

## Telen op basis van plantbalans bij koude teelten (vergelijkend praktijkonderzoek bij Freesia)



Sander Pot, Ad Schapendonk, Jan Snel en Hans Pronk  
Augustus 2016

# **Telen op basis van plantbalans bij koude teelten (vergelijkend praktijkonderzoek met Freesia als voorbeeldgewas)**

Augustus 2016

Sander Pot<sup>1</sup>  
Ad Schapendonk<sup>2</sup>  
Jan Snel<sup>3</sup>  
Hans Pronk<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Plant Dynamics B.V.  
Koningin Julianastraat 23, 6668 AG Randwijk  
[www.plant-dynamics.nl](http://www.plant-dynamics.nl)  
06-12885226

<sup>2</sup>Photosyntax B.V.  
Englaan 8, 6703 EW Wageningen

<sup>3</sup>Adviesbureau JFH Snel  
Churchillweg 108, 6706 AE Wageningen

<sup>4</sup>Pronk Consultancy  
Verfmolen 4, 3146 CX Maassluis

© 2016 Randwijk, Plant Dynamics B.V. & Photosyntax B.V.

Dit rapport is tot stand gekomen in samenwerking met het ministerie van Economische Zaken en het Productschap Tuinbouw in het kader van het programma Kas als Energiebron, ter stimulering van energiebesparende maatregelen in de tuinbouw.

De resultaten van deze uitgave mogen vrij gebruikt worden, mits de bronnen worden vermeld.

De auteurs zijn niet aansprakelijk voor eventuele schade als gevolg van het gebruik van gegevens en resultaten van dit onderzoek.

## Inhoudsopgave

<b>Samenvatting .....</b>	<b>3</b>
<b>Voorwoord .....</b>	<b>5</b>
<b>1 Inleiding.....</b>	<b>6</b>
1.1 Doelstelling. ....	7
1.2 Plan van aanpak.....	7
<b>2 Plantopbouw .....</b>	<b>8</b>
<b>3 Fotosynthese.....</b>	<b>10</b>
3.1 Inleiding .....	10
3.2 Meting van de CO <sub>2</sub> -opname .....	11
3.2.1 Lichtrespons van de fotosynthese: .....	11
3.2.2 CO <sub>2</sub> -respons van de fotosynthese:.....	12
3.2.3 Belang van huidmondjesgeleidbaarheid (Gs) op de fotosynthese:.....	13
3.3 Meting van de lichtbenutting.....	14
3.3.1 Verloop PAR en ETR.....	15
3.3.2 Gerealiseerde ETR en potentiële ETR .....	17
3.3.3 Invloed van temperatuur.....	18
<b>4 Teelt en oogstregistratie.....</b>	<b>19</b>
4.1 Klimaat.....	19
4.2 Lichtonderschepping .....	21
4.3 Oogstregistratie en verloop plantontwikkeling .....	23
4.3.1 Oogstregistratie van de takken .....	26
<b>5 Plantbalans.....</b>	<b>27</b>
5.1 Plantbalans berekeningen .....	28
5.2 Plantbalans gedurende de teelt .....	30
5.3 Plantbalans en temperatuur. ....	32
<b>6 Discussie &amp; aanbeveling.....</b>	<b>33</b>
<b>7 Referenties.....</b>	<b>34</b>
<i>Bijlage 1 .....</i>	<i>35</i>
<i>Meetmethode HEX-PAM .....</i>	<i>35</i>

## **Samenvatting**

Deze studie met plantbalans als uitgangspunt is gedaan op verzoek van de Landelijke Commissie Freesia en gefinancierd door het ministerie van Economische zaken, in het kader van het programma Kas als energiebron. Het onderzoek is uitgevoerd door Plant Dynamics in samenwerking met Photosyntax (Ad Schapendonk), Pronk Consultancy (Hans Pronk) en Adviesbureau JFH Snel (Jan Snel).

Het onderzoek is uitgevoerd op de praktijkbedrijven Hofland en van Os, waarbij speciale aandacht werd besteed aan hoe de plantontwikkeling verloopt in relatie tot licht en temperatuur. Gewasgroei en gewaskwaliteit worden namelijk sterk bepaald door de verhouding tussen vraag en aanbod van assimilaten. Het assimilatenaanbod (source) wordt alleen goed benut als er een voldoende snelle ontwikkeling van plantorganen is (sink). Teelten als Freesia worden tegenwoordig flink belicht (50-70  $\mu\text{mol}$  met maxima van 100  $\mu\text{mol}$ ), maar nog altijd bij een temperatuur van veelal onder de 10 graden geteeld in de winter. De temperatuur wordt zo laag gehouden om de plantontwikkeling te remmen uit angst voor slechte kwaliteit, echter onduidelijk is of bij deze lage temperaturen de lichtbenutting wel optimaal is. M.a.w. het lijkt erop dat er wordt geteeld door gas te geven met de rem erop.

Deze studie moet leiden tot inzicht naar een nieuw energiezuinig teeltconcept, met plantbalans en minimale verspilling van energie als uitgangspunt. Dit concept zal worden uitgewerkt voor Freesia, maar zal naar verwachting veel breder kunnen worden toegepast. Een belangrijk doel van dit onderzoek is het in kaart brengen van de (on)balans tussen de source en de sink. Twee teelten met hetzelfde uitgangsmateriaal, planting en bodemtemperatuur, maar die verschillen in teelttemperatuur en lichtsom, worden met elkaar vergeleken. Hierbij dient opgemerkt te worden dat toch kleine verschillen in bodemtemperatuur zijn ontstaan tussen de locaties, wat mogelijk van invloed kan zijn geweest op de plantontwikkeling.

Afgelopen winter is over het algemeen een warme periode geweest, waardoor de temperatuur verschillen tussen beide locaties kleiner zijn dan voor de proef gewenst. Wel is bij Hofland meer licht toegelaten (vooral aan het begin van de teelt), wat heeft geresulteerd in verschillen in het gewas en de plantbalans. Tot half oktober is er een overschot aan assimilaten. In november en december is er een tekort.

### **Lichtbenutting**

De lichtbenutting voor de fotosynthese (uitgedrukt als ETR) bij oplopende PARsom is nagenoeg lineair tot een PARsom van 9. Daarboven buigt de curve licht af, wat betekent dat ETR verzadigd raakt bij deze hoeveelheid licht. Er is geen verschil gevonden tussen de twee bedrijven, wat betekent dat de fotosynthese-efficiëntie op beide bedrijven gelijk was.

De lichtbenutting bij laag licht (100  $\mu\text{mol PAR}$ ) is **onafhankelijk** van de bladtemperatuur tussen 9 en 18 °C. Bij hoog licht (1000  $\mu\text{mol PAR}$ ) is de afname in lichtbenutting 6% per °C, echter in de praktijk komen deze hoge lichtniveaus in de winter niet veel voor.

### Oogstgegevens van de takken:

	Van Os		Hofland	
	Aantal / m <sup>2</sup>	Gram d.s./m <sup>2</sup>	Aantal / m <sup>2</sup>	Gram d.s./m <sup>2</sup>
Hoofdtakken	73.4	90.9	76.6	132.9
Haken	121.5	102	102	94
Totaal	194.9	192.9	178.6	226.9

Tabel: opbrengstgegevens uitgedrukt in aantal en gram droge stof per m<sup>2</sup> kas (bruto).

Bij van Os is 10 dagen eerder begonnen met oogsten dan bij Hofland. Bij van Os zijn in totaal meer takken geoogst (109%) maar een lager totaal drooggewicht (85%) t.o.v. Hofland.

### Conclusies en aanbevelingen:

Bij beide locaties was er tot half oktober een overschot aan assimilaten en in november en december een tekort. Bij Hofland was zowel het overschot en daarna het tekort het grootst.

1. Er kan energie bespaard worden door in de maanden tot november minder te belichten omdat voldoende assimilaten worden geleverd om aan de vraag te voldoen.
2. Daar staat tegenover dat er tussen half november en half januari een aanzienlijk gat zit tussen de assimilatenvraag en assimilatenbehoefte. Om dat gat te dichten is verspreid over die periode 70 tot 90 Mol extra licht nodig.
3. Een graaddag komt overeen met 0,25 Mol licht in de periode tussen half november en half januari. Deze conclusie kan twee kanten op werken: 1 graaddag temperatuurverlaging vermindert de assimilatenbehoefte met 0,25 Mol PAR. Een verlaging van 1 graad gedurende een maand bespaart dan 7,5 Mol assimilatielicht. Het is onwaarschijnlijk dat je dit verband ver naar beneden of naar boven kunt doortrekken omdat de relatie niet lineair is.
4. De fotosynthese van Freesia is bij laag licht onafhankelijk van de temperatuur en loopt bij hoog licht op met 6% per °C.

In deze studie is de bodemtemperatuur weliswaar gemeten en zijn de effecten daarvan beschreven maar er is geen verband gelegd met de potentiële sink ontwikkeling. Hoewel we dus duidelijke verschillen zien in de sink in beide behandelingen, kan niet eenduidig worden bepaald, welk deel daarvan door verschillen in bodemtemperatuur en welk door verschillen in luchttemperatuur zijn veroorzaakt. In deze studie hebben we de sink beïnvloeding volledig toegeschreven aan de luchttemperatuur. De interactie tussen de lage bodemtemperatuur als aanjager van de sink en de hogere luchttemperatuur die in dezelfde richting werkt, dient nader bestudeerd te worden.

## **Voorwoord**

Deze studie naar een teeltmethode met plantbalans als uitgangspunt is uitgevoerd op verzoek van de Landelijke Commissie Freesia en gefinancierd door het ministerie van Economische zaken en Productschap Tuinbouw, in het kader van het programma Kas als energiebron.

Zonder de enthousiaste medewerking van collega's en de leden van de begeleidingscommissie was dit werk niet tot stand gekomen. Ad Schapendonk, Jan Snel, Marinus Hofland, Arjan van Os, Kees Zwinkels, Ton Vreugdenhil, Hans Pronk en Peter Penning, hartelijk dank voor jullie inzet! In het bijzonder wil ik Marinus Hofland en Arjan van Os bedanken voor het ter beschikking stellen van een gedeelte van hun kasruimte, het plantmateriaal en de inzet voor de proef. Tot slot wil ik Nikos van Aelst en Aad Dijkshoorn bedanken voor hun bijdrage vanuit hun functie binnen LTO Glaskracht.

Sander Pot

Plant Dynamics B.V.

Randwijk, augustus 2016

# 1 Inleiding

Het onderzoek is uitgevoerd op de praktijkbedrijven Hofland en van Os, waarbij speciale aandacht werd besteed aan hoe de plantontwikkeling verloopt in relatie tot licht en temperatuur. Gewasgroei en gewaskwaliteit worden namelijk sterk bepaald door de verhouding tussen vraag en aanbod van assimilaten. Het assimilataanbod (source) wordt alleen goed benut als er een voldoende snelle ontwikkeling van plantorganen is (sink). De trend dat er steeds meer lamp- en daglicht in de kassen beschikbaar is, heeft de source-sterkte van de gewassen aanzienlijk verhoogd. Vooral in de sierteelt is deze ontwikkeling lang niet altijd gelijk opgegaan met een verhoging van de sink-sterkte van het gewas. Aan dit laatste punt is in veel teelten nauwelijks aandacht besteed en de kennis hierover is gedateerd. Teelten als Freesia worden tegenwoordig flink belicht (50-70  $\mu\text{mol}$  met maxima van 100  $\mu\text{mol}$ ), maar nog altijd bij een temperatuur van veelal onder de 10 graden geteeld in de winter. Hierbij wordt de warmte die de lampen afgeven veelal niet gebruikt voor de teelt, maar wordt ‘afgelucht’ of verdwijnt door ‘open’ schermdoek naar het kasdek. Bovendien is de vraag of bij deze lage temperaturen de lichtbenutting wel optimaal is. M.a.w. het lijkt erop dat er wordt geteeld door gas te geven met de rem erop. Dus een betere afstemming van de balans tussen source en sink geeft mogelijkheden om licht,  $\text{CO}_2$  en temperatuur efficiënter te benutten. Deze studie moet leiden tot een nieuw energiezuinig teeltconcept, met plantbalans en minimale verspilling van energie als uitgangspunt. Dit concept zal worden uitgewerkt voor Freesia, maar zal naar verwachting veel breder kunnen worden toegepast.

De reden dat bij veel gewassen de temperatuur zo laag wordt gehouden in de winter is om de plantontwikkeling te remmen uit angst voor slechte kwaliteit. Zo is men bij Freesia bang voor “slappe takken” en verdrogen van de aangelegde haken. Echter in het voorjaar (vanaf april) is de teelt vele weken sneller dan in de winter, zonder kwaliteitsproblemen. Het ligt voor de hand dat dit komt door het hogere lichtaanbod in combinatie met de hogere temperaturen. Voor de meeste teelten is het onbekend wat de ideale balans is tussen enerzijds licht en  $\text{CO}_2$ , dat bepalend is voor het assimilaten-aanbod (source), en anderzijds temperatuur, welke sterk bepalend is voor de plantontwikkeling en dus de assimilaten-vraag (sink). Dit geldt met name voor een aantal siergewassen, waarbij de gehanteerde temperatuur nog altijd is gebaseerd op oude teeltkennis uit een periode dat er nog niet belicht werd, de kassen donker waren en er nog geen  $\text{CO}_2$  werd gedoseerd. Een teeltconcept op basis van source/sink balans geeft mogelijkheden tot energiebesparing bij deze teelten.

Het onderzoek wordt uitgevoerd door Plant Dynamics in samenwerking met Photosyntax (Ad Schapendonk), Pronk Consultancy (Hans Pronk) en Adviesbureau JFH Snel (Jan Snel).

## **1.1 Doelstelling.**

De uiteindelijke doelstelling is een teeltconcept, met minimaal energiegebruik en maximale opbrengst en kwaliteit. In dit project wordt een eerste stap in die richting gezet met als doel het verloop van assimilatenaanmaak (source) en assimilatenbehoefte (sink), voor een winterteelt van Freesia in kaart te brengen. Het licht is de belangrijkste factor voor de source en de temperatuur voor de sink. Het is belangrijk daarbij te bedenken dat de source veel sneller reageert op licht dan de sink op temperatuur.

Door het seizoenverloop van de balans tussen source en sink in kaart te brengen, kunnen we periodes waarin een onbalans ontstaat identificeren en vervolgens daarop inspelen met gepaste maatregelen. Omdat temperatuur en licht elkaars tegenspelers zijn in de plantbalans kan gekozen worden om de ene factor te verhogen of de andere factor te verlagen. Als er bijvoorbeeld blijkt dat er een source overschot is, dan kan gekozen worden om de lampen (deels) uit te zetten en zo energie te besparen. Anderzijds kan worden gekozen om de temperatuur te verhogen en daardoor de sink te vergroten. In het laatste geval is het erg belangrijk dat er voldoende source beschikbaar is op het moment dat het vertraagde sink effect volledig doorwerkt. Dat kan 1 tot 3 weken later zijn dan het tijdstip van de maatregel.

Door een betere kasisolatie en het toepassen van betere schermtechnieken hoeft een hogere teelttemperatuur niet meer energie te kosten, terwijl het rendement van lichtbenutting mogelijk fors omhoog gaat en naar verwachting zal leiden tot een kortere teeltduur.

Een tweede doelstelling binnen dit project is een beter inzicht op het effect van de temperatuur op de lichtbenutting voor de fotosynthese.

## **1.2 Plan van aanpak.**

Op beide bedrijven was 1 bed geplant met hetzelfde uitgangsmateriaal (ras Red Passion). De plantdatum was 4 en 5 augustus. De bodemtemperatuur werd gelijk gehouden, waarbij van Os 'leading' was. Bij Hofland werd een aanpassing doorgevoerd naar een aparte regeling van het proefbed, zodat Hofland de bodemtemperatuur van van Os kon volgen. Hofland had iets meer belichting hangen (48 versus 40  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  SON-T). Het klimaat (inclusief gewastemperatuur) werd, naast de belichtingstijden en belichtingsduur, gedurende de gehele teeltperiode geregistreerd. De locaties verschilden in schermstrategie, met op 1 locatie een 'open doek' en op de andere een extra isolerend doek (Obscura 9950). Dit leidde tot verschillen in teelttemperatuur (sink).

Ter bepaling van de groei werden wekelijks 10 planten per locatie geoogst en geanalyseerd op de verdeling van gewicht (vers en droog) tussen knol (oud en nieuw), blad en tak.

Oogstgegevens van bloemtakken werden bijgehouden door de kwekers. Hiervoor werd een proefvak van circa 5 meter afgezet met lint. De assimilatenaanmaak ( $\text{CO}_2$  opname op bladniveau) is gemeten met de Licor 6400 bij verschillende temperaturen, lichtniveaus en  $\text{CO}_2$  concentraties. De lichtbenutting van de bladeren is bepaald via fluorescentie metingen. Hiertoe is gedurende 2 maanden met 6 sensoren per locatie de lichtbenutting onder de heersende condities continue geregistreerd. Daarnaast is de lichtonderschepping van het zich ontwikkelende gewas tot het moment dat het gewas was volgroeid (t/m maaien) gemeten.



Afgelopen winter (2015-2016) was relatief warm, waardoor de temperatuurverschillen tussen beide locaties kleiner waren dan voor de proef gewenst. Echter bij Hofland werd meer licht toegelaten (vooral aan het begin van de teelt), waardoor toch interessante verschillen in de gewasopbouw en plantbalans werden gerealiseerd.

## 2 Plantopbouw

Bij de plantopbouw en knopaanleg in de Freesiateelt wordt onderscheid gemaakt tussen een vegetatieve en generatieve fase. Bij de sturing van de generatieve fase is de grondtemperatuur (groeipunttemperatuur) van groot belang. Zowel de tijdsduur, de gerealiseerde temperatuur en de methode van realisatie hebben invloed op de vorming van de bloemknop, de productie (aantal haken), steelkwaliteit (gewicht) en kamkwaliteit (stand van de kam en bloemen, het aantal bloemen op de kam). Deze studie is gericht op het verloop van de lichtbenutting en de source / sink balans tijdens de gehele teelt. Voor een goed vergelijk tussen beide locaties is gekozen om de bodemtemperatuur van beide locaties zoveel mogelijk gelijk te houden.

Vegetatieve fase:

De vegetatieve fase is de bladafsplittingsfase. Door het realiseren van een vrij hoge grondtemperatuur (20°C) zal dit proces vlot verlopen. De duur en de temperatuur bepalen de plantvorm. Bij een lagere grondtemperatuur zal de plant minder snel blad afsplitsen, maar zal wel een smallere plantvorm krijgen. De duur van de vegetatieve fase is afhankelijk van het gebruikte plantmateriaal en ras. Bij de Freesiateelt is er verschillend plantmateriaal beschikbaar met elk hun kenmerkende manier van opkweken. Het beschikbare plantmateriaal kan het volgende zijn:

Kralen;

Gaasdoekknollen uit Noord Holland;

Gaasdoekknollen uit Nieuw Zeeland;

Gaashalknollen uit Marokko;

Kasknollen.

Naarmate de knollen minder inhoud (zetmeel) hebben is het noodzakelijk om de vegetatieve fase langer aan te houden. Verder moet ook rekening gehouden worden met het tijdstip van bloei. In de winter is vaak minder plantlengte /-omvang gewenst vanwege het weinige licht. In het voorjaar en zomer is dit juist wel gewenst.

Generatieve fase:

De generatieve fase start op het moment dat de grondtemperatuur verlaagd wordt. Zowel de daalsnelheid van de grondtemperatuur als de duur van de (verlaagde) temperatuur hebben invloed op de omschakeling van vegetatief naar generatief en daardoor op de takproductie en

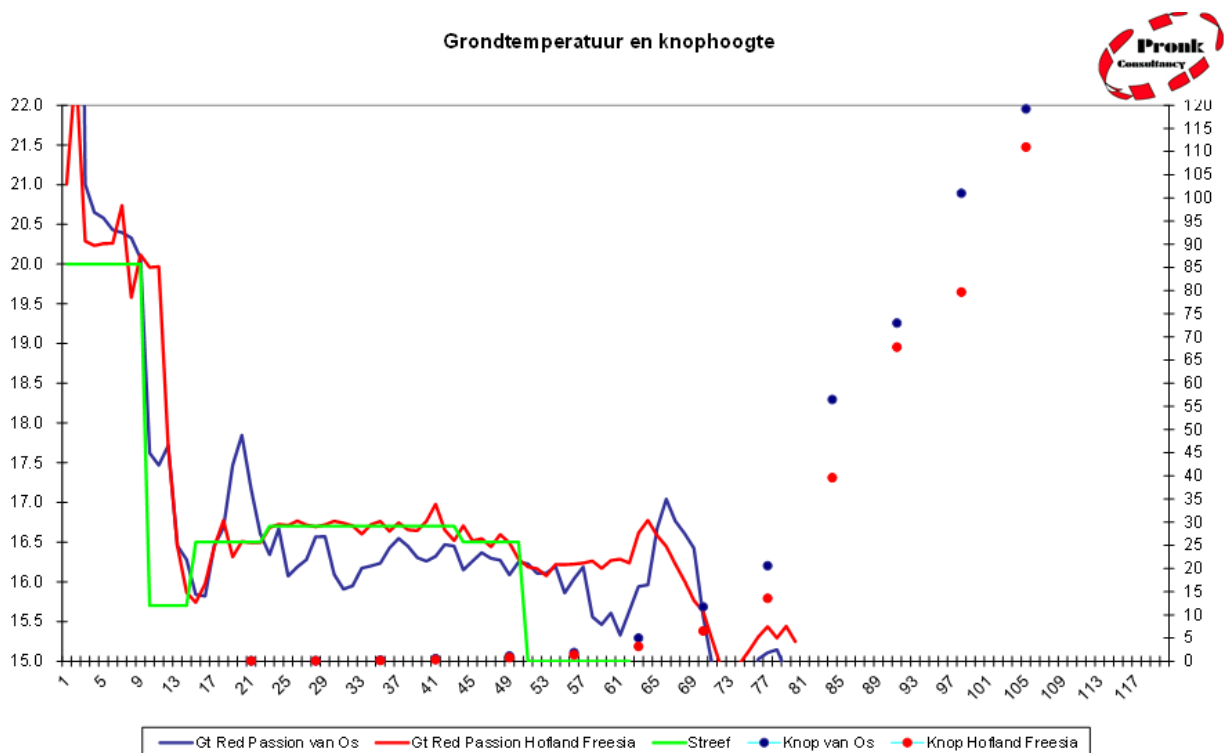
takkwaliteit. Als de grondtemperatuur laag gehouden wordt, zal de eerste haak en daardoor ook de overige haken dieper ingeplant worden. Tevens zullen dan minder haken worden aangelegd. Of dit laatste altijd een probleem is, is afhankelijk van de beschikbare assimilaten gedurende het teeltproces en oogstperiode. De verminderde haakaanleg gebeurt al als de grondtemperatuur lager wordt dan 15,5°C gedurende enkele dagen.

Na begin knopaanleg (inplant haken) heeft de grondtemperatuur invloed op het gewicht en de lengte van de haken. Blijft de grondtemperatuur laag, dan zullen de haken minder zwaar en lang worden. Bij verhoogde grondtemperatuur worden de haken zwaarder, maar de kans is groot dat de oogstduur dan toeneemt door vertraging van de doorgroei van de haken.

Een valkuil is om naar de donkere periode toe teveel haken te willen aanleggen. Door een ‘te’ hoge plantbelasting kan de productie dan juist negatief uitpakken. Het aanlegproces vraagt om de juiste finetuning om in de winter tot een optimale productie te kunnen komen.

Vergelijk van Os / Hofland:

De eerste haak bij van Os is wat dieper ingeplant dan bij Hofland. Dit komt doordat de sturing bij van Os directer was bij het schakelen van vegetatief naar generatief. Op het moment dat bij Hofland de grondtemperatuur omlaag moest, is er een probleem ontstaan met de koeling, waardoor de grondtemperatuur niet naar de gewenste waarde gehaald kon worden. Integendeel, de grondtemperatuur ging tijdelijk weer omhoog en ging vertraagd naar de streefwaarde (zie onderstaande figuur vanaf dag 50). Het gevolg hiervan was dat er meer haken (sinks) aangelegd werden, maar die kwamen minder goed tot wasdom in de winter door de hoge najaar en wintertemperatuur en de lage lichtintensiteit.



## 3 Fotosynthese

### 3.1 Inleiding

De basis van de groei van een plant wordt bepaald door het fotosyntheseproces in de groene delen van de plant. Planten nemen water en voedingsstoffen op via hun wortels en CO<sub>2</sub> via de huidmondjes in hun bladeren. Fotosynthese is het proces waarbij de plant met behulp van lichtenergie het opgenomen water en CO<sub>2</sub> omzet in suikers (assimilaten) en bepaalt samen met de beschikbare reserves de “Source”. De fotosynthese is dus de motor van de plant en CO<sub>2</sub> fungeert als brandstof. Dit proces is een samenwerking van twee deelprocessen: de lichtreactie en de donkerreactie. In de lichtreactie wordt lichtenergie via elektronentransport (ETR) vastgelegd die in de donkerreactie gebruikt wordt voor het binden van CO<sub>2</sub>. Het enzym die de plant voor de binding van CO<sub>2</sub> gebruikt, is Rubisco.

De lichtresponse, CO<sub>2</sub>-response, huidmondjesopening in combinatie met het klimaat zijn de belangrijkste factoren die de fotosynthese bepalen. Hieronder worden de gevoeligheden kort besproken. Voor een uitgebreide uitleg van deze processen en de gevoeligheden bij Freesia, zie “Meer rendement uit licht en CO<sub>2</sub> bij Freesia” van Trouwborst, Hogewoning en Pot 2013.

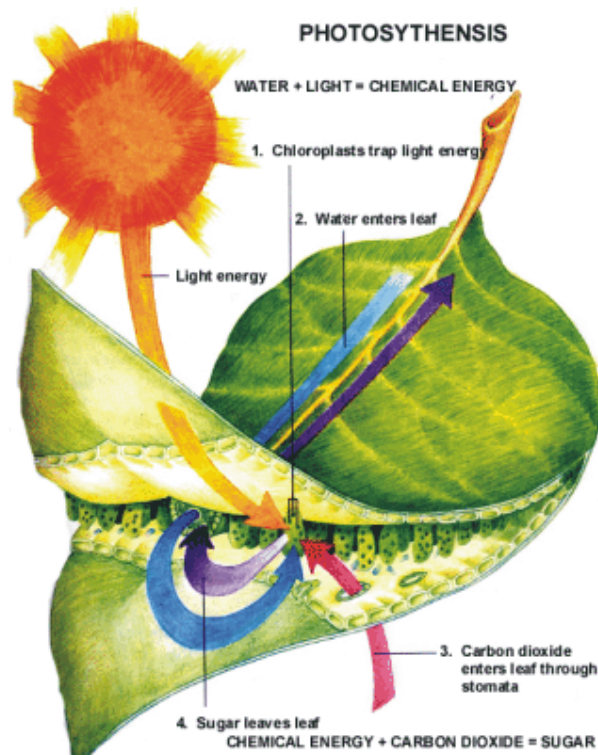
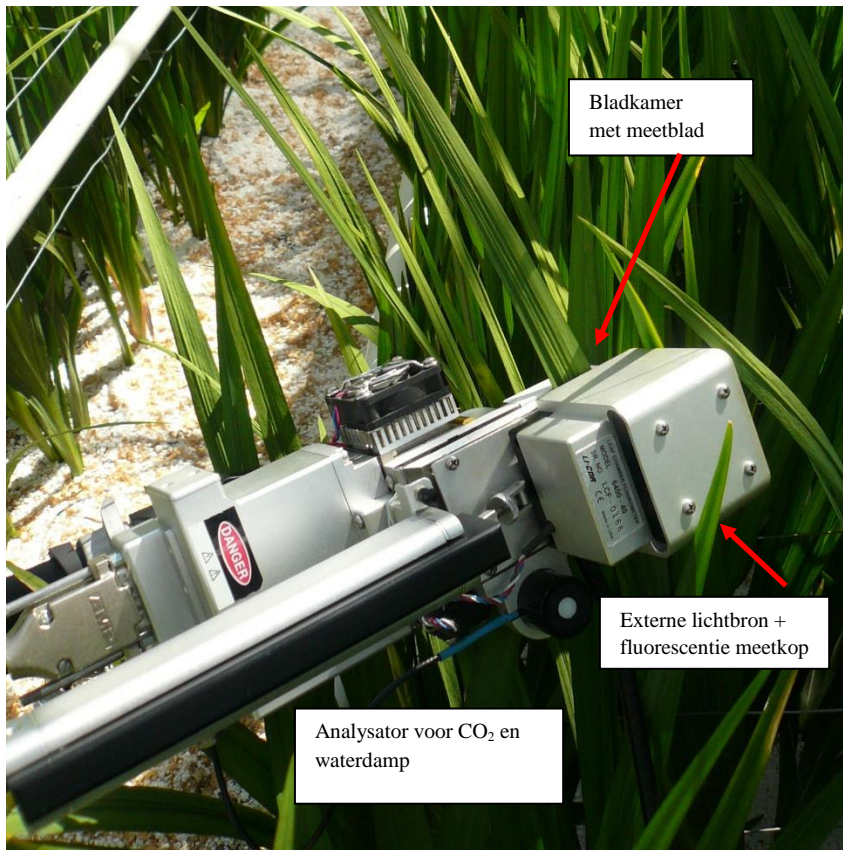


Fig. 1. Essentiële zaken rondom de fotosynthese: Lichtenergie wordt geabsorbeerd door het blad (1). Water komt binnen via de nerven (2). Tevens komt er CO<sub>2</sub> binnen via de huidmondjes (3). Met behulp van de lichtenergie en het enzym Rubisco worden er suikers gemaakt (4).

### 3.2 Meting van de CO<sub>2</sub>-opname

In week 47 is op beide locaties de CO<sub>2</sub> opname aan volgroeide bladeren gemeten onder diverse condities. Deze metingen zijn uitgevoerd om een beeld te krijgen hoe het gewas reageert op wisselend licht, CO<sub>2</sub> en vocht.

De metingen zijn momentane metingen met de LICOR-6400.

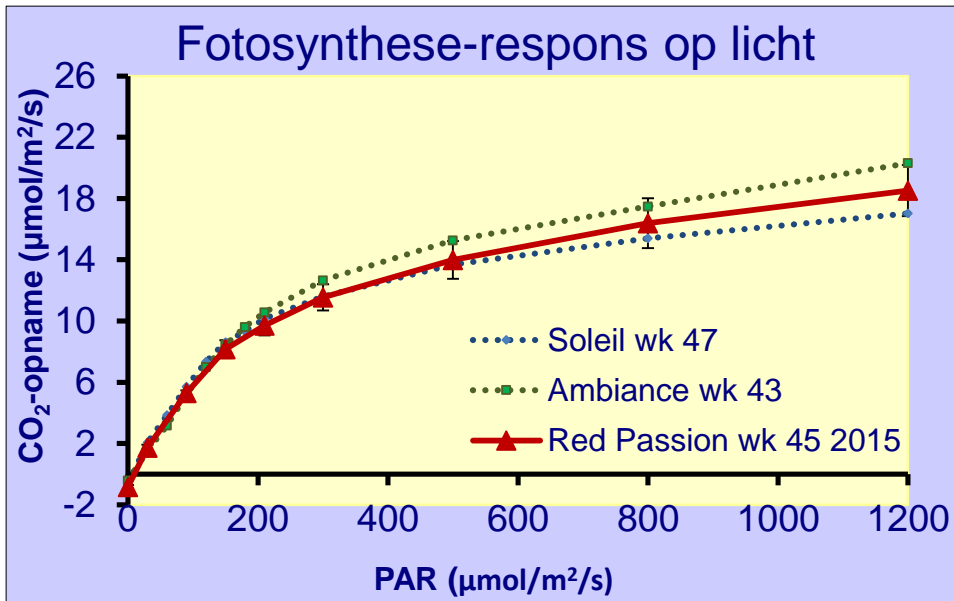


*Foto1: LICOR-6400 draagbare fotosynthesemeter voor het meten van de CO<sub>2</sub>-opname (fotosynthese) in de praktijk. Bij het meetblad kunnen de lichtomstandigheden, de CO<sub>2</sub> concentratie, de temperatuur en de relatieve luchtvochtigheid gevarieerd worden. Hierdoor kan de korte termijn reactie van de fotosynthese op deze veranderingen bepaald worden.*

#### 3.2.1 *Lichtrespons van de fotosynthese:*

Een hogere lichtintensiteit leidt tot een hogere fotosynthesesnelheid. Dit verband verloopt eerst lineair (1% meer licht= 1% meer fotosynthese), bij hogere lichtintensiteiten neemt de toegevoegde waarde van licht af (1% meer licht < 1% meer fotosynthese), en bij hele hoge lichtintensiteiten is de fotosynthese lichtverzadigd en neemt nauwelijks meer toe bij meer licht.

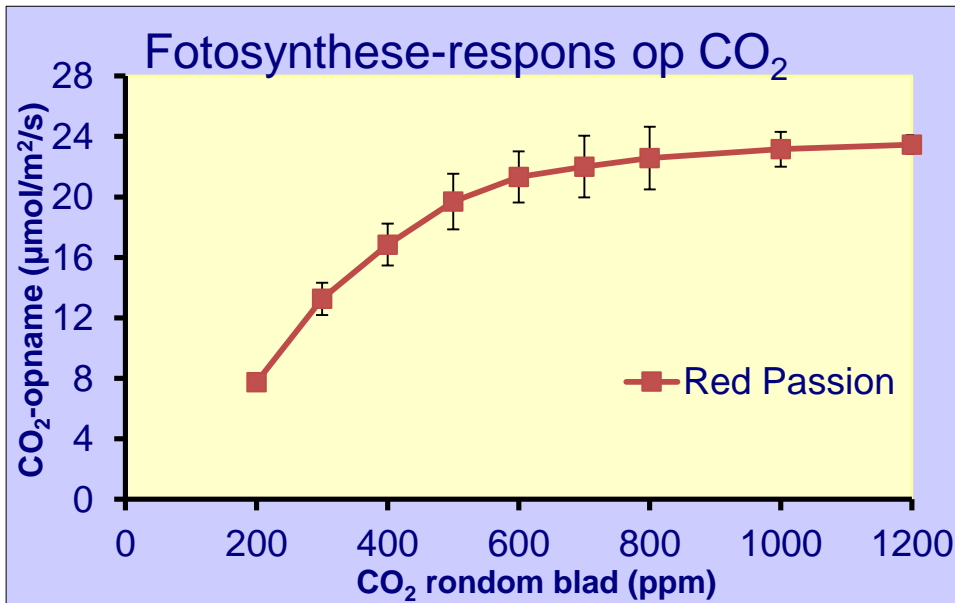
Boven 500 PAR neemt het lichtrendement dermate af dat langdurige blootstelling schade aan het fotosynthesesysteem kan geven. Deze waarneming aan Red Passion is vrijwel gelijk aan die van Soleil en Ambiance (meting 2014 uit: “Meer rendement uit licht en CO<sub>2</sub> bij Freesia”).



Figuur 2: Lichtrespons van Red Passion. Er zijn geen verschillen waargenomen tussen locatie Hofland en van Os. Alle metingen zijn uitgevoerd bij 600 ppm CO<sub>2</sub>.

### 3.2.2 CO<sub>2</sub>-respons van de fotosynthese:

De respons van de fotosynthesesnelheid van C<sub>3</sub>-bladeren op CO<sub>2</sub> is vergelijkbaar met de lichtrespons: van lage naar hoge CO<sub>2</sub>-concentraties in de kas neemt de fotosynthese eerst snel toe om vervolgens bij hoge concentraties af te vlakken naar een verzadiging. Het verzadigingsniveau ligt rond 700 - 800 ppm CO<sub>2</sub>.

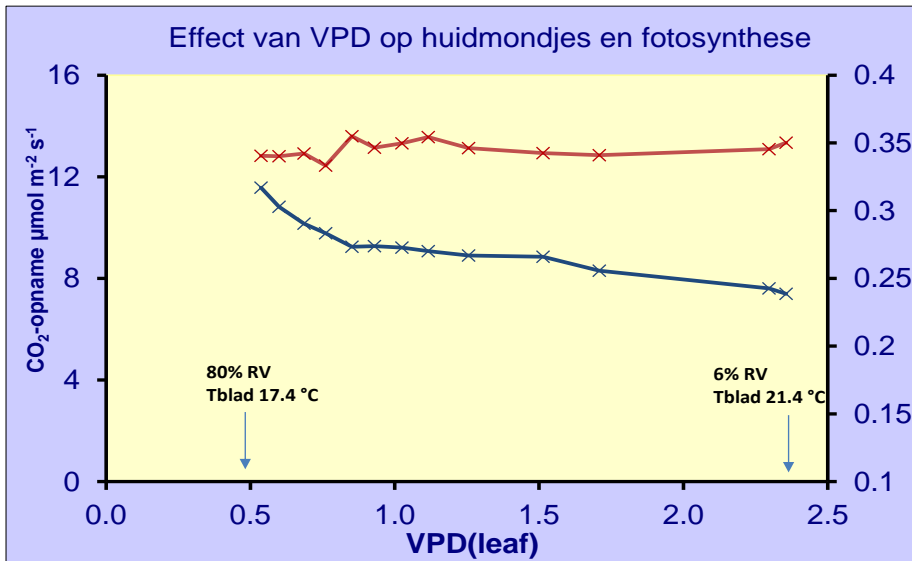


Figuur 3: CO<sub>2</sub> respons van Red Passion. Ook hier zijn geen significante verschillen gemeten tussen locatie Hofland en van Os. De metingen zijn uitgevoerd bij 1200 PAR.

### 3.2.3 Belang van huidmondjesgeleidbaarheid ( $G_s$ ) op de fotosynthese:

Licht is weliswaar de drijvende kracht voor de fotosynthese maar de grondstof voor de fotosynthese (koolzuur) moet via de huidmondjes in het blad worden opgenomen. Een hoge geleidbaarheid van de huidmondjes voor CO<sub>2</sub> is daarbij cruciaal voor een goede productiviteit. De geleidbaarheid voor CO<sub>2</sub> wordt bepaald door de openingstoestand van de huidmondjes. Een belangrijke reden voor huidmondjessluiting is het beperken van vochtverlies, bijvoorbeeld bij een lage luchtvochtigheid (hoge VPD) rond het blad.

Bij Freesia is limitatie van de huidmondjesopening op de fotosynthese niet waargenomen en lijkt zelfs bij laag vocht niet een bepalende rol te spelen.



Figuur 4: meting van het effect van droge lucht op de CO<sub>2</sub>-opname (rode lijn) en de huidmondjesopening (Gs / blauwe lijn). Duur van de meting ruim 30 minuten, waarbij de lucht rond het meetblad in de bladkamer van 80% RV in stappen werd gedroogd naar circa 6% RV (VPD > 2). De fotosynthese reageert helemaal niet; de Gs loopt wel iets terug, maar wordt niet limiterend voor de fotosynthese. De meting is gedaan bij 300 PAR en 1 x herhaald met hetzelfde resultaat.

### 3.3 Meting van de lichtbenutting

In de bladgroenkorrels wordt lichtenergie in een elektrische stroom omgezet die leidt tot de binding van CO<sub>2</sub> en de omzetting tot suiker. Deze elektrische stroom (afgekort tot ETR) kan goed gemeten worden. De eerste op dit principe gebaseerde meter in de tuinbouw was de Plantivity. Met nieuwe meters is het mogelijk om de PAR en de ETR op meerdere posities in het gewas te monitoren.

Met de Hex-PAM kan aan het begin van de dag (via een reeks lichtstappen tot lichtverzadiging met een interne lichtbron) de potentiële ETR bepaald worden. De gedurende de dag gemeten ETR (onder de heersende klimaatcondities en dus maat voor de gerealiseerde fotosynthese) kan dan vergeleken worden met de potentiële ETR. Op interessante momenten in de teelt, bijvoorbeeld op momenten met een hoge of lage T,RV en CO<sub>2</sub> en bij hoge instraling, kan vervolgens gekeken worden in hoeverre de gerealiseerde ETR de potentiële waarde niet haalt en dus gelimiteerd wordt.

### Hex-PAM

De Hex-PAM is een doorontwikkeling van de "Plantivity" en bestaat uit een controle unit en 6 meetkoppen. Elke meetkop heeft sensoren voor PAR, CF, RV en bladtemperatuur. Ook heeft iedere meetkop een witte LED als interne lichtbron. Met deze lichtbron wordt aan het begin van de lichtperiode de potentiële ETR bepaald. Vervolgens worden elk kwartier de sensoren uitgelezen. Aan het eind van de lichtperiode stoppen de metingen vanzelf.

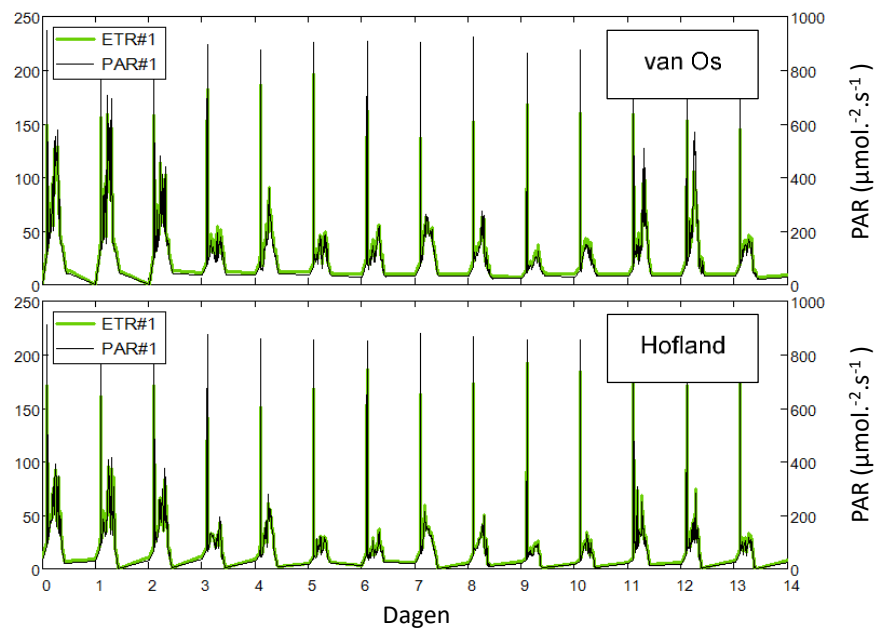
De potentiële ETR geeft aan welke ETR bij een bepaalde PAR ( $0-1500 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) onder optimale klimaatcondities haalbaar is.



Figuur: HEX-PAM meetkop gepositioneerd op gebogen Freesia blad op ca. 1/3 van de top van het blad.

In dit onderzoek is de lichtbenutting met de vernieuwde Plantivity (Hex-PAM) gedurende 2 maanden gemonitord. Deze metingen moeten een beeld geven in hoeverre Freesia het licht efficiënt kan verwerken in afhankelijkheid van de heersende temperatuur en lichtintensiteit.

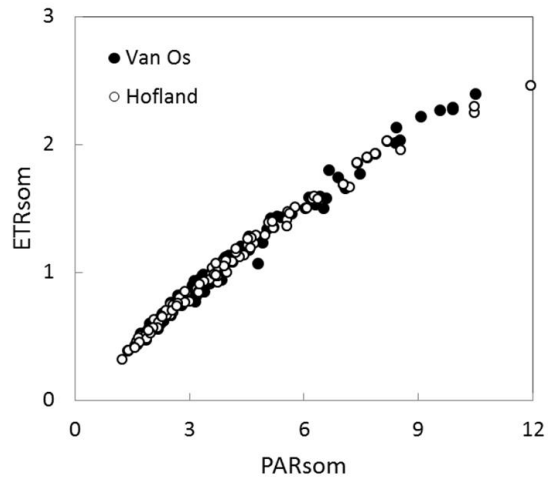
### 3.3.1 Verloop PAR en ETR



Figuur 4. Verloop van lokale PAR en ETR van sensor 1 bij Van Os (boven) en Hofland (onder) in de periode 1 t/m 14 november 2015.



Figuur 4 geeft een indruk van het verloop van de PAR en de ETR van bladeren in de bovenste sensoren (horizontaal gebogen blad). De piek aan het begin van elke dag is de lichtstappenreeks met de interne lichtbron voor de potentiële ETR meting. Gedurende de dag (dus bij de heersende PAR in de kas) is te zien dat ETR en PAR elkaar duidelijk volgen. Om een beter beeld te krijgen van eventuele verschillen tussen locaties is de PARsom per dag vergeleken met de gerealiseerde ETRsom.

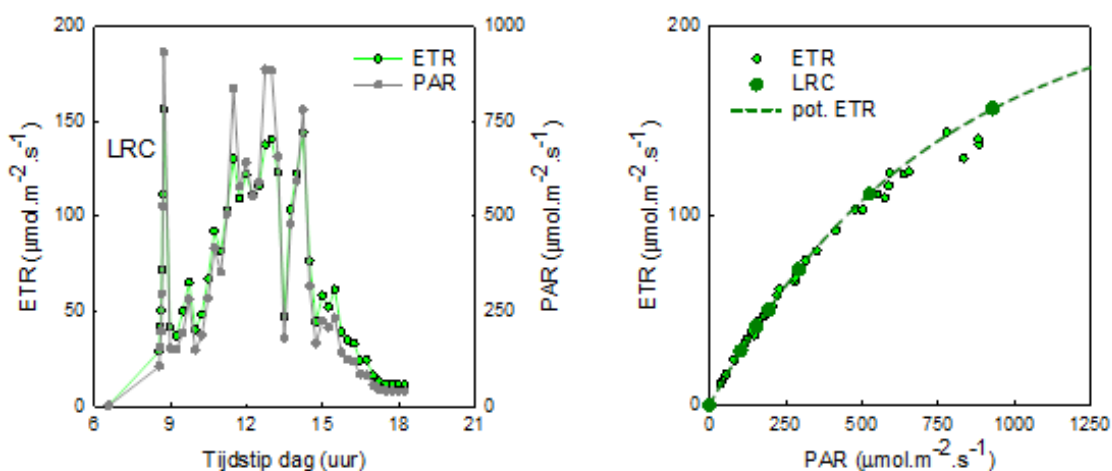


Figuur 5. Relatie tussen de ETRsom en de PARsom bij van Os en Hofland. Gegevens zijn afkomstig uit figuur 2.2.

De relatie tussen ETRsom en PARsom is nagenoeg lineair tot een PARsom van 9. Daarboven buigt de curve licht af, wat betekent dat ETR verzadigd raakt bij deze hoeveelheid licht.

***Er is geen verschil in de relatie tussen ETRsom en PARsom tussen de twee bedrijven, wat betekent dat de fotosynthese-efficiëntie op beide bedrijven gelijk was.***

### 3.3.2 Gerealiseerde ETR en potentiële ETR



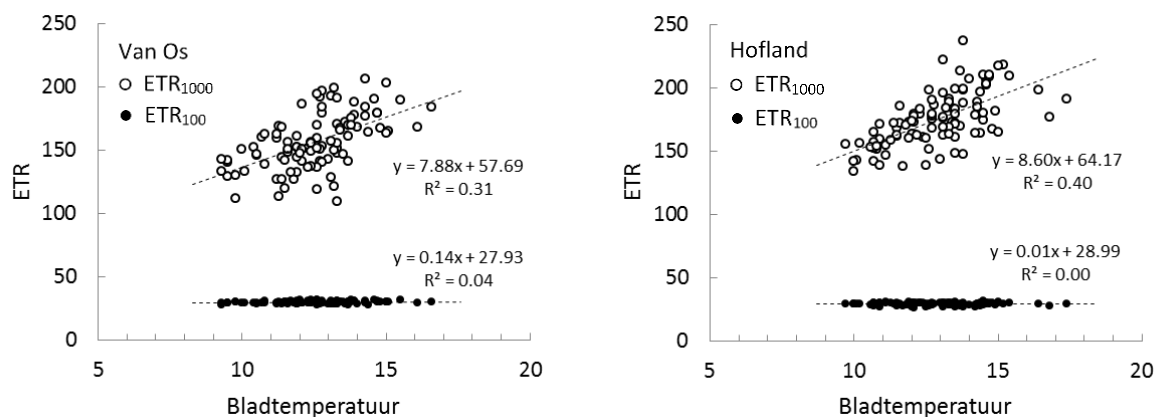
Figuur 6, links: Verloop van PAR en ETR op een zonnige dag (2 november) bij van Os. Rechts: potentiële ETR (gemeten als LRC aan het begin van de dag) en de gemeten ETR waarden gedurende de dag uitgezet tegen de bijbehorende PAR van dezelfde dag.

Onderzocht is ook of het gewas in staat is om ook bij hoge PAR de potentiële ETR te bereiken onder de dan heersende klimaatomstandigheden. Daarom is op een zonnige dag (2 november) de gerealiseerde ETR vergeleken met de potentiële ETR. In Figuur 6 is links te zien dat de PAR hoog is, met uitschieters naar 900  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ . ETR volgt PAR nagenoeg volledig, alleen bij hoog PAR ligt deze iets lager. Rechts is te zien dat de gerealiseerde ETR tot circa 600 PAR de potentiële ETR (stippellijn) volgt, daarna is er een afvlakking.

#### **Potentiële ETR wordt tot 600 PAR gerealiseerd.**

Een kanttekening hierbij is dat de potentiële ETR 's morgens vroeg bij een temperatuur van ca. 13°C en 800ppm CO<sub>2</sub> is gemeten. Gedurende de dag stijgt de bladtemperatuur naar zo'n 20-21°C en zakt de CO<sub>2</sub> naar ca. 450ppm. Een onderschatting van de potentiële ETR door de lage T kan niet worden uitgesloten. Misschien zijn er dus mogelijkheden voor een verhoging van de potentiële ETR bij een hogere T en daarmee een hogere fotosynthese op lichte, warme dagen.

### 3.3.3 Invloed van temperatuur



Figuur 7. Invloed van bladtemperatuur op ETR<sub>100</sub> en ETR<sub>1000</sub> bij Van Os (links) en Hofland (rechts). De onderbroken lijnen geven de lineaire regressie weer volgens de getoonde vergelijking. Data zijn van sensoren 1 en 2 van de Hex-PAM meters over de hele meetperiode.

Om een eventueel effect van bladtemperatuur inzichtelijk te maken, zijn de ETR waarden van elke potentiële ETR meting uitgezet tegen de bladtemperatuur op het moment van de meting (Fig 2.5). Voor de overzichtelijkheid is gekozen om 2 waarden te nemen:

ETR<sub>100</sub> = potentiële ETR gemeten bij 100 PAR (lichtbenutting bij laag licht)

ETR<sub>1000</sub> = potentiële ETR gemeten bij 1000 PAR (lichtbenutting bij hoog licht)

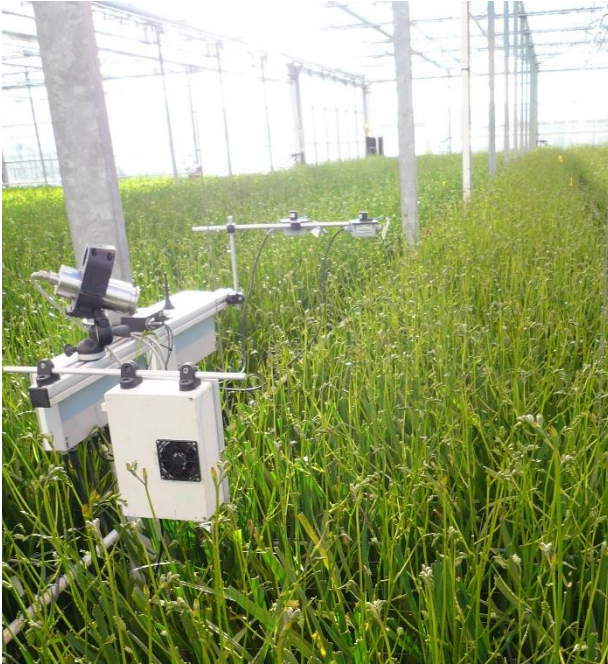
#### **De ETR<sub>100</sub> is onafhankelijk van de bladtemperatuur.**

Bij de gemeten bladtemperaturen tussen de 9 en 18 °C neemt de ETR<sub>1000</sub> wel toe met toenemende bladtemperatuur. De grootte van het effect in dit temperatuurtraject is 6% per °C. Nu lijkt het temperatureffect van 6% per °C wel veel, maar lichtintensiteiten van 1000  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  komen niet heel vaak voor.

***In de praktijk zal het temperatureffect op de lichtbenutting in de huidige meetperiode dichter bij de 0% dan bij de 6% per °C liggen.***

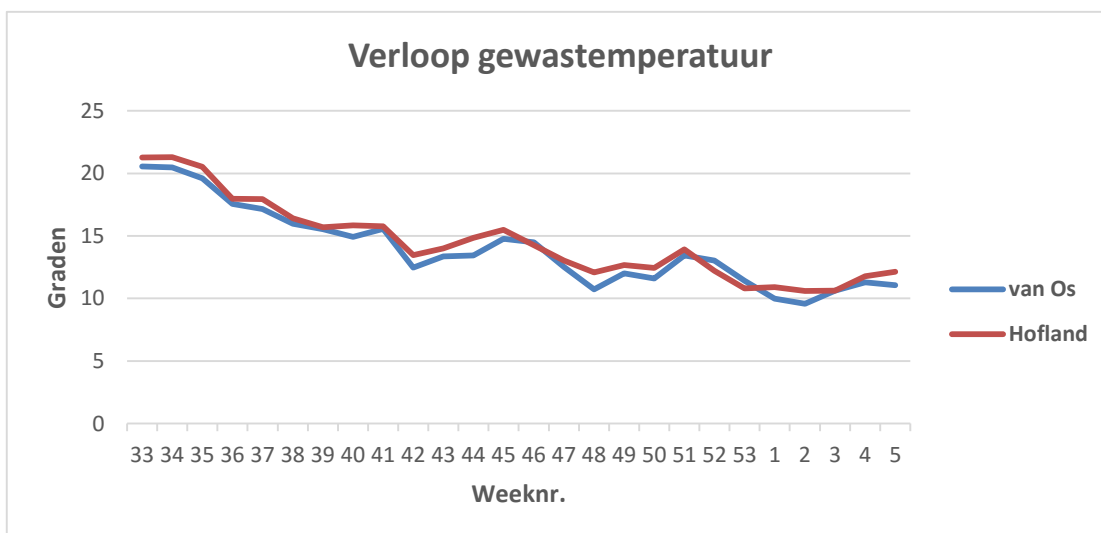
## 4 Teelt en oogstregistratie

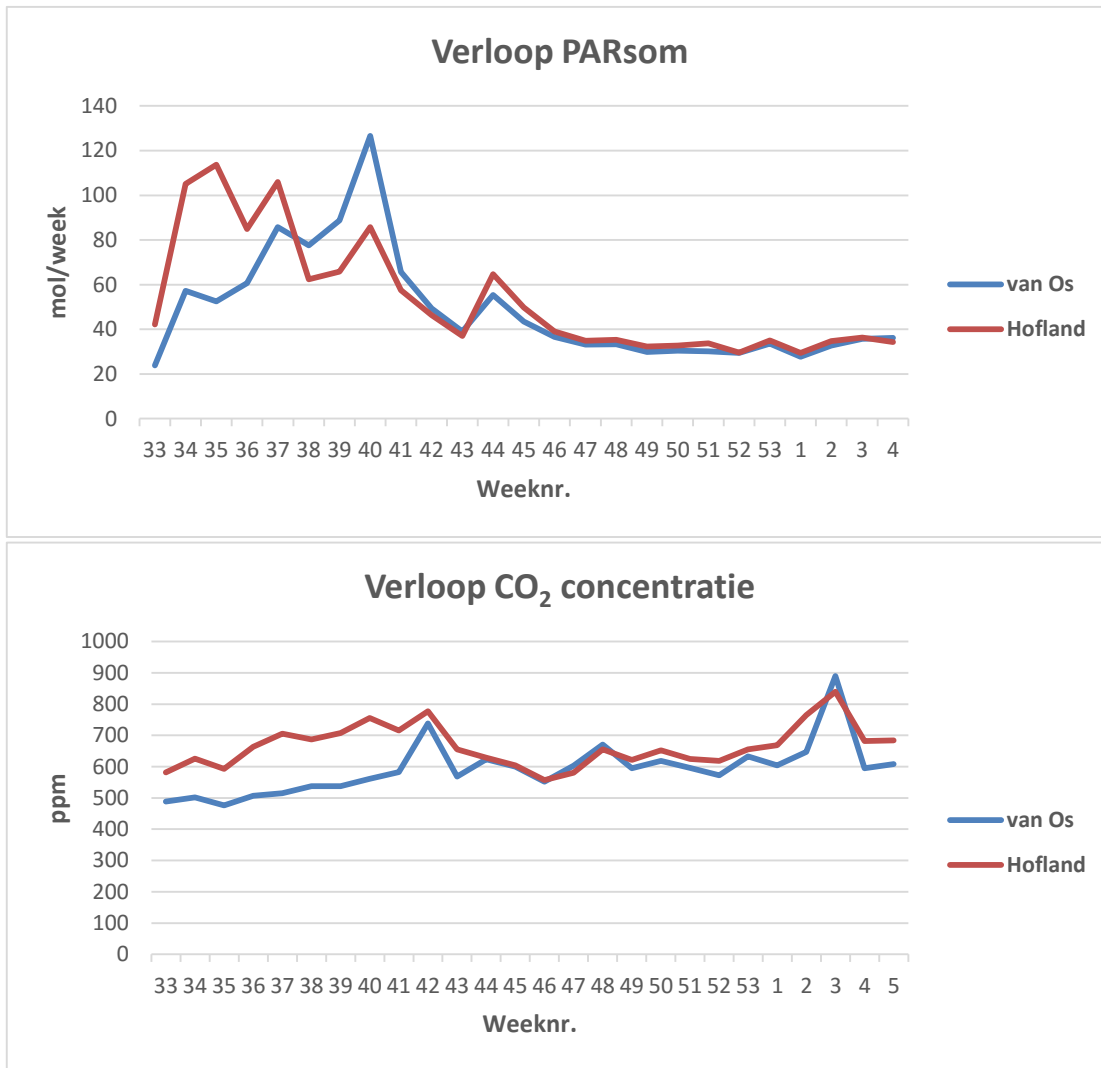
### 4.1 Klimaat



Registratie van PAR, Tblad, Tlucht, RV, VPD en CO<sub>2</sub> in het proefvak.

Op beide locaties zijn bovengenoemde waarden elke 5 minuten geregistreerd vanaf week 33 (= 1 week na planten) tot einde teelt (week 6 van 2016). Op basis van deze waarden, in combinatie met de bepaalde fotosyntheserespons en lichtbenutting van het gewas (Hst. 3) is de 'source' berekend (Hst. 5). De grondtemperatuur is apart geregistreerd via de sensoren van de kweker (zie Hst. 2).





*Figuur 8 (a, b, c): om een beeld te krijgen van het verloop van licht en temperatuur en CO<sub>2</sub> gedurende de teelt, zijn in bovenstaande figuren de gemiddelden per week weergegeven.*

Door de ‘warme’ winter zijn de verschillen in temperatuur tussen beide locaties zeer gering. Aan het begin van de teelt heeft Hofland beduidend meer licht toegelaten (minder geschermd) en meer CO<sub>2</sub> gedoseerd. Aan het eind van de teelt is de PARsom een stuk lager (minder daglicht) en zijn de verschillen qua licht en CO<sub>2</sub> tussen beide locaties gering. De lichtinstallatie verschilt nauwelijks tussen de locaties evenals de belichtingsduur.

## 4.2 Lichtonderschepping

Van begin september tot eind oktober is door middel van Apogee SQ-311 lijn-quantum sensoren de lichtonderschepping van het gewas gemeten. Vier sensoren zijn onder het gewas (op de grond) geplaatst en 1 sensor als referentie boven het gewas. Het verschil tussen beide meetposities is een maat voor de lichtonderschepping van het gewas. Deze is van belang voor de berekening van hoeveel van het opvallend licht wordt opgevangen door het gewas en in potentie gebruikt kan worden voor de fotosynthese (source).

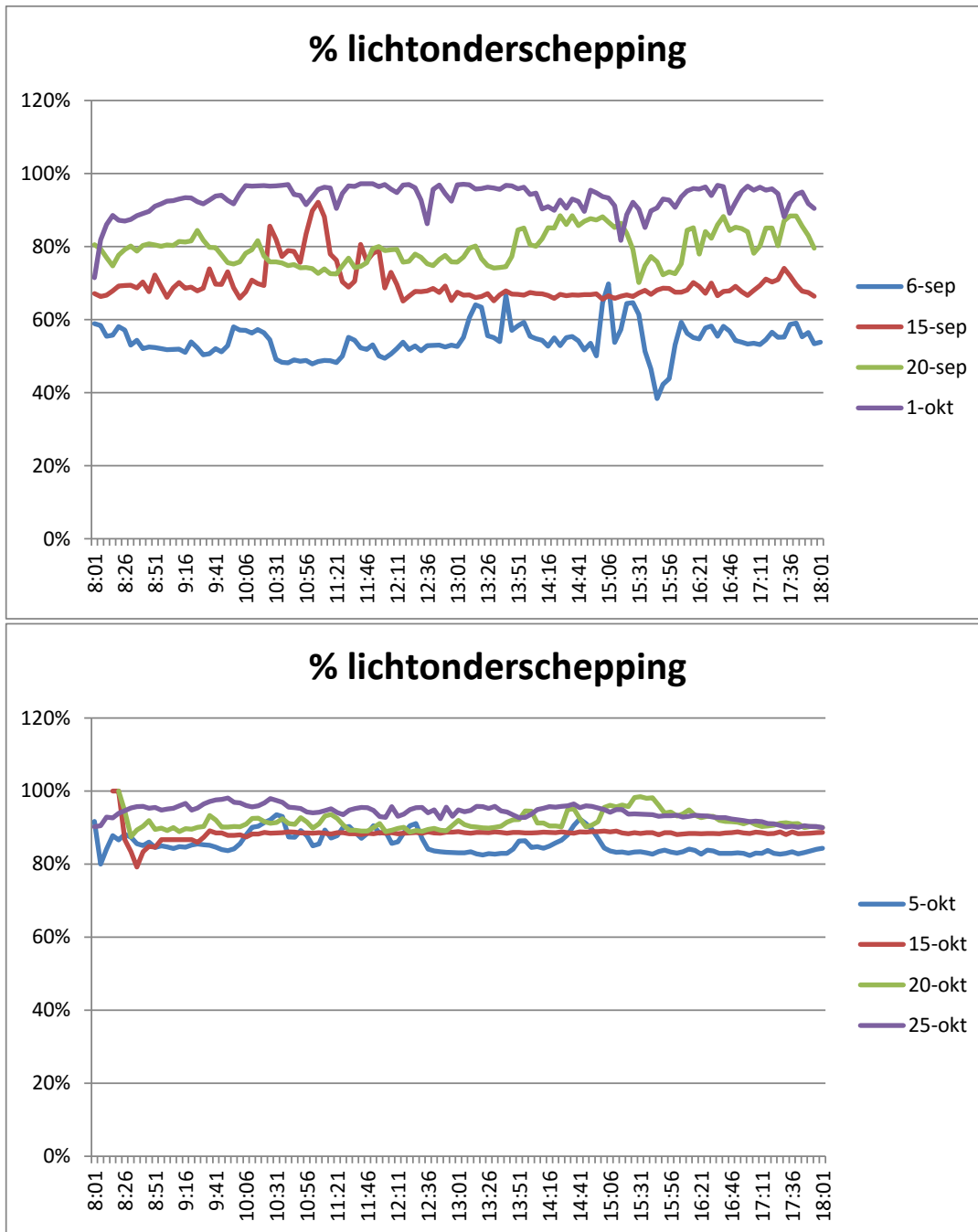
De SQ-311 meet het gemiddelde PAR licht over een lengte van 70 cm. Elke 5 minuten worden de sensoren automatisch uitgelezen en wordt de gemiddelde lichtonderschepping berekend.

Het doel van deze metingen is het bepalen van:

- de lichtonderschepping bij een zich ontwikkelend gewas tot maaien
- eventuele locatieverschillen
- het effect van maaien op de lichtdoordringing

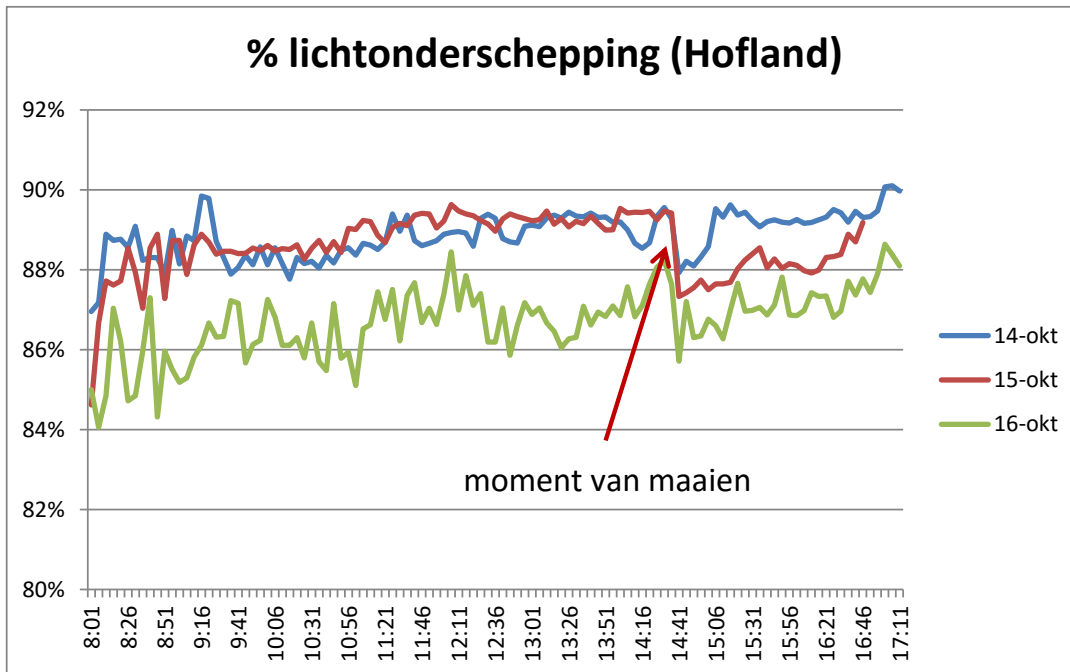


*Foto's: positie van de lijnsensoren in het gewas (totaal 4 stuks) en 1 referentiesensor boven het gewas. Datum is 4 september met gewasleeftijd van 31 dagen.*



Figuur 8 (a, b): verloop van de lichtonderschepping over de dag in de periode van 6 tot eind september (a) en periode oktober (b).

Op 6 september is de lichtonderschepping circa 55% (fig. 8a) en deze loopt op tot een maximum van ongeveer 90% vanaf half oktober (fig. 8b). Dit patroon was hetzelfde op beide locaties. Het verloop van de lichtonderschepping over de dag is vrij constant en wordt dus nauwelijks beïnvloed door stand van de zon. Er is ook geen verschil in % lichtonderschepping gemeten tussen daglicht en kunstlicht.



Figuur 9: effect van maaien (rond 14:00 uur op 15 okt.) op lichtonderschepping

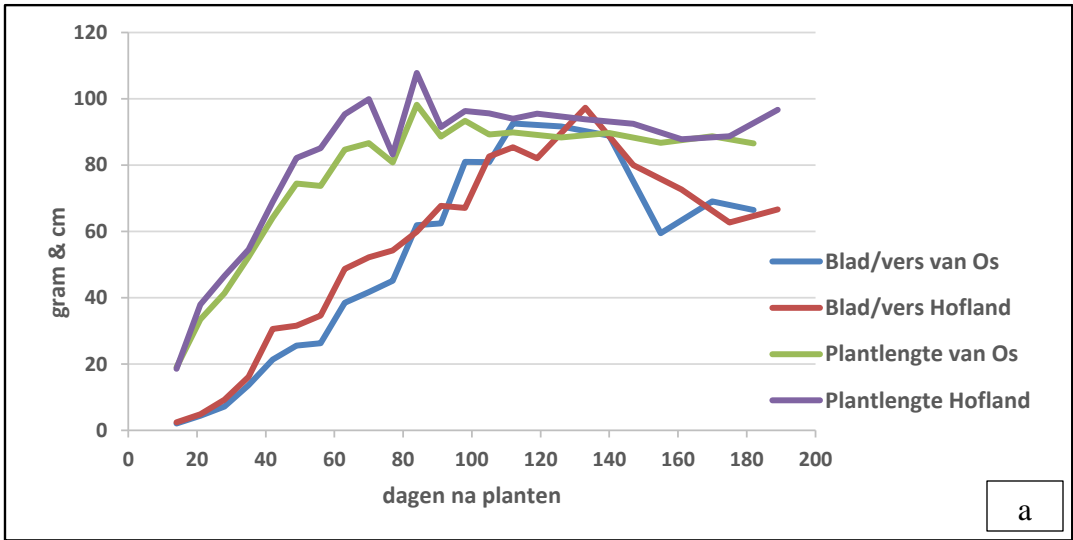
Het maaien van de bladpunten heeft een effect op de lichtonderschepping van ongeveer 3 % punten. Dit is goed te zien in de directe afname (rode pijl in bovenstaande figuur) en lagere lichtonderschepping gemeten de volgende dag.

#### 4.3 Oogstregistratie en verloop plantontwikkeling

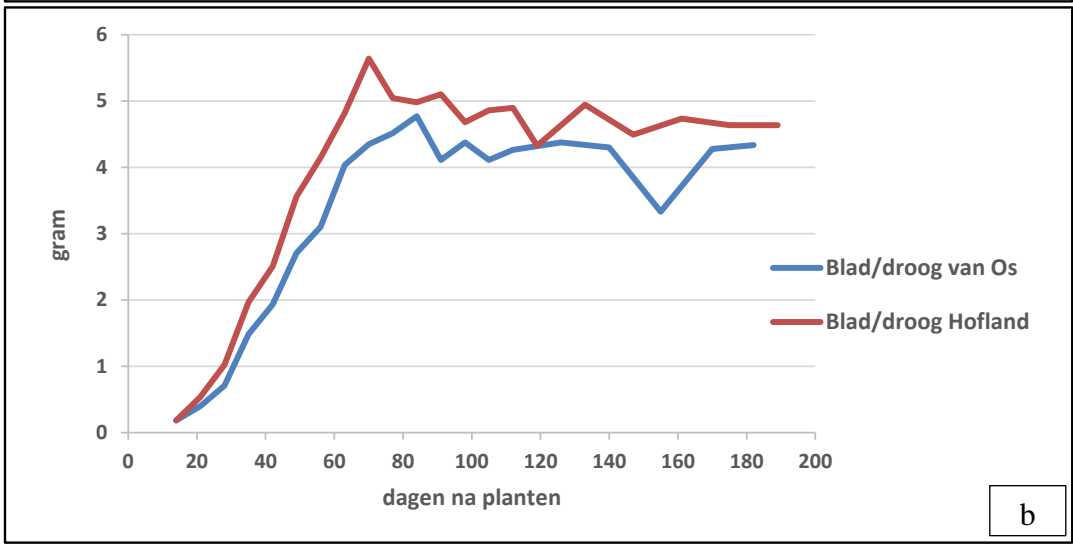
Elke week zijn 10 planten geoogst ter bepaling van plantontwikkeling. Bij elke oogst is een nieuwe positie in het plantbed gekozen, werkend van achter in de kas naar voren. Op deze manier is bij elke tussenooft dus de plantdichtheid niet verstoord en gelijk aan de start (plant) situatie (102 knollen per strekkende meter = 64 knollen per m<sup>2</sup>). De werkwijze is als volgt:

- Systematisch oogsten op een vaste dag & tijdstip per week
- Het materiaal gelijk in plastic inpakken (tegen uitdroging) en gekoeld bewaren
- Dezelfde dag per plant de knol / blad / tak wegen (versgewicht op 0,1 gram nauwkeurig)
- Materiaal invriezen (-18)
- Het verzamelde materiaal per 3-4 weken gedurende 3 dagen drogen bij 110 °C en kort na afkoelen wegen (drooggewicht op 0,01 gram nauwkeurig)

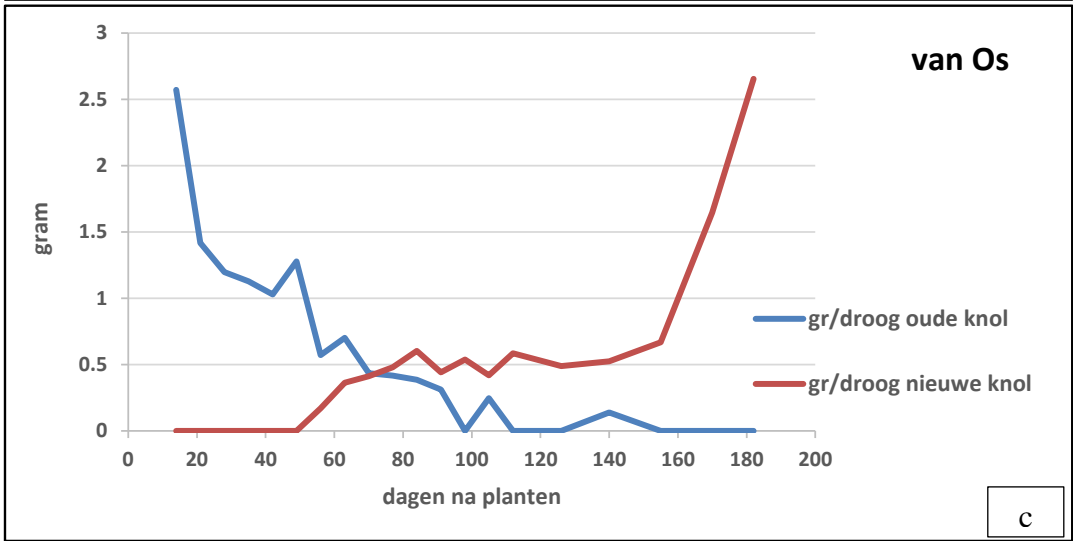




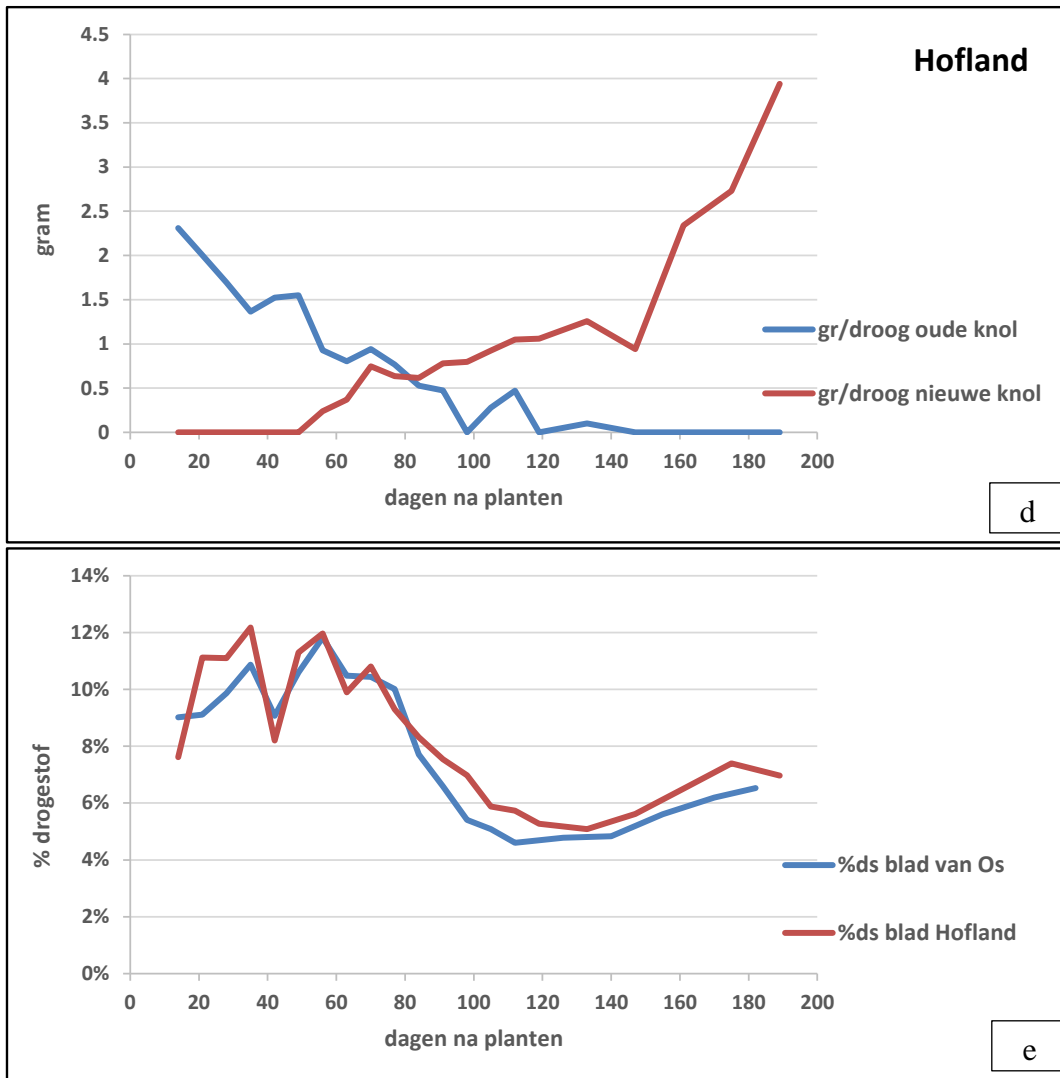
a



b



c



Figuur 10 (a, b, c, d, e): verloop plantontwikkeling gedurende de teelt.

Vanaf circa dag 60 (= begin oktober) neemt het drooggewicht van de bladeren niet meer toe. Dit is ook het moment dat de takken zich (zichtbaar) sterk aan het ontwikkelen zijn. De vanaf deze periode aangemaakte assimilaten lijken dus vooral naar de takken te gaan en niet naar de bladeren. De afname van het gewicht van de oude knol en toename van de nieuwe knol loopt hier uiteraard doorheen. Dit patroon is voor beide locaties niet wezenlijk verschillend (fig. 10 c, d). Bovenstaande assimilatenverdeling speelt een belangrijke rol in de plantbalans en is dan ook meegenomen in de source / sink berekeningen.

Wat duidelijk opvalt aan de figuren is dat het alleen volgen van versgewicht een volledig misleidend beeld kan geven van de plantbalans: figuur 10a laat zien dat het versgewicht van de bladeren blijft toenemen tot circa dag 120 na planten (begin december), terwijl het drooggewicht vanaf dag 60 al niet meer toeneemt (fig. 10b). De verklaring hiervoor is de sterke afname van droge stof gehalte van de bladeren vanaf dag 60 (fig. 10e). Hieruit blijkt dus een sterke regulering van waar de assimilaten binnen de plant naar toe gaan.

### 4.3.1 Oogstregistratie van de takken

Het aantal geogoste takken is gedurende de gehele teelt geregistreerd door de kwekers in een speciaal daarvoor afgezet telvak. Het aantal geogoste takken is sterk afhankelijk van de plantdichtheid welke op beide locaties op 102 knollen per strekkende meter was ingesteld. Dit komt neer op 85 knollen/m<sup>2</sup> (netto). Bruto plantdichtheid (dus inclusief pad) = 63,75/m<sup>2</sup>. Echter dit zijn theoretische waarden en kunnen vanwege splijters (= uitgroei van 2 planten uit 1 knol) en dubbele planting behoorlijk afwijken van de WERKELIJKE plantdichtheid. Om deze reden is aan het eind van de teelt in het telvak het totaal aantal planten geteld!



Foto: tellen van de geogoste planten uit het telvak door Hans Pronk

Op basis van bovenstaande telling is de berekende werkelijke (bruto) plantdichtheid:

Hofland: 73,5 pl/m<sup>2</sup>

Van Os: 74,2 pl/m<sup>2</sup>

Oogstgegevens van de takken:

	Van Os		Hofland	
	Aantal / m <sup>2</sup>	Gram d.s./m <sup>2</sup>	Aantal / m <sup>2</sup>	Gram d.s./m <sup>2</sup>
Hoofdtakken	73.4	90.9	76.6	132.9
Haken	121.5	102	102	94
Totaal	194.9	192.9	178.6	226.9

Tabel: opbrengstgegevens uitgedrukt in aantal en gram droge stof per m<sup>2</sup> kas (bruto).

Bij van Os is 10 dagen eerder begonnen met oogsten (bij een plantleeftijd van 112 versus 122 dagen bij Hofland). Bij van Os zijn in totaal meer takken geoogst (+9%). Echter deze takken waren veel lichter en hadden een veel lager % d.s. vergeleken met de takken van Hofland (8,5% versus 10,5%). Dit heeft uiteindelijk geresulteerd in een lagere productie van takken in drooggewicht bij van Os (85%). Bij de uitbloei zijn geen verschillen tussen de locaties geconstateerd (visuele waarneming Hans Pronk).

## 5 Plantbalans

De opbrengst van Freesia wordt, evenals bij alle tuinbouwgewassen, voornamelijk bepaald door licht en temperatuur. Licht levert de assimilaten en temperatuur drijft de ontwikkeling. Temperatuur en lichtintensiteit dienen daarom op elkaar afgestemd te zijn. Wanneer de temperatuur wordt verhoogd, ontstaat voor de weken daarna een grotere behoefte aan assimilaten omdat de ontwikkeling sneller wordt doorlopen. Wanneer die extra assimilaten niet worden geleverd, bijvoorbeeld door een lage daglichtintensiteit, neemt de kwaliteit van het product af. De oplossing is dan belichten met assimilatielampen, waarbij uiteraard onmiddellijk de vraag rijst: hoeveel moet ik bijbelichten?

### Bijbelichting

De kwestie wordt actueel omdat bijbelichten bij Freesia weliswaar een kans biedt voor productieverhoging en kwaliteitsverbetering maar het is ook een bron voor de extra warmte die in de kas wordt afgegeven. Dit kan om twee redenen tot problemen leiden:

- bij Freesia dient gedurende de eerste weken van de teelt een relatief lage meristeemtemperatuur gerealiseerd te worden om voldoende generatieve sinks te induceren.
- de hogere temperatuur leidt (na de inductiefase) tot een versnelling van de ontwikkeling en dat betekent dat er meer licht nodig is om de toename in sinks van assimilaten te voorzien.

Het eerste argument is op zichzelf staand, en werd in dit onderzoek niet nader geanalyseerd. Een lage bodemtemperatuur gedurende de eerste twee weken is vooralsnog een onmisbare teeltmaatregel.

Het tweede argument kan worden omzeild door ervoor te zorgen dat de toename in sink (als gevolg van de hogere temperatuur), wordt gecompenseerd door een even grote toename in de assimilatenvoorziening (source). Dit onderzoek was erop gericht om uit te zoeken hoeveel extra assimilaten er nodig zijn wanneer een bepaalde temperatuurverhoging (na de koelperiode) wordt toegelaten.

Een extra argument is ook dat de warmte die de lampen afgeven veelal niet wordt gebruikt voor de teelt, maar wordt 'afgelucht' of verdwijnt door 'open' schermdoek naar het kasdek. M.a.w. het lijkt erop dat er wordt geteeld door gas te geven met de rem erop. Een betere afstemming van

de balans tussen source en sink geeft mogelijkheden om licht, CO<sub>2</sub> en temperatuur efficiënter te benutten en dus energie te besparen. Deze studie geeft de benodigde inzichten in de plantbalans bij Freesia. Daarbij is een minimale verspilling van energie het uitgangspunt.

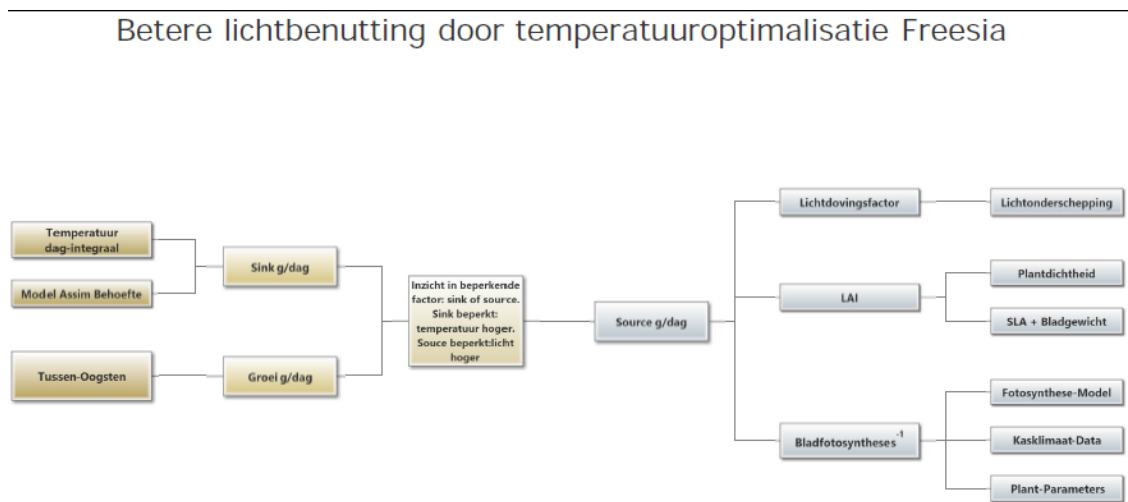
De centrale opdracht in het project is de bepaling van de verhouding tussen temperatuur en lichtbehoefte van het gewas.

Om die opgave tot een goed einde te brengen is inzicht nodig in het verloop van assimilatenbehoefte als functie van de temperatuur. Een proef, waarbij in onderzoekskassen alle mogelijke interacties worden onderzocht, zou de beste aanpak zijn maar praktisch niet uitvoerbaar. We hebben daarom gekozen voor een proefopzet in praktijkkassen, waarbij oogstgegevens werden gebruikt om het verloop van de dagelijkse assimilatenbehoefte (sink) te bepalen en die te vergelijken met het dagelijkse berekende assimilatenaanbod (source).

### 5.1 Plantbalans berekeningen

Er is een cruciaal verschil tussen de wijze waarop sink en source door temperatuur en licht beïnvloed worden. De source-effecten zijn vrijwel momentaan, terwijl de sink-effecten vertraagd doorwerken. Wanneer bijvoorbeeld in een vroeg stadium extra licht wordt gegeven heeft dat een direct effect op de fotosynthese en de assimilatenvoorziening. Een temperatuursprong heeft echter slechts een klein effect op de fotosynthese en een vertraagd effect op de sinksterkte omdat een vervroeging van de knopuitgroei nog weken later effect op de vraag naar assimilaten heeft. De gehele ontwikkeling van een tak wordt als het ware naar voren geschoven en er zullen in kortere tijd meer assimilaten naar die tak moeten worden gedirigeerd om een goed product te verkrijgen.

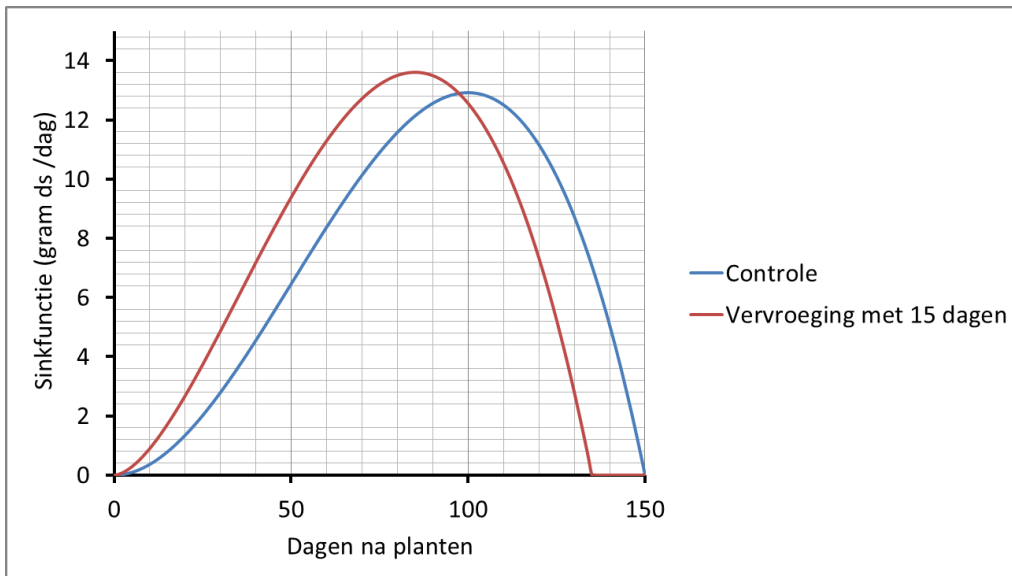
In onderstaand schema staat weergegeven welke proefgegevens er nodig zijn.



## Source

De fotosynthese per eenheid bladoppervlak werd berekend op basis van gemeten vijfminutenwaarden van de lichtintensiteit aan de top van het gewas en de fotosynthese karakteristieken (Source), zoals bepaald in hoofdstuk 3. Om de gewasfotosynthese te berekenen werd het verloop van het bladoppervlak gedurende het groeiseizoen gemeten. De lichtintensiteit op verschillende hoogten in het gewas werd vervolgens berekend op basis van de gemeten lichtintensiteit aan de kop en de berekende lichtdoving in het gewas.

De metingen en berekeningen werden verricht op beide locaties Hofland en Van Os. Bij Hofland werd meer belicht en was de temperatuur ook hoger dan bij van Os.



Figuur 11

## Sink

In tegenstelling tot de source, is de sink een moeilijk te meten grootte. Immers hoe bepaal je de behoefte aan assimilaten op elk moment in het seizoen? We kunnen dat weliswaar niet meten maar wel schatten. De maximale sink is namelijk gelijk aan de groei gedurende een periode dat er geen enkele beperking is in het assimilatenaanbod. Om een schatting te maken is daarom een rekentruc toegepast waarbij de sink wordt bepaald door 4 hoogste groeicijfers te gebruiken van alle gemeten tussenkomsten (zie vorige hoofdstuk). Door die waarden werd vervolgens een wiskundige formule gefit (Yin et al., 1995), waarmee de verdeling van de sink over de tijd wordt beschreven.

In figuur 11 is een fictief voorbeeld van zo'n functie weergegeven (blauwe lijn). Een temperatuurverhoging van 1,2 graden geeft in dit voorbeeld een vervroeging van 15 dagen (rode lijn). De oppervlakten onder de curves zijn exact gelijk. We gaan er namelijk van uit dat de geïntegreerde sink over de totale teelt niet verandert omdat er door temperatuurverhoging geen extra opbrengst is te verwachten maar slechts een andere verdeling over de tijd. Of deze aanname terecht is gemaakt is echter niet zeker. Daarvoor is gedetailleerd onderzoek nodig.

We veronderstellen dus dat een temperatuurverhoging leidt tot een versnelling en een verhoging van de maximale waarde maar niet tot een verhoging van de totale cumulatieve sink. Die blijft dus hetzelfde. We zien in het voorbeeld van figuur 11 dat door een temperatuurverhoging de top van de curve verschuift van dag 100 naar dag 85 en dat die top bovendien ook hoger is. Door de vervroeging van 15 dagen is ook de uiteindelijke afrijping van de haken eerder afgelopen.

#### Consequenties van een temperatuurverhoging

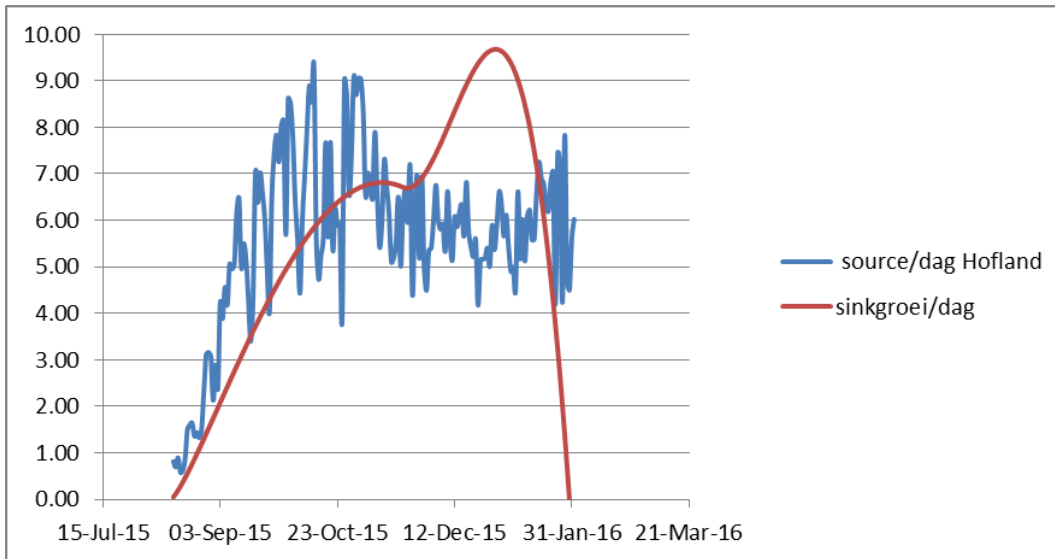
Wanneer dag 85 midden in de winter is, betekent het dat de temperatuurverhoging een extra behoefte aan assimilaten veroorzaakt op een moment dat de beschikbaarheid van licht het laagst is. De consequentie is een lagere opbrengst, omdat het tekort aan assimilaten is toegenomen en een slechtere kwaliteit omdat een groter aantal sinks een versnelde plantontwikkeling doormaakt. Het tekort aan assimilaten kan worden ondervangen door assimilatiebelichting. Een alternatief is de temperatuur laag te houden. Een interessante vraag is nu: hoeveel moet er extra belicht worden om 1 graaddag temperatuurverhoging te compenseren?

Het antwoord op die vraag is niet eenduidig. Bij Freesia is een lage bodemtemperatuur aan het begin van de teelt namelijk essentieel voor de aanleg van de takken. Aan die voorwaarde moet eerst voldaan worden voordat er sprake kan zijn van een verhoging van de temperatuur. In deze studie is de aandacht vooral gericht op de fase na de inductie en dan zien we dat een temperatuurverhoging aanleiding geeft tot een verschuiving in de plantbalans.

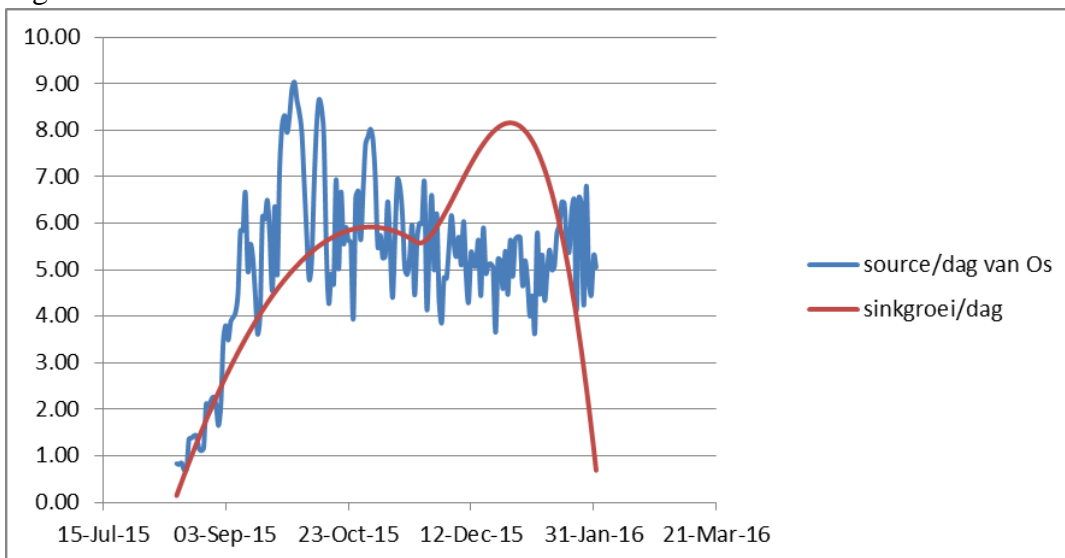
Bij Freesia kunnen we twee sink-fases onderscheiden: 1 de fase van de uitgroei van de hoofdtakken en de fase van de uitgroei van de haken. Voor beide fases geldt dat een temperatuurverhoging leidt tot een versnelling van de ontwikkeling met als gevolg een vervroeging en een verhoging van de maximale sink voor elke van beide fases.

## **5.2 Plantbalans gedurende de teelt**

Bij Hofland was de temperatuursom over de gehele teelt 2193 graaddagen t.o.v. 2103 graaddagen bij van Os. Het verschil is kleiner dan waarnaar was gestreefd en resulteerde niet in een vervroeging van de productie van de eerste hoofdtakken (van Os was zelfs eerder) maar wel in een verhoging van de sink-piek: bij Hofland werd 133 gram drogestof in de hoofdtakken geogst en bij van Os 91 gram. Het aantal geogste hoofdtakken was ongeveer gelijk (76 bij Hofland en 73 bij van Os). De observatie dat een hogere temperatuur geen vervroeging van de productie gaf, kan worden verklaard door de “lage-temperatuur” behoefte aan het begin van de teelt. Die is bepalend voor de aanleg van de takken. Een verhoging van de sink-werking kan namelijk pas plaatsvinden als de sinks daadwerkelijk zijn aangelegd. Bovendien was het drogestof gehalte van de takken bij Hofland hoger waardoor het ook iets langer duurt voor de tak “gevuld is” en dus geogst kan worden. In Figuur 12a,b is te zien hoe het dagelijks aanbod van assimilaten afwijkt van de behoefte. Voor de sink kunnen we twee fases onderscheiden, de eerste is de toename van blad, knol en hoofdtakken, de tweede is de uitgroei van de haken. Tijdens de groei van de hoofdtakken waren er in beide behandelingen tot half november vrijwel geen tekorten aan assimilaten. De iets hogere temperatuur bij Hofland zorgde voor een hogere sink, die echter geen aanleiding was voor tekorten omdat er ook meer werd bijbelicht.



Figuur 12a



Figuur 12b

De plantbalans verandert echter sterk in de periode van november tot half januari. De afname in lichtintensiteit gecombineerd met een sterk toegenomen behoefte aan assimilaten legt in deze periode harde grenzen aan de productie. Die wordt hier volledig bepaald door de source. Vanaf half januari verschuift de balans weer in het voordeel van de source omdat het aantal uitgroeiende haken afneemt en dagelijkse stralingssom weer toeneemt.

Het tekort aan assimilaten, uitgedrukt in drogestof, tussen 1 november 2015 en 15 januari 2016 was 117 g/m<sup>2</sup> bij van Os en 154 g/m<sup>2</sup> bij Hofland.

Dat komt overeen met een extra lichtbehoefte van 69 Mol bij van Os en 91 Mol bij Hofland. Bij een belichtingsduur van 12 uur, komt dit overeen met een extra belichting van 28  $\mu\text{mol PAR}$  bij Hofland en 21  $\mu\text{mol}$  bij van Os, gedurende de periode van 1 november tot 15 januari. Bij een gemiddelde belichtingsduur van 16 uur per dag komt dit neer op een extra belichting van 21  $\mu\text{mol}$  bij Hofland en 16  $\mu\text{mol}$  bij van Os in dezelfde periode .



### 5.3 Plantbalans en temperatuur.

Wanneer we deze verschillen geheel zouden kunnen toeschrijven aan het temperatuurverschil in beide behandelingen, is het mogelijk om een extrapolatie te maken naar de hoeveelheid licht die we aan de source moeten aanbieden per graad temperatuurverhoging van de source. Uit de resultaten lijkt een temperatuurverschil van 90 graaddagen te leiden tot een extra lichtbehoefte van 22 Mol licht, toe te dienen in de periode van half november tot half januari.

Dat betekent dat voor elke graaddag extra 0,25 Mol licht moet worden toegediend in die periode. Een doelstelling van het project was om minder warmte te 'vernietigen', bijvoorbeeld door toepassen van schermdoek voor minder uitstraling en de warmte van de lampen beter binnen te houden. Het idee was ook dat de lichtbenutting omhoog zou gaan bij een iets hogere T. Uit dit experiment is dat niet gebleken. Hoewel de opbrengst bij Hofland hoger was is de lichtbenuttingsefficiëntie (gemiddeld over de hele periode) zelfs iets lager: 0,95 gr ds/Mol tegen 1.02 gr ds/Mol bij van Os.

De verschillen zijn echter klein en vrijwel volledig toe te schrijven aan de lichtverliezen gedurende de eerste maanden van de teelt toen er een duidelijk overschot was aan het assimilatenaanbod.

Wanneer we naar de periode half november tot half januari kijken, dan is de lichtbenuttingsefficiëntie 1.96 gr ds/Mol bij Hofland en 1.93 gr ds/Mol bij van Os. De verschillen tussen de behandelingen zijn verwaarloosbaar maar we zien wel een verdubbeling van de lichtbenuttingsefficiëntie vergeleken met het gemiddelde over de totale teelt.

De conclusies:

1. Er kan energie bespaard worden door in de maanden tot november minder te belichten.
2. Daar staat tegenover dat er tussen half november en half januari een aanzienlijk gat zit tussen de assimilatenvraag en assimilatenbehoefte. Om dat gat te dichten is 70 tot 90 Mol/m<sup>2</sup> assimilatiebelichting nodig.
3. Een graaddag komt overeen met 0,25 Mol/m<sup>2</sup> licht in de periode tussen half november en half januari.

Deze conclusies zijn gebaseerd op berekeningen en dienen zeker nog gevalideerd te worden met een experiment alvorens in de praktijk toe te passen.

## 6 Discussie & aanbeveling

Het vooropgezet streven van dit onderzoek was tussen de locaties van Os en Hofland een verschil in teelttemperatuur te creëren en daarmee een verschil in plantbalans. Echter, afgelopen winter is over het algemeen een warme periode geweest, waardoor de temperatuurverschillen tussen beide locaties kleiner zijn dan voor de proef gewenst. Wel is bij Hofland vooral in het begin van de teelt meer licht toegelaten, wat heeft geresulteerd in interessante verschillen in het gewas en de plantbalans.

1. Er kan energie bespaard worden door in de maanden tot november minder te belichten omdat de lichtonderschepping dan relatief laag is en er nog voldoende assimilaten worden geleverd om aan de vraag te voldoen.
2. Daar staat tegenover dat er tussen half november en half januari een aanzienlijk gat zit tussen de assimilatenvraag en assimilatenbehoefte. Om dat gat te dichten is verspreid over die periode 70 tot 90 Mol extra assimilatiebelichting nodig, bovenop de gebruikte belichting in de huidige experimenten. Met andere woorden, wil je de totale productiecapaciteit van een Freesia teelt benutten, gebaseerd op de sink verwachting, dan moet er extra belicht worden.
3. Een graaddag komt overeen met 0,25 Mol licht in de periode tussen half november en half januari. Deze conclusie kan twee kanten op werken: 1 graaddag temperatuurverlaging vermindert de assimilatenbehoefte die wordt geleverd door een belichting met 0,25 Mol PAR. Een verlaging van 1 graad gedurende een maand bespaart dan 7,5 Mol assimilatielicht. Het is onwaarschijnlijk dat je dit verband ver naar beneden of naar boven kunt doortrekken omdat de relatie niet lineair is.
4. De fotosynthese van Freesia is bij laag licht onafhankelijk van de temperatuur en loopt bij hoog licht op met 6% per °C.

In deze studie is de bodemtemperatuur weliswaar gemeten en zijn de effecten daarvan beschreven maar er is geen verband gelegd met de potentiële sink ontwikkeling. Dat is in een praktijkproef ook moeilijk te realiseren. Hoewel we dus duidelijke verschillen zien in de sink in beide behandelingen, kan niet eenduidig worden bepaald, welk deel daarvan door verschillen in bodemtemperatuur en welk door verschillen in luchttemperatuur zijn veroorzaakt. In deze studie hebben we de sink beïnvloeding volledig toegeschreven aan de luchttemperatuur. De interactie tussen de lage bodemtemperatuur als aanjager van de sink en de hogere luchttemperatuur die in dezelfde richting werkt, dient nader bestudeerd te worden.

## 7 Referenties

- Anonymous. 2007.** Junior-PAM CHLOROPHYLL FLUOROMETER Operator's Guide, 58pp. Heinz Walz GmbH, Effeltrich (Germany). [www.walz.com/downloads/manuals/junior-pam/jpm\\_071206.pdf](http://www.walz.com/downloads/manuals/junior-pam/jpm_071206.pdf).
- Caroline Labrie, Pieter de Visser, Fokke Buwalda en Frank van der Helm. 2011.** Groeimodel Freesia " Ontwikkeling van een groeimodel voor gebruik door telers".
- Dijkstra T, Van Marwijk D, De Rooij E, Verberkt H, Blaakmeer A, Schapendonk A, Pot CS, Voogt J. 2010.** Make sense, Growsense. Wageningen: DLV, Grow@science, Plant Dynamics, Hoogendoorn automatisering, 175 blz.
- Dankers P, Rooij E de, Verberkt H, Blaakmeer A, Roovers-Huijben T, Pot S, Trouwborst G. 2011.** GrowSense 2. Energiebesparing door optimalisering van de teeltfactoren temperatuur, CO<sub>2</sub>, licht en VPD op basis van plantreacties. Rapport PT 13236.
- Farquhar G.D., Caemmerer S. von, Berry J.A., 1980.** A biochemical model of photosynthetic CO<sub>2</sub> assimilation in leaves of C<sub>3</sub> species. *Planta* 149, pp. 78-90
- Genty B, Briantais J-M, Baker NR. 1989.** The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochimica et Biophysica Acta* 990, 87- 92.
- Pot CS, Trouwborst G, Schapendonk AHCM. 2011.** Handleiding gebruik van plantsensoren voor de fotosynthese in de praktijk. Wageningen: Plant Dynamics B.V., 28 blz.
- Snel JFH., Warmenhoven M, de Gelder A. 2014.** Optimalisatie van Het Nieuwe Telen. Werkpakket Fotosynthesemonitoring. Wageningen, Rapport nr. GTB-1299.
- Yin, Xinyou, et al.** "A nonlinear model for crop development as a function of temperature." *Agricultural and Forest Meteorology* 77.1 (1995): 1-16.

## Bijlage 1

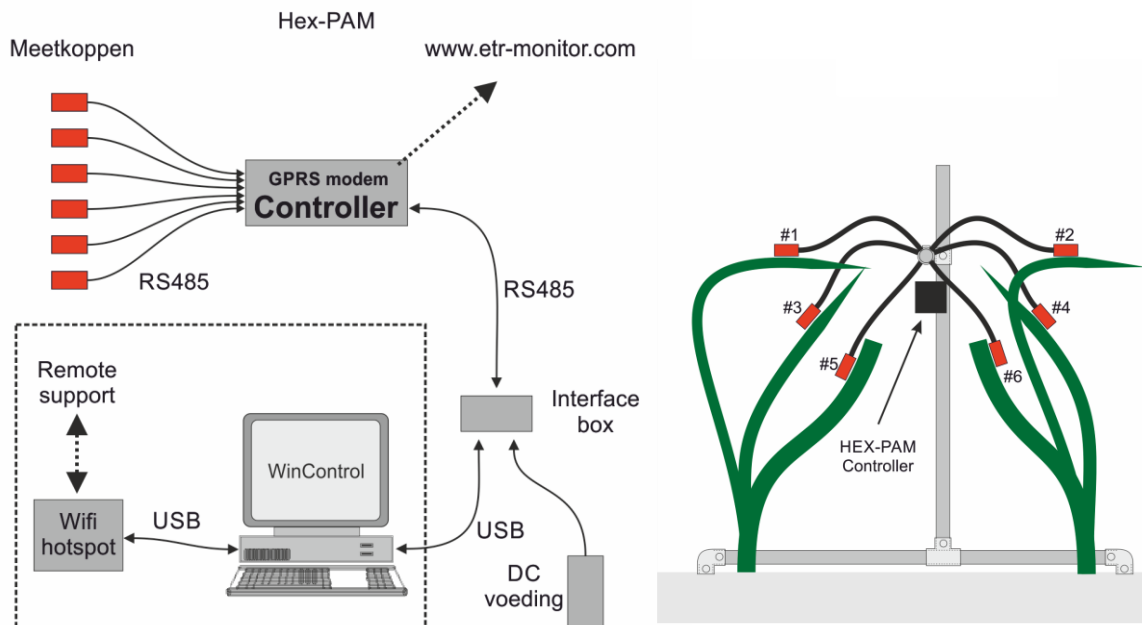
### Meetmethode HEX-PAM

De schatting van de ETR is gebaseerd op chlorofylfluorescentie (Genty et al., 1989). Voor een uitgebreide beschrijving van deze schatting wordt verwezen naar het rapport *Handleiding gebruik van plantsensoren voor de fotosynthese in de praktijk* (Pot et al. 2011).

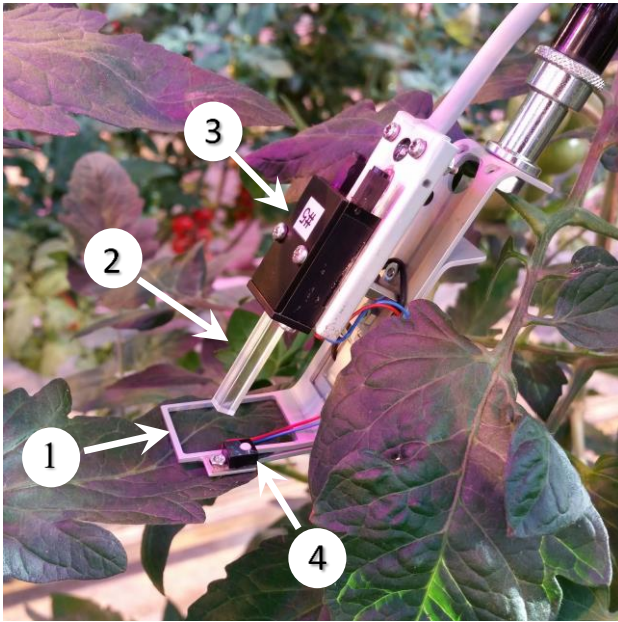
Voor het meten van PAR en ETR in een groentegewas is de bestaande Plantivity minder geschikt. De Plantivity is relatief groot en niet praktisch voor het meten van gewasfotosynthese met meerdere sensoren in een hogedraadteelt. Op initiatief van Adviesbureau JFH Snel en Plant Dynamics is Gademann Instruments (Duitsland) begonnen aan een doorontwikkeling van de Plantivity: de HEX-PAM. De HEX-PAM bestaat uit een basisstation met 6 meetkoppen (Fig.5.1 links). Elke meetkop meet naast chlorofylfluorescentie ook nog bladtemperatuur, PAR en luchtvochtigheid (Fig.5.2). De meetkoppen staan via een 5m lange RS485 kabel in verbinding met het basisstation. Het basisstation stuurt de data rechtstreeks via een GSM verbinding naar een server in Duitsland waar de data online te zien zijn: [www.etr-monitor.com](http://www.etr-monitor.com).

#### Meetopstelling

In de afdeling is een frame van steigerbuis in het gewas opgebouwd. Het frame bestaat uit twee poten, verbonden door een liggende buis. De HEX-PAM sensoren werden met 50cm lange, flexibele zwanenhalzen en statiefklemmen aan de liggende buis bevestigd (Fig.5.1 rechts). De HEX-PAM meetkoppen werden in principe 1x per week op een ander blad gezet. Dat gebeurde als de goot in de lage positie was. De HEX-PAM controller unit werd met tie-wraps op de goot bevestigd.



Figuur 5.1. Schematische weergave van de HEX-PAM configuratie (links) en de meetopstelling in het gewas (rechts). De meetkoppen zijn via RS485 kabel (5m lengte) verbonden met de basiseenheid. De basiseenheid wordt door een 15m lange RS485 kabel van stroom voorzien en heeft via deze kabel verbinding met een PC. De PC is via wifi op afstand bestuurbaar en wordt gebruikt om de HEX-PAM op afstand te kunnen bedienen. De meetkoppen van de HEX-PAM zijn via flexibele zwanenhalzen en klemmen aan de stelling van 32mm steigerbuis bevestigd. In de figuur zijn 4 meetkoppen (1-4) boven in het gewas geplaatst, en 2 meetkoppen halverwege, net boven het gaas. Het basisstation (controller) van de HEX-PAM hangt aan de horizontale buis boven het gaas.



Figuur 5.2. Eén van de meetkoppen van de HEX-PAM op een blad van een 'oud' gewas in het Futagrow teeltsysteem voor tomaat.

De meetkop bestaat uit:

1. blakklem met vaste bovenkant en beweegbare onderzijde.
2. Lichtgeleider voor meten van chlorofylfluorescentie.
3. Electronica voor chlorofylsensor.
4. Externe PAR sensor.
5. Thermokoppel (niet zichtbaar) voor meten temperatuur onderzijde blad.
6. Sensor (niet zichtbaar) aan de onderzijde van de chlorofylsensor voor het meten van RV.

### Data-acquisitie, opslag en verwerking

De HEX-PAM sensoren werden aangestuurd vanuit de HEX-PAM controller unit. De meting wordt gestart door het meegeleverde programma Wincontrol (Walz) op de laptop te starten. Wincontrol wordt in de 'Batch-mode' gezet en door een batch-bestand geladen. Dit batch bestand bevat de instellingen en het meetprotocol. Vanuit Wincontrol wordt het batchprogramma naar de HEX-PAM geladen en opgestart. Daarna draait de HEX-PAM zelfstandig en stuurt de meetdata draadloos naar [www.etr-monitor.com](http://www.etr-monitor.com). Voor meet informatie over het programma Wincontrol wordt verwezen naar de *Junior-PAM CHLOROPHYLL FLUOROMETER Operator's Guide* (Anonymus, 2007).

De data kunnen online bekeken en gedownload worden voor verdere analyse in Microsoft Excel en/of PTC MathCad (zie onder) of andere rekenprogramma's. De meetfrequentie van de HEX-PAM's was 1x per kwartier in het licht.

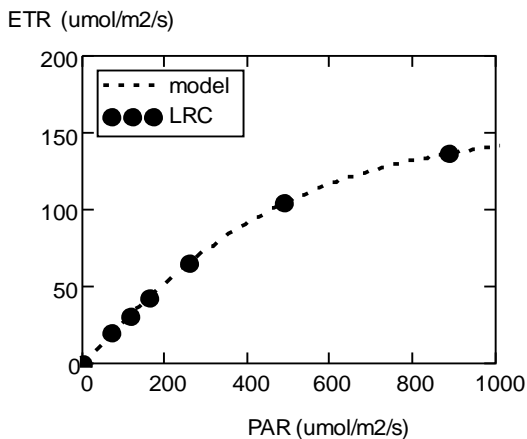
### Bepaling potentiële ETR

De fotosynthese wordt bepaald door een aantal interne en externe factoren. De belangrijkste externe factoren zijn licht, CO<sub>2</sub>, temperatuur en luchtvochtigheid. Belangrijke interne factoren zijn de huidmondjesgeleidbaarheid, voldoende interne substraten en negatieve productfeedback door suikers en ophoping van zetmeel.



Figuur 5.3. De meetopstelling met de HEX-PAM sensoren gemonteerd aan flexibele zwanehalzen die met klemmen aan de steigerbuis bevestigd zijn.

De potentiële ETR is gedefinieerd als de ETR bij een bepaalde PAR onder optimale condities voor de fotosynthese. Potentiële ETR wordt gemeten door onder optimale condities de lichtintensiteit te variëren en de bijbehorende ETR te meten. De beste tijd om deze meting uit te voeren is aan het begin van de lichtperiode. Het blad heeft vaak enige tijd nodig om zich aan het licht aan te passen; daarom wordt een periode van minimaal 1 uur aangehouden om te voorkomen dat er interne beperkingen in het blad zijn. Bij het begin van de lichtperiode is er meestal voldoende CO<sub>2</sub> en is de luchtvochtigheid hoog. Om te voorkomen dat de RV of de CO<sub>2</sub> zakken door het openen van de ramen, is het verstandig om de meting van de potentiële ETR uit te voeren voordat de ramen open gaan. Meestal is 1-3 uur na het begin van de belichting een geschikte periode.



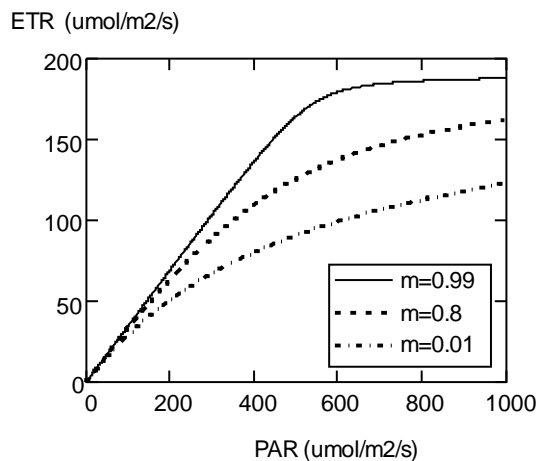
Figuur 5.4. Lichtresponscurve, gemeten aan tomaat met de HEX-PAM. De gesloten cirkels zijn de gemeten ETR waarden bij de met de interne LED aangelegde PAR. De streepjeslijn is de curve die het fotosynthesemodel weergeeft met de parameters die via een fitprocedure verkregen zijn.

De meting wordt uitgevoerd door eerst de ETR te meten bij het aanwezige licht. Daarna wordt het stukje blad in de meetspot gedurende 2 min. belicht met witte LED van de HEX-PAM. Aan het eind van de 2 min. wordt de ETR gemeten bij die lichtintensiteit. Daarna wordt de lichtintensiteit van de LED verhoogd en na twee min. wordt opnieuw de ETR gemeten. Zo wordt uiteindelijk de ETR bij 6 lichtstappen (bovenop aanwezige licht) gemeten: 0, 30, 75, 125, 220, 445 en 850  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Voor het bepalen van de potentiële ETR wordt door de gemeten (ETR, PAR) punten een model van de fotosynthese gefit (Fig. 5.4). Het gebruikte model is een niet-lineaire hyperbool met 3 parameters:

$$ETR(PAR, ETR_{max}, Q_2, m) := \frac{(Q_2 \cdot PAR + ETR_{max}) - \sqrt{(Q_2 \cdot PAR + ETR_{max})^2 - 4 \cdot Q_2 \cdot PAR \cdot ETR_{max} \cdot m}}{2 \cdot m} \quad [1]$$

Met:  $ETR_{max}$  = maximale elektronentransportsnelheid ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ );  
 $Q_2$  = maximale lichtbenutting (dimensieloos;  $0 < Q_2 < 0.42$ );  
 $m$  = constante die de curvatuur bepaalt (dimensieloos;  $0 < m < 1$ ).



Figuur 5.5. Weergave van niet-lineaire hyperbool bij 3 waarden voor m. De andere waarden:  $ETR_{max} = 190 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $Q_2 = 0.35$ .

De parameters van vergelijking [1] zijn aan de meetpunten gefit met het programma MathCad 15 (PTC, USA) op basis van een kleinste kwadratenmethode.

### Bepaling dagsommen

De lichtsom en de ETRsom werden berekend via integratie van de met de HEX-PAM gemeten PAR en ETR, aannemend dat de PAR en ETR gedurende de integratieperiode (15min) constant waren.

### Meetprotocol

Tijdens de proef is het volgende meetprotocol aangehouden.

- Meetlicht Hex-PAM alleen aan tijdens de meting
- 1 uur voor zonsopgang wordt de Fv/Fm meting uitgevoerd
- 1 uur na zonsopgang wordt de lichtrespons gemeten
  - Lichtstappen via interne witte LED: 0, 30, 75, 125, 220, 445 en  $850 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
  - Elke stap duurt 2 min.
- Tussen meting lichtrespons en zonsondergang
  - Elke 15 min. meting als PAR van meetkop 1 groter is dan  $2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
- Na zonsondergang geen metingen
- Data real-time naar [www.etr-monitor.com](http://www.etr-monitor.com)

