij 52 en 70 pl/m² toen nog minimaal was (figuur 38 in Bijlage 5).



Figuur 20. Plantdichtheid effecten op het drooggewicht van blad van de zijstengel (links) en de zijstengel zelf (rechts). De punten zijn het gemiddelde van de eindogst samples (n=5).



Figuur 21. Plantdichtheid effecten op het drooggewicht van de bloemen. De punten zijn het gemiddelde van de eindogst samples (n=5).

4.4 Biomassa verdeling

De totale biomassa (drooggewicht) per plant laat een logisch patroon zien waarbij de totale biomassa oploopt naarmate de plantdichtheid afneemt. Enkel bij de cultivar Baltica heeft ook temperatuur hier een effect op gehad (tabel 8).

Het versgewicht laat eenzelfde trend zien als het drooggewicht, want het percentage drogestof verschilt niet voor de verschillende plantdichtheden.

Bij de biomassa verdeling valt op dat de laagste dichtheid van 17 pl/m² altijd het hoogste percentage in bloemen investeert, ten koste van de relatieve investering in bladeren en stengels ten opzichte van de andere behandelingen. Andersom laat de hoogste dichtheid vrijwel altijd het laagste percentage relatieve investering in bloemen zien (welke niet altijd significant het laagste is). Dit is logisch gezien het effect van plantdichtheid op uitgroei van zijtakken (figuur 20). Bij Bacardi is deze verschuiving in biomassa-verdeling effect groter dan bij Baltica. Temperatuur had weinig effect op de verdeling van de biomassa over de organen.

Tabel 8. Effect van temperatuur en plantdichtheid op de totale takgewicht (vers en droog) en biomassa verdeling (droog) over de organen* van de cultivars Bacardi en Baltica. Verschillende letters (a, b, c) geven statistisch significante verschillen tussen de gemiddelden aan (n= 5 met meerdere takken per sample, Fisher's LSD, $\alpha < 0.05$). Versgewicht en biomassa % zijn niet statistisch geanalyseerd.

Cult.	Dens. pl/m ²	Totaal drooggewicht g plant ⁻¹			Totaal versgewicht g plant ⁻¹			Drogestof %			Biomassa verdeling (%)								
		18°C	22°C	Gem.	18°C	22°C	Gem.	18°C	22°C	Gem.	Bladeren			Stengels			Bloemen		
Bacardi	17	30.9	30.6	30.8a	239	255	247	12.9	12.0	12.5	24.2	23.5	23.9c	44.9e	45.5e	45.2	30.9a	31.0a	31.0
Bacardi	35	20.8	21.1	20.9b	159	177	168	13.1	11.9	12.5	24.1	24.7	24.4c	51.3b	48.3d	49.8	24.6c	27.0b	25.8
Bacardi	52	16.9	14.7	15.8c	128	119	123	13.2	12.4	12.8	25.8	25.5	25.6b	50.4bc	53.3a	51.8	23.8c	21.2d	22.5
Bacardi	70	12.6	12.7	12.7d	99	102	100	12.8	12.5	12.6	27.9	27.7	27.8a	49.3cd	53.5a	51.4	22.9cd	18.8e	20.9
Gem.		20.3	19.8		156	163		13.0	12.2		25.5	25.3		49.0	50.1		25.5	24.5	
Baltica	17	34.6	35.4	35.0a	295	282	289	11.7	12.5	12.1	19.2	19.5	19.3c	45.9b	43.1c	44.5	34.9	37.4	36.2a
Baltica	35	21.4	22.6	22.0b	187	187	187	11.5	12.1	11.8	20.0	20.8	20.4b	46.0b	44.2c	45.1	34.1	34.9	34.5b
Baltica	52	16.2	19.7	17.9c	138	159	149	11.7	12.4	12.0	22.5	22.1	22.3a	46.2b	46.7b	46.4	31.3	31.2	31.3c
Baltica	70	12.3	14.2	13.3d	105	111	108	11.7	12.8	12.3	22.8	22.6	22.7a	49.4a	47.2b	48.3	27.9	30.2	29.0d
Gem.		21.1b	23.0a		181	185		11.7	12.4		21.1	21.3		46.8	45.3		32.0b	33.4a	

*NB Wortels zijn niet meegenomen in deze tabel. Het wortelgewicht is wel wekelijks gemeten aan een representatieve tak per behandeling. Het wortelgewicht was steeds klein (gemiddeld ± 0.5 gram drooggewicht, maximaal 1 gram).

5 Discussie | Kas proeven

De doelstelling van de proef was om door middel van plantdichtheden de source te variëren bij dezelfde hoeveelheid sinks. Echter, de troschrysanen bleken niet tot nauwelijks sink-gelimiteerd, ongeacht de plantdichtheden. Uit eerder onderzoek van Carvalho (2002) en Lee (2002) bleek al dat chrysant niet snel sink-gelimiteerd is en het aantal bloemen sterk blijft toenemen met een toenemende hoeveelheid beschikbaar licht per plant. Lee (2002) varieerde plantdichtheid (32, 48 en 64 pl/m²) in verschillende seizoenen en constateerde dat plantgewicht lineair toe blijft nemen naarmate de plantdichtheid afneemt. Bij de voorjaarszomer plantingen mat hij bij 32 pl/m² een takgewicht rond de 22 gram (droog), dus vergelijkbaar met onze metingen voor 35 pl/m² (tabel 8). We hadden verwacht bij een nog lagere dichtheid (17 pl/m²) niet een nog veel verdere toename in takgewicht te bereiken (plant wordt sink-gelimiteerd). Echter, het plantgewicht bleef sterk toenemen, met name vanwege de uitloop van veel meer zijtakken die weer bloemen vormden (zie foto's Bijlage 5). Hieronder worden deze bevindingen verder bediscussieerd.

De bladfotosynthese van de onbeschaduwde topbladeren neemt niet af naarmate de plantdichtheid afnam, en dus de source per plant toeneemt (figuur 10). Daarnaast heeft het meetmoment gedurende de teelt ook geen invloed op de bladfotosynthese (figuur 9). Dit duidt erop dat de plant zijn assimilaten goed kwijt kan; bij ophoping van assimilaten (sink-gelimiteerd gewas) kunnen bladeren hun fotosynthese namelijk terug reguleren (Paul en Pellny, 2003 en referenties in Li et al. 2015). Dat is hier dus niet het geval.

Deze gedachte wordt ondersteund door het gegeven dat de assimilaten-pool in de vorm van reserve-koolhydraten ook bij de lage plantdichtheden vrij gering is op dag 40 van de voorjaarseelt. De takken met relatief de meeste koolhydratenopslag (Baltica, 32 pl/m²) bestonden tot 10% van de stengel uit fructaan en 5% van het blad uit fructaan + zetmeel (figuur 14). In de periode van dag 40 tot dag 47 neemt het gewas toe van 9.2 gram tot 13.9 gram, een toename van 4.7 gram. Wanneer de 10% van het stengelgewicht en 5% van het bladgewicht op dag 40 volledig als reserve dient, dan zou dit goed zijn voor 0.7 gram aan koolhydraten. Gegeven groeiademhaling dient hier grofweg $\pm 30\%$ van afgetrokken te worden wat resulteert in ± 0.5 gram gewichtstoename, oftewel ruim 10% van een week groei. Dat staat gelijk aan ± 8 uur licht. Dit suggereert dat de opslagreserve niet heel veel voorstelt bij de lage plantdichtheden. De reserve is zeker beperkt ten opzichte van de resultaten van Kjaer et al. (2014), welke 30% zetmeel in de bladeren waarnamen. De observatie van Kjaer was wel bij pluischrysan welke enkel één bloem vormen en dus veel eerder sink-gelimiteerd kunnen zijn dan troschrysan. Desalniettemin hadden we op dag 40 een overschot aan assimilaten verwacht, omdat dit de periode zou zijn met sink limitatie (figuur 1). Deze gedachte wordt ook bevestigd door het feit dat vanaf dag 40 inderdaad het aantal bladeren aan de hoofdstengel en de stengellengte niet of nauwelijks meer toenemen (figuren 15 en 16). Echter, rond dag 40 blijken de lagere plantdichtheden al een grote hoeveelheid zijstengels te hebben ontwikkeld (figuur 17; tot wel 20 zijstengels >5cm, dat was bij elkaar $\pm 30\%$ van het

plantgewicht rond dag 40 bij 17 pl/m²). Deze zijstengels zullen bij elkaar een aanzienlijke sink vormen, wat de beperkte opslag aan reserves goed kan verklaren. Hierdoor waren de lage plantdichtheden dus niet of nauwelijks sink-gelimiteerd. Vanuit deze gedachte is het overigens ook interessant om te onderzoeken of bij pluischrysanten, waarvan alle zijtakken door de teler worden verwijderd, een sterkere sink-limitatie optreedt.

Een interessante vraag is waarom zoveel zijtakken, met name ook lage zijtakken, uitliepen bij de lagere plantdichtheden (zie figuur 18 en foto's Bijlage 5). De uitloop van deze zijtakken kan te maken hebben met het feit dat het gewas meer source heeft: de beschikbaarheid van extra assimilaten stimuleert de ontwikkeling van meer zijtakken. Behalve de source/sink balans zou ook de rood/verrood verhouding hierin bepalend kunnen zijn. Een verhoogde rood/verrood verhouding bij de lage plantdichtheden kan ervoor zorgen dat meer knoppen kunnen uitlopen. Een hoge rood/verrood verhouding onderdrukt namelijk de apicale dominantie (zie referenties in Trouwborst et al. 2013). Op basis van dit experiment zijn we niet in staat te bepalen in hoeverre de source/sink balans en/of de rood/verrood verhouding de bepalende factor is geweest in zijstengel-uitloop. Beantwoording van deze vraag is wel belangrijk. Immers, als zijtakuitloop vooral door de rood/verrood verhouding gestimuleerd is bij de lage plantdichtheden, dan is in deze proef een kunstmatig hoge sinksterkte gestimuleerd ten opzichte van de situatie in een commerciële teelt bij een hogere plantdichtheid. In dat geval is de tak eerder sinkgelimiteerd en zal wellicht veel meer opslagreserves aanmaken. Om dit te achterhalen kunnen de volgende experimenten worden gedaan:

- Source niet met plantdichtheid variëren, maar met lichtintensiteit. Dan is er geen invloed van de rood/verrood verhouding. Daarbij is het dan van belang dat de planttemperatuur niet wordt beïnvloed door de hogere lichtintensiteit. Lopen de onderste zijtakken dan nog steeds uit bij de behandeling met hoge source? Zo nee: maakt de plant dan veel meer opslagreserves, en zijn die mobiel?
- Bij lagere plantdichtheden de hoeveelheid zijstengels op hetzelfde aantal te houden als bij 52 pl/m² door zijstengels te verwijderen. Vervolgens meten wat het effect is op vorming van opslagreserves, de mobiliteit daarvan en het plantgewicht.

In de volgende hoofdstukken worden de modelmatige berekeningen aan source/sink balans en lichtbenutting toegelicht, waarbij de gegevens uit het kasexperiment als input dienen. Hierbij speelt de onzekerheid of (1) zich wel of niet lage zijtakken aan het begin van de teelt ontwikkelen en (2) of gevormde reserves later kunnen worden gebruikt voor de uitgroei van zijtakken en bloemen. De consequenties daarvan voor de berekeningen worden benoemd.

6 Materiaal en methoden | Model

Het gebruikte model beschrijft een teelt in een kas en het daar bijbehorende kasklimaat in de vorm van wiskundige formules. Het model is als het ware een virtuele kas. Net als in een echte kas zijn er de setpoints voor temperatuur en vocht, tijden waarop het scherm open en dicht gaat en instellingen voor de belichting (hoeveelheid, tijden en daglichtdrempel). Samen met het weer buiten en de gewasverdamping bepaalt dit alles de condities *in de kas*. In bijlage 6 wordt de structuur van het programma beknopt toegelicht.

Onderdeel van een virtuele kas is een gewasmodel. Dat berekent de fotosynthese, de groei en de ontwikkeling van de planten als functie van de condities in de kas. Gewas en kasklimaat worden altijd synchroon gesimuleerd en beïnvloeden elkaar via verdamping, lichtverdeling en transport van warmte. In dit hoofdstuk beschrijven we de virtuele kas voor chrysant.

6.1 Fotosynthese

Op een bepaald tijdstip van de simulatie heeft elk blad van de gemiddelde chrysant een grootte en een hoogte ten opzichte van de grond. Samen met de plantdichtheid kan daaruit de verdeling van het totale bladoppervlak over een aantal gewaslagen worden berekend. Deze verdeling bepaalt de lichtverdeling die wordt berekend met het licht extinctie model van Goudriaan (1977).

Fotosynthese, bladtemperatuur en verdamping volgen dan per laag met het model van Farquhar (1980) waarvan de parameters J_{max} , V_{cmax} en G_s voor chrysanten zijn gemeten. De verdamping en de bladtemperaturen maken deel uit van de simulatie van het kasklimaat. De totale fotosynthese, opgeteld over alle gewaslagen, vormt het uitgangspunt voor de groei.

6.2 Plantontwikkeling

De ontwikkeling vindt plaats in twee fasen. Tijdens de "lange dag fase" ontwikkelt de hoofdtak zich door middel van bladafsplitsing. De snelheid van bladafsplitsing is temperatuur afhankelijk. De periode tussen twee bladeren (de "bladcyclus") fungeert als klok voor de hele plantontwikkeling. Elk stengeldeel en elk blad heeft een eigen ontwikkelstadium dat begint bij 0.0 en eindigt bij 1.0 als de groei van stengeldeel of blad eindigt.

Ongeveer 3 weken na het begin van de "korte dag fase" eindigt de bladafsplitsing aan de hoofdtak en wordt een knop gevormd. Daarmee eindigt de apicale dominantie en in elke node van de hoofdtak wordt een zijtak geïnitieerd. Deze initiatie loopt van boven naar beneden met een snelheid van 0.6 nodes per bladcyclus (ongeveer 1 node per dag dus ongeveer 1.67 dagen per initiatie van een nieuwe zijtak). De zijtakken groeien uit op dezelfde wijze als de hoofdtak met dat verschil dat ze bij het bereiken van een bepaalde hoogte een bloemknop vormen. Tweede-orde zijtakjes worden geacht onderdeel te zijn van de bloem op de zijtak en worden niet apart gemodelleerd.

6.2.1 Lage zijtakken

De lage plantdichtheden in de proef lieten zien dat de planten ook al veel eerder zijtakken kunnen vormen, op laag gelegen nodes, die dan uitgroeien samen met de hoofdtak en van de plant een hele takkenbos kunnen maken (figuur 18 in hoofdstuk 4 en foto's in Bijlage 5). Aan het model is daarom een mechanisme toegevoegd dat bij lage plantdichtheden leidt tot dit type "lage zijtakken":

Als de LAI van het gewas twee weken na het planten lager is dan 0.8, wordt onderin de plant een zijtak geïnitieerd. Als 2.5 bladcycli later het bladoppervlak *boven* de volgende node ook kleiner is dan 0.8, dan wordt ook daar een zijtak gevormd. Dit gaat door totdat aan de hoofdtak en aan de reeds gevormde zijtakken zoveel bladoppervlak zit, dat geen nieuwe (lage) zijtakken meer ontstaan. De vorming van lage zijtakken hangt dus sterk af van de gewas LAI en daarmee van de plantdichtheid. Bij lage plantdichtheid duurt het langer voordat de vorming van lage zijtakken stopt.

Het fysiologisch mechanisme hierachter kan heel goed gebaseerd zijn op de lichtkleur onderin een dicht gewas. Dat is niet expliciet in model gebracht, maar via de bovenliggende LAI. De vorming van lage zijtakken kan dan ook het gevolg zijn van een overschot aan assimilaten. De proef geeft daarover namelijk geen uitsluitsel (zie discussie hoofdstuk 5).

6.2.2 Bloemen

Ook aan bloemen wordt bij aanleg een ontwikkelstadium 0.0 toegekend dat net als bij bladeren en stengeldelen toeneemt naar 1.0. Dat duurt een periode van 3 weken (bij 18.5°C). Vanaf stadium 0.8 wordt aan de bloemen een oppervlak toegekend. Omdat de meeste bloemen bovenin het gewas zitten kunnen bloemen een aanzienlijk deel van het licht invangen waardoor de assimilatenproductie in de laatste weken van de teelt daalt.

6.3 Groei

6.3.1 De sinksterkte

De vraag naar assimilaten wordt voor alle onderdelen (bladeren, stengeldelen en bloemen) berekend afhankelijk van hun ontwikkelstadium en hun ontwikkelsnelheid. Het ontwikkelstadium (DVS-development stage) neemt toe van 0.0 naar 1.0 over een periode van 3 weken (bij 18.5°C). De ontwikkelsnelheid is dus 1/21 per dag (bij 18.5°C).

De zogenaamde sinkfunctie beschrijft per plantenorgaan het verloop van de sinksterkte afhankelijk van het ontwikkelingsstadium. Deze sinksterkte neemt eerst toe vanaf nul, bereikt een maximum, neemt dan weer af en bereikt op het eindstadium (DVS=1.0) weer de nul. De gebruikte sinkfunctie is die van Yin et al. (2003).

De sinkfunctie wordt zodanig geschaald dat de eindgrootte van blad, stengeldeel of bloem precies gelijk is aan een opgegeven potentiële grootte als er onderweg geen tekorten optreden en de temperatuur gelijk is aan de referentie temperatuur. Enkele gebruikte potentiële groottes zijn 0.17 g voor een stengeldeel, 50 cm² voor een blad met specifiek oppervlak 300 cm²/g en 0.50 g voor een bloem (of een krans van bloemen op korte zijtakjes aan het eind van een tak).

6.3.2 De source-sink verhouding

Op elke tijdstap van de simulatie worden de sinksterkten van alle afzonderlijke onderdelen opgeteld tot de totale sink. Die wordt vergeleken met de totale source (de fotosynthese minus de onderhoudsademhaling) en de verhouding tussen source en sink wordt gebruikt om de beschikbare assimilaten te verdelen over de "vragende onderdelen". Op deze wijze van verdelen, evenredig met de sinksterkte, is één uitzondering, de verdeling van assimilaten over de zijtakken.

6.3.3 Zijtakken

Met behulp van een dominantie parameter kan ervoor gezorgd worden dat de oudste zijtakken relatief meer assimilaten krijgen. Deze parameter heeft een waarde tussen 0 en 1 en geeft aan welk deel van de voor de zijtakken bestemde assimilaten wordt verdeeld volgens "de oudste eerst". Dat betekent dat de behoefte van de oudste tak zo mogelijk volledig wordt gedekt, en wat er overblijft is voor de volgende, etc.

Met dit eenvoudige mechanisme wordt ervoor gezorgd dat sommige zijtakken wel uitgroeien en andere niet. Ook bij echte planten zien we zijtakken die wel zijn aangelegd, maar die niet zijn uitgegroeid, ook niet "een beetje".

7 Vergelijking model met de kasproef

Dit hoofdstuk laat zien in hoeverre met het model de werkelijke plantontwikkeling zoals gemeten in de kasproef kan worden gesimuleerd. Parameters zoals het potentiële bladoppervlak en het potentiële gewicht van bladeren en stengel zijn gekozen aan de hand van de proefresultaten bij een plantdichtheid van 17/m². We zijn er dus vanuit gegaan dat bij die zeer lage dichtheid de planten tijdens de teelt als geheel geen tekorten hebben gehad.

De potentiële gewichten bepalen de sinksterkte van de verschillende onderdelen van de plant en voor hogere plantdichtheden ontstaat dan een tekort aan assimilaten dat deels wordt gecompenseerd door het kleinere aantal zijtakken. Het effect op de hoofdstengel wordt daardoor gedempt. Verder zijn we ervan uitgegaan dat eventueel opgebouwde suikerreserves kunnen worden gebruikt in tijden van een tekort aan assimilaten. Hieronder bespreken we kort enkele grafieken met daarin gesimuleerde en gemeten drooggewichten.

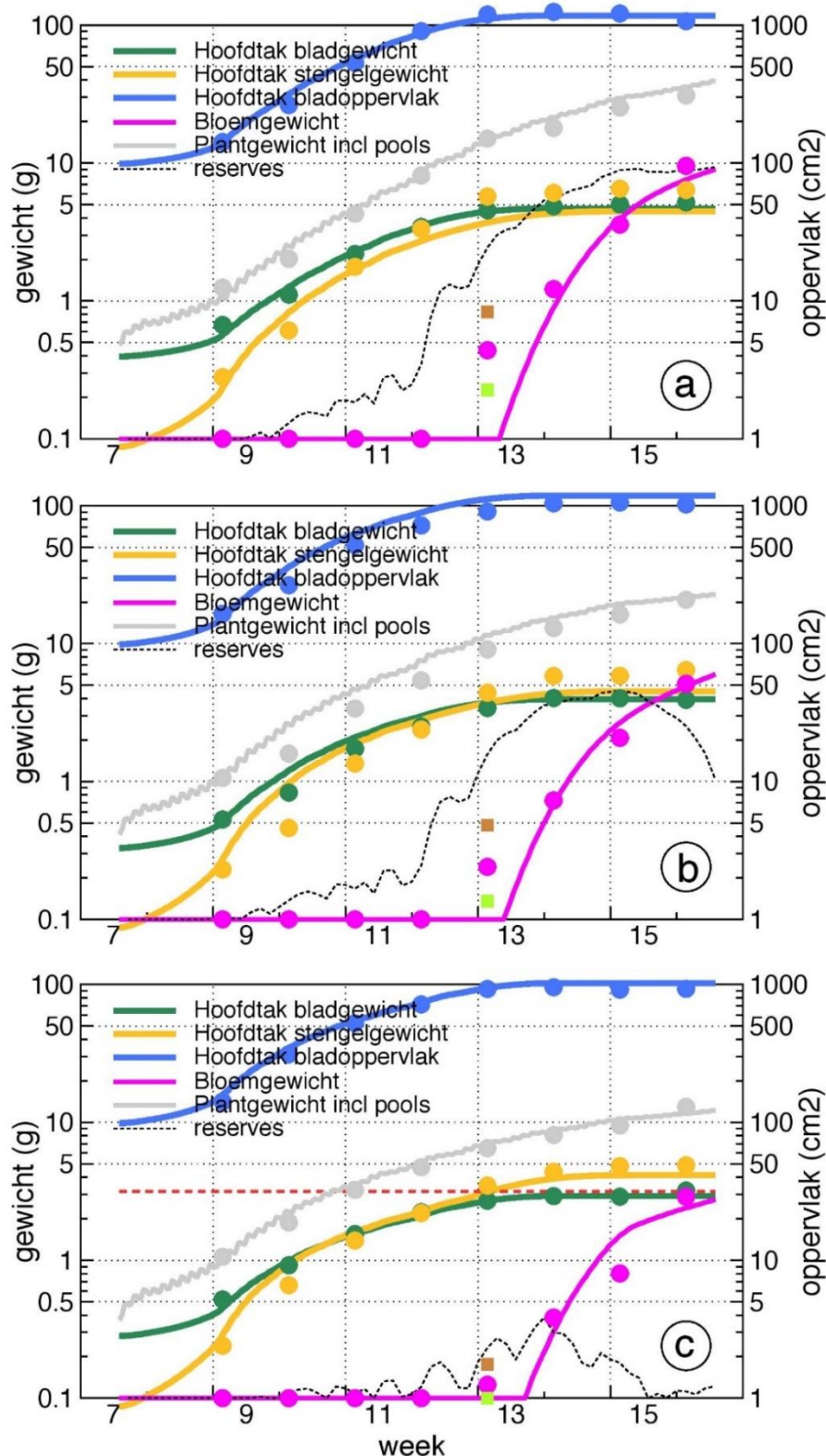
7.1 Drooggewichten

In Figuur 22 en Figuur 23 zijn simulaties en metingen te zien voor Bacardi bij 18°C en Baltica bij 22°C. De verticale assen zijn logaritmisch om een grote range van waarden te kunnen weergeven. In alle grafieken geven de curves de virtuele teelt weer (de model uitkomsten) en de ronde punten zijn tijdens de proef gemeten waarden.

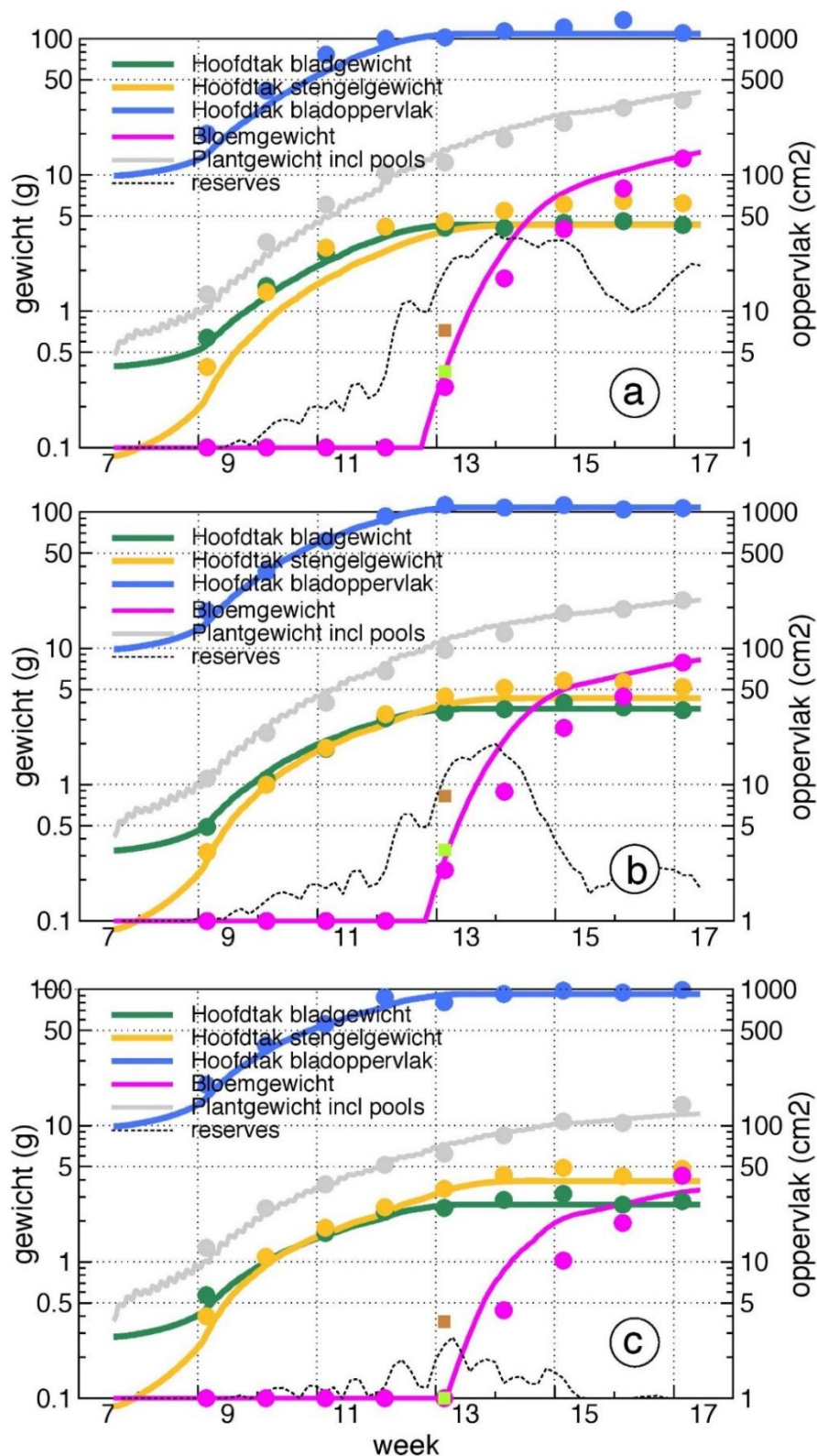
Allereerst zijn het totale drooggewicht en het bladoppervlak weergegeven. Dit zijn eigenlijk de twee belangrijkste variabelen omdat het verloop van het totale drooggewicht het gebruik van assimilaten weergeeft en het bladoppervlak bepalend is voor de lichtonderschepping en daarmee de fotosynthese. Een goede simulatie moet dus in ieder geval het totale plantgewicht en het bladoppervlak van de proef kunnen reproduceren.

We zien dat daarnaast ook stengel- blad- en bloemgewicht zijn gesimuleerd en gemeten. Voor een plantdichtheid van 17 m² zien we in Figuur 22a en Figuur 23a dat het gesimuleerde stengelgewicht aan het eind van de teelt lager is dan de gemeten waarden. We moeten daarbij bedenken dat de gemeten gewichten *inclusief suiker reserves* zijn en de gesimuleerde waarden *exclusief*.

Voor de gesimuleerde teelt zijn de reserves als een donkere stippellijn weergegeven. In het bijzonder voor een plantdichtheid van 17 m² is het gesimuleerde reserveniveau aan het eind van de teelt hoog en dat kan makkelijk het lagere gesimuleerde stengelgewicht verklaren. Een deel van de (gesimuleerde) reserves zou bij het gesimuleerde stengelgewicht kunnen worden opgeteld en dan is het wel in overeenstemming met de metingen. De lichtgrijze curves voor het gehele plantgewicht zijn *inclusief* de gesimuleerde reserves en zijn inderdaad wel in overeenstemming met de metingen. Voor een plantdichtheid van 70 m² worden tijdens de gesimuleerde teelt nauwelijks reserves gevormd en ze worden compleet opgebruikt aan het eind.



Figuur 22. Bacardi drooggewichten per plant berekend met de virtuele kas voor de belichting en de daglichttransmissie van de proefkas en voor een setpoint voor stoken van 18°C. De ronde stippen zijn metingen aan het gewas. De groene en bruine vierkante stippen zijn waargenomen reserves in blad respectievelijk stengel van planten die gelijktijdig maar wel in een andere kas opgroeiden (zie hoofdstuk 4.1.4). De lichtgrijze curve is het gesimuleerde totaalgewicht, inclusief reserves. (a) plantdichtheid 1/7m², (b) plantdichtheid 35/7m² en (c) plantdichtheid 70/7m².



Figuur 23. Baltica drooggewichten per plant berekend met de virtuele kas voor de belichting en de daglichttransmissie van de proefkas en voor een setpoint voor stoken van 22°C. De ronde stippen zijn metingen aan het gewas. De groene en bruine vierkante stippen zijn waargenomen reserves in blad respectievelijk stengel van planten die gelijktijdig maar wel in een andere kas opgroeiden (zie hoofdstuk 4.1.4). De lichtgrijze curve is het gesimuleerde totaalgewicht, inclusief reserves. (a) plantdichtheid 17/m², (b) plantdichtheid 35/m² en (c) plantdichtheid 70/m².

7.2 Zijtakken

De eindwaarde voor het gehele plantgewicht daalt van ongeveer 30g bij een plantdichtheid van 17/m² naar iets meer dan 10g bij een plantdichtheid van 70/m². Dit terwijl het gewicht van de hoofdstengel en de bladeren daaraan slechts een paar gram lager is. De afname van het plantgewicht bij een hoge plantdichtheid wordt dus grotendeels veroorzaakt door een aanzienlijk geringer gewicht van de zijtakken en de bloemen.

Dat is ook in het model het geval. Het aantal "lage zijtakken" dat al vroeg begint te groeien (zie hoofdstuk 6.2.1) bedraagt 5 à 6 bij 17 planten m², 2 à 3 bij 35 planten m² en slechts 1 bij 70 planten m². Iets dergelijks geldt voor de gesimuleerde zijstengellengte (de totale lengte van de lage en hoge zijstengels samen). Die neemt af van ruim 500cm bij 17 planten m² tot ongeveer 150cm bij 70 planten m², in overeenstemming met de (zeer variabele) waarden gemeten aan echte planten.

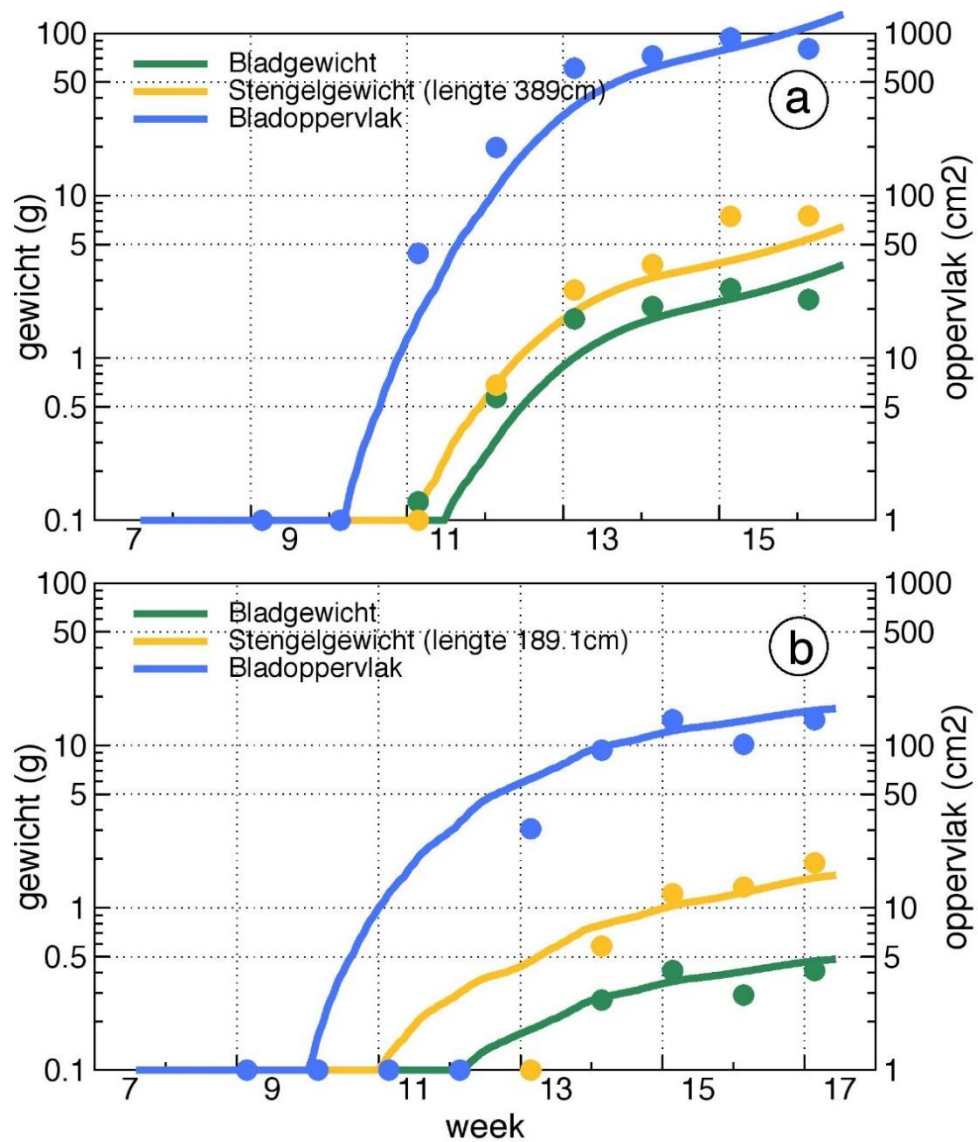
Zowel in de proef als in de modelsimulatie neemt het gewicht van de zijtakstengel en het zijtakblad samen (dus zonder bloemen) af van meer dan 10g aan het eind van de teelt bij 17 planten per m² tot minder dan 2g bij 70 planten per m². Dat is van groot belang voor het beschrijven van het effect van plantdichtheid (en hoeveelheid licht).

7.2.1 Details

Kijken we naar de details, het precieze tijdsverloop van het gewicht van de zijtakstengels en zijtakbladeren, dan blijkt dat moeilijker te simuleren dan voor de hoofdstengels. In Figuur 24 zien we voor Bacardi 17 pl/m², en Baltica 70 pl/m², de zijtak curves. Afwijkingen tussen model en proef ontstaan door verschillen in het precieze moment van uitlopen, het mechanisme achter het wel of niet uitlopen van zijtakken (in het model dominantie van de oudste, zie 6.3.3), de lengtegroei van de stengeldelen, het moment van knopvorming en de reactie van dit alles op een tekort aan assimilaten. Al deze factoren beïnvloeden de details van het resultaat, maar zijn voor het groeiverloop van de plant als geheel verder van weinig belang.

7.3 Bacardi en Baltica

Het enige verschil dat we moesten maken tussen Bacardi en Baltica is een verschil in drogestof gehalte bij 18°C. Bacardi heeft bij 18°C een iets hoger drogestof gehalte en heeft dus een iets geringer versgewicht. Bij 22°C is er geen verschil geconstateerd. In de simulaties hoefde daarom geen verschil gemaakt te worden tussen Bacardi en Baltica. Beide teelten werden goed gesimuleerd met dezelfde set parameters. Wel is Baltica in de proef later geoogst, maar dat heeft alleen invloed op de gesimuleerde periode en niet op parameter waarden.



Figuur 24. Zijtakvorming in de proef (punten) en in het model (curves) voor (a) Bacardi 17 planten per m^2 bij 18°C en (b) Baltica 70 planten per m^2 bij 22°C.

8 Scenario berekeningen

De scenario berekeningen zijn gedaan om uit te zoeken of het verloop van de source-sink balans nog net zo is als met het in de voorstudie gebruikte model en of er mogelijkheden zijn om elektriciteit te besparen tijdens een fase van de teelt.

Voor zes plantdatums van 1 oktober tot 1 maart en voor de 12 jaren in de periode 2003-2014 is een virtuele teelt uitgevoerd. Dat zijn dus $6 \times 12 = 72$ simulaties. Voor elk van de plantdatums is het verloop van de source (de geproduceerde assimilaten) en de sink (de assimilaten behoefte) berekend, gemiddeld over de 12 jaren. De gebruikte plantdichtheid is 48pl/m^2 .

Er is geen verschil gemaakt tussen Bacardi en Baltica, omdat de parameterwaarden ten aanzien van de drogestof productie voor de twee cultivars gelijk zijn (zie hoofdstuk 7.3).

De simulaties zijn uitgevoerd voor de proefkas die vrij donker was en voor een moderne lichte kas met meer belichting. De "inleidende berekeningen" in hoofdstuk 8.1 en hoofdstuk 8.2 zijn uitgevoerd voor een temperatuur setpoint van 18°C . De berekeningen aan de besparing van elektriciteit in hoofdstuk 8.3 zijn voor zowel 18°C als 22°C gedaan.

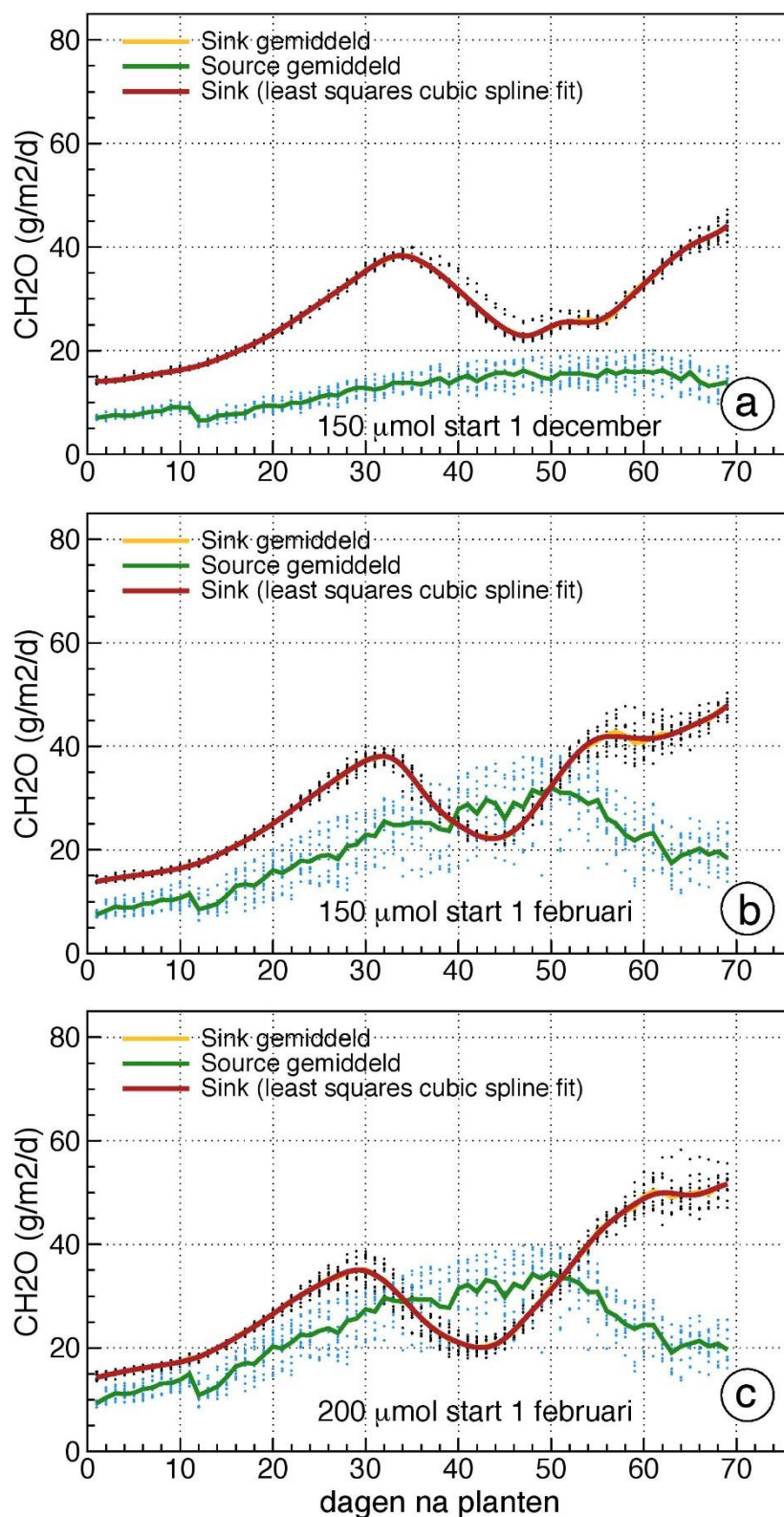
8.1 Proefkas

De transmissie voor daglicht bedroeg ongeveer 50% en de SON-T belichting op gewasniveau $142\ \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$. De lichtsterke van $142\ \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ wordt in de virtuele kas gerealiseerd met $148\ \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ belichting. Dat is afgerond tot $150\ \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$. Daarbij is een *vaste* daglichtdrempel van $390\ \text{W/m}^2$ gebruikt.

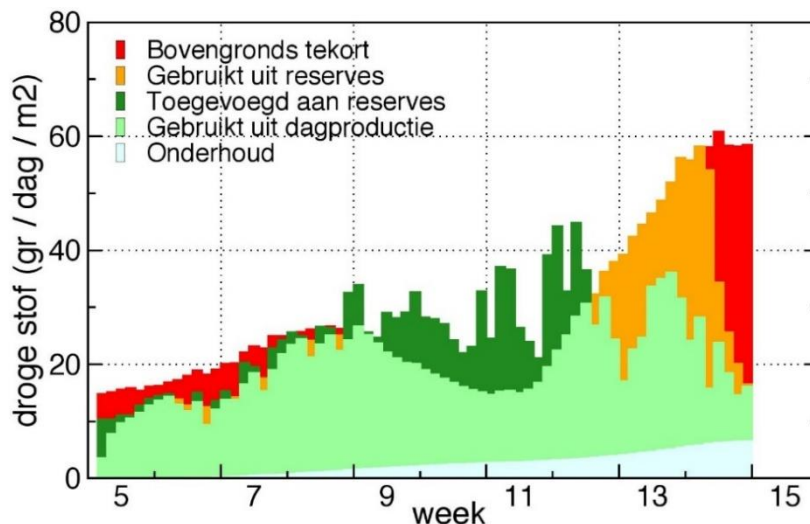
Voor deze omstandigheden laat Figuur 25a het verloop van source en sink zien voor plantdatum 01 december. De planten groeien dan op tijdens de donkerste maanden van het jaar. De plotselinge afname in de source bij dag 11 komt door de overgang van lange dag naar korte dag waardoor er minder uren belicht kan worden. We zien dat gedurende de hele teelt de sinksterkte groter is dan de hoeveelheid geproduceerde assimilaten, de source. Besparen op de belichting zal dan altijd ten koste gaan van de gewasproductie.

In Figuur 25b is hetzelfde berekend met 1 februari als plantdatum. We zien nu het verloop van source en sink dat doet denken aan dat uit de voorstudie. Er is rond dag 40 een overschot aan assimilaten.

In Figuur 25c is de belichting opgevoerd tot $200\ \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$. We zien dan rond dag 40 een iets groter overschot, maar het verschil met Figuur 25b is gering. Als we de curves in Figuur 25b en Figuur 25c wat nauwkeuriger bekijken is te zien dat niet alleen de productie van assimilaten hoger is bij $200\ \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ belichting, maar dat ook de sinksterkte is toegenomen. Dat kan doordat meer zijtakken zijn gevormd of doordat de temperatuur van het gewas wat hoger is.



Figuur 25. Gesimuleerd verloop van source en sink voor de proefkas gemiddeld voor de weerjaren [2003-2014] bij een plantdichtheid van 48 per m², een temperatuur setpoint van 18°C en een vaste daglichtdrempel van 390 W/m². (a) SON-T belichting van 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ en startdatum 1 december, (b) Belichting van 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ en startdatum 1 februari, (c) Belichting van 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ en startdatum 1 februari.



Figuur 26. Gesimuleerd gebruik van assimilaten van dag tot dag. In dit voorbeeld is de plantdatum 1 februari. In week 10 en 11 worden reserves gevormd die rond week 13 alsnog worden gebruikt voor structurele groei.

De source neemt in alle gevallen eerst toe doordat er steeds meer blad komt. Aan het eind neemt de source af doordat de bloemen een deel van het licht opvangen. Ook de sinksterkte (de assimilatenbehoefte) neemt eerst toe doordat steeds meer stengeldelen en bladeren uitgroeien. Na het verschijnen van de knop aan de hoofdtak echter neemt de sinksterkte tijdelijk af omdat de hoofdtak is uitgegroeid. Na enige tijd nemen de zijtakken het over en dat zijn er zoveel dat er aan het eind van de teelt *altijd* een tekort ontstaat.

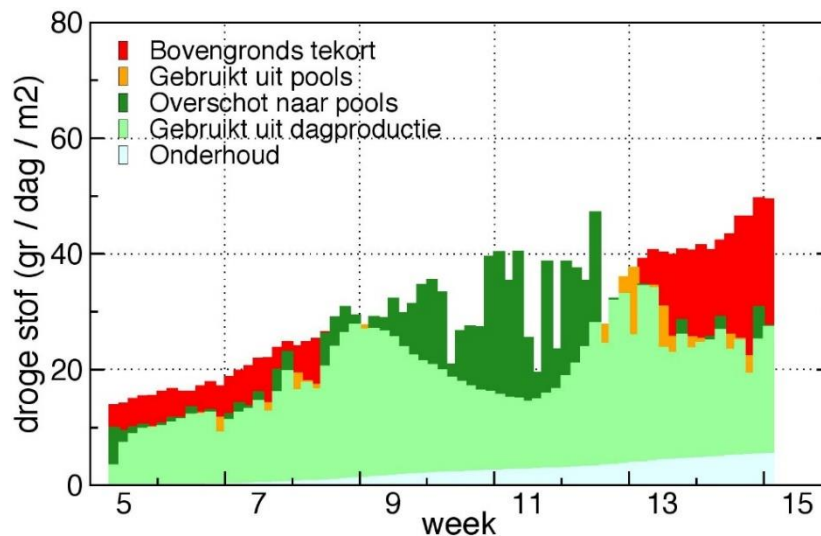
Dit patroon van source en sink komt redelijk overeen met dat uit de voorstudie, maar voor de donkere proefkas (transmissie van 50%) is het assimilaten overschot rond dag 40 te gering om te kunnen besparen op de belichting.

8.2 Lichtere kas

In Figuur 28 worden daarom ook berekeningen getoond voor een moderne, lichte kas met een daglicht transmissie van iets meer dan 70% en een SON-T assimilatiebelichting van 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Figuur 28a laat weer het resultaat zien voor een vaste daglichtdrempel van 390 W/m^2 , en met 1 februari als plantdatum. De source en de sink zijn nu tijdens de eerste 4 weken goed in balans en daarna is er een periode met een behoorlijk overschot aan assimilaten. Figuur 26 illustreert hoe de gesimuleerde planten deze reserves later in de teelt gebruiken.

In Figuur 28b is de vaste daglichtdrempel vervangen door een meer gebruikelijke seizoensafhankelijke drempel. De gebruikte waarden zijn te vinden in bijlage 7. Het gesimuleerde elektriciteitsverbruik neemt daardoor met 34% af van 82 kWh/m^2 naar 54 kWh/m^2 , terwijl het plantgewicht afneemt met 14% van 180 g naar 154 g.

In Figuur 28c is een verandering in het chrysant model aangebracht. De planten ontwikkelen niet langer de “lage zijtakken”. Alleen zijtakken die na de knopvorming ontstaan groeien uit. Dat verkleint uiteraard de sinksterkte in de eerste maand en de overproductie rond dag 40 is nog groter en hiermee de potentiële besparing.



Figuur 27. Gesimuleerd gebruik van assimilaten van dag tot dag. In dit voorbeeld is de plantdatum 1 februari. In week 10 en 11 worden reserves gevormd die later echter niet of nauwelijks kunnen worden gebruikt (vergelijk met Figuur 26).

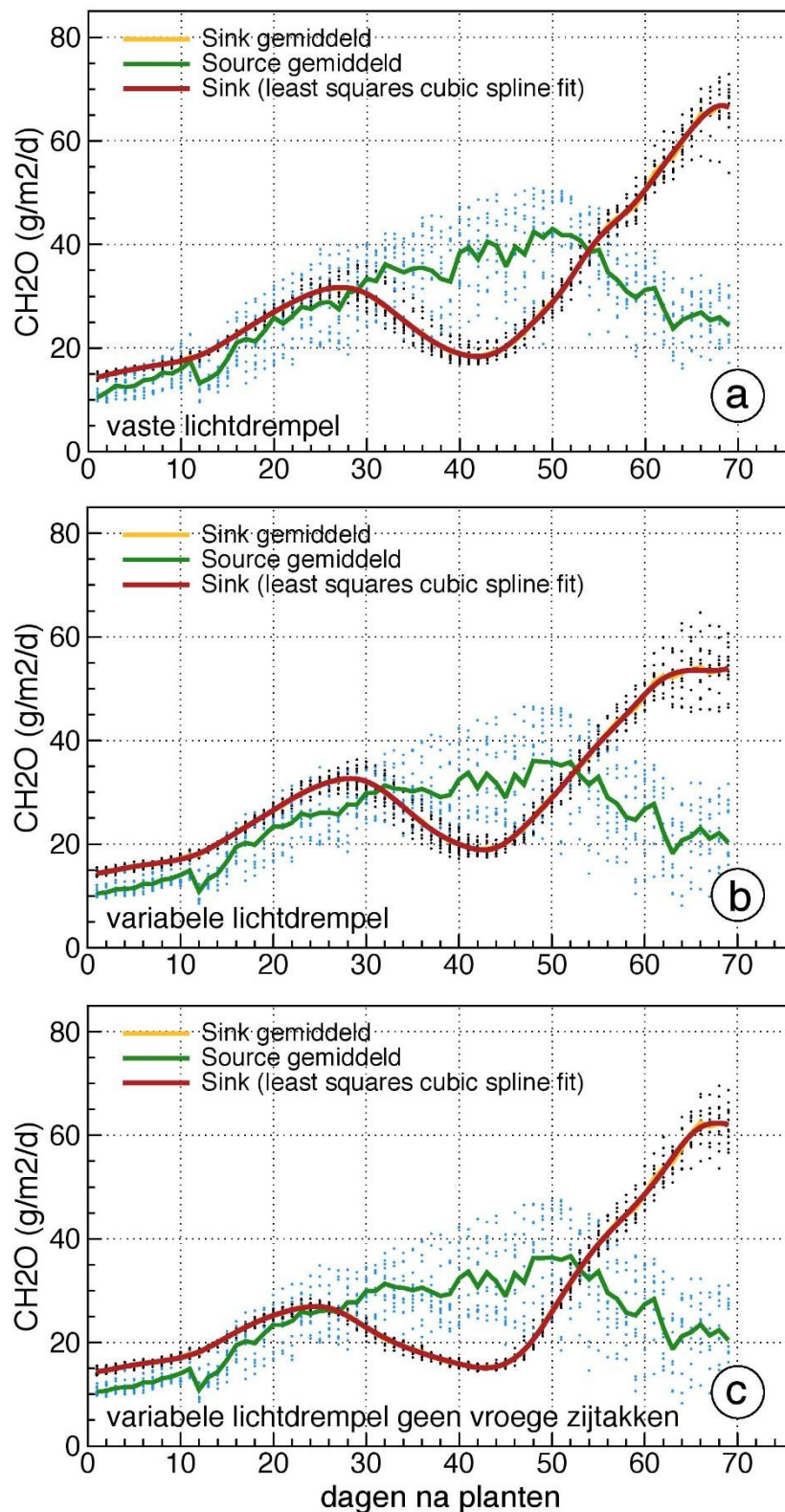
8.3 Besparing op de belichting

Er zijn aanwijzingen in de proef gevonden dat de chrysanten een overschot aan assimilaten later alsnog kunnen gebruiken (hoofdstuk 4.1.4). Omdat er tegen het eind van de teelt eigenlijk *altijd* een tekort optreedt, is er in dat geval geen mogelijkheid om het overschot rond dag 40 te benutten voor een besparing zonder verlies aan takgewicht bij oogst. De teveel geproduceerde assimilaten worden dan later immers alsnog gebruikt.

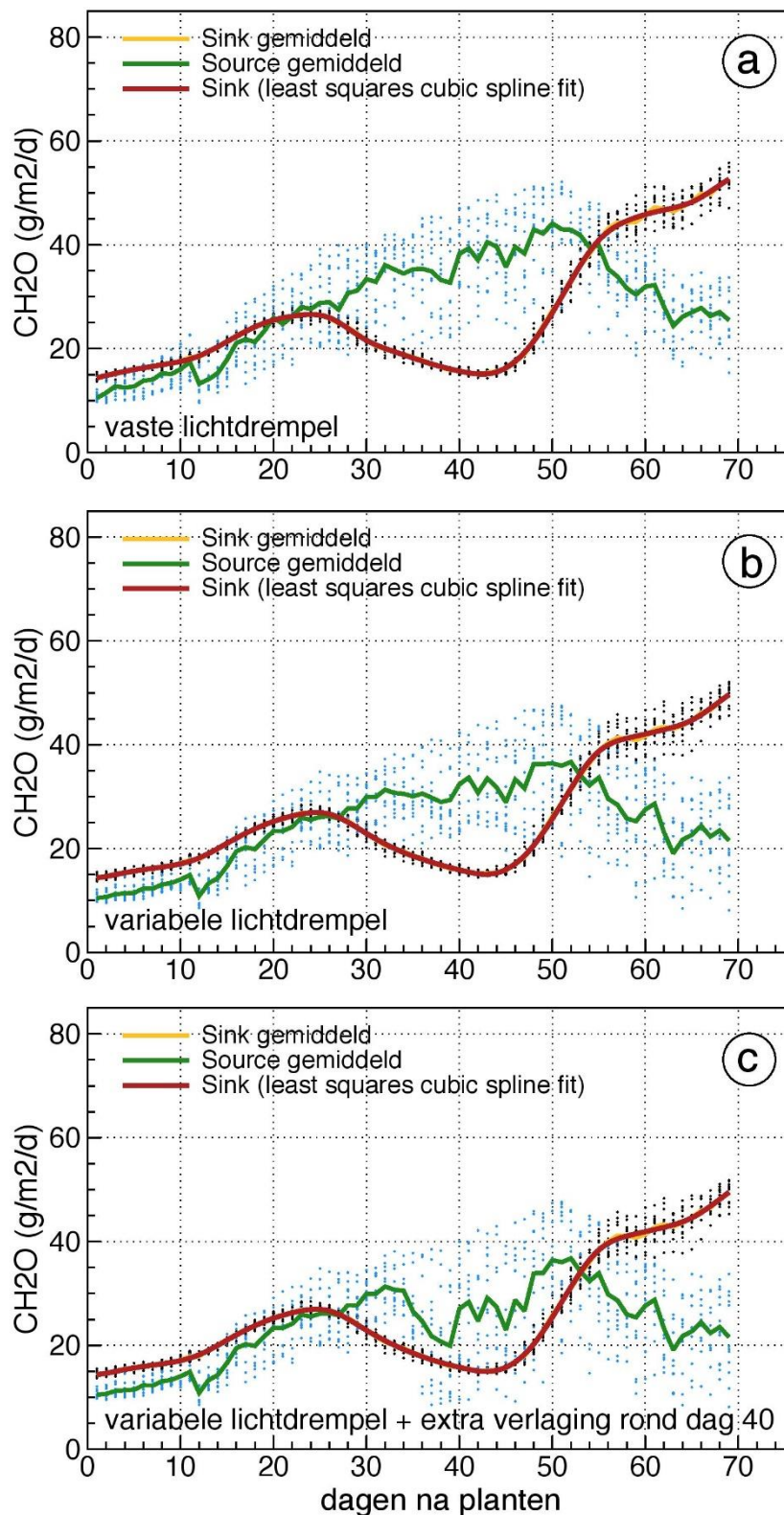
We moeten er in een scenario voor energiebesparing dus vanuit gaan dat ongebruikte assimilaten na enkele dagen worden "gefixeerd" zoals geïllustreerd in Figuur 27. We hebben daarom de berekeningen herhaald onder die aanname. Verder zijn nog steeds de lage zijtakken uitgeschakeld net als in Figuur 28c.

Figuur 29 laat het resultaat zien, net als Figuur 28 weer berekend voor plantdag 1 februari, met 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ SON-T belichting en een temperatuur setpoint van 18°C, en opslagreserves die later niet benut kunnen worden ('immobiel'). De volgende drie keuzen voor de daglichtdrempeling zijn gemaakt:

- Een vaste daglichtdrempel van 390 W/m².
- Een variabele daglichtdrempel met de niveaus van bijlage 7.
- Een variabele daglichtdrempel met een extra verlaging van de daglichtdrempel in de periode rond dag 40 gericht op het voorkomen van een groot overschot aan 'source'. Deze reductie is gedetailleerd beschreven in bijlage 7.



Figuur 28. Gesimuleerd verloop van source en sink voor een lichte kas gemiddeld voor de weerjaren [2003-2014] bij een plantdichtheid van 48 per m², een temperatuur setpoint van 18°C en 200 µmol/m²/s belichting met 1 februari als plantdatum. (a) Vaste daglichtdrempel van 390 W/m², (b) Variabele daglichtdrempel, (c) Variabele daglichtdrempel en zonder vroege zijtakken.



Figuur 29. Gesimuleerd verloop van source en sink voor een lichte kas gemiddeld voor de weerjaren [2003-2014] bij een plantdichtheid van 48m^2 , een temperatuur setpoint van 18°C en $200\ \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ belichting met 1 februari als plantdatum en met immobilisatie van teveel geproduceerde assimilaten. (a) Vaste daglichtdrempel van $390\ \text{W}/\text{m}^2$, (b) Variabele daglichtdrempel, (c) Besparing op het elektriciteitsgebruik met extra verlaagde daglichtdrempel rond dag 40 van de teelt.

Tabel 9. Plantgewicht, elektriciteitsgebruik en buiswarmte in gesimuleerde teelten in een licht kas (een transmissie van 72% in de winter), gemiddeld over de weerjaren 2003-2014, berekend met een plantdichtheid van 48 pl/m², een temperatuur setpoint van 18°C, 200 µmol/m²/s belichting, immobilisatie van teveel geproduceerde assimilaten voor 6 plantdatums en 3 daglichtdrempel opties: Vaste drempel van 390 W/m², variabele drempel volgens bijlage 7 en een variabele drempel met extra verlaging rond dag 40. Het versgewicht is berekend op basis van een drogestof gehalte, gemiddeld over de metingen aan Bacardi en Baltica. De standaarddeviaties zijn het resultaat van alleen de verschillen in weer tussen de jaren.

plantdatum	Plant versgewicht (g) met daglichtdrempel		
	Vast 390Wm ⁻²	Variabel	Extra reductie
1 oktober	113.2 ± 0.9	108.1 ± 1.3	106.0 ± 1.7
1 november	102.8 ± 1.4	101.1 ± 1.3	100.1 ± 1.6
1 december	105.2 ± 1.5	104.2 ± 1.5	103.7 ± 1.6
1 januari	118.6 ± 2.6	114.7 ± 1.9	114.0 ± 2.0
1 februari	140.8 ± 3.0	129.8 ± 4.0	129.5 ± 4.1
1 maart	157.6 ± 5.7	146.0 ± 7.8	146.0 ± 7.9
gemiddeld	123.0	117.3	116.6

plantdatum	electra (kWh m ⁻²) met daglichtdrempel		
	Vast 390Wm ⁻²	Variabel	Extra reductie
1 oktober	91.4 ± 0.9	72.9 ± 1.9	65.7 ± 1.6
1 november	95.2 ± 0.3	90.1 ± 1.5	86.4 ± 2.1
1 december	95.4 ± 0.2	93.4 ± 0.9	90.1 ± 1.2
1 januari	92.9 ± 1.7	84.9 ± 3.0	76.9 ± 2.4
1 februari	81.6 ± 3.4	53.8 ± 2.9	47.8 ± 2.5
1 maart	65.8 ± 5.3	24.8 ± 1.8	24.2 ± 1.7
gemiddeld	87.1	70.0	65.2

plantdatum	Buiswarmte (MJ m ⁻²) met daglichtdrempel		
	Vast 390Wm ⁻²	Variabel	Extra reductie
1 oktober	168 ± 18	164 ± 18	169 ± 18
1 november	196 ± 22	193 ± 22	197 ± 23
1 december	217 ± 29	217 ± 29	220 ± 30
1 januari	227 ± 32	229 ± 32	237 ± 33
1 februari	193 ± 29	203 ± 31	209 ± 33
1 maart	135 ± 17	150 ± 22	150 ± 22
gemiddeld	189	193	197

Voor de zes gebruikte plantdatums zijn plantgewicht, elektriciteitsgebruik en benodigde buiswarmte nog eens samengebracht in Tabel 9. De versgewichten in de tabel zijn berekend op basis van een drogestof gehalte, gemiddeld over de metingen voor Bacardi en Baltica. De variabele daglichtdrempel (Figuur 29b) levert zoals verwacht een aanzienlijke besparing ten opzichte van een vaste daglichtdrempel. Gemiddeld over de 6 plantdatums is het verbruik van elektra 20% lager en het versgewicht slechts 5% lager. Ten opzichte van het scenario met de variabele daglichtdrempel levert een extra reductie van de drempel (voorkomen source-

overschot) nog eens een besparing van gemiddeld 4.8 kWh/m² (=40 uur belichting). Dat is 7% van het verbruik tegen een opbrengstverlies van slechts 0.6% versgewicht bij eind oogst (vergelijk de kolommen "Variabel" en "Extra reductie" in Tabel 9). De gesimuleerde buiswarmte is mogelijk aan de lage kant omdat de warmte die nodig is voor de bodemverdamping niet is berekend. Het zijn daarom vooral de *verschillen* in buiswarmte waarop gelet moet worden.

In tabel 10 hieronder staat dezelfde simulatie voor 22 °C i.p.v. 18 °C (tabel 9) temperatuursetpoint.

Tabel 10. Plantgewicht, elektriciteitsgebruik en buiswarmte in gesimuleerde teelten in een licht kas (een transmissie van 72% in de winter), gemiddeld over de weerjaren 2003-2014, berekend met een plantdichtheid van 48 pl/m², een temperatuur setpoint van 22°C, 200 µmol/m²/s belichting, immobilisatie van teveel geproduceerde assimilaten, voor 6 plantdatums en 3 daglichtdrempel opties: Vaste drempel van 390 W/m², variabele drempel volgens bijlage 7 en een variabele drempel met extra verlaging rond dag 40. Het versgewicht is berekend op basis van een drogestof gehalte, gemiddeld over de metingen aan Bacardi en Baltica. De standaarddeviaties zijn het resultaat van alleen de verschillen in weer tussen de jaren.

plantdatum	Plant versgewicht (g) met daglichtdrempel		
	Vast 390Wm ⁻²	Variabel	Extra reductie
1 oktober	116.1 ± 1.4	108.6 ± 1.7	103.9 ± 2.1
1 november	101.5 ± 1.8	99.4 ± 1.6	96.3 ± 1.6
1 december	102.2 ± 1.9	101.2 ± 1.9	98.7 ± 1.7
1 januari	118.5 ± 2.0	114.1 ± 1.5	110.0 ± 1.7
1 februari	145.4 ± 3.2	131.7 ± 4.5	130.1 ± 4.9
1 maart	166.9 ± 6.2	153.0 ± 8.7	152.9 ± 8.8
gemiddeld	125.1	118.0	115.3

plantdatum	electra (kWh m ⁻²) met daglichtdrempel		
	Vast 390Wm ⁻²	Variabel	Extra reductie
1 oktober	91.4 ± 0.9	72.9 ± 1.9	65.7 ± 1.6
1 november	95.2 ± 0.3	90.1 ± 1.5	86.4 ± 2.1
1 december	95.4 ± 0.2	93.4 ± 0.9	90.1 ± 1.2
1 januari	92.9 ± 1.7	84.9 ± 3.0	76.9 ± 2.4
1 februari	81.6 ± 3.4	53.8 ± 2.9	47.8 ± 2.5
1 maart	65.8 ± 5.3	24.8 ± 1.8	24.2 ± 1.7
gemiddeld	87.1	70.0	65.2

plantdatum	Buiswarmte (MJ m ⁻²) met daglichtdrempel		
	Vast 390Wm ⁻²	Variabel	Extra reductie
1 oktober	211 ± 20	209 ± 22	219 ± 23
1 november	259 ± 29	260 ± 29	266 ± 30
1 december	293 ± 36	295 ± 36	299 ± 37
1 januari	300 ± 37	305 ± 38	319 ± 39
1 februari	262 ± 35	285 ± 41	298 ± 43
1 maart	196 ± 24	226 ± 31	227 ± 31
gemiddeld	254	263	271

8.3.1 Elektrische energie versus buiswarmte

Bij minder belichten komt er ook minder warmte van de lampen de kas in en dat leidt in principe tot een verhoging van de benodigde buiswarmte. Dit effect blijkt hier echter heel klein. Bij de simulatie voor 18 °C temperatuursetpoint (Tabel 9) is het verschil in gebruik van elektra tussen de eerste en derde kolom $87.1 - 65.2 = 21.9 \text{ kWh/m}^2$. Dat komt overeen met 78.8 MJ/m^2 minder warmte terwijl er gemiddeld slechts 8 MJ/m^2 extra buiswarmte nodig is. Daar zijn twee redenen voor

- De lange dag fase van de teelt is kort en de belichting vindt dus voor een belangrijk deel overdag plaats, tijdens de korte dag fase. Overdag is de buitenlucht warmer dan 's nachts en er komt bovendien licht van buiten de kas in. Het stoken gebeurt dus vooral 's nachts als de lampen niet aan zijn.
- Het betreft hier de invloed van een *daglichtdrempel*. Dat betekent dat de lampen uit gaan op momenten dat er *veel* daglicht is. Stoken op momenten dat de lampen uitgaan vanwege de drempel zal dus relatief zeldzaam zijn.

Een geactiveerde daglichtdrempel ("lichten uit") zal om deze redenen niet vaak samengaan met stoken. We kunnen dan ook geen groot effect verwachten van het ontbreken van lampwarmte op de benodigde buiswarmte. Dat is gunstig in het kader van de doelstellingen richting een fossielvrije glastuinbouw.

Dat verandert niet wezenlijk als we de berekeningen herhalen met een setpoint van 22°C voor de temperatuur (zie Tabel 10). Omdat de 12 jaren buitenweer hetzelfde blijven is het gesimuleerde elektra gebruik in alle 216 modelruns identiek aan dat in Tabel 9. Voor dezelfde gemiddelde vermindering van 78.8 MJ/m^2 elektrische energie neemt nu de benodigde buiswarmte toe met 17 MJ/m^2 . Het effect van verschillen in elektriciteitsgebruik ten gevolge van een daglichtdrempel op de benodigde buiswarmte is dus niet groot. Dat is anders als we kijken naar verschillen in belichting ten gevolge van meer of minder lampvermogen per m^2 .

8.4 Meer of minder belichting

Tot zover waren de scenario berekeningen gericht op het besparen van elektriciteit tijdens een assimilaten overschot. We hebben ook aandacht besteed aan de invloed van de capaciteit van de belichtingsinstallatie op opbrengst en energiegebruik. In bijlage 8 zijn tabellen te vinden met de opbrengst, het elektriciteits- en warmte warmtegebruik bij belichting met 100, 150 en 200 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$. De berekeningen zijn gedaan *met mobiele reserves* (het meest waarschijnlijke geval), met een seizoensafhankelijke (variabele) daglichtdrempel en met een setpoint van 18°C.

Tabel 11 (bijlage 8) bevat de gesimuleerde opbrengsten en Tabel 12 (bijlage 8) bevat het elektriciteits- en warmtegebruik. We zien hier dat voor bijvoorbeeld plantdatum 1 december en plantdichtheid 48 pl/m^2 het extra elektriciteitsverbruik 46.7 kWh/m^2 bedraagt (van een installatie met 100 naar een installatie met 200 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$). De benodigde buiswarmte verminderd met 39 MJ/m^2 (dat is 23% van de extra elektrische energie).

In bijlage 9 staan gelijksoortige tabellen, maar nu berekend voor een setpoint van 22°C. Tabel 16 laat voor dezelfde situatie nu een vermindering zien van 92 MJ/m², ofwel 55% van de extra elektrische energie. Bij een setpoint van 22°C kan de extra elektrische energie dus vaak *wel* gebruikt worden voor het warm houden van de kas.

9 Discussie | Model studie

Het algehele doel is om energiebesparing te realiseren door middel van minder belichten in de periode wanneer er minder vraag is naar assimilaten, oftewel de periode waarin de plant sinkgelimiteerd is. In de proef ontwikkelden de planten bij lage plantdichtheden al vroeg lage zijtakken. Dat en het feit dat de opslagreserves vrij gering waren, suggereert dat chrysanten alle geproduceerde assimilaten ook kunnen gebruiken door bij heel veel licht gewoon wat "bossiger" te worden. Rond dag 40 echter is er altijd een periode met een geringere assimilatenbehoefte, omdat na de knopvorming in de hoofdtak de verdere groei van de hoofdtak tot stilstand komt en de zijtakken onder de top nog geen grote sink vertegenwoordigen. Die periode biedt in principe de mogelijkheid te bezuinigen op het gebruik van elektra door met de daglichtdrempel verder omlaag te gaan en de fotosynthese iets te verminderen.

Aan het eind van de teelt is er echter altijd een grote behoefte aan assimilaten voor het uitgroeien van de zijtakken en bloemen. Dat betekent dat eventueel gevormde reserves dan gebruikt kunnen worden, mits dat fysiologisch mogelijk is. De proefresultaten duiden erop dat reserves die halverwege de teelt zijn gemeten wel mobiel zijn, want 13 dagen na het verplanten van de lage plantdichtheden naar een hogere dichtheid waren de reserves in de stengels voor een groot deel verdwenen. Er zijn dus aanwijzingen dat reserves inderdaad mobiel blijven en in dat geval lijkt het niet zinvol de productie van assimilaten halverwege de teelt te verminderen. Eventueel teveel geproduceerde reserves worden dan immers later alsnog gebruikt. Echter, de reserves waren vrij gering, wat zeer waarschijnlijk komt door de grote 'sink' die ontstond door de vroege ontwikkeling van lage zijtakken bij de lage plantdichtheden. Er is dus nog onzekerheid over hoeveel reserves er gevormd worden in geval dat die lage zijtakken niet zouden ontwikkelen, en in hoeverre die reserves dan mobiel zijn.

In het wat minder waarschijnlijke geval dat reserves geheel of voor een groot gedeelte gefixeerd worden en later niet meer bruikbaar zijn, zijn teveel geproduceerde assimilaten verloren en kan dus rond dag 40 op de belichting bezuinigd worden. We hebben dat doorgerekend in het gunstige geval van een lichte kas met $200 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ belichting en voor planten zonder "bossige" lage zijtakken, en de gemiddelde besparing op elektra komt dan uit op 7% ten opzichte van een variabele daglichtdrempel en 25% ten opzichte van een vaste daglichtdrempel (bij $390 \text{ W}/\text{m}^2$ lampen uit). Wij gaan ervan uit dat een variabele daglichtdrempel het beste aansluit bij de huidige praktijk. Dan is die 7% besparing niet veel en het is bovendien nog de vraag of de lage zijtakken in een lichte kas met $200 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ belichting inderdaad wegblijven.

9.1 Conclusie

We concluderen dat in het gunstigste geval een besparing van 7% op elektra mogelijk is over de zes verschillende plantdata wanneer er minder belicht wordt rond dag 40 ten opzichte van

een 'gewone' variabele lichtdrempel, waarbij de opbrengst 0.6% terug loopt. De uitgroei van vroege zijtakken en het gebruik van reserves aan het eind van de teelt zouden dit percentage gemakkelijk tot 0% kunnen reduceren. Wanneer er in de huidige situatie gebruik wordt gemaakt van een vaste daglichtdrempel is het mogelijk om 25% te reduceren op elektra verbruikt over de zes verschillende plantdata, waarbij de opbrengst met 5.2% daalt. Voor pluischrysan, waarbij alle zijtakken worden verwijderd, is de te besparen elektra rond dag 40 overigens mogelijk aanzienlijk groter. Het effect van de mogelijke besparing op de benodigde buiswarmte is nihil omdat de besparing plaats vindt op momenten dat er nauwelijks gestookt wordt (overdag bij veel licht). Dat is op zich gunstig in het kader van een fossielvrije toekomst voor de glastuinbouw.

Duidelijk is dat troschrysan licht effectief omzet in groei, wat pleit voor teelt in kassen met een hoge daglicht-transmissie.

9.2 Vervolg vragen

Openstaande vragen blijven of bij een source overschot en een normale plantdichtheid (lagere rood/verrood verhouding):

- 1) De planten nog steeds vroege zijtakken creëren?
- 2) Zo nee, wordt de koolhydratenopslag dan verhoogd?
- 3) Zo ja, zijn de koolhydraten mobiel of immobiel?

Een ondubbelzinnig antwoord op deze vragen en fine-tuning van het model op basis daarvan, zal meer zekerheid geven over de overeenkomst van de uitkomsten van modelsimulaties met de werkelijkheid.

Referenties

- Carvalho SMP, Heuvelink E, Kooten van O, 2002.** Effect of Light Intensity, Plant Density, and Flower Bud Removal on the Flower Size and Number in Cut Chrysanthemum. *Acta horticulturae* 593(593)
- Farquhar GD, Caemmerer SV, Berry JA, 1980.** A biochemical-model of photosynthetic CO₂ assimilation in leaves of C₃ species. *Planta* 149: 78-90.
- Goudriaan J, 1980.** Crop micrometeorology: a simulation study. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen. *PhD thesis Agricultural University Wageningen*
- Kjaer KH, Clausen MR, Sudenkilde UK, Petersen BO, Bertram HC, Ottosen CO, 2014.** Photoperiodic variations induce shifts in the leaf metabolic profile of *Chrysanthemum morfilium*. *Functional Plant Biology* 41(12): 1310-1322.
- Lee JH, Heuvelink E, Challa H, 2002.** Effects of planting date and plant density on crop growth of cut chrysanthemum. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 77: 238-247
- Li T, Heuvelink E, Marcelis LFM, 2015.** Quantifying the source-sink balance and carbohydrate content in three tomato cultivars. *Frontiers in Plant Science* 6: 416.
- Marcelis LFM, 1996.** Sink strength as a determinant of dry matter partitioning in the whole plant. *J. Exp. Bot.* 47: 1281-1291.
- Monsi M, Saeki T, 1953.** Über den Lichtfaktor in de Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion. *Japanese Journal of Botany* 14: 22-52.
- Paul M, Pellny TK, 2003.** Carbon metabolite feedback regulation of leaf photosynthesis and development. *Journal of Experimental Botany* 54 (382):539-47.
- Rappoldt C, Schapendonk A, 2017.** Besparing op het elektriciteitsgebruik bij Chrysant door de belichting aan te passen aan de assimilatiebehoefte. Ongepubliceerde voorstudie, EcoCurves B.V. & Photosyntax B.V..
- Schapendonk AHCM, Brouwer P. 1984.** Fruit growth of cucumber in relation to assimilate supply and sink activity. *Scientia Horticulturae* 23: 21-33.
- Thornley JHM, 1976.** Mathematical models in plant physiology: a quantitative approach to problems in plant and crop physiology. London: academic press
- Trouwborst G, Hogewoning SW, Pot CS, 2013.** Stuurlicht bij de tijd. Plant Lighting B.V., Bunnik. 61p.
- Yin X, Goudriaan J, Lantinga EA, Vos J, Spiertz HJ, 2013.** A flexible sigmoid function of determinate growth. *Annals of Botany* 91: 361-371.

Bijlagen

Bijlage 1: Plantschema vollegrond

Schematisch overzicht plantdichtheid voor 1 kas (totaal 2 kassen: 18 en 22 graden)									
pad	138cm bed	pad	138cm bed	pad	138cm bed	pad	138cm bed	pad	50cm
50cm		50cm		50cm		50cm		50cm	
Randmeter achtergevel wel beplanten							Wisselbed(zetmeel na dag 40)		
	bacardi 17/m2		bacardi 35/m2		bacardi 52/m2		bacardi 17/m2		
	bacardi 17/m2		bacardi 35/m2		bacardi 52/m2		bacardi 17/m2		
	bacardi 17/m2		bacardi 35/m2		bacardi 52/m2		bacardi 17/m2		
	bacardi 17/m2		bacardi 35/m2		bacardi 52/m2		bacardi 17/m2		
	bacardi 17/m2		bacardi 35/m2		bacardi 52/m2		bacardi 17/m2		
	bacardi 17/m2		bacardi 35/m2		bacardi 52/m2		bacardi 17/m2		
	bacardi 17/m2		bacardi 35/m2		bacardi 70/m2		bacardi 17/m2		
	bacardi 17/m2		bacardi 35/m2		bacardi 70/m2		bacardi 87/m2		
	bacardi 17/m2		bacardi 35/m2		bacardi 70/m2		bacardi 87/m2		
	bacardi 17/m2		bacardi 35/m2		bacardi 70/m2		bacardi 87/m2		
	baltica 17/m2		baltica 35/m2		baltica 70/m2		baltica 87/m2		
	baltica 17/m2		baltica 35/m2		baltica 70/m2		baltica 87/m2		
	baltica 17/m2		baltica 35/m2		baltica 70/m2		baltica 87/m2		
	baltica 17/m2		baltica 35/m2		baltica 70/m2		baltica 17/m2		
	baltica 17/m2		baltica 35/m2		baltica 52/m2		baltica 17/m2		
	baltica 17/m2		baltica 35/m2		baltica 52/m2		baltica 17/m2		
	baltica 17/m2		baltica 35/m2		baltica 52/m2		baltica 17/m2		
	baltica 17/m2		baltica 35/m2		baltica 52/m2		baltica 17/m2		
	baltica 17/m2		baltica 35/m2		baltica 52/m2		baltica 17/m2		
	baltica 17/m2		baltica 35/m2		baltica 52/m2		baltica 17/m2		
Randmeter voorgevel wel beplanten									

Figuur 30. Indeling van cultivars en dichtheden over de kassen, waarbij een vak 100 x 138cm is.

Bloemengaas is 12 mazen van 11.5 cm breed (138 cm) en lengte mazen is 12.5 cm (8 per strekkende meter)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	120 tak
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.38 m2
3	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	87 tak/m2
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
5	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
7	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	96 tak
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.38 m2
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	70 tak/m2
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	1		1		1	1		1		1		1	72 tak
2	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1.38 m2
3	1		1		1	1		1		1		1	52 tak/m2
4	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	
5	1		1		1	1		1		1		1	
6	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	
7	1		1		1	1		1		1		1	
8	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	1		1		1			1		1		1	48 tak
2	1		1		1			1		1		1	1.38 m2
3	1		1		1			1		1		1	35 tak/m2
4	1		1		1			1		1		1	
5	1		1		1			1		1		1	
6	1		1		1			1		1		1	
7	1		1		1			1		1		1	
8	1		1		1			1		1		1	

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	1		1		1			1		1		1	24 tak
2													1.38 m2
3	1		1		1			1		1		1	17 tak/m2
4													
5	1		1		1			1		1		1	
6													
7	1		1		1			1		1		1	
8													

Figuur 31. Plantschema voor per vak van 100 * 138 cm. Geel gemarkeerde nummers geven de rijtjes aan. Rechts van de indeling staat de benodigde hoeveelheid en dichtheid. Ieder vakje is een gat in het gaas.

Bijlage 2: Plantschema potplantenkas (koolhydraten-proef)

Tafel 1 Baltica				
0	2	2	2	0
0	3	3	3	0
0	3	3	3	0
0	3	3	3	0
0	2	2	2	0
0	3	3	3	0
0	3	3	3	0
0	3	3	3	0
0	2	2	2	0

Tafel 2 Baltica				
6	8	8	8	6
6	10	10	10	6
6	8	8	8	6
6	10	10	10	6
6	10	10	10	6
3	5	5	5	3
4	6	6	6	4
4	6	6	6	4
3	5	5	5	3

Tafel 3 Bacardi				
6	8	8	8	6
6	10	10	10	6
6	8	8	8	6
6	10	10	10	6
6	10	10	10	6
3	5	5	5	3
4	6	6	6	4
4	6	6	6	4
3	5	5	5	3

Tafel 4 Bacardi				
0	2	2	2	0
0	3	3	3	0
0	3	3	3	0
0	3	3	3	0
0	2	2	2	0
0	3	3	3	0
0	3	3	3	0
0	3	3	3	0
0	2	2	2	0

	Dichtheid	Planten per tray	Aantal Trays	Aantal stekken	Meetplanten	Randplanten
	16	3	45	135	72	63
	34	6	20	120	94	26
	54	10	15	150	114	36
	71	13	10	130	84	46
Totaal				535	364	171

Figuur 32. Indeling van cultivars en dichtheden over de kassen, waarbij een vak een tray is van 32 * 57.5 cm. Het nummer in een vak weergeeft het aantal meetplanten in de desbetreffende tray.

Dichtheid **16.3**

	32 cm			32 cm			32 cm		
57.5 cm		1			1			1	
		1			1			1	
57.5 cm		1			1			1	
		1			1			1	

Dichtheid **32.6**

	32 cm			32 cm			32 cm		
57.5 cm		1		1		1		1	
	1		1		1		1		1
		1		1		1		1	
57.5 cm	1		1		1		1		1
		1		1		1		1	
		1		1		1		1	

Dichtheid **54.3**

	32 cm			32 cm			32 cm		
57.5 cm		1	1		1	1		1	1
	1	1		1	1		1	1	
		1	1		1	1		1	1
	1	1		1	1		1	1	
57.5 cm		1	1		1	1		1	1
	1	1		1	1		1	1	
		1	1		1	1		1	1
	1	1		1	1		1	1	

Dichtheid **70.7**

	32 cm			32 cm			32 cm		
57.5 cm	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1		1	1		1	1		1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1		1	1		1	1		1
57.5 cm	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1		1	1		1	1		1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1		1	1		1	1		1

Figuur 33. Plantschema een tray van voor 32 * 57.5 cm. Boven de indeling staat de dichtheid. Ieder vakje is een gat in de tray.

Bijlage 3: Carbohydrate analysis Chrysanthemum

Soluble sugars + fructan analysis

Before you start

- Switch on shaking waterbath at 80°C and 'normal' waterbath at 70°C
- Switch on the SpeedVac
- Weigh 12-20 mg freeze dried and powdered sample in a 5 mL centrifuge tube
- 120 mM HCl (100x dilution of 37% HCl)
- 80% ethanol (800ml 96% ethanol + 160 ml MilliQ)

Protocol

- Add 5 mL 80% ethanol
- Vortex and place in a shaking waterbath at 80°C for 20 minutes
- Vortex and centrifuge for 5 minutes at 8500 RPM
- Pipet 1 mL of supernatant in a 1.5 mL microcentrifuge tube
- Dry it in the SpeedVac (5.1 mbar; 55°C; heating: 1:45 hours; run-time: 2:00 hours)
- Store the 5 mL centrifuge tube in -20°C for starch determination
- Add 1 mL milliQ water to the dry microcentrifuge tube
- Place in an ultrasonic waterbath for 10 minutes
- Vortex and centrifuge at 21.1 XG for 10 minutes
- Hydrolysis for fructan determination:
 - o Add 150 µL to 150 µL 120 mM HCl solution for
 - o Place the HCl mixture in a waterbath at 70°C for 90 minutes
- Dilute the non-hydrolysed sample 10x and the hydrolysed sample 5x
- Continue to HPLC

Starch analysis

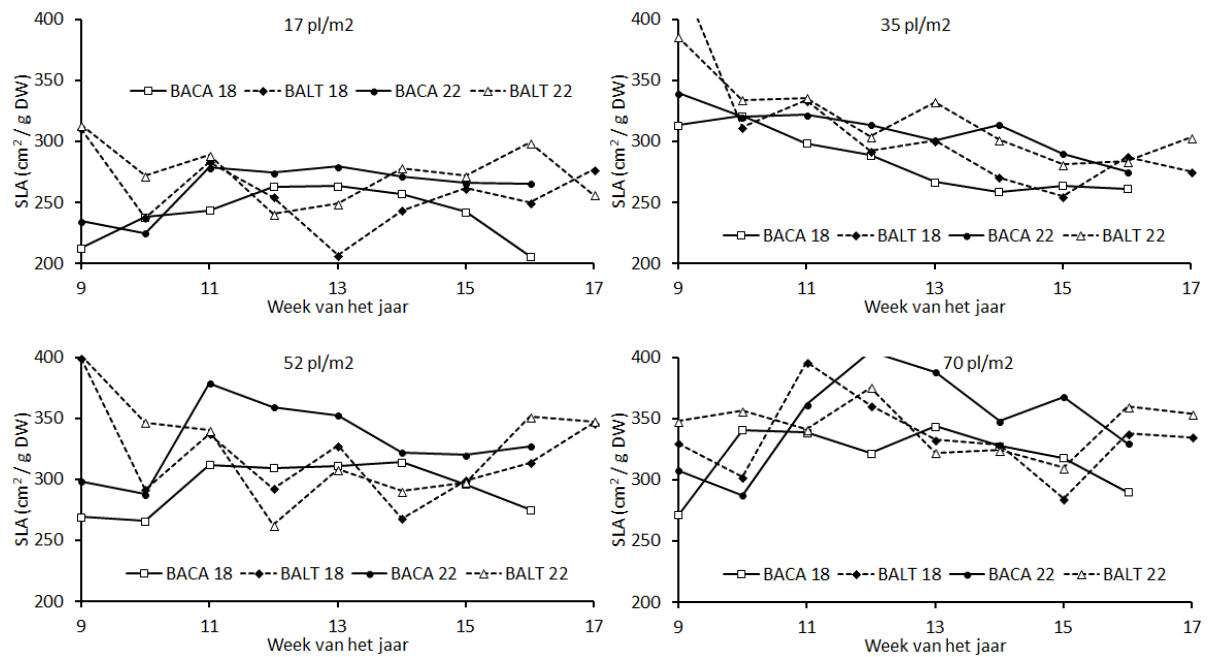
Before you start

- Switch on shaking waterbath at 90°C
- Switch on the SpeedVac
- 1 mg/mL Rohalase
- 0.5 mg/mL amyloglucosidase in 50 mM citrate buffer at pH=4.6:
 - o Citric acid monohydrate (MW 210.14): solve 1.051 g in 100 mL water
 - o Sodium citrate dihydrate (MW 294.1): solve 1.470 g in 100 mL water
 - o Add citric acid solution to sodium citrate solution until pH=4.6 (approx. 80 mL)

Protocol

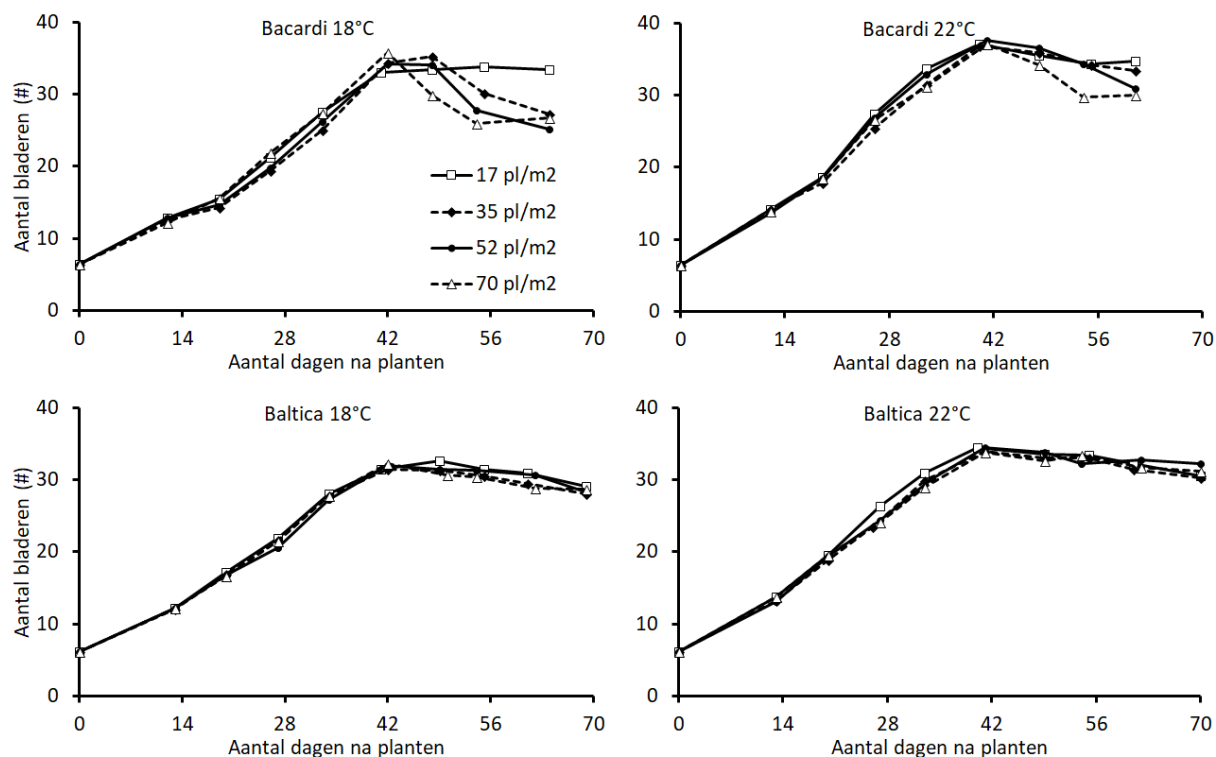
- Centrifuge at 8500 RPM for 5 minutes and discard the supernatant
- Do the following 3 times:
 - o Add 3 mL 80% ethanol and vortex
 - o Centrifuge at 8500 RPM for 5 (or 10) minutes and discard the supernatant
- Dry the pellet in the SpeedVac (5.1 mbar; 55°C; heating: 0:20 hours; run-time: 0:20 hours)
- Add 2 mL Rohalase solution and vortex and add 2 blanco samples
- Put the samples in a shaking waterbath at 90°C for 30 minutes (set to 60°C after)
- Add 1 mL amyloglucosidase solution and vortex
- Put the samples in a shaking waterbath at 60°C for 15 minutes
- Centrifuge at 8500 RPM for 5 minutes
- Put 1 mL in a 1.5 mL microcentrifuge tube
- Centrifuge at 21.1 XG for 10 minutes
- Dilute 50x and continue to HPLC

Bijlage 4: Specific leaf area (SLA)

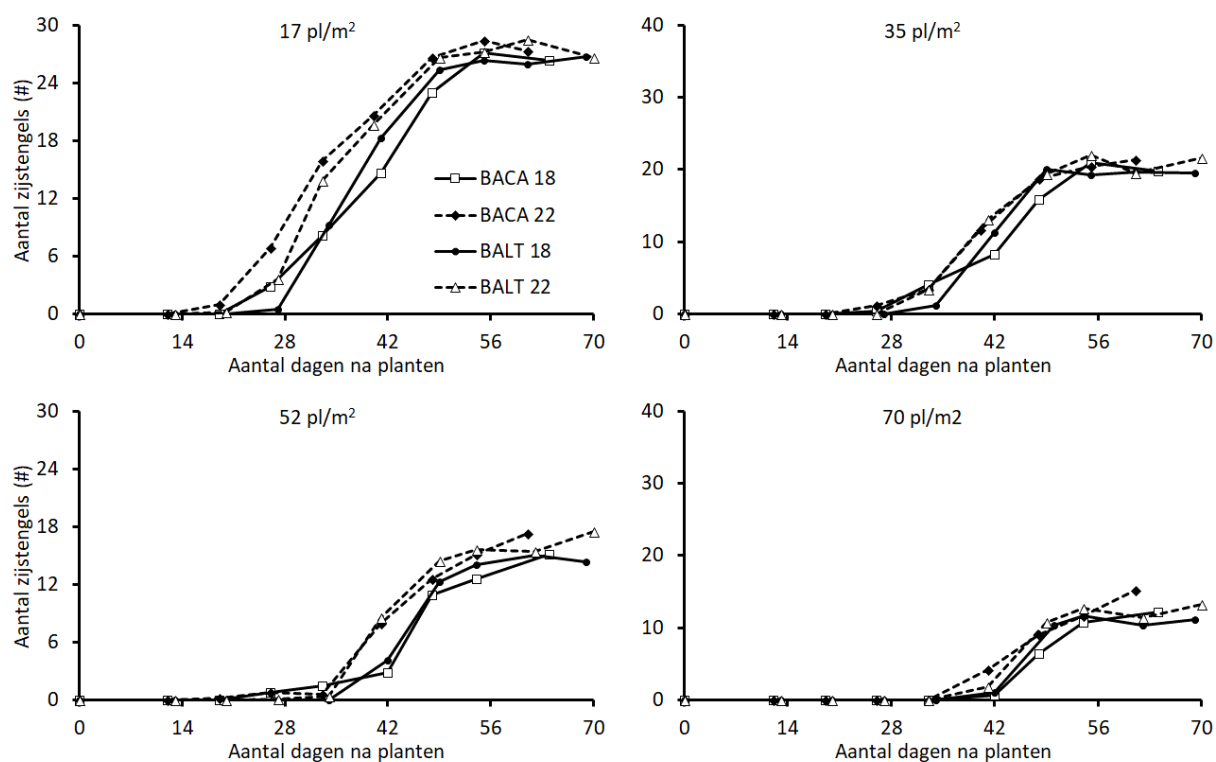


Figuur 34. Het verloop van de specific leaf area (SLA) over de periode van de proef (op basis van meting 1 representatief mogende tak per behandeling per week).

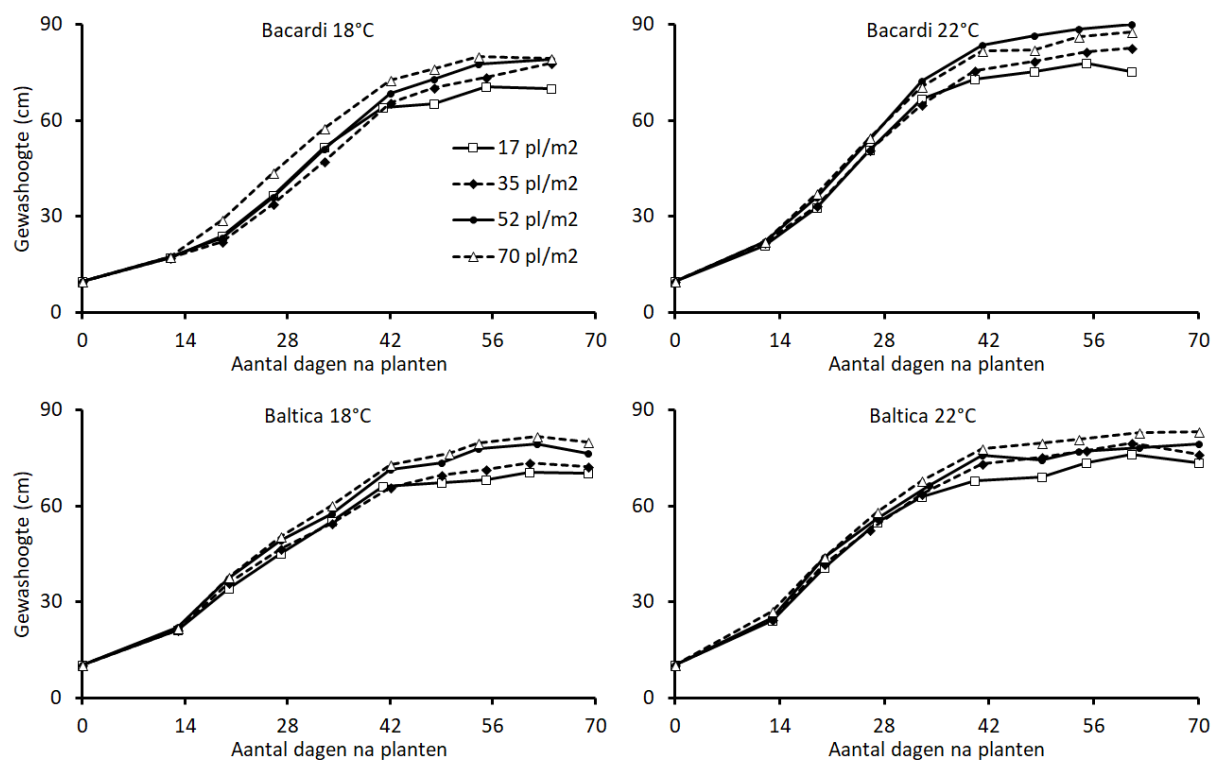
Bijlage 5: Gewasontwikkeling



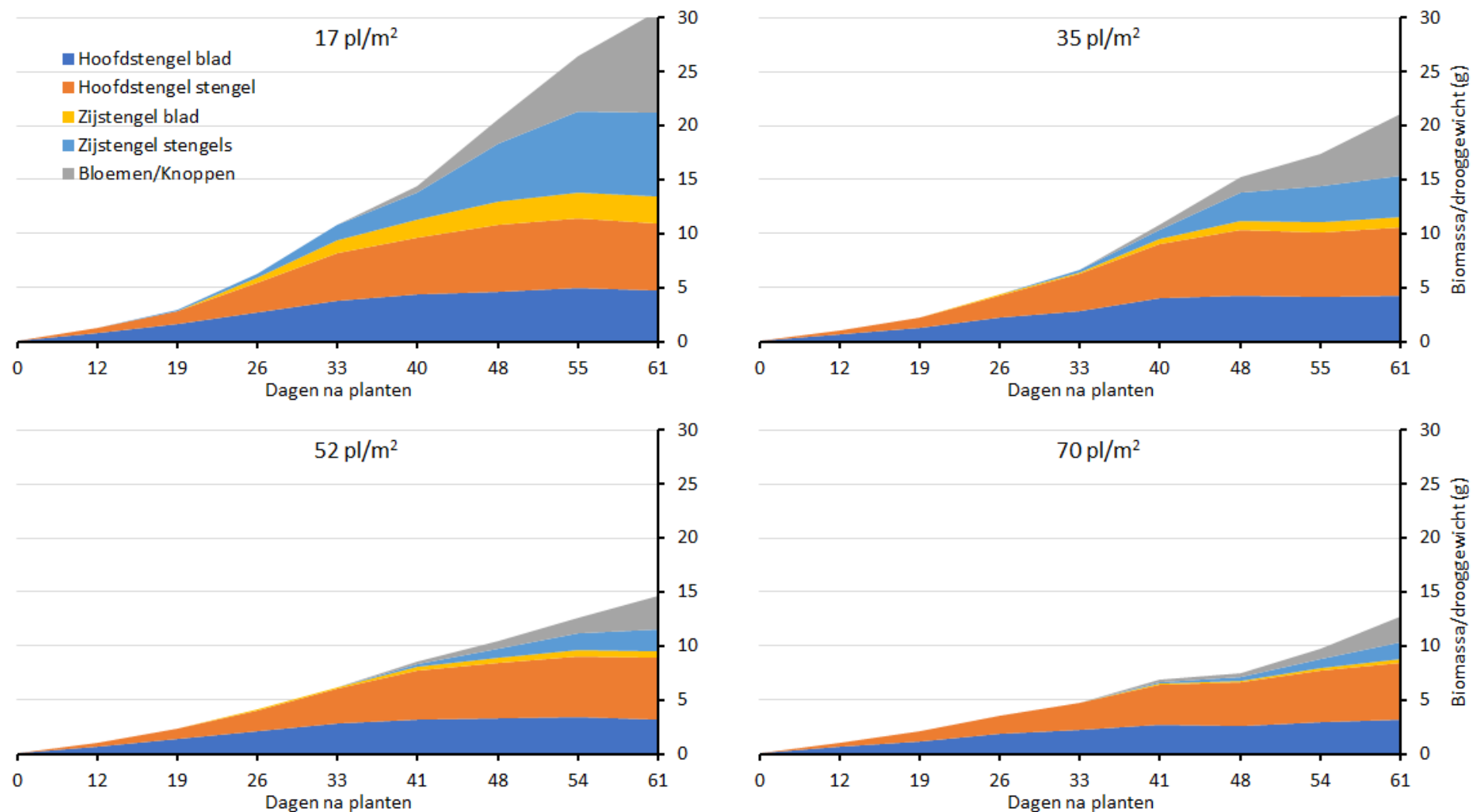
Figuur 35. De bladontwikkeling vanaf planten. Bladeren > 4 cm werden geteld ($n=5$).



Figuur 36. De zijstengel vanaf planten. Zijstengels > 5 cm werden geteld ($n=5$).



Figuur 37. De gewashoogte ontwikkeling vanaf planten ($n=5$).



Figuur 38. Biomassa/drooggewicht verdeling van de verschillende organen bij verschillende plantdichtheden voor Bacardi 22°C.



Figuur 39. Bacardi 22°C: 33, 48, 54 en 61 dagen na planten. Bovenste regel plantdichtheid 17 pl/m² en onderste regel 35 pl/m².



Figuur 40. Bacardi 22°C: 33, 48, 54 en 61 dagen na planten. Bovenste regel plantdichtheid 52 pl/m² en onderste regel 70 pl/m².

Bijlage 6: De virtuele kas

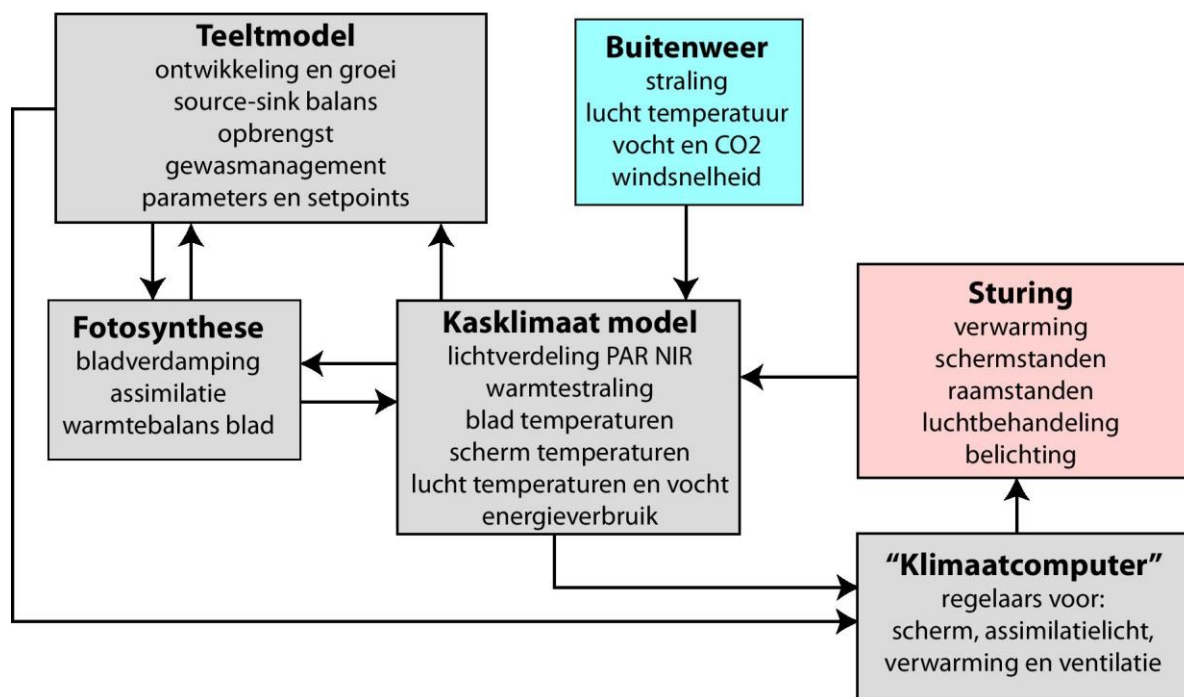
De beschreven berekeningen maken deel uit van het Explorer Kasklimaat model. Dat model is een virtuele kas (zie Figuur 41). Fotosynthese, groei en ontwikkeling van planten en vruchten worden gesimuleerd afhankelijk van licht, warmtestraling, CO₂ gehalte, temperatuur en vochtgehalte. Deze factoren vormen samen het kasklimaat dat op zijn beurt wordt gesimuleerd in afhankelijkheid van weer, raamstanden, buistemperatuur, lampen, schermen en gewasverdamping.

Net zoals in een echte kas zorgt een eveneens virtuele klimaatcomputer ervoor dat het kasklimaat in de buurt van opgegeven setpoints blijft, door middel van het aansturen van de verwarming, de schermen en de ramen.

Op deze wijze wordt in tijdstappen van 5 minuten een hele teelt gesimuleerd, met bijbehorende oogsten en ingrepen zoals het toppen van de plant of het veranderen van het setpoint voor de kastemperatuur. Het resultaat is een opbrengst met een daarbij bijbehorend energiegebruik.

Eén van de mogelijkheden die de virtuele kas biedt is het verkennen van een effect op de opbrengst. Zo'n effect van bijvoorbeeld een ander scherm, andere lampen of (in dit geval) de luchtbeweging op de gewasopbrengst wordt dan ingeschat op basis van verschillende simulaties van een heel groeiseizoen. De simulaties zijn allemaal hetzelfde op één enkele factor na, de waarde voor de onderzochte factor.

Op <http://www.virtuelekas.nl> zijn rapportages over verschillende toepassingen van de virtuele kas van EcoCurves en Photosyntax te vinden.



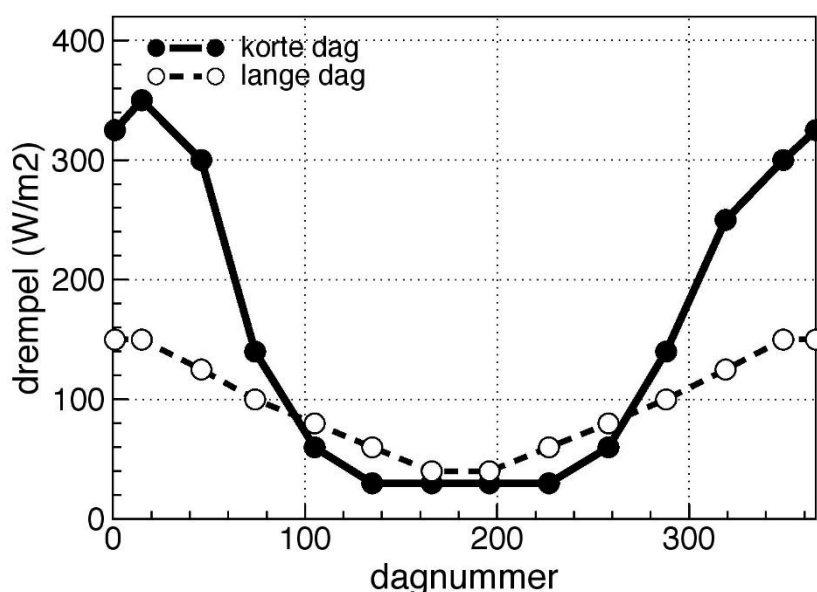
Figuur 41. Schema van de virtuele kas van EcoCurves en Photosyntax.

Bijlage 7: Daglichtdrempel

Variabele daglichtdrempel

Als er veel buitenlicht is in het voorjaar dan kan de daglichtdrempel lager ingesteld worden dan in de winter. In Figuur 42 is de daglichtdrempel in grafiek gebracht zoals die in een aantal simulaties gebruikt is als functie van het dagnummer van het jaar (tussen 1 en 366).

Het getoonde niveau is het daglichtniveau buiten waarbij de lampen uitgezet worden. Ze gaan in de simulaties opnieuw aan bij een niveau dat 50 W/m² hoger is. De drempels zijn verschillend voor de lange en de korte dag periode. Tijdens de lange dag periode kan langdurig worden belicht en is de daglichtdrempel lager ingesteld (de lampen gaan vaker uit).



Figuur 42. De variabele daglichtdrempel gebruikt in simulaties van de chrysantenteelt.

Extra reductie

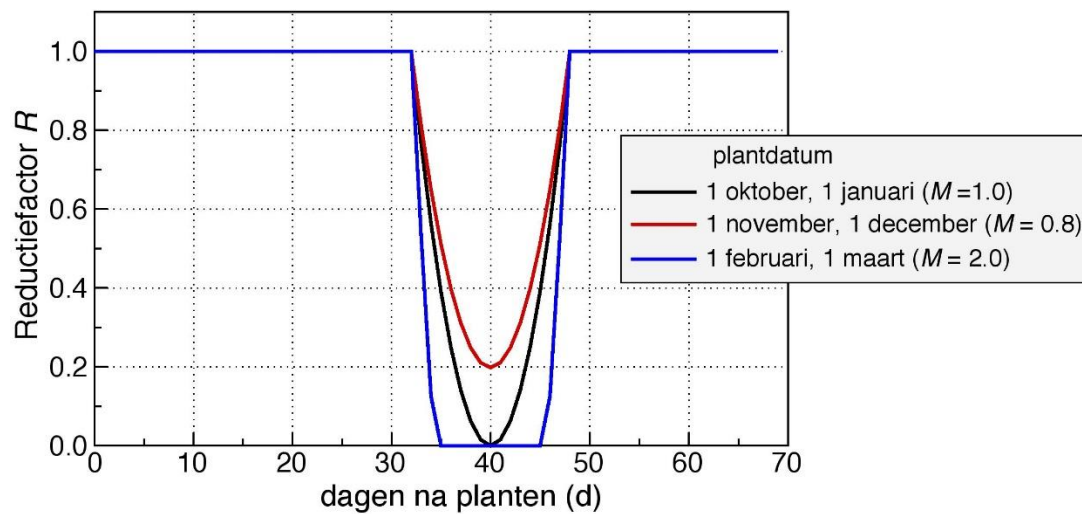
In hoofdstuk 8.3 zijn berekeningen gemaakt aan besparing op de belichting met behulp van een gereduceerde daglichtdrempel in de periode rond dag 40 waarin de assimilatenbehoefte van de plant kleiner is dan de fotosynthese (bij voldoende daglicht). Deze reductie R is een vermenigvuldigingsfactor als functie van het aantal dagen na de plantdatum d en wordt berekend als.

$$R(d) = \begin{cases} 1.0 & , \quad d \leq d_1 \\ \max \left[0.0, 1.0 - M \frac{4(d - d_1)(d_2 - d)}{(d_2 - d_1)^2} \right] & , \quad d_1 < d < d_2 \\ 1.0 & , \quad d \geq d_2 \end{cases} \quad (7.1)$$

Hierin is d_1 het begin van de reductieperiode (dag 32), d_2 het einde van de reductieperiode (dag 48) en M de maximale reductie halverwege de tijdstippen d_1 en d_2 . Als $M=1.0$, dan bereikt de reductiefactor R precies de nul.

In Figuur 43 zijn een paar curves getekend voor verschillende waarden van M . In de berekeningen in hoofdstuk 8.3 is M afhankelijk van de plantdatum. Voor 1 november en 1

december is $M=0.8$, voor 1 oktober en 1 januari $M=1.0$ en voor 1 februari en 1 maart is $M=2.0$. Een waarde van M groter dan 1.0 leidt ertoe dat in het midden van de reductieperiode de belichting enige tijd is uitgeschakeld, zoals dat ook te zien is in Figuur 43.



Figuur 43. De vermenigvuldigingsfactor volgens Vergelijking (7.1). Deze factor is toegepast op de daglicht drempel voor besparing op elektra in de periode rond dag 40 na planten (zie hoofdstuk 8.3).

Bijlage 8: Effect van belichting bij 18°C

In een simulatie experiment zijn met de virtuele kas berekeningen uitgevoerd aan de teelt van chrysanten met SON-T belichtingen van 100, 150 en 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. De berekeningen zijn gedaan voor een temperatuur setpoint van 18°C en voor een lichte kas met een transmissie van 72% in de winter en voor 6 verschillende startdata tussen oktober en maart, steeds met een daglichtdrempel die van het seizoen afhangt zoals weergegeven in Figuur 43.

Voor elke startdatum is de virtuele teelt 12 keer uitgevoerd, voor alle jaren in de periode [2003-2014] waarna gemiddelden en standaarddeviaties zijn berekend. De vermelde standaarddeviaties zijn dus *alleen* het gevolg van verschillen in weer tussen de 12 gebruikte jaren.

Alle berekeningen zijn uitgevoerd voor twee verschillende plantdichtheden, 48 en 63 planten per m^2 kas inclusief paden. In elke tabel staan de resultaten voor beide dichtheden.

Tabel 11 laat het versgewicht en elektriciteitsgebruik zien. Bij de berekening van het versgewicht is uitgegaan van een gemiddeld drogestof gehalte tussen dat van Bacardi en Baltica.

Tabel 12 bevat nog een keer het elektriciteitsgebruik, nu samen met de buiswarmte. Bij het berekenen van de warmtebehoefte is geen rekening gehouden met bodemverdamping en de daarmee samenhangende afvoer van een extra hoeveelheid waterdamp. Het gaat hier dus in eerste instantie om het effect van belichtingswarmte op de warmtebehoefte van kaslucht en gewas. De voor de bodemverdamping benodigde warmte kan 10-30% van de totale warmtebehoefte bedragen.

In Tabel 13 en Tabel 14 volgen de resultaten voor totaal PAR op gewashoogte, de lichtbenutting, de bruto drogestof productie (fotosynthese minus onderhoudsademhaling) en de source-sink verhouding.

Disclaimer

Door EcoCurves BV en Photosyntax BV is grote zorg besteed aan de simulaties met de virtuele kas. Er zullen echter altijd kleine of grote verschillen blijven tussen de werkelijkheid en onze berekeningen. Zulke afwijkingen zijn het gevolg van onjuiste aannames, onjuiste modellering, fouten in gebruikte datafiles of programmeerfouten. **Wij kunnen daarom geen aansprakelijkheid aanvaarden voor eventuele schade die voortvloeit uit het gebruik van deze tabellen.**

Tabel 11. Takgewicht en elektriciteitsgebruik in gesimuleerde teelten in een licht kas (met een transmissie van 72% in de winter) voor verschillende startdata, met assimilaten reserves die later kunnen worden gebruikt en voor een SON-T belichting met 100, 150 en 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. De setpoint voor stoken is 18°C en de daglichtdrempel is seizoensafhankelijk.

start datum	Plant versgewicht (g) voor			electra (kWh m^{-2}) voor		
	100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
plantdichtheid 48						
1 oktober	82.2 ± 3.0	98.9 ± 2.3	114.7 ± 2.1	36.5 ± 0.9	54.7 ± 1.4	72.9 ± 1.9
1 november	62.5 ± 2.5	84.3 ± 2.1	104.2 ± 1.7	45.1 ± 0.7	67.6 ± 1.1	90.1 ± 1.5
1 december	65.4 ± 3.0	87.1 ± 2.4	107.1 ± 2.4	46.7 ± 0.4	70.0 ± 0.7	93.4 ± 0.9
1 januari	89.5 ± 3.1	106.7 ± 2.7	124.7 ± 2.8	42.4 ± 1.5	63.7 ± 2.2	84.9 ± 3.0
1 februari	130.9 ± 8.9	142.6 ± 8.4	154.3 ± 7.7	26.9 ± 1.5	40.4 ± 2.2	53.8 ± 2.9
1 maart	186.9 ± 14.0	190.5 ± 12.6	193.4 ± 11.2	12.4 ± 0.9	18.6 ± 1.3	24.8 ± 1.7
plantdichtheid 63						
1 oktober	65.1 ± 2.1	77.7 ± 1.7	89.5 ± 1.5	36.5 ± 0.9	54.7 ± 1.4	72.9 ± 1.9
1 november	50.7 ± 1.8	67.3 ± 1.5	81.7 ± 1.3	45.1 ± 0.7	67.6 ± 1.1	90.1 ± 1.5
1 december	53.0 ± 2.1	69.3 ± 1.8	83.7 ± 1.7	46.7 ± 0.4	70.0 ± 0.7	93.4 ± 0.9
1 januari	70.8 ± 2.3	83.3 ± 1.6	96.2 ± 1.9	42.4 ± 1.5	63.7 ± 2.2	84.9 ± 3.0
1 februari	100.3 ± 6.1	108.6 ± 5.8	117.3 ± 5.3	26.9 ± 1.5	40.4 ± 2.2	53.8 ± 2.9
1 maart	142.7 ± 12.4	146.1 ± 12.2	148.7 ± 11.2	12.4 ± 0.9	18.6 ± 1.3	24.8 ± 1.7

Tabel 12. Elektriciteit en buiswarmte in gesimuleerde teelten in een licht kas (met een transmissie van 72% in de winter) voor verschillende startdata, met assimilaten reserves die later kunnen worden gebruikt en voor een SON-T belichting met 100, 150 en 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. De setpoint voor stoken is 18°C en de daglichtdrempel is seizoensafhankelijk.

start datum	electra (kWh m^{-2}) voor			Buiswarmte (MJ m^{-2}) voor		
	100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
plantdichtheid 48						
1 oktober	36.5 ± 0.9	54.7 ± 1.4	72.9 ± 1.9	172 ± 20	165 ± 18	164 ± 18
1 november	45.1 ± 0.7	67.6 ± 1.1	90.1 ± 1.5	217 ± 30	196 ± 25	191 ± 23
1 december	46.7 ± 0.4	70.0 ± 0.7	93.4 ± 0.9	253 ± 38	223 ± 33	214 ± 30
1 januari	42.4 ± 1.5	63.7 ± 2.2	84.9 ± 3.0	256 ± 39	236 ± 35	230 ± 32
1 februari	26.9 ± 1.5	40.4 ± 2.2	53.8 ± 2.9	228 ± 34	215 ± 33	207 ± 32
1 maart	12.4 ± 0.9	18.6 ± 1.3	24.8 ± 1.7	169 ± 23	160 ± 22	154 ± 22
plantdichtheid 63						
1 oktober	36.5 ± 0.9	54.7 ± 1.4	72.9 ± 1.9	182 ± 21	175 ± 19	174 ± 19
1 november	45.1 ± 0.7	67.6 ± 1.1	90.1 ± 1.5	223 ± 29	206 ± 24	203 ± 23
1 december	46.7 ± 0.4	70.0 ± 0.7	93.4 ± 0.9	258 ± 37	233 ± 33	227 ± 30
1 januari	42.4 ± 1.5	63.7 ± 2.2	84.9 ± 3.0	264 ± 38	247 ± 36	244 ± 35
1 februari	26.9 ± 1.5	40.4 ± 2.2	53.8 ± 2.9	238 ± 34	227 ± 34	222 ± 34
1 maart	12.4 ± 0.9	18.6 ± 1.3	24.8 ± 1.7	181 ± 23	172 ± 23	167 ± 23

Tabel 13. Totaal PAR licht op gewashoogte en lichtbenutting in gesimuleerde teelten in een licht kas (met een transmissie van 72% in de winter) voor verschillende startdata, met assimilaten reserves die later kunnen worden gebruikt en voor een SON-T belichting met 100, 150 en 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. De setpoint voor stoken is 18°C en de daglichtdrempel is seizoensafhankelijk. De verschillen in lichtbenutting zijn zo klein dat geen standaarddeviaties zijn weergegeven.

start datum	Totaal PAR (mol m^{-2}) voor			Lichtbenutting ($\text{g (droog) mol}^{-1}$) voor		
	100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
plantdichtheid 48						
1 oktober	666 ± 23	786 ± 21	907 ± 19	0.824	0.830	0.828
1 november	509 ± 13	658 ± 12	807 ± 12	0.839	0.854	0.851
1 december	523 ± 17	677 ± 17	832 ± 17	0.861	0.859	0.849
1 januari	678 ± 28	818 ± 24	958 ± 20	0.886	0.861	0.853
1 februari	996 ± 65	1085 ± 62	1174 ± 59	0.867	0.864	0.864
1 maart	1406 ± 127	1447 ± 125	1488 ± 123	0.893	0.891	0.884
plantdichtheid 63						
1 oktober	666 ± 23	786 ± 21	907 ± 18	0.873	0.873	0.863
1 november	509 ± 13	658 ± 12	807 ± 12	0.912	0.913	0.892
1 december	523 ± 17	677 ± 17	832 ± 17	0.934	0.915	0.886
1 januari	678 ± 28	818 ± 24	958 ± 20	0.939	0.899	0.876
1 februari	996 ± 65	1085 ± 62	1174 ± 59	0.885	0.875	0.869
1 maart	1406 ± 127	1447 ± 125	1488 ± 123	0.885	0.880	0.870

Tabel 14. De source en de soure-sink verhouding (geïntegreerd over de gehele teelt vanaf dag 14 na planten) in gesimuleerde teelten in een licht kas (met een transmissie van 72% in de winter) voor verschillende startdata, met assimilaten reserves die later kunnen worden gebruikt en voor een SON-T belichting met 100, 150 en 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. De setpoint voor stoken is 18°C en de daglichtdrempel is seizoensafhankelijk.

start datum	Source ($\text{g m}^{-2}(\text{suiker})$) voor			Source-Sink verhouding (-) voor		
	100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
plantdichtheid 48						
1 oktober	808 ± 31	968 ± 25	1118 ± 22	0.49 ± 0.02	0.58 ± 0.02	0.66 ± 0.02
1 november	618 ± 24	826 ± 21	1020 ± 18	0.36 ± 0.02	0.49 ± 0.01	0.60 ± 0.01
1 december	651 ± 29	854 ± 24	1047 ± 23	0.37 ± 0.02	0.50 ± 0.02	0.61 ± 0.02
1 januari	885 ± 28	1048 ± 25	1221 ± 26	0.49 ± 0.02	0.60 ± 0.02	0.69 ± 0.02
1 februari	1298 ± 91	1408 ± 84	1518 ± 76	0.69 ± 0.03	0.76 ± 0.03	0.82 ± 0.03
1 maart	1870 ± 160	1905 ± 156	1931 ± 145	0.91 ± 0.07	0.95 ± 0.06	0.97 ± 0.05
plantdichtheid 63						
1 oktober	843 ± 29	1002 ± 24	1149 ± 20	0.43 ± 0.02	0.51 ± 0.02	0.58 ± 0.01
1 november	663 ± 24	872 ± 21	1056 ± 18	0.32 ± 0.01	0.43 ± 0.01	0.53 ± 0.01
1 december	699 ± 27	900 ± 23	1080 ± 21	0.33 ± 0.01	0.44 ± 0.02	0.54 ± 0.02
1 januari	930 ± 27	1084 ± 19	1244 ± 23	0.43 ± 0.01	0.52 ± 0.02	0.62 ± 0.03
1 februari	1318 ± 82	1419 ± 77	1523 ± 69	0.60 ± 0.03	0.66 ± 0.02	0.72 ± 0.02
1 maart	1865 ± 153	1899 ± 151	1923 ± 139	0.79 ± 0.05	0.81 ± 0.05	0.82 ± 0.04

Bijlage 9: Effect van belichting bij 22°C

De tabellen in Bijlage 8 zijn hier nogmaals berekend, maar nu met 22°C als setpoint voor de temperatuur. De berekeningen zijn weer uitgevoerd voor twee verschillend plantdichtheden, 48 en 63 planten per m² kas inclusief paden. In elke tabel staan de resultaten voor beide dichtheden.

Tabel 15 laat het vergewicht en het elektriciteitsgebruik zien. Bij de berekening van het vergewicht is uitgegaan van een gemiddeld drogestof gehalte tussen dat van Bacardi en Baltica.

Tabel 16 bevat nog een keer het elektriciteitsgebruik, nu samen met de buiswarmte. Bij het berekenen van de warmtebehoefte is geen rekening gehouden met bodemverdamping en de daarmee samenhangende afvoer van een extra hoeveelheid waterdamp. Het gaat hier dus in eerste instantie om het effect van belichtingswarmte op de warmtebehoefte van kaslucht en gewas. De voor de bodemverdamping benodigde warmte kan 10-30% van de totale warmtebehoefte bedragen.

In Tabel 17 en Tabel 18 volgen de resultaten voor totaal PAR op gewashoogte, de lichtbenutting, de bruto drogestof productie (fotosynthese minus onderhoudsademhaling) en de source-sink verhouding.

Weer zien we in de donkerste maanden het grootste effect van belichting, uiteraard. Opmerkelijk in het effect op de benodigde buiswarmte, dat bij 22°C veel groter is dan bij 18°C. Dat komt omdat bij 22°C de extra warmte van de lampen vaker nuttig is dan bij 18°C. Door de korte daglengte tijdens het grootste deel van de teelt zijn de mogelijkheden om de kas te verwarmen met behulp van lamplicht (waardoor zowel lamplicht als lampwarmte gebruikt worden) beperkt. Zie ook de discussie in hoofdstuk 9.

Disclaimer

Door EcoCurves BV en Photosyntax BV is grote zorg besteed aan de simulaties met de virtuele kas. Er zullen echter altijd kleine of grote verschillen blijven tussen de werkelijkheid en onze berekeningen. Zulke afwijkingen zijn het gevolg van onjuiste aannames, onjuiste modellering, fouten in gebruikte datafiles of programmeerfouten. **Wij kunnen daarom geen aansprakelijkheid aanvaarden voor eventuele schade die voortvloeit uit het gebruik van deze tabellen.**

Tabel 15. Takgewicht en elektriciteitsgebruik in gesimuleerde teelten in een licht kas (met een transmissie van 72% in de winter) voor verschillende startdata, met assimilaten reserves die later kunnen worden gebruikt en voor een SON-T belichting met 100, 150 en 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. De setpoint voor stoken is 22°C en de daglichtdrempel is seizoensafhankelijk.

plantdatum	Plant versgewicht (g) voor			electra (kWh m^{-2}) voor		
	100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
plantdichtheid 48						
1 oktober	81.3 $\pm$ 3.0	96.9 $\pm$ 2.7	111.4 $\pm$ 2.3	36.5 $\pm$ 0.9	54.7 $\pm$ 1.4	72.9 $\pm$ 1.9
1 november	61.6 $\pm$ 2.4	82.3 $\pm$ 1.9	100.5 $\pm$ 1.7	45.1 $\pm$ 0.7	67.6 $\pm$ 1.1	90.1 $\pm$ 1.5
1 december	64.5 $\pm$ 3.1	85.2 $\pm$ 2.4	102.6 $\pm$ 2.1	46.7 $\pm$ 0.4	70.0 $\pm$ 0.7	93.4 $\pm$ 0.9
1 januari	88.0 $\pm$ 3.0	102.5 $\pm$ 2.0	118.2 $\pm$ 2.1	42.4 $\pm$ 1.5	63.7 $\pm$ 2.2	84.9 $\pm$ 3.0
1 februari	123.9 $\pm$ 7.4	133.3 $\pm$ 7.0	143.3 $\pm$ 6.8	26.9 $\pm$ 1.5	40.4 $\pm$ 2.2	53.8 $\pm$ 2.9
1 maart	175.6 $\pm$ 15.6	179.6 $\pm$ 15.2	183.9 $\pm$ 15.3	12.4 $\pm$ 0.9	18.6 $\pm$ 1.3	24.8 $\pm$ 1.8
plantdichtheid 63						
1 oktober	64.7 $\pm$ 2.2	76.1 $\pm$ 1.8	86.8 $\pm$ 1.4	36.5 $\pm$ 0.9	54.7 $\pm$ 1.4	72.9 $\pm$ 1.9
1 november	50.2 $\pm$ 1.6	66.0 $\pm$ 1.4	79.7 $\pm$ 1.3	45.1 $\pm$ 0.7	67.6 $\pm$ 1.1	90.1 $\pm$ 1.5
1 december	52.3 $\pm$ 2.1	67.5 $\pm$ 1.7	81.0 $\pm$ 1.5	46.7 $\pm$ 0.4	70.0 $\pm$ 0.7	93.4 $\pm$ 0.9
1 januari	68.5 $\pm$ 1.8	80.6 $\pm$ 1.6	91.4 $\pm$ 1.2	42.4 $\pm$ 1.5	63.7 $\pm$ 2.2	84.9 $\pm$ 3.0
1 februari	95.5 $\pm$ 5.1	102.2 $\pm$ 4.7	109.1 $\pm$ 4.2	26.9 $\pm$ 1.5	40.4 $\pm$ 2.2	53.8 $\pm$ 2.9
1 maart	131.2 $\pm$ 10.8	134.0 $\pm$ 10.8	137.2 $\pm$ 10.7	12.4 $\pm$ 0.9	18.6 $\pm$ 1.3	24.8 $\pm$ 1.8

Tabel 16. Elektriciteit en buiswarmte in gesimuleerde teelten in een licht kas (met een transmissie van 72% in de winter) voor verschillende startdata, met assimilaten reserves die later kunnen worden gebruikt en voor een SON-T belichting met 100, 150 en 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. De setpoint voor stoken is 22°C en de daglichtdrempel is seizoensafhankelijk.

plantdatum	electra (kWh m^{-2}) voor			Buiswarmte (MJ m^{-2}) voor		
	100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
plantdichtheid 48						
1 oktober	36.5 ± 0.9	54.7 ± 1.4	72.9 ± 1.9	252 ± 26	223 ± 24	207 ± 22
1 november	45.1 ± 0.7	67.6 ± 1.1	90.1 ± 1.5	337 ± 35	290 ± 33	258 ± 30
1 december	46.7 ± 0.4	70.0 ± 0.7	93.4 ± 0.9	385 ± 42	332 ± 40	293 ± 36
1 januari	42.4 ± 1.5	63.7 ± 2.2	84.9 ± 3.0	377 ± 43	335 ± 41	303 ± 38
1 februari	26.9 ± 1.5	40.4 ± 2.2	53.8 ± 2.9	330 ± 42	306 ± 42	288 ± 41
1 maart	12.4 ± 0.9	18.6 ± 1.3	24.8 ± 1.8	253 ± 32	241 ± 31	231 ± 31
plantdichtheid 63						
1 oktober	36.5 ± 0.9	54.7 ± 1.4	72.9 ± 1.9	257 ± 26	229 ± 24	215 ± 22
1 november	45.1 ± 0.7	67.6 ± 1.1	90.1 ± 1.5	341 ± 35	295 ± 32	264 ± 29
1 december	46.7 ± 0.4	70.0 ± 0.7	93.4 ± 0.9	389 ± 42	338 ± 40	299 ± 36
1 januari	42.4 ± 1.5	63.7 ± 2.2	84.9 ± 3.0	383 ± 43	342 ± 42	312 ± 38
1 februari	26.9 ± 1.5	40.4 ± 2.2	53.8 ± 2.9	338 ± 43	316 ± 43	299 ± 42
1 maart	12.4 ± 0.9	18.6 ± 1.3	24.8 ± 1.8	263 ± 32	251 ± 32	241 ± 31

Tabel 17. Totaal PAR licht op gewashoogte en lichtbenutting in gesimuleerde teelten in een licht kas (met een transmissie van 72% in de winter) voor verschillende startdata, met assimilaten reserves die later kunnen worden gebruikt en voor een SON-T belichting met 100, 150 en 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. De setpoint voor stoken is 22°C en de daglichtdrempel is seizoensafhankelijk. De verschillen in lichtbenutting zijn zo klein dat geen standaarddeviaties zijn weergegeven.

plantdatum	Totaal PAR (mol m^{-2}) voor			Lichtbenutting ($\text{g (droog) mol}^{-1}$) voor		
	100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
plantdichtheid 48						
1 oktober	666 ± 23	786 ± 21	907 ± 19	0.812	0.812	0.805
1 november	509 ± 13	658 ± 12	807 ± 12	0.825	0.834	0.820
1 december	523 ± 17	677 ± 17	832 ± 17	0.849	0.842	0.813
1 januari	678 ± 28	818 ± 24	958 ± 20	0.871	0.828	0.807
1 februari	996 ± 65	1085 ± 62	1174 ± 59	0.819	0.805	0.798
1 maart	1406 ± 127	1447 ± 125	1488 ± 123	0.817	0.812	0.809
plantdichtheid 63						
1 oktober	666 ± 23	786 ± 21	907 ± 18	0.866	0.854	0.838
1 november	509 ± 13	658 ± 12	807 ± 12	0.899	0.896	0.870
1 december	523 ± 17	677 ± 17	832 ± 17	0.919	0.893	0.859
1 januari	678 ± 28	818 ± 24	958 ± 20	0.908	0.872	0.834
1 februari	996 ± 65	1085 ± 62	1174 ± 59	0.843	0.824	0.808
1 maart	1406 ± 127	1447 ± 125	1488 ± 123	0.809	0.802	0.798

Tabel 18. De source en de source-sink verhouding (geïntegreerd over de gehele teelt vanaf dag 14 na planten) in gesimuleerde teelten in een licht kas (met een transmissie van 72% in de winter) voor verschillende startdata, met assimilaten reserves die later kunnen worden gebruikt en voor een SON-T belichting met 100, 150 en 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. De setpoint voor stoken is 22°C en de daglichtdrempel is seizoensafhankelijk.

plantdatum	Source ($\text{g m}^{-2}(\text{suiker})$) voor			Source-Sink verhouding (-) voor		
	100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
plandichtheid 48						
1 oktober	795 ± 32	945 ± 28	1086 ± 23	0.39 ± 0.02	0.46 ± 0.02	0.52 ± 0.01
1 november	607 ± 23	806 ± 19	982 ± 18	0.28 ± 0.01	0.38 ± 0.01	0.47 ± 0.01
1 december	640 ± 29	835 ± 24	1002 ± 21	0.28 ± 0.01	0.38 ± 0.01	0.48 ± 0.01
1 januari	870 ± 27	1008 ± 19	1159 ± 19	0.38 ± 0.02	0.47 ± 0.02	0.55 ± 0.01
1 februari	1229 ± 77	1319 ± 72	1415 ± 69	0.55 ± 0.04	0.61 ± 0.03	0.65 ± 0.02
1 maart	1743 ± 151	1778 ± 147	1814 ± 146	0.73 ± 0.04	0.74 ± 0.04	0.76 ± 0.04
plandichtheid 63						
1 oktober	833 ± 33	977 ± 26	1113 ± 21	0.34 ± 0.01	0.40 ± 0.02	0.45 ± 0.02
1 november	653 ± 22	855 ± 19	1028 ± 19	0.26 ± 0.01	0.33 ± 0.01	0.40 ± 0.01
1 december	687 ± 27	877 ± 23	1045 ± 21	0.26 ± 0.01	0.34 ± 0.01	0.41 ± 0.01
1 januari	899 ± 22	1050 ± 19	1184 ± 16	0.33 ± 0.01	0.40 ± 0.01	0.47 ± 0.02
1 februari	1256 ± 72	1338 ± 65	1421 ± 57	0.46 ± 0.03	0.51 ± 0.03	0.56 ± 0.02
1 maart	1721 ± 135	1749 ± 137	1782 ± 136	0.62 ± 0.04	0.64 ± 0.03	0.66 ± 0.03