

Handleiding gebruik van plantsensoren voor de fotosynthese in de praktijk



Januari 2011

Sander Pot, Govert Trouwborst en Ad Schapendonk

Handleiding gebruik van plantsensoren voor de fotosynthese in de praktijk

Januari 2011

C.S. Pot, G. Trouwborst, en A.H.C.M. Schapendonk

Plant Dynamics B.V.
Englaan 8
6703 EW Wageningen
www.plant-dynamics.nl
Sander@plant-dynamics.nl
Tel. 06-12885226

REFERAAT

C.S. Pot, G. Trouwborst, en A.H.C.M Schapendonk, 2010. Handleiding gebruik van plantsensoren voor de fotosynthese in de praktijk. Plant Dynamics B.V., Wageningen. 28p.

De bloemen- en plantensector investeerde in dit project via het Productschap Tuinbouw (PT).

PT projectnummer: 13834.48

© 2010 Wageningen, Plant Dynamics BV

Alle rechten voorbehouden. 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 bronvermelding.

Plant Dynamics BV is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Inhoudsopgave

INHOUDSOPGAVE	4
SAMENVATTING	5
VOORWOORD	6
1 INLEIDING EN DOELSTELLING	7
2 THEORIE FOTOSYNTHESE EN LICHTSTRESS	8
2.1 Lichtrendement en plantvitaliteit	8
2.2 Elektronentransport en lichtstress.....	10
2.3 CO ₂ -benutting	11
3 BESCHIKBARE PLANTSENSOREN.....	12
4 AAN DE SLAG MET DE LICHTBENUTTING	14
4.1 Bepaling van het rendement en plantvitaliteit	14
4.2 Bepaling van de bovengrens van de lichtintensiteit.....	15
4.3 Bepaling van lichtstress	17
5 AAN DE SLAG MET DE CO ₂ -BENUTTING	19
6 WAT KUN JE BEREIKEN?	20
BIJLAGE 1. PAR-LICHT.....	23
BIJLAGE 2. UITLEG CHLOROFYL-FLUORESCENTIE	24
BIJLAGE 3. TEELTVOORBEELD LICHTSTRESS	26
BIJLAGE 4. HANDLEIDING PLAATSING GROWWATCH.....	27
BIJLAGE 5. BEGRIPPENLIJST	28

Samenvatting

Dit rapport is een handleiding waarmee telers met behulp van plantsensoren de lichtgevoeligheid van hun gewas kunnen bepalen. De Plantivity (GrowTechnology) de junior PAM (WALZ) en de PPM (EARS) worden besproken. Al deze sensoren meten de plantrespons en geven informatie hoe effectief planten het licht omzetten in groei (lichtbenutting) en wanneer sprake is van een overmaat aan licht (lichtstress). Inzet van deze sensoren in de praktijk, geeft telers bijvoorbeeld de mogelijkheid zelf hun scherm- en belichtingsstrategie bepalen op basis van plantreactie. Het doel van deze handleiding is om praktische handvatten te bieden hoe de signalen van deze meters het beste geïnterpreteerd kunnen worden. Hierbij is gekozen voor een opsplitsing in drie onderdelen:

1. Bepaling van de maximale lichtintensiteit wat de plant aan kan en de plantvitaliteit
2. Bepaling van welk deel van PAR wordt benut voor de fotosynthese en welk deel zorgt voor lichtbelasting en lichtschade
3. Via de berekende fotosynthese lijn aangeven hoe hiermee gericht gestuurd kan worden op maximalisatie van de CO₂-opname

Het 1^e onderdeel is mogelijk met alle drie genoemde sensoren. Onderdeel 2 en 3 zijn momenteel alleen mogelijk met de Plantivity.

Op basis van bovenstaande parameters kunnen er weloverwogen beslissingen worden genomen aangaande het klimaat zoals het aan- of uitschakelen van de belichting, het toepassen van schermen, het doseren van CO₂ en het toepassen van luchtbevochtiging. Door “scherp” te telen en goed te “luisteren” naar de plantrespons zal er energie bespaard worden.

Voorwoord

Naar aanleiding van het onderzoek “Teeltoptimalisatie Miltonia” (PT 13819) is er veel belangstelling bij telers naar de gevoeligheden voor lichtbenutting van andere gewassen. Hier komt bij dat vanuit het initiatief “Het Nieuwe Telen” ruimere grenswaarden voor het klimaat worden aangehouden. Hierdoor stijgt de noodzaak om de plantrespons scherp in de gaten te houden. In overleg met PT is besloten tot het schrijven van een handleiding, zodat telers zelf plantsensoren kunnen toepassen op hun eigen gewas om de lichtbenutting te optimaliseren.

Onderliggende handleiding biedt praktische handvatten aan telers door richtlijnen te geven hoe grenswaarden van klimaat kunnen worden bepaald, gebaseerd op plantrespons (lichtbenutting voor de fotosynthese, lichtstress en CO₂-benutting).

We willen de “studiegroep Miltonia”, de “studiegroep Cambria” en Anton Blaakmeer van GrowTechnology bedanken voor hun bijdrage en het PT voor de financiering van deze handleiding.

1 Inleiding en doelstelling

Plantmonitoring is de manier om de plant centraal te stellen in de klimaatregeling. Geen vaste setpoints maar de plantrespons bepaalt het klimaat. Uit onderzoeken naar “Het Nieuwe Telen” bij potplanten (Betere benutting zonne-energie voor potplanten; PT 13490) en “Teeltoptimalisatie Miltonia” (PT 13819) blijkt dat er mogelijkheden zijn voor het telen met meer daglicht en ruimere temperatuurgrenzen waarbij groeiversnelling en/of energiebesparing mogelijk is. Voorzichtigheid is echter geboden bij ‘extremere’ combinaties van licht, temperatuur en vocht. Een goede monitoring van de plantrespons kan uitkomst bieden om niet over de grens te gaan.

Sensoren die de plantreactie meten zijn er betrekkelijk weinig. De meest eenvoudige is de infrarood camera voor meting van planttemperatuur. Intussen is nu al een aantal jaar de Plantivity op de markt. Deze werd in 2003 ontwikkeld door Plant Dynamics, Prof. U. Schreiber (Wurzburg-D) en Grow Technology. In handzaam formaat zijn ook de PPM100/200/300 en miniPPM (EARS) voor telers verkrijgbaar. Als laatste kan ook de junior PAM (WALZ) gebruikt worden. Al deze plantsensoren werken op basis van chlorofylfluorescentie. Hiermee kan vastgesteld worden hoe de plant omgaat met het aangeboden licht. Een voordeel van de Plantivity boven de twee andere sensoren is dat het signaal online meeloopt (5 minuten waarden) en gemakkelijk zichtbaar is te maken in combinatie met de algemene klimaatfactoren als lichtintensiteit, CO₂-niveau en lucht- en bladtemperatuur. Hierdoor ontstaat een beeld hoe de fotosynthese en lichtbenutting verloopt in de tijd en hoe deze reageert op de omgeving. De andere genoemde apparaten zijn handmeters die een goede momentopname weergeven, maar waarvan de koppeling naar klimaat wat lastiger is te realiseren.

Deze handleiding baseert zich op plantsensoren die chlorofylfluorescentie meten. Doordat de Plantivity de meeste mogelijkheden heeft, wordt op deze sensor het meest ingegaan. Er wordt gewerkt aan de hand van voorbeelden die gebaseerd zijn op het recent uitgevoerde onderzoek “Teeltoptimalisatie Miltonia” (PT 13819). We sluiten aan bij de terminologie zoals deze door GrowTechnology wordt gebruikt (handleiding te downloaden via <http://my.growwatch.nl/Faq.aspx>).

Doelstelling:

Het bieden van een handzame beschrijving voor het bepalen van grenswaarden voor lichtniveau op basis van plantmonitoring.

1. We geven aan welke parameters van de Plantivity/PPM/junior PAM van belang zijn, zodat de teler inzicht krijgt hoe de plant omgaat met het aangeboden licht en hoe de teler dit kan beïnvloeden.
2. We geven aan dat er specifieke gegevens/metingen extra nodig zijn om de lichtbenutting te vertalen naar productie (CO₂-opname) en hoe de teler met deze extra informatie kan sturen op VPD_{blad} (dampdrukdeficit tussen kaslucht en blad) en CO₂. Tot op heden is dit alleen mogelijk voor C₃-planten.

De handleiding is als volgt opgebouwd: In hoofdstuk 2 een stukje theorie over lichtbenutting (rendement en lichtstress) en CO₂-benutting. In hoofdstuk 3 worden de sensoren toegelicht. In hoofdstuk 4 volgt de uitleg hoe lichtrendement en lichtstress kan worden gemeten en wat dit betekent voor de teelt. In hoofdstuk 5 wordt CO₂-opname behandeld. In het laatste hoofdstuk worden er scenario's geschetst voor klimaatsturing op basis van de plantsensoren. In bijlagen is extra achtergrondinformatie opgenomen.

2 Theorie fotosynthese en lichtstress

2.1 Lichtrendement en plantvitaliteit

De groei van een plant wordt bepaald door het fotosyntheseproces in de bladeren van de plant. Dit proces is een samenwerking van twee deelprocessen: de lichtreactie en de donkerreactie (Fig. 1). In de lichtreactie wordt lichtenergie in de vorm van ATP en NADPH vastgelegd die in de donkerreactie gebruikt wordt voor het binden van CO₂ om suikers te maken. Beide reacties zijn afhankelijk van elkaar: wanneer de lichtreactie niet draait (bijvoorbeeld zonder licht), dan is geen energie beschikbaar om de donkerreactie te laten draaien! De term donkerreactie is dus misleidend en wordt om die reden ook wel CO₂-bindingsreactie genoemd.

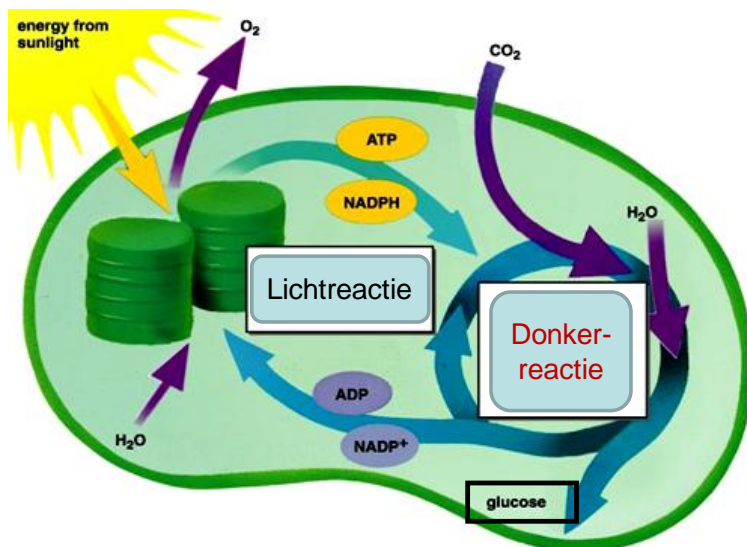


Fig. 1. Schematische tekening van het verband tussen de lichtreactie en de donkerreactie (CO₂-bindingsreactie) in een chloroplast (bladgroenkorrel). Door zonlicht wordt in de lichtreactie energie vastgelegd (ATP en NADPH) die nodig is voor het binden van CO₂ tot suikers.

In de lichtreactie wordt de energie van de lichtdeeltjes (fotonen) van het groeilicht (PAR; zie Bijlage 1) gebruikt om elektronen te transporteren door twee fotosystemen (Fig. 2A). Hierdoor wordt de lichtenergie opgeslagen in de vorm van ATP en NADPH. In theorie zijn twee lichtdeeltjes nodig om één elektron door de twee fotosystemen te transporteren. Hoe meer lichtdeeltjes worden opgevangen hoe sneller het elektronentransport (ETR) gaat verlopen. Echter in werkelijkheid lukt het een blad nooit om alle energie volledig te verwerken. Er vallen altijd elektronen terug. Deze energie gaat in principe verloren als warmte en het uitzenden van fluorescentie (Fig. 2B). Hoe hoger de lichtintensiteit, hoe minder goed het licht verwerkt kan worden en des te hoger de fluorescentie. Door deze fluorescentie te meten (Bijlage 2), wordt het **rendement** van het licht bepaald. In Fig. 3 is het rendement (blauwe lijn) samen met het PAR-licht (rode lijn) weergegeven. Te zien is dat in het donker een maximaal rendement wordt bereikt van circa 0.8. Dit is voor gezonde planten altijd het geval. Dit maakt de meting van het rendement in het donker tot een uitstekende controle van de **plantvitaliteit**. Als het nachtelijke rendement lager is dan de voorgaande nacht, dan duidt dit op onvoldoende herstel en mogelijke schade aan het fotosyntheseapparaat door blootstelling aan teveel licht overdag. Deze schade is voor het blote oog niet zichtbaar, maar het rendement en het elektronentransport zal de volgende dag sterk dalen ten opzichte van een gezonde plant. Bij toenemende lichtintensiteit daalt het rendement (Fig. 3). Bij teveel licht (rendement < 0.4) ontstaat er lichtstress. De **snelheid** van de lichtreactie wordt uitgedrukt in **elektronentransport** (ETR).

De ETR stijgt met toenemende lichtintensiteit totdat er een maximum bereikt wordt.

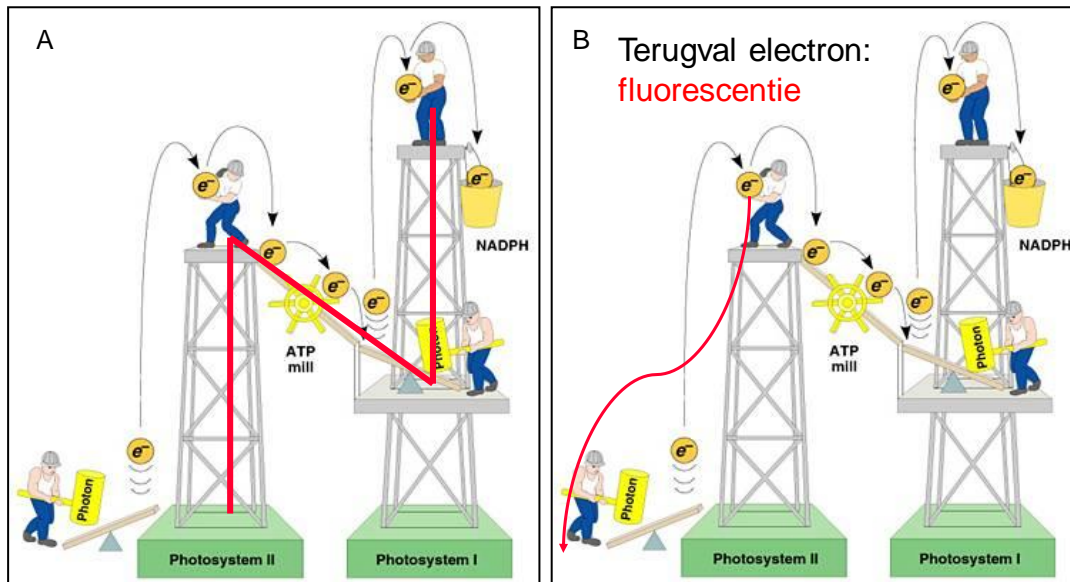


Fig. 2. Schematische tekening van de lichtreactie ook wel elektronentransport keten genoemd (A). In theorie zijn er twee lichtdeeltjes nodig om één elektron (e^-) van links naar rechts te transporteren. Als er nu door veel licht veel elektronen bij dit mannetje terecht komen, kan hij deze (soms) niet allemaal verwerken en vallen er ook elektronen terug (B). Des te meer elektronen terugvallen, des te hoger de fluorescentie. Door de fluorescentie te meten, wordt het **rendement** van het licht bepaald. (Bron: L. van der Plas; WUR).

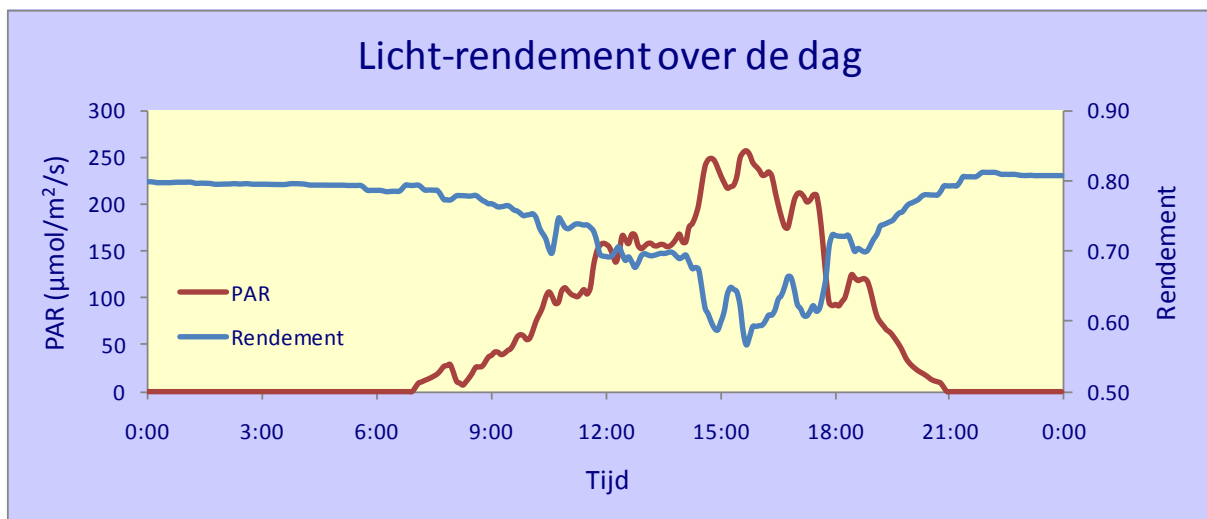


Fig. 3. PAR (rode lijn) en lichtrendement over de dag (blauwe lijn). Hoe hoger het lichtniveau (rode lijn), hoe minder goed het licht verwerkt kan worden, des te lager het rendement van het licht. In het donker is er geen belasting en is het rendement maximaal. Bij een gezonde plant is dit circa 0.8 (80%). In het licht (overdag) daalt het rendement. Wanneer het rendement lager wordt dan circa 0.4 dan is er sprake van teveel licht en ontstaat er lichtstress. Zonder lichtstress is het rendement ongeveer het spiegelbeeld van de PAR-lijn.

2.2 Elektronentransport en lichtstress

Onder een lage lichtintensiteit gaan bladeren heel efficiënt om met het beschikbare licht. Bijna al het licht wordt dan gebruikt voor het **elektronentransport** (ETR). Een verdubbeling in lichtintensiteit geeft dan een verdubbeling in elektronentransport. Het rendement is dan dus hoog. Met het stijgen van de lichtintensiteit stijgt het elektronentransport steeds verder, totdat een maximum wordt bereikt (Fig. 4; rode lijn). Het rendement is dan dus laag en de plant kan dan niet meer licht verwerken. De opgevangen energie moet echter nog steeds afgevoerd worden. Hoe meer de snelheid van het elektronentransport gaat afwijken van de oorspronkelijke efficiëntie (blauwe lijn) hoe meer lichtenergie de plant moet afvoeren (verticale blauwe strepen). Dit teveel aan licht veroorzaakt **lichtstress** en kan resulteren in schade. Deze schade is in eerste instantie onzichtbaar voor het blote oog maar zal wel de groei van de plant vertragen.

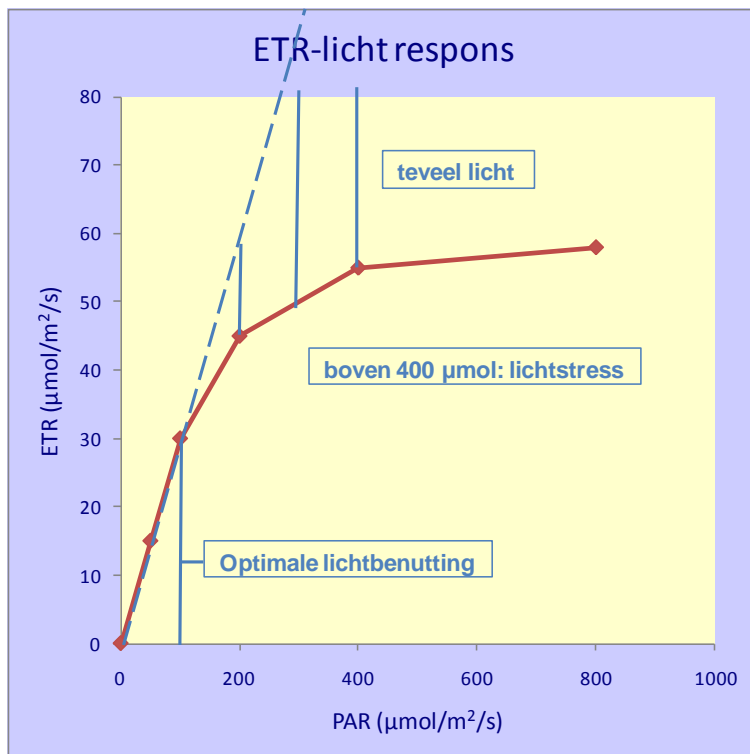


Fig. 4. Relatie tussen de snelheid van het elektronentransport (ETR = rode lijn) en het lichtniveau voor een schaduwplant zoals de meeste potplanten. De maximale efficiëntie is met de blauwe stippel lijn aangegeven. Tot $100 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR stijgt het elektronentransport lineair. Boven de $100 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR gaat het elektronentransport al afbuigen van het maximale rendement. Het teveel aan licht is eerst nog beperkt maar neemt boven de $200 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR fors toe, dit is met blauwe verticale strepen tussen de blauwe en de rode lijn aangegeven. Bij ongeveer $400 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR is dit blad lichtverzadigd (rendement < 0.4) en stijgt het elektronentransport nauwelijks meer. Het teveel aan licht wordt echter alleen nog maar groter. Dit veroorzaakt lichtstress.

Het moment wanneer de efficiëntie van het licht afneemt, of wanneer de plant in stress gaat, hangt af van het type plant. Bij een lichttolerante plant vindt de afbuiging pas plaats bij 400 tot $500 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR en verzadiging bij $1200 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Ook hangt de vorm van de curve af van andere klimaatfactoren zoals temperatuur, vocht en CO_2 . Wanneer deze niet optimaal zijn, is er eerder een overmaat aan licht en zal het lichtrendement dus sneller afnemen. Door het rendement te monitoren ontstaat inzicht onder welke omstandigheden de plant meer of minder efficiënt met licht omgaat.

2.3 CO₂-benutting

De snelheid van het elektronentransport kan niet zo maar omgerekend worden naar de CO₂-opname en suikerproductie (= groei) van de plant. Hoe efficiënt de 'plantenergie' (ATP en NADPH) afkomstig van het elektronentransport omgezet kan worden in suikers, hangt namelijk af van de beschikbaarheid van de CO₂-concentratie in het blad. Deze concentratie wordt beïnvloed door:

- De CO₂-concentratie in de kaslucht
- De openingsstand van de huidmondjes

In Fig. 5 wordt de relatie getoond tussen de fotosynthese en het lichtniveau bij twee CO₂-concentraties (900ppm: blauwe lijn; 400ppm: rode lijn) in de kaslucht. Afhankelijk van de CO₂-concentratie is de fotosynthesesnelheid van de plant verschillend. Bij een lage CO₂-concentratie neemt de efficiëntie sneller af en kan er sneller stress ontstaan.

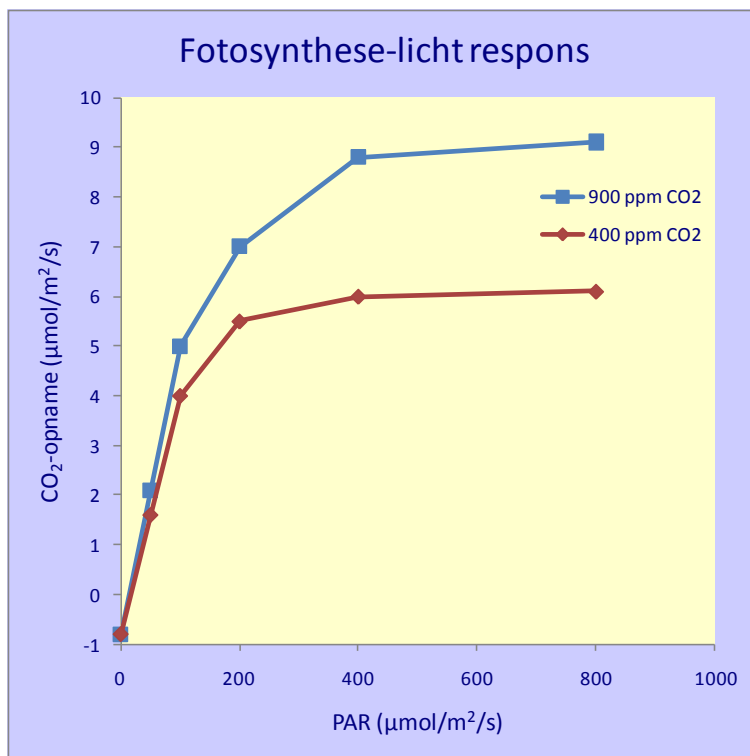


Fig. 5. Algemene relatie tussen de fotosynthese (CO₂-opname) en het lichtniveau bij twee CO₂-concentraties (900ppm: blauwe lijn; 400ppm: rode lijn) in de kaslucht. Bij een hoog CO₂-niveau kan de plant meer licht verwerken.

3 Beschikbare plantsensoren

Voor de tuinbouw zijn er meerdere apparaten op de markt die het rendement waarmee licht wordt gebruikt voor het elektronentransport kunnen meten (Fig. 6):

- Plantivity (onderdeel van de Growwatch¹) van GrowTechnology
- PPM-serie (PPM-100/200/300 of MiniPPM) van EARS
- Junior PAM van WALZ.

Deze meters werken allemaal op basis van chlorofylfluorescentie. Voor detailuitleg over de meting van de chlorofylfluorescentie, zie Bijlage 2.



Fig. 6. Links: EARS PPM handmeter (bron: www.ears.nl/ppm); midden: WALZ junior PAM (bron: http://www.walz.com/products/chl_p700/junior-pam/introduction.html); rechts Plantivity (gekoppeld aan de GrowWatch).

Deze apparaten meten alleen het rendement van de lichtreactie en de snelheid van het elektronentransport. De CO_2 -opname kan worden berekend aan de hand van het gemeten elektronentransport, CO_2 , VPD_{blad} en planttemperatuur. De combinatie van metingen en berekeningen wordt een “softsensor” genoemd.

Plantivity

Bij het gebruik van de Plantivity wordt er een representatief blad ingeklemd in een bladklem. Een belangrijk aandachtspunt bij dit apparaat is of er voldaan is aan de installatiechecklist zoals positionering ten opzichte van de zon en het op tijd wisselen van bladeren (Zie bijlage 5). Een goede controle is dat de PAR_{pam} van de Plantivity nooit minder dan 80% van de PAR -sensoren mag aangeven. Het inklemmen van het blad en de meetmethode kunnen invloed hebben op het blad. Vandaar dat in de handleiding staat dat er minimaal een keer per week gewisseld moet worden. Voor een schaduwplant als *Miltonia* bleek dit minimaal twee keer per week nodig. Hoe gecontroleerd kan worden of een blad verwisseld moet worden, staat weergegeven in tabel 1. Verder worden in deze tabel de belangrijkste parameters in de uitvoer van de Plantivity toegelicht.

¹ De GrowWatch is een concept met een praktische combinatie van sensoren, software en kennisbegeleiding. De sensoren meten onder andere luchtvochtigheid, CO_2 -concentratie, plant-, substraat- en ruimtetemperatuur, PAR licht, fotosynthese en stressniveau. De gemeten waarden worden door de software omgezet in grafieken en tabellen.

Tabel 1. Parameters van de Plantivity die van belang zijn en toelichting daarop.

Parameter	Toelichting
<i>Rendement van de fotosynthese</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Het rendement laat zien hoe effectief de plant omgaat met het aangeboden licht. Hoe minder licht hoe effectiever de plant daarmee omgaat, hoe meer licht hoe minder effectief (zie uitleg bij Fig. 2 en 3). - Rendement moet niet verward worden met de <i>snellheid</i> van de lichtreactie (=ETR). - In de nacht ligt het rendement van gezonde planten tussen de 0.79-0.81. Deze meting is dus een controle op de plantvitaliteit. - Bij rendementen van onder de 0.4 bereikt de plant lichtverzadiging (Zie Fig. 4) en zal de lichtstress sterk oplopen. - Een geleidelijke afname van het rendement in de nacht, zonder dat er sprake was van schade of hoge lichtbelasting in de voorgaande dagen, geeft aan dat het blad verwisseld moet worden.
<i>ETR (Elektronentransport snelheid)</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Snelheid van de lichtreactie van de fotosynthese (Fig. 4).
<i>Grafiek Lichtbenutting</i>	<p>Grafiek die in vlakken die het aandeel PAR laat zien als:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Benut licht voor de fotosynthese - Lichtbelasting: Licht dat via een veilige manier wordt afgevoerd - Lichtschade: overmaat aan licht dat schade veroorzaakt
Gewasspecifieke uitbreiding voor C ₃ -planten (zie verder hoofdstuk 5):	
<i>Assimilatielijn</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Snelheid van de CO₂-opname. - Berekening van het netto resultaat van de fotosynthese.

PPM

Met de PPM-apparaten van EARS wordt op eenzelfde manier het lichtrendement bepaald als door de Plantivity (Zie Tabel 1 en Bijlage 2). Via het rendement wordt in dit apparaat de 'fotosynthesesnelheid' berekend. Deze snelheid is echter op basis van opvallend licht en niet op basis van elektronentransport (Fig. 4). Het 'fotosynthesesnelheid' signaal van een PPM is ruim twee keer zo hoog als de ETR van de Plantivity en is niet gebaseerd op CO₂-opname zoals de assimilatielijn van de Plantivity.

Junior PAM

Ook de junior PAM gebruikt hetzelfde meetprincipe als de Plantivity en de PPM-apparaten. Het lichtrendement wordt op dezelfde manier bepaald (Zie Tabel 1 en Bijlage 2). Dit apparaat berekent dezelfde ETR als de Plantivity.

4 Aan de slag met de lichtbenutting

4.1 Bepaling van het rendement en plantvitaliteit

Zoals aangegeven in H2.1 daalt het rendement bij een stijgend lichtniveau. Als er in de kas veel variatie in lichtniveau is (onbeschaduwde en beschaduwde bladeren) zullen er allemaal verschillende rendementen worden gemeten. **De rendementsmeting heeft dus alleen waarde samen met de gemeten lichtintensiteit.**

Zorg dat in een grafiek van de GrowWatch alleen het fotosyntheserendement en de PAR in beeld zijn over de periode van één of enkele dagen. Dit staat in Fig. 7 weergegeven. Te zien is dat in het donker (PAR=rode lijn) een maximaal rendement (blauwe lijn) wordt bereikt van circa 0.8. Dit is voor gezonde planten altijd het geval. Dit maakt de meting van het rendement in het donker tot een uitstekende controle van de **plantvitaliteit**. **Als het nachtelijke rendement lager is dan 0.78 dan duidt dit op onvoldoende herstel of schade aan het fotosyntheseapparaat.** Deze schade is waarschijnlijk veroorzaakt door blootstelling aan teveel licht overdag. Deze schade is voor het blote oog niet zichtbaar, maar heeft vaak wel tot gevolg dat het rendement en het elektronentransport de volgende dag sterk zal dalen ten opzichte van een gezonde plant bij dezelfde PAR.

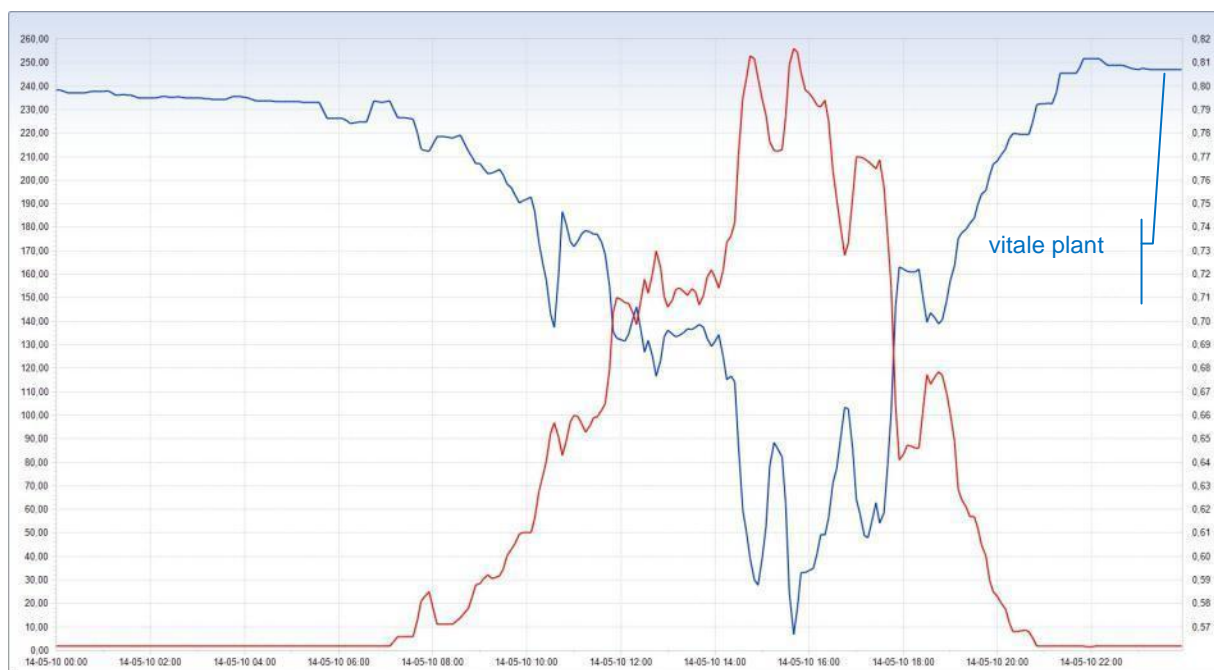


Fig. 7. Grafiek van de GrowWatch van PAR (rode lijn) en fotosyntheserendement over de dag (blauwe lijn). In het donker is het rendement maximaal. Bij een gezonde plant is dit circa 0.8 (80%). Hoe hoger het lichtniveau (rode lijn), hoe minder goed het licht verwerkt kan worden, des te lager het rendement van het licht. Bij teveel licht ontstaat er lichtstress, dit komt over het algemeen overeen met rendementen lager dan 0.4.

Is het dagpatroon van het rendement ongeveer het spiegelbeeld van de PAR-lijn (zoals weergegeven in Fig. 7), dan is dit een indicatie dat er geen licht stress is. **Wees alert op lage rendementen:** Bij rendementen onder de 0.4 bereikt de plant lichtverzadiging (zie ook Fig. 4) en zal de lichtstress sterk oplopen. Het is niet erg als rendementen onder 0.4 tot uiterlijk 0.3 even voorkomen, maar dit mag geen uren duren. De mate van lichtstress kan op een eenvoudige manier gecontroleerd worden. Dit wordt uitgelegd in hoofdstuk 4.3.

4.2 Bepaling van de bovengrens van de lichtintensiteit

Als leidraad voor schermstrategie is het van belang te weten wat de bovengrens aan lichtintensiteit is wat de plant kan verwerken. Deze bovengrens is afhankelijk van:

- Plantsoort (ras, cultivar)
- Seizoen (wintergewas/ zomergewas)
- Klimaat (meest beperkende factor: CO₂, vocht of temperatuur)
- Voorgeschiedenis van de planten (stress/ ziekte)

Zoals aangegeven in H4.1 wordt bij rendementen van rond de 0.4 lichtverzadiging bereikt. **De lichtintensiteit behorend bij een rendement van 0.4 fungeert dus als de grens waarboven er geschermd moet worden.** Zorg dat in de uitvoer van de GrowWatch alleen het fotosyntheserendement en de PAR in beeld zijn over de periode van één of enkele dagen. Idealiter zijn dit dagen met een 'ideaal' klimaat (temperatuur, vocht en CO₂) waarbij het fotosyntheserendement in de nacht circa 0.8 (80%) is. Een voorbeeld staat in Fig. 8 weergegeven. Deze grafiek toont dat de planten vitaal zijn (rendement in de nacht van 0.8). Tevens is te zien dat rond 14.00 uur het rendement daalt tot 0.4. De bijbehorende lichtintensiteit is dan rond de 250 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Deze lichtintensiteit kan fungeren als bovengrens.

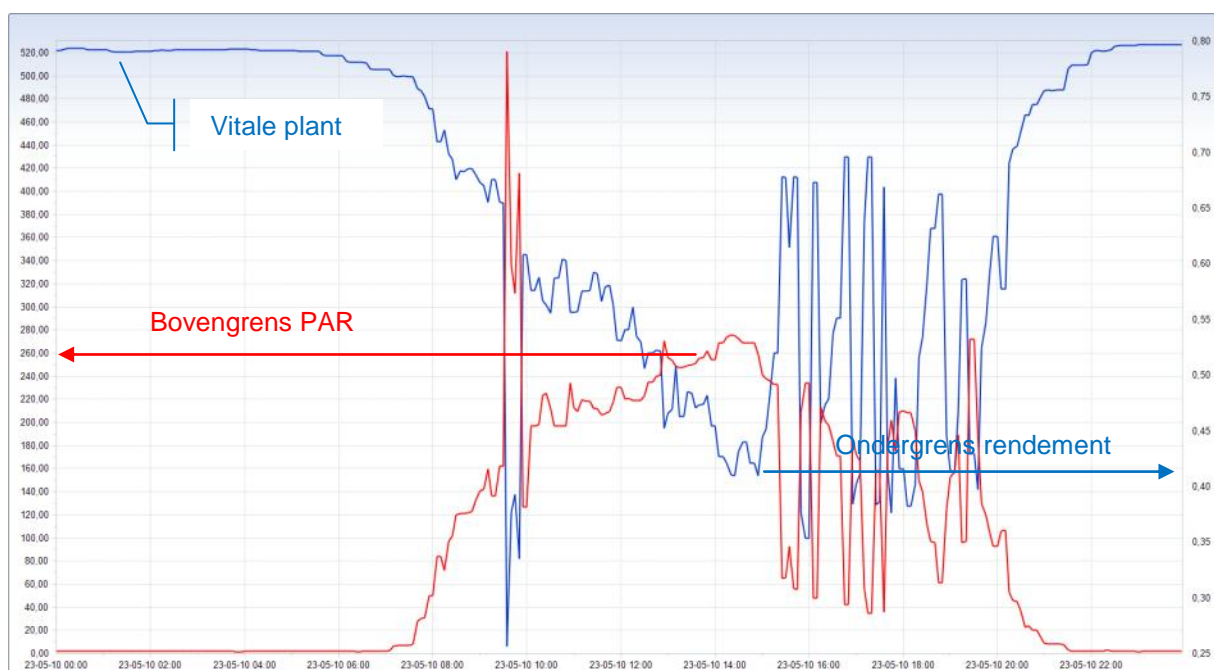


Fig. 8 PAR (rode lijn) en fotosyntheserendement over de dag (blauwe lijn). Te zien is dat de plantvitaliteit goed is. Overdag daalt rond 14.00 uur het rendement tot 0.4. De lichtintensiteit is dan rond de 250 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Deze lichtintensiteit fungeert onder deze condities als algemene bovengrens waarboven geschermd dient te worden. Opvallend is het patroon rond 10:00 uur, waarbij PAR kortstondig zeer hoog oploopt. Door de sterke daling van het rendement is duidelijk dat de plant dit licht niet volledig kan verwerken. Wanneer PAR weer afneemt tot voor de piek, herstelt het rendement. Echter dit herstel is niet volledig. Dit soort pieken in PAR dient dus zoveel mogelijk voorkomen te worden!

Het is van belang de bepaling van de bovengrens een aantal keer in de tijd te herhalen.

Vruchtgroentegewassen passen zich bijvoorbeeld snel aan hoge lichtniveaus aan. Veel potplanten zijn

juist schaduwplanten die zich maar beperkt kunnen aanpassen. Zoals eerder aangegeven kan lichtstress deze respons beïnvloeden. Dat is in Fig. 9 aangegeven. Doordat de plant niet vitaal is daalt de bovengrens van $250 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ naar $120 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Deze lichtintensiteit is niet representatief om hier *dagelijks* op te sturen. Het is wel verstandig om als de planten niet vitaal zijn, wat meer te screenen zodat de planten de kans krijgen zich te herstellen.

Verder is van belang de bovengrens van licht bij voorkeur per seizoen te controleren, omdat de omgevingscondities en plantvitaliteit dan namelijk sterk kunnen verschillen.

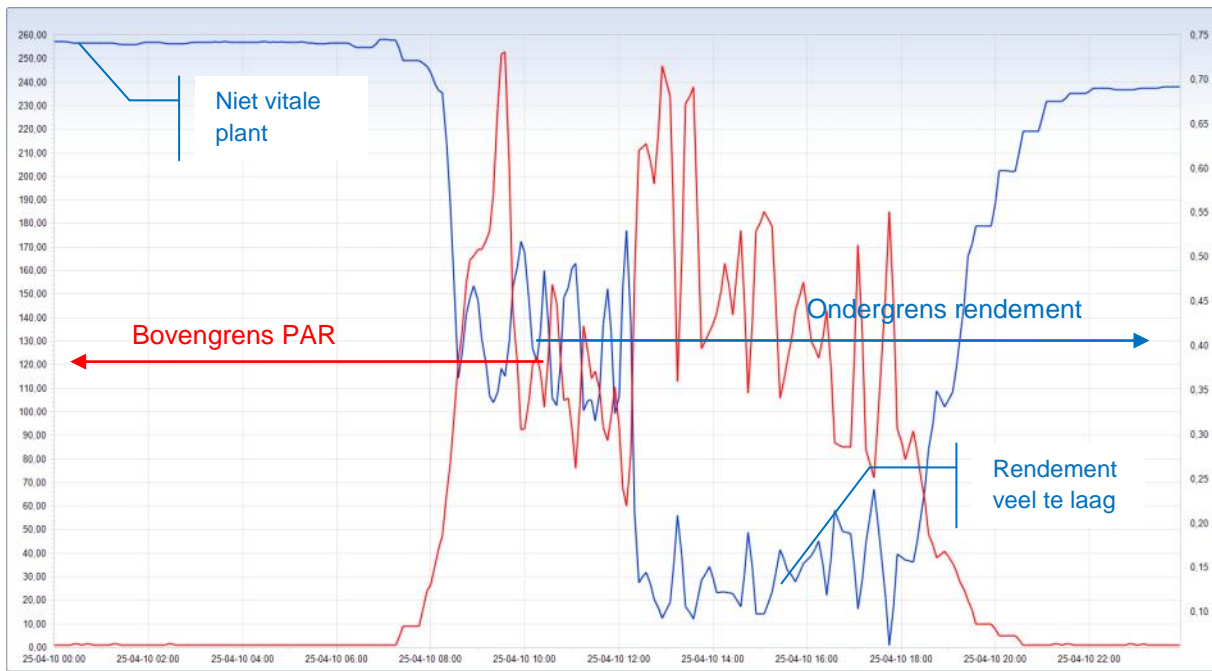


Fig. 9 PAR (rode lijn) en fotosyntheserendement over de dag (blauwe lijn). Deze plant is niet vitaal (nachtelijk rendement onder de 0.75). Bij circa $120 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ daalt het rendement al naar 0.40. Een niet vitale plant kan dus veel minder licht verwerken dan een vitale plant. De lage vitaliteit impliceert schade of hoge lichtbelasting in de voorgaande dagen. Onder deze omstandigheden is het raadzaam wat meer te screenen, zodat de planten de kans krijgen zich te herstellen.

Met de handapparaten (junior PAM en de PPM-300) kan handmatig een lichtrespons-curve gemaakt worden. Door middel van een automatisch verlopend meetprotocol worden stapsgewijs toenemende lichtniveaus aangelegd. De lichtintensiteit die resulteert in een rendement lager dan 0.4 is de bovengrens voor de lichtintensiteit. Het is aan te raden deze procedure voor meerdere bladeren uit te voeren.

4.3 Bepaling van lichtstress

Nu de bovengrens van de lichtintensiteit onder een goed klimaat bepaald is, kan er een 'fine-tuning' worden gemaakt in de schermstrategie op basis van de stressrespons van de plant. Deze 'fine-tuning' hangt af van het dagelijks klimaat. Bij een schraal klimaat (een hoge VPD_{blad} en/of een laag CO_2 -niveau) ontstaat er namelijk eerder lichtstress dan onder een lage VPD_{blad} en/of een hoog CO_2 -niveau.

PAR-licht dat door de plant geabsorbeerd wordt door het fotosyntheseapparaat, kan opgedeeld worden in drie delen:

- Licht benut voor de fotosynthese
- Licht dat niet kan worden verwerkt maar veilig afgevoerd wordt
- Licht in overmaat dat schade aan het fotosyntheseapparaat veroorzaakt (niet zichtbaar met het blote oog)

In overeenstemming met deze verdeling kan in de uitvoer van de Plantivity een vlakkengrafiek gemaakt worden die in een oogopslag zichtbaar maakt hoe het geabsorbeerde PAR-licht verdeeld wordt over deze factoren:

- Benut Licht (groen vlak)
- Lichtbelasting (blauw vlak)
- Lichtschade (rood vlak)

NB deze onderverdeling is (nog) niet mogelijk bij de PPM en de junior PAM.

In Fig. 10A is het dagverloop van de verdeling in PAR-licht in beeld gebracht. Zoals eerder genoemd (Fig. 2) werkt een plant heel efficiënt onder lage lichtintensiteit. Dit levert in de vroege ochtend (7.00-10.00 uur) een volledig groen oppervlak op. Naarmate de lichtintensiteit gaat toenemen, daalt het rendement van het licht en zal de plant overtollig licht moeten afvoeren: er ontstaat een blauw oppervlak bovenop het groene vlak (vanaf 10.00 uur). In eerste instantie kan de plant het overschot aan licht op een veilige manier afvoeren (tot ongeveer 15.00 uur). Als de plant hier niet meer in slaagt, dan kan de plant dit niet meer gereguleerd afvoeren en kan er schade ontstaan: een rood vlak wordt zichtbaar (15.00-17.00 uur). Na 17.00 uur daalt het lichtniveau en verdwijnt het rode vlak.

Als gedurende de dag de PAR-licht verdeling alleen maar een groen vlak geeft, betekent dit dat de plant meer licht aan kan. Er is dan te zwaar geschermd of het was een dag met weinig licht. Een optimale verdeling tussen het groene en blauwe vlak ligt tussen de 80%-20% tot 90%-10%.

In Fig. 10B wordt een voorbeeld getoond van een verre van ideale verdeling in PAR-licht. Het blauwe vlak is namelijk groter dan het groene vlak. Het meeste PAR-licht wordt dus niet gebruikt voor de fotosynthese. Dit licht had ook gedeeltelijk weggeschermd kunnen worden. Dit gaat dan niet ten koste van groei (het groene vlak zal dezelfde blijven) maar verminderd stress en de kans op schade. Om schade te voorkomen moet in principe een rood vlak vermeden worden. Het maximaal toelaatbare schadeniveau is echter soortspecifiek. De teler zal daar zelf de grens voor moeten opzoeken.

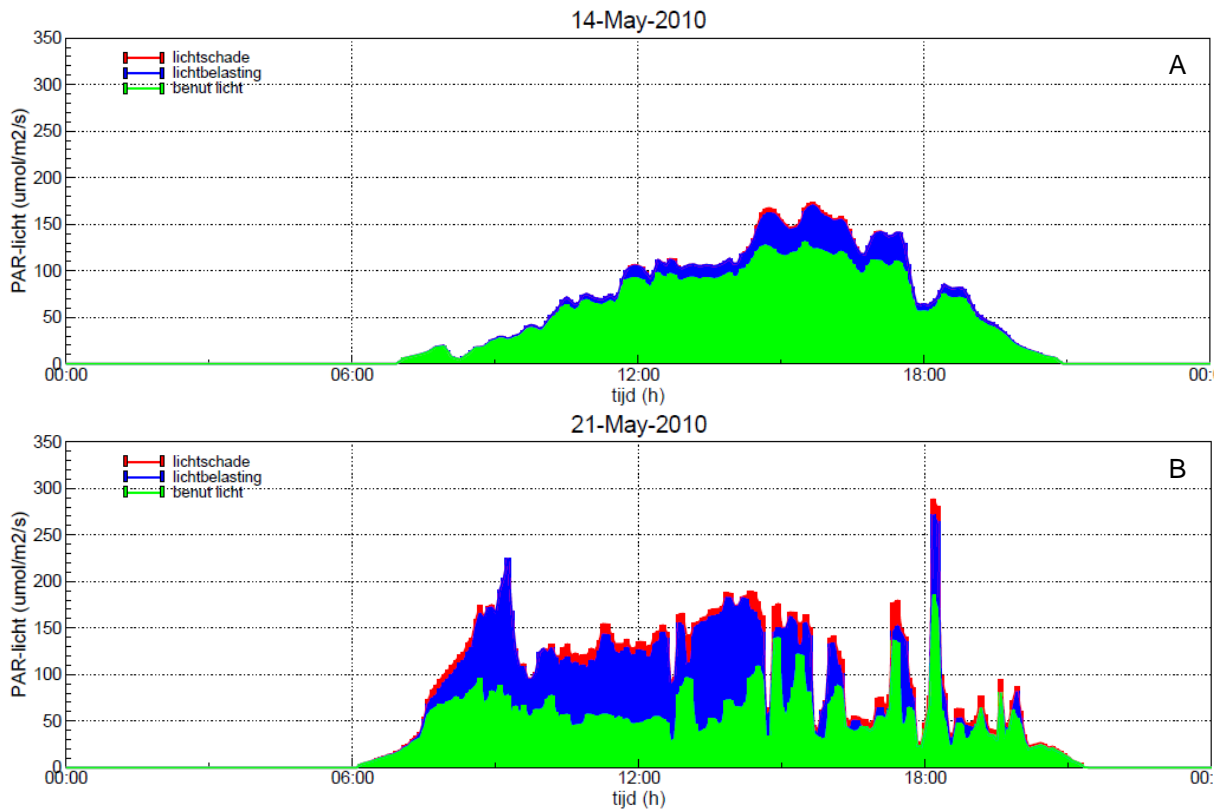


Fig. 10. Verdeling van geabsorbeerd PAR-licht over benut licht voor de fotosynthese (groen), licht dat door de plant op een veilige manier wordt afgevoerd (blauw) en licht dat schade oplevert (rood). 10A laat een ideaalplaatje zien, terwijl 10B een verre van ideale situatie vertoont.

5 Aan de slag met de CO₂-benutting

Het elektronentransport kan voor veel gewassen niet één op één doorvertaald worden naar de CO₂-opname. Deze kan wel worden berekend aan de hand van het gemeten rendement, de hoeveelheid PAR, CO₂ in de kaslucht, VPD_{blad} en de bladtemperatuur. Een belangrijk aspect hierbij is de beschikbaarheid van CO₂ in het blad. Deze concentratie wordt vooral beïnvloed door:

- De CO₂-concentratie in de kaslucht
- De openingsstand van de huidmondjes

De openingsstand van de huidmondjes is soortspecifiek en wordt bepaald door diverse klimaatfactoren.

Het gedrag van de huidmondjes en de respons van de plant op CO₂ is met onderzoek apparatuur (bijvoorbeeld een Li-6400 of Walz GSF-3000) in kaart te brengen. Op basis van deze specifieke metingen wordt in de software van de GrowWatch de CO₂-opname (assimilatielij) berekend. De combinatie van klimaat- en plantsensoren en berekeningen in de computer noemen we een "softsensor". Met deze softsensor worden effecten van vocht en CO₂-gehalte op de plant inzichtelijker. Dit geeft de teler de mogelijkheid het klimaat verder te optimaliseren. De softsensor is soort specifiek. Als men deze voor een specifiek gewas wil laten bepalen, kan contact opgenomen worden met de leverancier van de plantsensor. Momenteel is de softsensor alleen mogelijk in combinatie met een Plantivity en niet met de Junior PAM of de PPM.

Een voorbeeld van het effect van een verschillende CO₂-concentratie in de kas op de CO₂-opname is weergegeven in Fig. 11. De respons van de CO₂-opname is bijna twee keer zo hoog bij 900 ppm in de kas dan bij 400 ppm (blauwe lijnen). Tot ongeveer half 11 volgen beide lijnen de rode PAR-lijn. Hierna kan alleen de CO₂-opname bij 900 ppm de PAR-lijn nog volgen. Rond drie uur neemt PAR nog verder toe, terwijl de CO₂ opname vrijwel stabiel blijft. Dit extra licht geeft dus geen extra groei en kan net zo goed weggeschermd worden. Als er echter maar 400 ppm CO₂ beschikbaar is in de kas had er al vanaf half 11 zwaarder geschermd kunnen worden. De schermstrategie hangt dus af van de beschikbaarheid van CO₂.

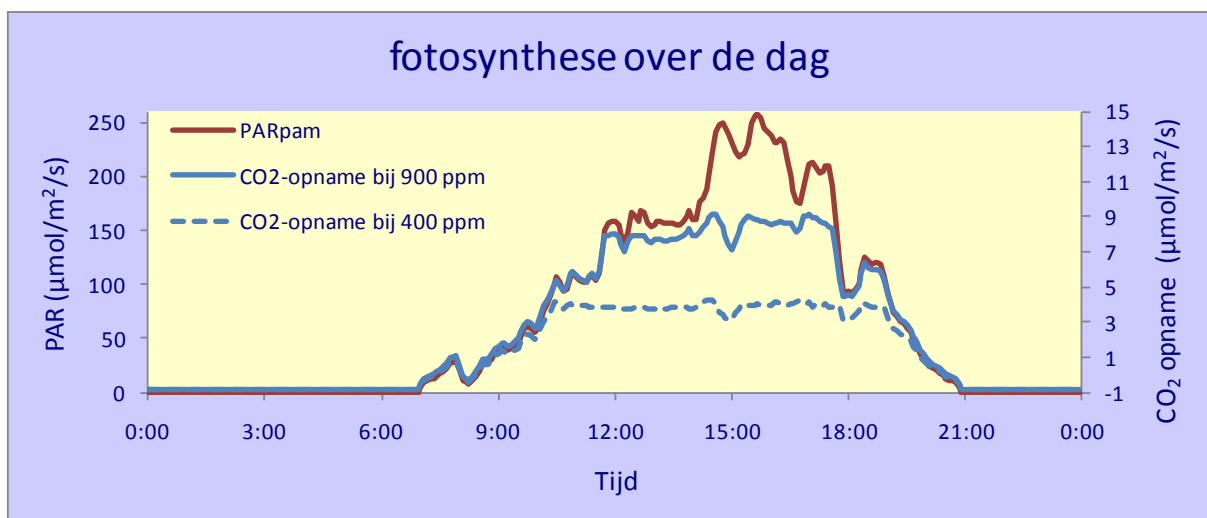


Fig. 11. Tijdsverloop van PAR (rode lijn) en de CO₂-opname (assimilatielij) van de plant over de dag bij 900 ppm CO₂ (blauwe lijn) en 400 ppm (blauwe stippellijn) CO₂ in de kas bij Miltonia. Er is duidelijk te zien dat de CO₂-opname veel hoger is bij een hoge CO₂-concentratie in de kas.

6 Wat kun je bereiken?

Zoals blijkt uit voorgaande hoofdstukken, bieden plantsensoren grote kansen voor teelt- en klimaatoptimalisatie. Via voorbeelden (figuren vanuit de GrowWatch) worden in onderstaande paragrafen korte scenario's geschetst hoe het klimaat geoptimaliseerd kan worden op basis van plantrespons

1. Schermstrategie

Schermstrategie kan goed bepaald worden door monitoring van rendement (zie H4.2) en lichtstress (zie H4.3). Fig. 12 is als extra voorbeeld opgenomen.

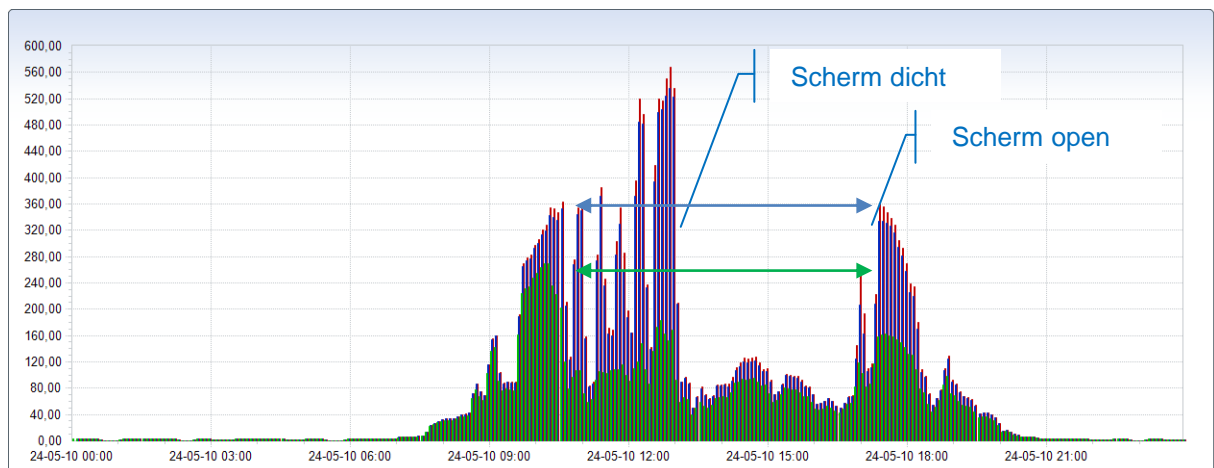


Fig. 12. Verdeling van geabsorbeerd PAR-licht over benut licht voor de fotosynthese (groen), lichtbelasting (veilige afvoer) (blauw) en licht dat schade oplevert (rood). Het scherm loopt dicht rond 13.00 uur. Hiervoor is de lichtbelasting wel erg hoog opgelopen (blauw vlak meer dan 2x zo groot als groen vlak). Nadat rond 17.00 het scherm weer open gaat, stijgt het benutte licht, maar niet meer tot het niveau van tussen 9.00-10.00 uur (zie horizontale pijlen). Als conclusie kan men hier trekken dat het scherm te laat is dichtgetrokken. De plant heeft teveel schade opgelopen, wat aan het eind van de dag nog niet volledig is hersteld.

2. Belichting

Voor het belichten spelen meerdere vragen een rol, zoals:

- Wanneer heeft het zin om de lampen aan te zetten?
- 50% schakeling of direct 100%?
- Wat mag de belichtingsduur zijn?

De antwoorden op deze vragen hangen ook af van de andere klimaatfactoren zoals vocht en CO₂-gehalte.

Veelal is de regeling van het aan of uitschakelen van de lampen verbonden aan een bepaald niveau buitenstraling. Deze regeling zou ook afhankelijk gemaakt kunnen worden van het fotosyntheserendement. Zolang het fotosyntheserendement lager is dan 0.6 dan heeft het aanzetten van de belichting weinig toegevoegde waarde. Bij een rendement van 0.6 of hoger kan het aanzetten van de belichting zinvol zijn en een efficiënte bijdrage leveren aan groei. Bij een vitale plant zal deze grens over het algemeen sterk gekoppeld zijn aan een vast niveau buitenstraling. Als planten echter blootgesteld zijn aan lichtstress, dan wordt het rendement lager en zouden de lampen pas bij een lager niveau buitenlicht aan moeten gaan of zelfs geheel uit moeten blijven. Met gerichte sturing op fotosyntheserendement kan dus energie worden bespaard. Zie ook de voorbeeldfiguren 13 en 14.

Indien wordt belicht met dan moet het fotosyntheserendement zo hoog mogelijk zijn. Bij sommige gewassen neemt echter na een aantal uur belichten het rendement af. Door het rendement (Fig. 3, 13 en 14), de PAR-licht verdeling (Fig. 10) of de berekende assimilatie over de tijd te volgen (Fig. 11) wordt dit snel zichtbaar en kunnen de lampen tijdig uitgeschakeld worden. Soms is een opgetreden daling in het rendement echter te wijten aan een verlaagd CO₂-niveau in de kas of een hoge VPD_{blad} waardoor huidmondjes sluiten. Door een juiste monitoring kan er tijdig ingegrepen worden door of de VPD_{blad} te verlagen door te bevochtigen, of door het CO₂-niveau te verhogen of door de lampen uit te schakelen.

Hieronder staan een paar voorbeelden weergegeven van afnemend rendement in combinatie met belichting.

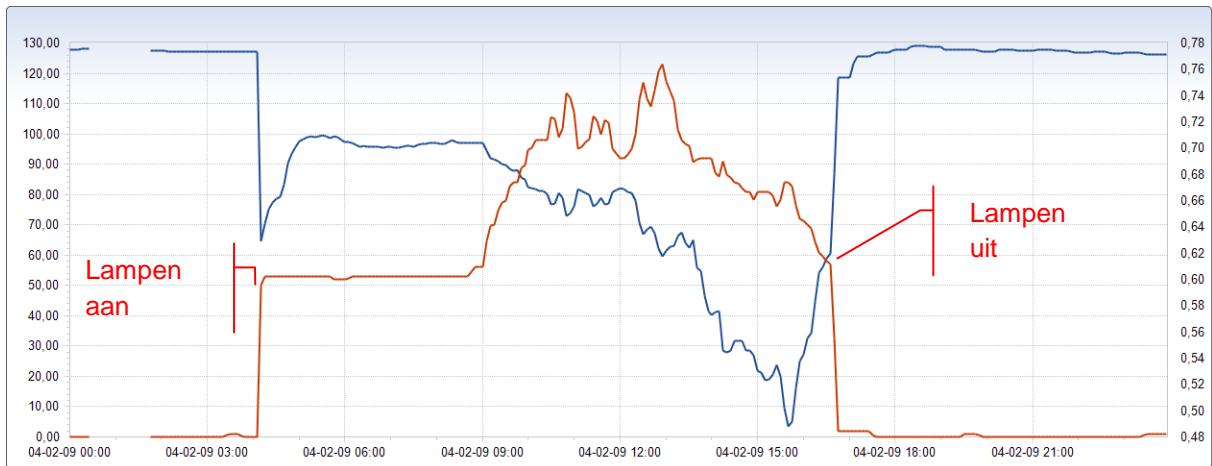


Fig. 13. PAR (rode lijn) en rendement (blauwe lijn). Te zien is dat rond 13.00 uur het rendement blijft dalen terwijl PAR ook daalt. Het is dus een juiste beslissing geweest om na 17.00 uur niet meer door te gaan met de assimilatiebelichting.

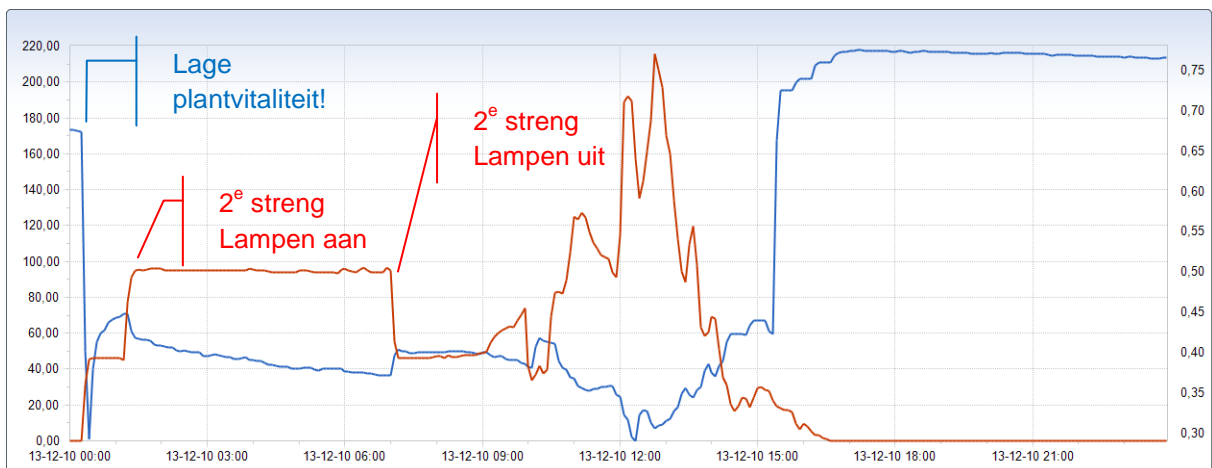


Fig. 14. PAR (rode lijn) en rendement (blauwe lijn). Rond 0.30 uur gaat de eerste streng assimilatielampen aan. Rond 1:30 gaat de 2^e streng assimilatiebelichting aan, terwijl het rendement waarmee dit licht wordt gebruikt voor de fotosynthese wel langzaam daalt. Bij te sterke daling wordt rond 7.00 uur de tweede streng weer uitgezet met als gevolg dat het rendement van de eerste streng weer iets stijgt.

Bij dit voorbeeld moet opgemerkt worden dat het rendement van deze planten erg laag ligt! Dit komt waarschijnlijk doordat de planten niet vitaal zijn. Gezonde planten behoren rond de 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR een rendement van 0.65 tot 0.7 te kunnen halen. In het algemeen heeft het aanzetten van de belichting weinig toegevoegde waarde zolang het fotosyntheserendement lager is dan 0.6.

3. CO_2 - en vochniveau

Sturen met het CO_2 - en vochniveau kan het beste op basis van de gemeten assimilatielij. Deze wordt berekend in combinatie met een zogenaamde 'softsensor' (soortspecifiek).

De assimilatielij geeft vooral inzicht wanneer CO_2 opname limiterend wordt voor de fotosynthese.

Door bijvoorbeeld een hoge VPD_{blad} kunnen huidmondjes gaan sluiten waardoor het interne CO_2 -gehalte in het blad daalt. Hierdoor zal de assimilatielij sterk afnemen. Het negatieve effect op de fotosynthese door de huidmondjessluiting kan gedeeltelijk teniet gedaan worden door het CO_2 -niveau in de kas te verhogen. Hierdoor stijgt namelijk het interne CO_2 -gehalte in het blad weer. Als opties om te bevochtigen of het CO_2 -niveau te verhogen niet mogelijk zijn, dan is het zinvoller om bijvoorbeeld de belichting uit te schakelen of juist meer te gaan scherm.

Bijlage 1. PAR-licht

PAR-licht is licht dat beschikbaar is voor de fotosynthese en heeft een bereik van 400-700 nm. PAR-licht wordt uitgedrukt in aantal deeltjes ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) en niet in energie (W/m^2). PAR staat voor photosynthetic active radiation (=fotosynthetisch actieve straling). Soms wordt ook PPF (photosynthetic photon flux) gebruikt.

Als er geen PAR-sensor beschikbaar is, kan op basis van de buitenstraling een schatting worden gemaakt van het lichtniveau in de kas:

- Buitenstraling (Kip solarimeter) meet globale straling (energie) in W/m^2 ($=\text{J}/\text{m}^2/\text{s}$)
- $1 \text{ W}/\text{m}^2$ buitenstraling $\approx 2.15 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR
- Kassen hebben een transmissie variërend tussen de 70-80%

Stappen in de berekening van PAR in de kas:

1. Lees de stralingssensor af
2. Vermenigvuldig de stralingsenergie (in W/m^2) met 2.15
3. Vermenigvuldig dit getal met de kastransmissie

Bijlage 2. Uitleg chlorofyl-fluorescentie

De bepaling van het rendement van de lichtreactie (H2.1) is gebaseerd op een aantal basis fluorescentie signalen:

1. Meting van de (basis)fluorescentie
2. Intense lichtflits van een seconde
3. Meting van de maximale fluorescentie tijdens de intense lichtflits

De fluorescentie wordt in het donker F_0 en in het licht F_s genoemd. De maximale fluorescentie gedurende de lichtflits heet in het donker F_m (FMdonker) en in het licht F_m' (FMlicht).

Het rendement (efficiëntie) van de lichtreactie wordt berekend uit de verhoudingsgetallen tussen de basis fluorescentie en de maximale fluorescentie van het fotosyntheseapparaat. In het donker zijn de reactiecentra (Fig. 2) "leeg". Het rendement waarmee de reactiecentra door licht "gevuld" kunnen worden is dan maximaal en de fluorescentie minimaal (F_0 ; Fig. B2.1). Door een intense lichtflits af te vuren op het blad worden alle reactiecentra "gevuld" en wordt het rendement van het licht voor een heel korte tijd minimaal en de fluorescentie juist maximaal (F_m). In figuur B2.1 worden de signalen en hun samenhang weergegeven.

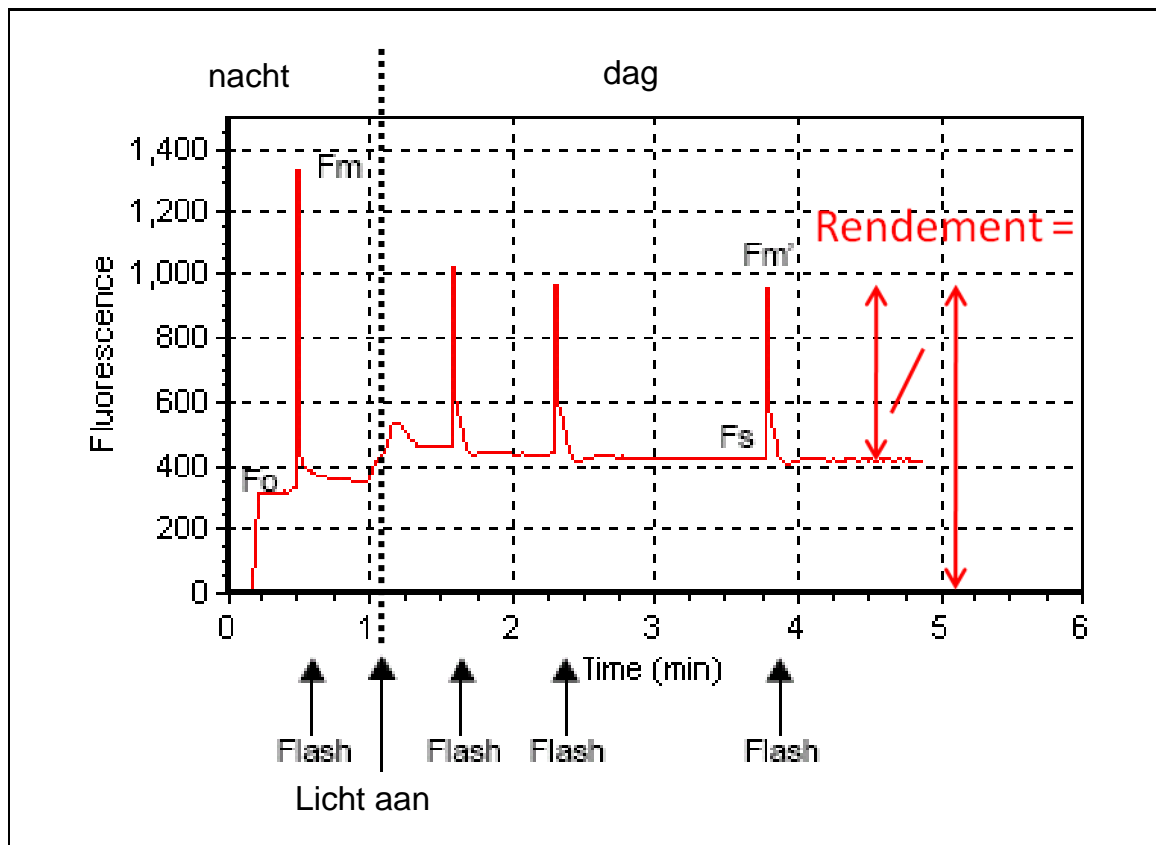


Fig. B2.1. Standaardgrafiek chlorofyl-fluorescentie. In het donker wordt de basisfluorescentie (F_0) bepaald. Vervolgens wordt het blad blootgesteld aan een lichtflits met zeer hoge intensiteit voor de bepaling van de maximale fluorescentie (F_m). Dit kan worden herhaald in het licht voor de bepaling van F_s en F_m' . Het rendement wordt berekend uit de verhouding tussen de twee rode pijlen.

Het maximale rendement van de lichtreactie wordt bepaald door de verhouding tussen de minimale en maximale fluorescentie:

$$\text{Rendement(donker)} = (FM_{\text{donker}} - F_0) / FM_{\text{donker}}$$

De uitkomst van deze formule is een maat voor plantvitaliteit omdat gezonde planten een rendement(donker) van tussen de 0.79-0.81 hebben.

In het licht neemt het rendement van de lichtreactie af met toenemende lichtintensiteit. Door op soortgelijke manier als voor een situatie in het donker de verhouding tussen de fluorescentie bij omgevingslicht en de maximale fluorescentie te bepalen kan het rendement van de lichtreactie bij elke lichtintensiteit berekend worden:

$$\text{Rendement(licht)} = (FM_{\text{licht}} - F_s) / FM_{\text{licht}}$$

Vervolgens kan het berekende rendement vertaald worden naar het aantal elektronen dat in de bladgroenkorrels door het licht wordt getransporteerd door de beide fotosystemen (Fig. 2) en als een soort energiecentrale gaat functioneren om de energie op te wekken voor de aanmaak van suikers uit CO₂. Samen met de hoeveelheid *geabsorbeerd* groeilicht (PAR) wordt de snelheid van het elektronentransport (ETR) door fotosysteem 2 (Fig. 2) berekend. De ETR is een maat voor de hoeveelheid energie die beschikbaar is voor de fotosynthese (=vastlegging van CO₂):

$$\text{ETR} = \text{rendement(licht)} \times \text{PAR} \times \text{absorptiefactor blad} \times 0.5$$

De factor 0.5 is een verrekening voor het feit dat er in planten 2 fotosystemen (zie figuur 2) in serie werken en de fluorescentie alleen aan één van beide wordt gemeten.

Bijlage 3. Teeltvoorbeeld lichtstress

In de output van de Growwatch kan een vlakkengrafiek gemaakt worden die in een oogopslag zichtbaar maakt hoe het geabsorbeerde PAR-licht verdeeld wordt over 3 factoren:

- Lichtbenutting (groen vlak)
- Lichtbelasting (blauw vlak)
- Lichtschade (rood vlak)

In onderstaand figuur wordt een voorbeeld van ontstaan van lichtstress gegeven uit “Teeltoptimalisatie Miltonia” (PT). Er waren twee behandelingen:

- laag licht met een streefwaarde van 4 mol/dag
- hoog licht met een streefwaarde van 7 mol per dag

In de week van 10 mei nam de lichtintensiteit met de dag toe (evenredig met het oppervlak van de hele grafiek). In de hoog licht behandeling werd er in de loop van de week steeds meer PAR-licht gereguleerd afgevoerd (blauwe vlak wordt steeds groter). Ondanks dat is in de eerste week duidelijk te zien dat de lichtbenutting (groene vlak) groter is voor de hoog licht behandeling dan voor de lage lichtbehandeling. In de week van 17 mei ontstond er te veel lichtstress in de hoog licht behandeling (blauwe vlak werd groter dan het groene vlak) dit resulteerde een aantal dagen in een kleiner oppervlak van benut licht dan die van de laag licht behandeling. Gedurende de twee weken van de laag licht behandeling waren de blauwe vlakken heel klein en de rode vlakken kwamen niet voor. Dit laat zien dat deze planten meer licht aan konden.

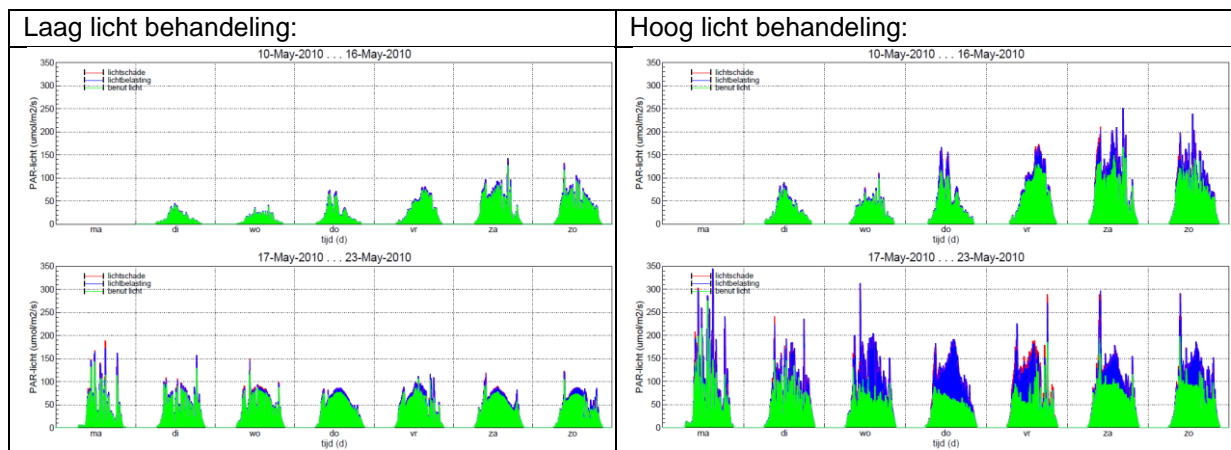


Fig. B4.1 Verdeling van geabsorbeerde PAR in lichtbenutting, lichtbelasting en lichtschade voor twee geselecteerde weken gedurende het Miltonia experiment. Legenda: groen oppervlak: benut licht voor de fotosynthese; blauw oppervlak: overtollig licht dat gereguleerd afgevoerd wordt; rood oppervlak: overtollig licht dat schade oplevert. Merk op dat in de laag licht behandeling de blauwe vlakken heel klein zijn en rode vlakken niet voorkomen. Dit laat zien dat deze planten meer licht aan konden.

Bijlage 4. Handleiding plaatsing GrowWatch

PAR metingen (2 sensoren)

- PAR sensoren waterpas stellen. let op schaduw objecten of overhangende bladeren.

Meetbox (luchttemperatuur, CO₂, RV)

- Meetbox (box met ventilator) net boven of tussen het gewas plaatsen.'
- Houd rekening met eventuele CO₂ doseerpunten.

IR camera (plant temperatuur)

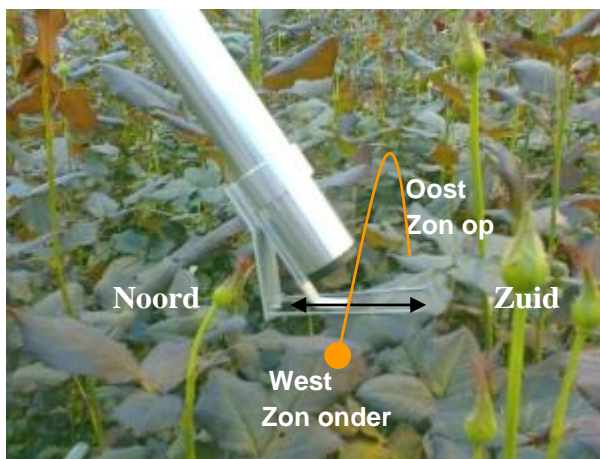
- IR plant temperatuur meter op het gewas richten, liefst richting het zuiden.
- Probeer een zo goed mogelijk representatief beeld te krijgen van de gehele plant.
- Zorg er voor dat er geen storende objecten in het meetveld komen zoals verwarmingsbuizen, goten of beton vloeren.
- De ideale hoek voor opstelling van de camera is wanneer het bovenzvlak van de houder (zwarte beugel) waarin deze gemonteerd zit horizontaal staat.

WET sensor (Vochtgehalte, Ec en bodem temperatuur)

- WET sensor pinnen volledig in het substraat steken.
- WET sensor in alle richtingen diagonaal insteken. Zo kan er geen vocht op de meting blijven staan.

Plantivity

- Wissel iedere week het blad in de bladhouder. Dit dient een jong volwassen blad te zijn.
- De bladhouder moet gericht staan op het zuiden.
- Stel de Plantivity zo op dat er nooit schaduw is op het meetvlak. Denk hierbij ook aan eigen metingen; PAR sensoren, meetbox, of beugels/kabels.
- Bladhouder (dus ook het blad) moet horizontaal staan.



Figuur B5.1 Juiste plaatsing Plantivity ten opzichte van de zon.

Bijlage 5. Begrippenlijst

Begrip	Toelichting
<i>Assimilatielijn</i>	Snelheid van de CO ₂ -opname.
<i>Donkerreactie</i>	Bestaat uit fotosynthese (CO ₂ -bindingsreactie) en uit fotorespiratie en krijgt z'n benodigde energie uit de lichtreactie
<i>ETR</i> (<i>Elektronentransport snelheid</i>)	Snelheid van de lichtreactie van de fotosynthese.
<i>Fotosynthese</i>	Benaming voor de combinatie van de Licht- en Donkerreactie
<i>Fotorespiratie</i>	Opname van O ₂ en aanmaak van CO ₂ in de donkerreactie
<i>Fluorescentie</i>	Terugval van een elektron
<i>Grafiek Lichtbenutting</i>	Grafiek die in vlakken de absolute aandelen van PAR laat zien in: <ul style="list-style-type: none"> - Benut licht voor de fotosynthese - Lichtbelasting: Licht dat via een veilige manier wordt afgevoerd - Lichtschade: overmaat aan licht dat schade veroorzaakt
<i>Junior PAM</i>	Plantsensor op basis van chlorofyl-fluorescentie
<i>Lichtreactie</i>	Verwerking van lichtdeeltjes tot 'plant'energie, uitgedrukt in elektronentransport snelheid (ETR)
<i>Lichtverzadigingspunt</i>	Lichtniveau waarboven de fotosynthese niet meer toeneemt
<i>PAR</i>	Lichtintensiteit dat gebruikt kan worden voor de fotosynthese
<i>Plantivity</i>	Plantsensor op basis van chlorofyl-fluorescentie
<i>Plantvitaliteit</i>	Rendement in het donker van circa 0.8
<i>PPM</i>	Plantsensor op basis van chlorofyl-fluorescentie
<i>Rendement van de fotosynthese</i>	Het rendement laat zien hoe effectief de plant omgaat met het aangeboden licht.
<i>Softsensor</i>	Rekenregels in combinatie met plant en klimaatsensoren