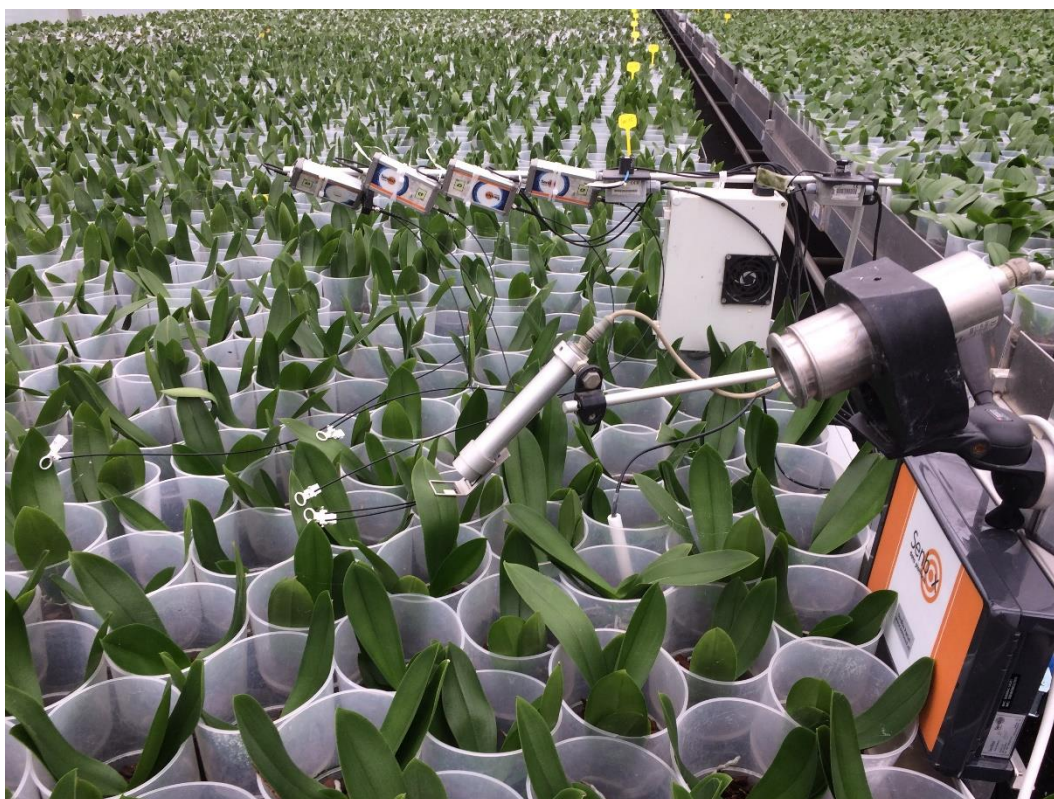


Hortisensor: Ontwikkeling en toetsing van een sensor voor continue monitoring van het lichtrendement



Oktober 2019

G. Trouwborst en S.W. Hogewoning

Hortisensor:

Ontwikkeling en toetsing van een sensor voor continue monitoring van het lichtrendement

Oktober 2019

G. Trouwborst en S.W. Hogewoning
Plant Lighting B.V.
Veilingweg 46
3981 PC Bunnik

info@plantlighting.nl
www.plantlighting.nl

REFERAAT

G. Trouwborst en S.W. Hogewoning. 2019. Hortisensor: Ontwikkeling en toetsing van een sensor voor continue monitoring van het lichtrendement. Plant Lighting B.V., Bunnik. 28p.

Projectnummer: E17007

© 2019 Plant Lighting B.V.

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

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

Inhoudsopgave

SAMENWERKENDE PARTIJEN	5
SAMENVATTING.....	6
DANKWOORD.....	7
1 ACHTERGROND EN DOEL	8
2 MATERIAAL EN METHODEN.....	11
3 RESULTATEN	12
3.1 Ontwikkeling meetprotocol kasgewassen	12
3.2 Tests op labschaal	13
3.3 Duurtest in kweekunits met phalaenopsis.....	15
3.3.1 Watergift	15
3.3.2 Vermoeiing meetvlak.....	15
3.3.3 Resultaten monitoring.....	16
3.4 Praktijktest phalaenopsis.....	20
3.5 Praktijktest tomaat.....	21
4 CONCLUSIES EN EVALUATIE	24
4.1 Eisen aan de Hortisensor vanuit begeleidende tuinders	24
4.2 Kenmerken sensor	25
4.3 Evaluatie	26
4.3.1 Werking Hortisensor.....	26
4.3.2 Puntmeting of oppervlak.....	26
REFERENTIES.....	28

Samenwerkende partijen

Projectfinanciering:



Ministerie van Landbouw,
Natuur en Voedselkwaliteit



Projectuitvoering:



Samenvatting

Introductie

Dit rapport geeft de resultaten weer van een bijna twee jaar durend ontwikkeltraject om te komen tot een robuuste en betaalbare chlorofyl-fluorescentie-sensor voor metingen van het lichtrendement aan gewassen. Het ontwikkeltraject werd uitgevoerd in samenwerking met Sendot B.V.. Sendot ontwikkelde de hard- en firmware van de sensor en Plant Lighting fungeerde als kennisleverancier voor het meetprotocol en testte de gebouwde prototypes.

Doelstelling

Het doel van dit project is het voor de glastuinbouw praktijkrijp maken van sensoren die op basis van chlorofyl-fluorescentie de lichtbenutting 'live' meten in een kas. Op basis van deze metingen kunnen belichting, schermstand en bij bepaalde gewassen ook CO₂ dosering (onder andere bij Phalaenopsis) worden geregeld. De Hortisensor dient robuust, betaalbaar en eenvoudig toepasbaar te zijn. Toepassing van dit type sensoren in de kas maakt elektrabesparing mogelijk door belichting alleen in te zetten als het effectief door het gewas benut wordt. Verder bevordert de toepassing een optimale benutting van daglicht: niet eerder schermen dan nodig, maar wel op tijd om lichtstress te vermijden.

Werkwijze

Er waren drie werkpakketten: ontwikkeling van het meetprotocol, tests op labschaal bij Plant Lighting te Bunnik en praktijktests. De werking van de sensor werd onderzocht bij phalaenopsis (CAM-plant) en tomaat (C3-plant). De praktijktest werd uitgevoerd bij SO natural (phalaenopsis) en bij Delphy Improvement Centre (tomaat). Tevens was een begeleidingscommissie van phalaenopsis-tuinders geformeerd die regelmatig van de voortgang op de hoogte gesteld werd. Deze werkgroep fungeerde als 'sparringpartner' vanuit de praktijk: Met de wensen en eisen vanuit de praktijk ten aanzien van toepassing van de Hortisensor is rekening gehouden in het ontwikkeltraject.

Evaluatie

Op het moment van afronding van deze rapportage zat er een 5-10% afwijking in de metingen van het lichtrendement van genoemde gewassen tussen de prototypes van de Hortisensor en de als zeer betrouwbaar bekendstaande LI-COR fotosynthesemeetapparatuur. Het is goed om het doel van de metingen hierbij in ogenschouw te nemen. Bij phalaenopsis gaat het om het patroon van de meetwaarden over de dag waardoor uitputting van de malaatpool zichtbaar wordt. Dit is een kwalitatieve respons en zeer nuttig om te kunnen meten. Figuren in dit rapport laten zien dat dit goed mogelijk is. Voor inzet van de Hortisensor bij tomaat ligt het veel meer voor de hand om een kwantitatief zuivere meting te willen hebben. Dit omdat die data een opstap bieden om gewasfotosynthese te berekenen, en dienen als beslissingsondersteuning om lampen al dan niet af te schakelen. Voor toepassing van de sensor voor dit laatstgenoemde doel is nog enige doorontwikkeling van de sensor benodigd.

Dankwoord

Dit rapport geeft de resultaten weer van een bijna twee jaar durend ontwikkeltraject om te komen tot een robuuste en betaalbare chlorofyl-fluorescentie-sensor voor metingen van het lichtrendement aan gewassen. Het ontwikkeltraject werd uitgevoerd in samenwerking met Sendot B.V.. Sendot ontwikkelde de hard- en firmware van de sensor en Plant Lighting fungeerde als kennisleverancier voor het meetprotocol en testte de gebouwde prototypes. Het onderzoeksdeel (Plant Lighting) is ondersteund door het programma 'Kas als Energiebron', gefinancierd door het Ministerie van LNV en Glastuinbouw Nederland, en door de gewascoöperatie potorchidee. Het ontwikkelingsdeel van de hard- en firmware (Sendot) is door Sendot zelf gefinancierd. Het IP van de sensor is dus eigendom van Sendot.

We willen een aantal personen nog met name hartelijk bedanken voor hun bijdrage: Wouter Smaal (SO natural) wordt bedankt voor de gastvrijheid tijdens de praktijktest voor Phalaenopsis. Ditzelfde geldt voor Lianne Schuddebeurs en Rick van den Burg bij Delphy Improvement Centre (tomaat). Peter Ammerlaan (Ammerlaan orchideeën), Erwin van Vliet (Levoplant), Wouter Smaal (SO natural), Henri Butterman (Piko Plant) en Erwin van de Werken (Floricultura) worden bedankt voor hun positief-kritische bijdrage in de BCO. Astrid van der Helm (Glastuinbouw Nederland) wordt bedankt voor het coördineren van de BCO's. Als laatste willen we de onderzoekscoördinatoren Dennis Medema en Leo Oprel van het programma Kas als Energiebron bedanken voor hun steun bij de totstandkoming en uitvoering van dit project.

Oktober 2019,

Govert Trouwborst & Sander Hogewoning

1 Achtergrond en doel

De efficiëntie waarmee gewassen licht voor fotosynthese benutten, kan gemeten worden met sensoren. In principe is het dus mogelijk om de belichting en de schermdoeken in kassen aan te sturen op basis van in de kas gemeten signalen: Als het rendement van de lichtbenutting voor fotosynthese bij toenemende intensiteiten daglicht te laag wordt, is het beter de belichting af of uit te schakelen. Bij nog meer daglichtinstraling kan het rendement van de lichtbenutting zo laag worden dat stress ontstaat: kort daarvoor kunnen de schermdoeken dicht worden gestuurd.

De meest praktische sensortechnologie hiervoor is chlorofyl-fluorescentie: Met deze techniek kan het rendement van de lichtbenutting contactloos worden gemeten zonder dat het gewas daar hinder van ondervindt. Om een aantal redenen is deze technologie nog niet tot de productie-tuinbouw doorgedrongen: De sensoren zijn tot dusverre te duur en/of onpraktisch, en vergen soms vrij veel kennis om de gemeten waarden goed te kunnen interpreteren. Daarom wordt deze techniek vooral door onderzoekers gebruikt en nog nauwelijks op productiebedrijven. De laatste jaren zijn er veel ontwikkelingen geweest op gebied van elektronica en sensortechnologie. De tijd is rijp om voor de tuinbouw een robuuste, betaalbare en eenvoudig te gebruiken sensor te ontwikkelen: de Hortisensor.

Toepassing van de op chlorofyl-fluorescentie metingen gebaseerde Hortisensor zal vooral een grote stap vooruit mogelijk maken bij die gewassen, waar een aantal metingen om de grenswaarden voor een goede lichtbenutting en stress te bepalen niet volstaan. Een goed voorbeeld hiervan is phalaenopsis: De teelt van phalaenopsis verbruikt ongeveer de helft van de elektra voor belichting van het totale areaal bloeiende potplanten (LEI, 2013). Recente onderzoeken hebben aangetoond dat de belichting op een aanzienlijk gedeelte van de dag sterk gereduceerd kan worden zonder dat dat productie kost (Trouwborst *et al.* 2016, 2017). Bovendien vallen de uren dat de belichting mag worden gereduceerd samen met de uren waarop CO₂ dosering effectief is. Een slimme regeling kan meer dan 30% aan elektra en tientallen procenten aan CO₂ besparen. De moeilijkheid voor een tuinder is wanneer die momenten precies vallen: het zou per ras, teeltstadium en seizoen kunnen verschillen. Dit soort onzekerheden staan toepassing van besparende maatregelen in de weg. Regeling van de belichting en CO₂ op basis van de werkelijke toestand van de plant gemeten met de Hortisensor maken genoemde energiebesparing in de praktijk mogelijk.

Ook bij andere gewassen is regeling van de belichting en schermstand heel interessant. Met de te ontwikkelen Hortisensor is het de bedoeling om belichting zo effectief mogelijk in te kunnen zetten en (licht)stress op tijd te kunnen detecteren. Zo wordt onnodig belichten (bij een te laag rendement) voorkomen en kan juist maximaal geprofiteerd worden van het natuurlijke daglicht.

Hieronder worden de energiedoelstellingen en de technische doelstellingen rondom de te ontwikkelen Hortisensor puntsgewijs weergegeven.

Energiedoelstellingen bij toepassing Hortisensor:

- Besparen op elektra door de belichting af te kunnen stemmen op de behoefte van het gewas middels 'live' meting van het rendement van de lichtbenutting. Bij een te laag lichtbenuttingsrendement kunnen lampen direct worden af- of uitgeschakeld. Dit geldt voor alle gewassen.
- Bij Phalaenopsis en andere CAM-planten meten wanneer de plant CO₂ vastlegt in de vorm van malaat. Op die uren is het lichtbenuttingsrendement laag en kan licht gedimd worden. De recent aangetoonde besparing van rond de 30% elektra kan zo in de praktijk geïmplementeerd worden (Trouwborst *et al.* 2016a, 2017).
- Forse besparing op CO₂ bij CAM-planten (onder andere phalaenopsis) door te meten wanneer het malaat op is in het blad. Dat is namelijk het moment dat ook de huidmondjes opengaan als er geen droogtestress is. Pas op dat moment is het zinvol om CO₂ te doseren (Trouwborst *et al.* 2016b, Trouwborst & Hogewoning 2017, Hogewoning *et al.* 2019). Zo wordt geen CO₂ verspild met dosering op momenten dat de CAM-plant er nog niets aan heeft (huidmondjes dicht).

Technische doelstellingen bij ontwikkeling en toepassing Hortisensor:

- De technische hoofddoelstelling is om reeds ontwikkelde chlorofyl fluorescentie-sensortechnologie aan te passen voor een brede toepassing in tuinbouwkassen:
- De sensor moet robuust, licht, waterdicht en betaalbaar worden.
- De sensor moet eenvoudig toepasbaar zijn: bij voorkeur draadloze data-transfer en eenvoudige installatie. Streven is om qua data-ontsluiting aan te sluiten bij al bestaande systemen.
- De output van de Hortisensor wordt omgerekend in voor een tuinder eenvoudig te interpreteren waarden van het rendement waarmee het gewas licht benut. Denk hierbij aan grafieken, waarin weergegeven:
 - Het rendement voor lichtbenutting (zowel in het donker als in het licht), waarbij het rendement in het donker het startpunt is, wat laat zien of de plant bijvoorbeeld in voorgaande dagen stress heeft gehad (rendement gezond blad in donker is altijd ~80%).
 - Welk deel van het geabsorbeerde licht wordt gebruikt voor de fotosynthese. Als te weinig licht gebruikt wordt voor de fotosynthese, dan kunnen lampen worden afgeschakeld en bij nog minder rendement komt het gewas in de gevarenzone en dient te worden geschermd (stress-detectie).
 - Specifiek voor CAM-planten (onder andere Phalaenopsis): uit het verloop van het rendement waarmee het gewas licht benut, komt naar voren wanneer het malaat op is in de middag (actie tuinder: dimmen lampen en start CO₂ dosering) en wanneer de malaat-opname klaar is in de ochtend (actie tuinder: opschakelen lampen en stop CO₂ dosering).

Het praktijkdoel is dat uiteindelijk meerdere sensoren in een kas kunnen worden geïnstalleerd die ieder 'live' een blad meten. Het is aan de teler of de Hortisensor uiteindelijk gebruikt wordt om direct lampen/schermen/CO₂ aan te sturen, of dat de sensor gebruikt wordt om informatie te geven op basis waarvan de teler zijn regeling programmeert. Mits de hierboven geformuleerde doelstelling in voldoende mate gerealiseerd worden is zo'n sensor is een welkome aanvulling op de reeds beschikbare sensoren. Denk hierbij aan de Plantivity, welke zeer nuttig is voor onderzoek, maar te kostbaar en onpraktisch om daarvan meerdere sensoren in de productietuinbouw toe te passen voor klimaatsturing. Of de meer recent ontwikkelde CropObserver (Phenovation), welke op afstand veel meetpunten in enkele vierkante meters scant. In het laatste hoofdstuk (4.3) wordt nog wat verder ingegaan op de voor- en nadelen van beide systemen.

2 Materiaal en methoden

Het onderzoek was opgedeeld in drie werkpakketten. Hieronder worden deze kort toegelicht.

WP1: Ontwikkeling technisch meetprotocol voor kasgewassen

Op basis van literatuur is door Plant Lighting kennis verzameld aangaande technische aspecten van meting van chlorofyl-fluorescentie zoals de golflengte van het meetlicht, de frequentie van de modulatie en verzadigende lichtpuls dynamiek. Deze kennis is gedeeld met de hardware-ontwikkelaar (Sendot). Op basis van deze kennis en hun eigen kennis aangaande chlorofyl-fluorescentie heeft Sendot een technisch meetprotocol ontwikkeld en geïmplementeerd in een prototype Hortisensor. Het technisch meetprotocol behoort dus tot het IP van Sendot zelf.

WP2: Testen Hortisensor-prototype op lab-schaal

In een opstelling in klimaatkamers van Plant Lighting is de betrouwbaarheid van de metingen met de Hortisensor getoetst:

- De meetwaarden van de prototype Hortisensoren zijn vergeleken met metingen van de als zeer betrouwbaar bekendstaande LI-6400 fotosynthesemeetapparatuur.
- Er is gemeten aan tomaat en aan phalaenopsis.
- Er zijn stress-omstandigheden gecreëerd die de lichtbenutting van de planten doen veranderen. De Hortisensor moet ook onder die omstandigheden correcte waarden meten.
- Phalaenopsis is over 24 uur gemonitord: De Hortisensor moet de momenten dat malaat opraakt in de middag of de malaatopslag eindigt in de ochtend goed meten.

WP3: Testen Hortisensor-prototype in de praktijk

- Het presteren van het prototype Hortisensor is in een kassituatie getoetst om te zien of onder praktijkomstandigheden mogelijke onvoorziene belemmeringen aan het licht komen. Er is gemeten bij SO natural (phalaenopsis) en Delphy Improvement Centre (tomaat).
- Op basis van de gemeten waarden is de Hortisensor aangepast/gefinetuned en weer opnieuw vergeleken met metingen met Li-6400 fotosynthesemeetapparatuur.

Er is een begeleidingscommissie van phalaenopsis-kwekers geformeerd die regelmatig van de voortgang op de hoogte gesteld werden. Deze werkgroep fungeerde als 'sparringpartner' vanuit de praktijk: Met de wensen en eisen vanuit de praktijk ten aanzien van toepassing van de Hortisensor is rekening gehouden in het ontwikkeltraject.

3 Resultaten

Dit hoofdstuk is onderverdeeld in drie stukken:

- In hoofdstuk 3.1 wordt de ontwikkeling van het meetprotocol toegelicht.
- In hoofdstuk 3.2 en 3.3 worden de tests op lab-schaal bij phalaenopsis en tomaat toegelicht.
- In hoofdstuk 3.4 en 3.5 worden de resultaten van de praktijktests van phalaenopsis en tomaat toegelicht.

3.1 Ontwikkeling meetprotocol kasgewassen

Tijdens de eerste fase van dit project is er gewerkt aan de volgende onderdelen:

- Meetprotocol (Sendot met kennisinput van Plant Lighting)
- Hardware, firmware & software (Sendot)

Op basis van literatuur is door Plant Lighting kennis verzameld aangaande technische aspecten van meting van chlorofyl-fluorescentie zoals de golflengte van het meetlicht, de frequentie van de modulatie en verzadigende lichtpuls dynamiek. Deze kennis is gedeeld met de hardware-ontwikkelaar (Sendot). Aan basisachtergronden over chlorofyl-fluorescentie is in andere rapporten al aandacht besteed ¹.

Sendot heeft gewerkt aan de hardware, dit ging onder andere om de volgende zaken:

- Draadloosheid: batterijduur waarschijnlijk > 3 week.
- Volledig nieuwe firmware in de sensor
- Verzadigingspulseringen inclusief aanpassingen aan de printplaat
- Aanpassingen interne software zoals op juiste moment tijdens fluorescentiekinetiek de maximale fluorescentie bepalen.
- Meting van de lichtintensiteit vlak naast de meetpositie (via 2^e fiber)

Uiteindelijk zijn dit zaken die onder het IP van Sendot blijven vallen, hier wordt dus niet verder op ingegaan.

¹ Verschillende rapporten hebben aandacht gegeven aan chlorofyl-fluorescentie onder andere: Dieleman *et al.* 2016: Plantmonitoring op basis van fotosynthese sensoren: ontwikkelen en testen van sensoren.

Pot *et al.* 2010: Handleiding gebruik van plantsensoren voor de fotosynthese in de praktijk.

3.2 Tests op labschaal

Op lab-schaal zijn er diverse tests gedaan met kalanchoë, phalaenopsis en tomaat. Omdat tussentijdse resultaten niets zeggen over het eindproduct, worden deze ook niet weergegeven. Foto 1 geeft een tijdelijke meetopstelling weer.

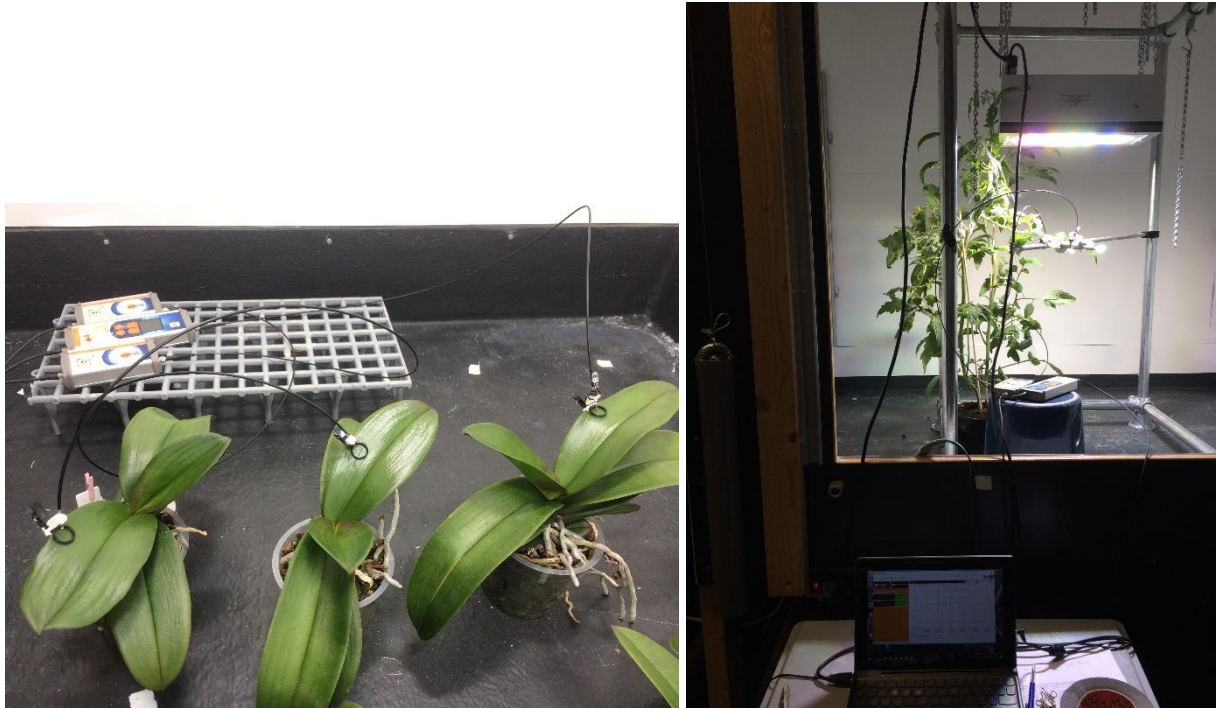
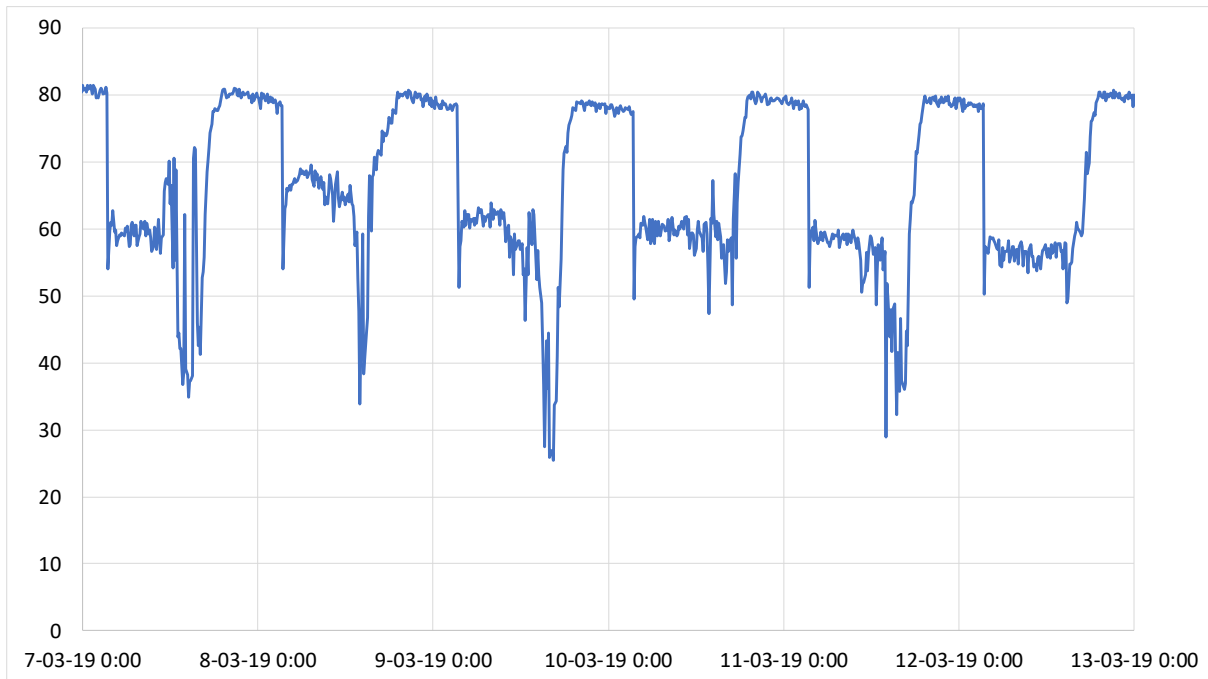


Foto 1. Meetopstelling voor Phalaenopsis (foto 7 september 2018) en tomaat (foto 24 september 2018) in klimaatcellen van Plant Lighting.

De eerste prototypes, waren nog niet uitgevoerd met een PAR-meter. Een PAR-meting heeft veel toegevoegde waarde voor de interpretatie van de metingen. Figuur 1 laat een voorbeeld zien van een dataset zonder PAR-meting. Te zien is dat nachtelijke rendementen van 80% behaald worden (=gezonde plant). Als de dag begint zakt het rendement direct naar zo'n 60% en blijft redelijk constant. In de namiddagen duikt het rendement onverwachts naar beneden tot rond de 30%. Als op dat moment de lichtintensiteit fors omhoogging, biedt dat een verklaring, maar wetende dat dit phalaenopsis planten zijn (opkweek I), is het logischer dat dit de momenten zijn dat het malaat op is. Om de data achteraf beter te kunnen interpreteren heeft Sendot een PAR-meting toegevoegd aan het systeem dat gemeten wordt via reflectie van licht dat via een tweede fiber geleid wordt naar een detector (Foto 2). Zo'n meting geeft een redelijke indicatie van het PAR-niveau rondom de meetpositie op het blad.



Figuur 1. Lichtrendement bij Phalaenopsis in opkweek I. De dataset is verzameld door Bonte de Jong (FytoConsult). Op de meeste dagen komt het typische phalaenopsis-patroon naar voren: 's nachts rendement van 0.8 en door abrupt licht aan of scherm open een snel verval naar 60%. Vervolgens laten de meeste namiddagen een sterk verval in rendement zien tot rond de 30%: het moment dat malaat op is. Als tegelijkertijd ook PAR bekend is, dan zijn de data zuiverder te interpreteren.



Foto 2. Ontwikkeling van een indicatieve PAR-meting net naast de fluorescentiemeting via reflectie van licht dat via een tweede fiber geleid wordt naar een detector.

3.3 Duurtest in kweekunits met phalaenopsis

De prototypes Hortisensor hebben bijna 30 weken meegemeten in de proef “Minder belichten Phalaenopsis zonder productieverlies IV: Belichten Phalaenopsis op plantbehoefte” (Trouwborst *et al.* 2019). Gedurende deze tijd is er gesleuteld aan het ontwerp en de instellingen zoals puls-intensiteit en meetfrequentie (meting per 5, 10, 15 of 20 minuten). In onderstaande paragrafen worden enkele aspecten die we tegenkwamen besproken en enkele resultaten toegelicht.

3.3.1 Watergift

De vraag kwam op of in de ring van de bladclip het gietwater niet te lang zou blijven staan. Foto 3 laat twee foto's zien die een uur na elkaar zijn genomen. Op de linkerfoto is te zien dat de ring van de bladclip volledig gevuld was met water. Een uur later was dit al voor een groot deel weggetrokken en lagen er op andere stukken blad grotere druppels. 's Middags waren de planten droog. Hieruit is de conclusie getrokken dat watergift geen probleem vormt.



Foto 3. Effect van watergift op functioneren bladclip. De linkerfoto is om 9:00 genomen en de rechterfoto om 10:00. Te zien is dat in eerste instantie er water in de ring blijft staan. Een uur later is dit niet meer zichtbaar. 's Middags waren de planten droog.

3.3.2 Vermoeiing meetvlak

Een bekend fenomeen bij de Plantivity (monitoring PAM; zie Pot *et al.* 2010) was de ‘vermoeiing’ van het meetvlak. Bij de Plantivity kon uiteindelijk een blad ongeveer een week in de bladclip geklemd worden. Ook wij hebben hier tests aan gedaan: Het bleek aan te raden om overdag eens per 10 minuten te meten en 's nachts eens per uur of met een nog lagere frequentie te meten. Op die manier kon zonder problemen minimaal een week gemeten worden.

3.3.3 Resultaten monitoring

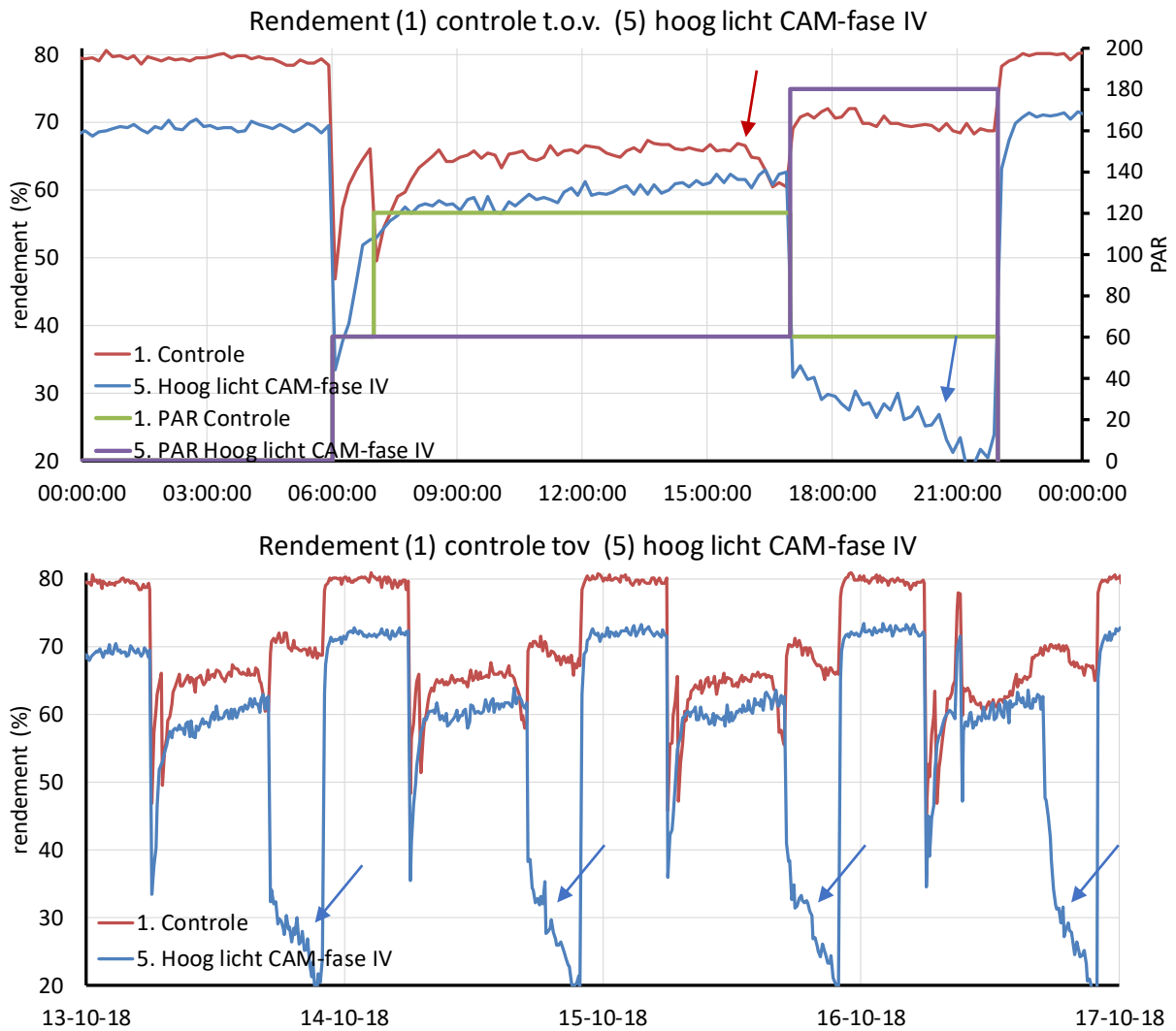
In de proef “Minder belichten Phalaenopsis zonder productieverlies IV: Belichten Phalaenopsis op plantbehoefte” (Trouwborst *et al.* 2019). is er bij vier van de zes verschillende belichtingsbehandelingen gemonitord met prototypes Hortisensoren. Deze behandelingen waren de controle (1), Sinus (4), hoog licht in CAM-fase IV (5) en dagen met afwisselend hoog of laag licht (6). Zie Tabel 1 voor details over de belichting in die proef.

Tabel 1. Behandelingen in de proef Minder belichten Phalaenopsis zonder productieverlies IV: Belichten Phalaenopsis op plantbehoefte” (Trouwborst *et al.* 2019). Per CAM-fase worden de lichtintensiteiten weergegeven in $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR.

	CAM-fase I 22:00-6:00	CAM-fase II 6:00-7:00	CAM-fase III A 7:00-12:00	CAM-fase III B 12:00-17:00	CAM-fase IV 17:00-22:00
1 Controle	0	60	120	120	60
4 Sinus	0	60	sinus 60→180	sinus 180→60	60
5 hoog licht CAM-fase IV	0	60	60	60	180
6a wisselend hoog/laag*	0	60	180	180	60
6b wisselend hoog/laag*	0	60	60	60	60

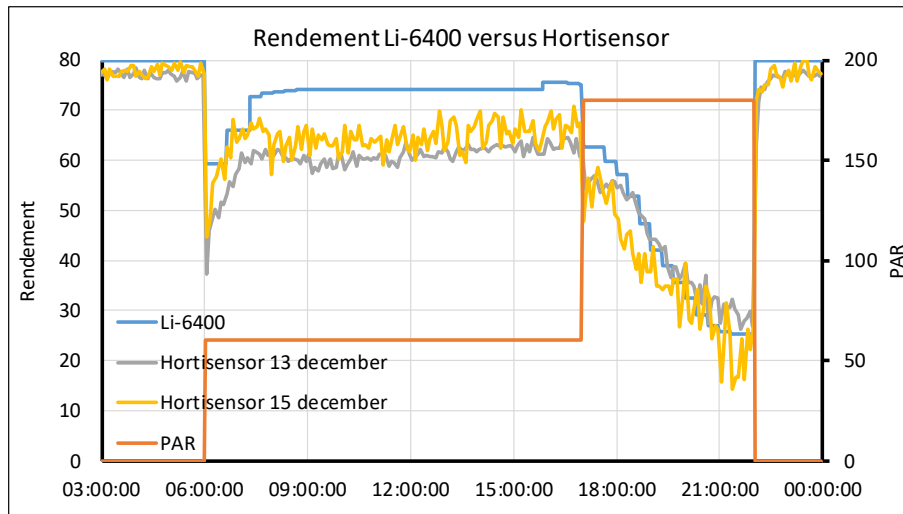
*Bij behandeling 6 werden er 4 dagen hoog licht uitgevoerd, vervolgens 4 dagen laag licht, vervolgens 3 dagen hoog licht en weer 3 dagen laag licht. Gemiddeld was dit dus per 14 dagen gelijk aan de controle.

In Figuur 2 (boven, rode lijn) is te zien dat het lichtrendement van de controle-behandeling net voordat om 17:00 het lichtniveau zakt van 120 naar 60 μmol een daling inzet (malaat op). In de behandeling waar het lichtniveau stijgt (behandeling 5 hoog licht CAM-fase IV), daalt het rendement hard naar rond de 30% om vervolgens rond 21:00 (het laatste uur van de dag) verder te dalen naar 20%. Vermoedelijk was toen het malaat pas echt op of stopte verdere afbraak van malaat. De malaatpool van deze behandeling is de dagen erna waarschijnlijk afgenomen: verdere daling van het lichtrendement lijkt eerder dan 21:00 plaats te vinden (Figuur 2 onder; 13 oktober was eerste dag van deze behandeling). Latere 24-uursmetingen van de CO₂-opname en malaatmetingen hebben inderdaad laten zien dat de malaatpool van deze behandeling zo’n 25% kleiner is geworden dan die van de controle.



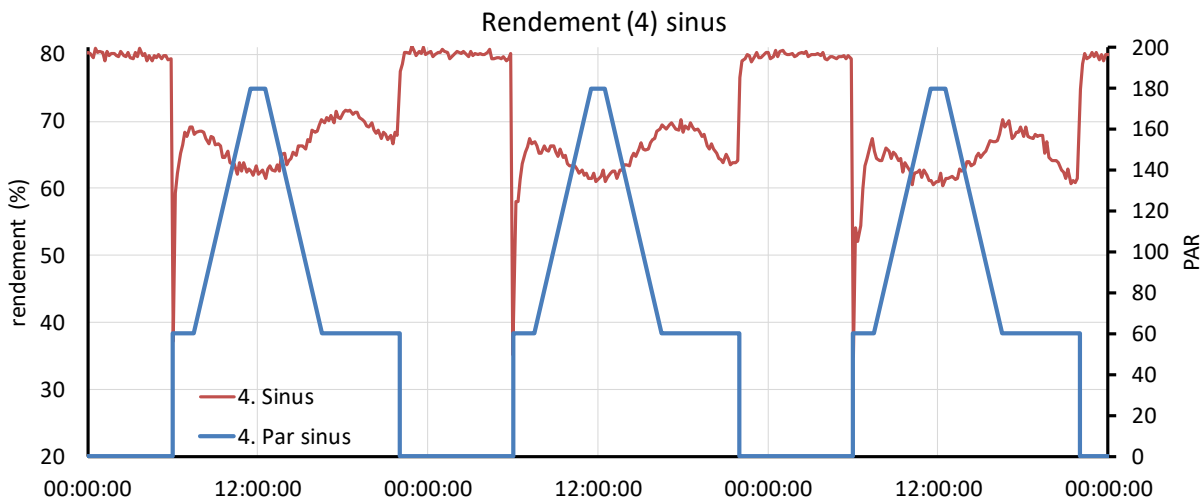
Figuur 2. Lichtrendement van de controle-behandeling (rood) en de behandeling met hoog licht in CAM-fase IV (blauw, behandeling 5 in Tabel 1) net na inzet van de behandelingen. Boven: 13 oktober 2018, eerste dag van inzetten van de behandelingen. Onder: eerste dagen na inzet van de behandelingen. Het respectievelijke PAR-niveau van beide behandelingen wordt met de groene en paarse lijn weergegeven. De pijlen geven het moment aan dat vermoedelijk het malaat opraakt. Het patroon op de daaropvolgende dagen (onder) suggereert dat een verdere daling van het lichtrendement ruim eerder dan 21:00 plaats vindt (blauwe pijlen). Dit duidt op verkleining van de malaatpool. NB kwalitatief gezien laat de blauwe lijn een interessant patroon zien, in absolute zin ligt deze zeker 10% te laag: nachtelijk rendement behoort op 80% te liggen en tot 17:00 boven de rode lijn. Dit gegeven gaf aanleiding tot aanpassing van de prototype-sensoren.

Figuur 3 laat een kwalitatief vergelijk zien tussen de ETR gemeten door de LI-6400 en door een prototype van de Hortisensor. De data zijn niet van dezelfde meetdag en plant. Te zien is dat beide meters eenzelfde type patroon aangeven.

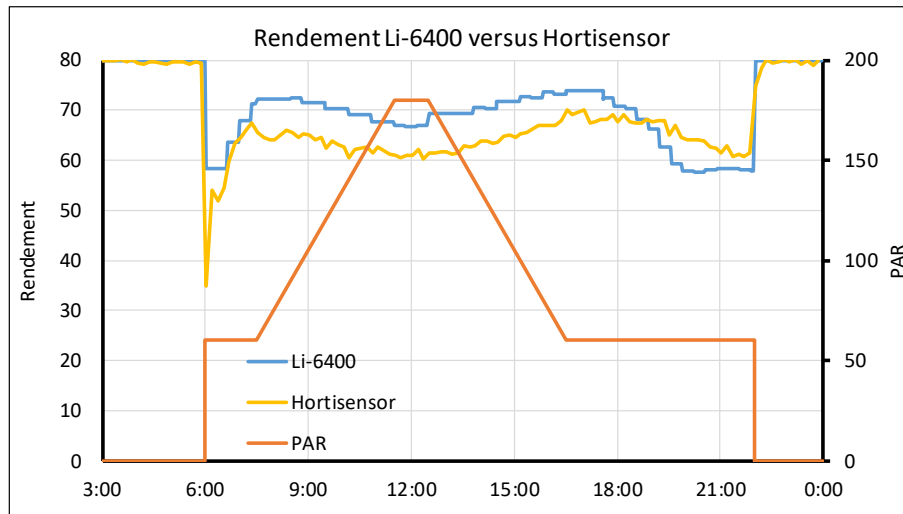


Figuur 3. Vergelijk van het rendement door de Li-6400 fotosynthesemeter (meting om de 20 minuten) en een prototype van de Hortisensor (meting om de 5 minuten). Te zien is dat beide meters ruwweg hetzelfde patroon aangeven. NB de data is niet van dezelfde meetdag en plant, wel zijn beide rond half december 2018 gemeten.

Figuur 4 geeft de Sinus-behandeling weer waar het lichtniveau gradueel stijgt gedurende de eerste uren en gradueel daalt gedurende de laatste uren van de dag (blauwe lijn). Het lichtrendement (rode lijn) vertoont een golvend patroon: snelle daling van het rendement nadat het licht aangaat en dan binnen een uur stijgend (typisch voor CAM-fase II). Vervolgens een langzame daling van het rendement doordat het lichtniveau stijgt naar $180 \mu\text{mol}$ in 1^e helft CAM-fase III. Het omgekeerde patroon vindt plaats in de 2^e helft van CAM-fase III. Vervolgens daalt na 17:00 het rendement weer ondanks dat het lichtniveau laag blijft (CAM-fase IV). Ditzelfde patroon wordt gemeten door de Li-6400 (Figuur 5).

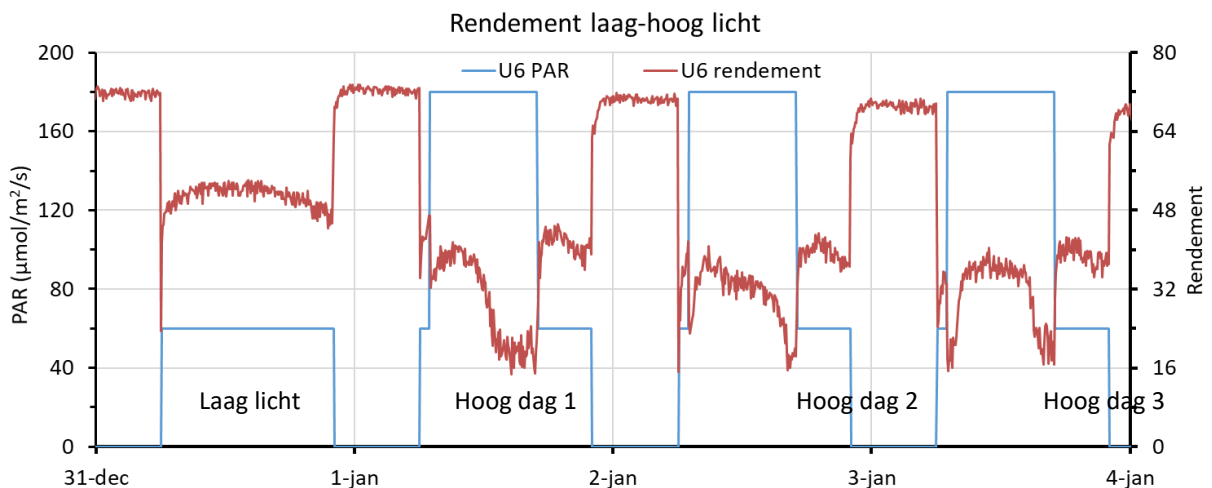


Figuur 4. Lichtrendement bij de Sinusbehandeling onderzoek "Minder belichten Phalaenopsis zonder productieverlies IV: Belichten Phalaenopsis op plantbehoefte" (Trouwborst et al. 2019). Data 19-21 oktober 2018.



Figuur 5. Vergelijk van het rendement door de Li-6400 fotosynthesemeter (meting om de 20 minuten) en een prototype van de Hortisensor (meting om de 10 minuten). Te zien is dat beide meters ruwweg hetzelfde patroon aangeven. NB de data zijn niet van dezelfde meetdag en plant.

Bij behandeling 6, waarbij er een aantal dagen hoog licht en een aantal dagen laag licht werd gegeven, geeft de eerste dag hoog licht halverwege de dag een zware verlaging in lichtrendement (Figuur 6). Dit komt omdat dan het malaat al op is, wat bleek uit malaatmetingen (zie Trouwborst *et al.* 2019). Overigens regelt de plant zich al heel snel bij: Op de tweede dag vindt het verval in rendement al drie uur later plaats. De data komen overeen met metingen aan het malaatgehalte in het blad en ETR-metingen met de LI-6400 (Trouwborst *et al.* 2019).



Figuur 6. Lichtstress van laag naar hoog licht in behandeling 6 uit het onderzoek “Minder belichten Phalaenopsis zonder productieverlies IV: Belichten Phalaenopsis op plantbehoefte” (Trouwborst *et al.* 2019). De blauwe lijn geeft de lichtintensiteit aan, de rode lijn het lichtrendement. Halverwege de 1^e dag hoog licht stort het lichtrendement in, omdat het malaat op is. Te zien dat de plant zich snel bijregelt: de dag erna al treedt het verval in rendement pas drie uur later in.

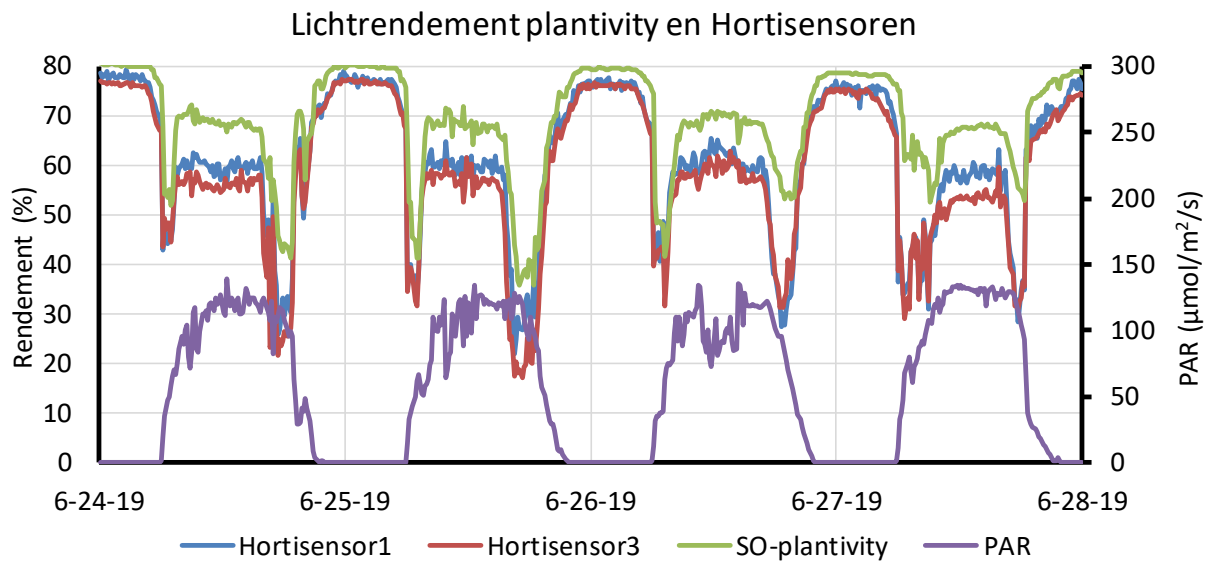
3.4 Praktijktest phalaenopsis

De praktijktest met phalaenopsis heeft plaatsgevonden bij het teeltbedrijf SO natural en heeft gelopen van 31 mei tot 2 juli 2019. Foto 4 geeft een impressie weer. De sensoren zijn rondom een Plantivity geplaatst om een direct vergelijk tussen de twee types sensoren mogelijk te maken.



Foto 4 . Praktijktoets bij SO natural met prototype sensoren. De sensoren zijn rondom een Plantivity geplaatst om een direct vergelijk tussen de twee types sensoren mogelijk te maken.

Figuur 7 geeft de resultaten van enkele meetdagen weer. Duidelijk is te zien dat er een kortstondig verval is in lichtrendement als de dag begint (typisch voor CAM-fase II) en rond 17:00 een fors verval in rendement optreedt als het malaat op is (start CAM-fase IV). Rond 21:00 wordt het donker. In absolute zin ligt het signaal van de Plantivity hoger dan van de Hortisensoren. Het valt niet uit te sluiten dat dit deels door de bladpositie komt, echter, het is waarschijnlijk dat de Plantivity-waarden dicht bij de werkelijkheid liggen gezien de voor de nacht logische waarde van rond de 80%. Maar kwalitatief gezien, geven alle drie de sensoren hetzelfde patroon weer en maken het moment dat het malaat op is inzichtelijk. Hortisensor2 staat niet afgebeeld. Deze lag overdag en 's nachts 10% lager dan de andere sensoren. Aangezien in alle sensoren dezelfde instellingen werden gebruikt, kwam de vraag naar boven waar deze variatie vandaan kwam. Het bleek dat de fibers varieerden in de mate strippen van de uiteinden: meer gestrippte uiteinden geven een lagere meetlichtintensiteit. De conclusie werd getrokken dat handmatig strippen van de fibers wat bij deze prototypes is gebeurd, minder uniformiteit tussen sensoren geeft.



Figuur 7. Vergelijk rendement Hortisensors met een Plantivity-sensor bij SO natural. De paarse lijn geeft het PAR-niveau in de kas aan.

De volgende leerpunten konden worden getrokken:

- De PAR-meter van Sendot volgde de LI-COR PAR-meter de eerste 7 dagen heel goed, erna begon de PAR-meter van Sendot naar omlaag af te wijken. Naar aanleiding hiervan heeft Sendot besloten tot het gebruik van een vuilwerende coating op het reflectieplaatje. Het resultaat was bij het schrijven van dit rapport nog niet bekend.
- De Hortisensoren in buurt van een PAR-sensor positioneren is aan te bevelen zodat er altijd een goede referentiemeting voor PAR in de buurt is. Immers, de PAR-meting van de Hortisensor is indicatief, een goede controlemeting is daarom waardevol.
- Standaardisering van de mate van strippen van de fiber en positionering ten opzichte van het blad verkleint de verschillen tussen sensoren.

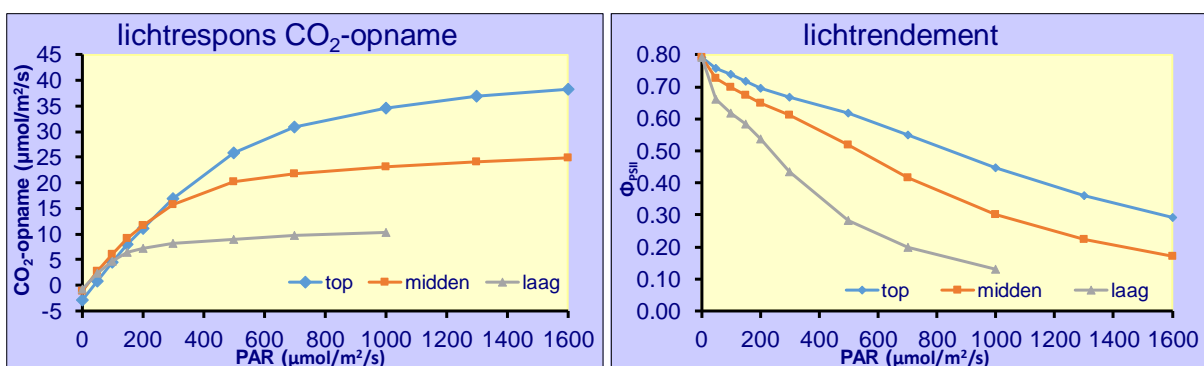
3.5 Praktijktest tomaat

De praktijktest van tomaat heeft plaatsgevonden binnen de proef “Tomaat fossielvrij” bij Delphy Improvement Centre (Bleiswijk). Hier werd de variëteit Merlice geteeld. Op 21 mei 2019 is er een dag chlorofyl-fluorescentie (ETR) gemeten met de Li-6800 fotosynthesemeter om te kunnen vergelijken met de Hortisensor. Rond die datum hebben de prototypes van de Hortisensor op drie hoogtes in het gewas gehangen. Foto 5 geeft een impressie weer.

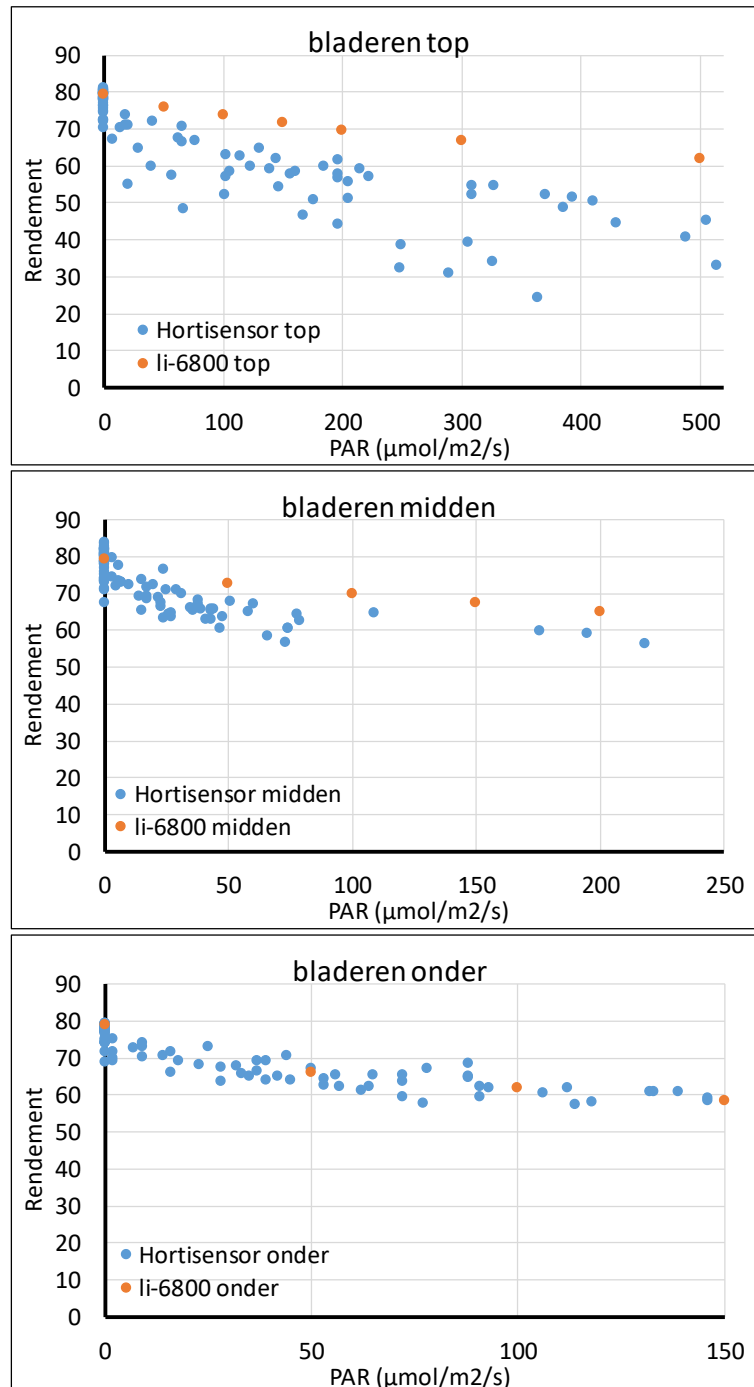


Foto 5. Vergelijking van de chlorofyl-fluorescentie gemeten door de Li-6800 fotosynthesemeter (links) en de prototypes Hortisensor (rechts) bij tomaat 'Merlice' (proef "tomaat fossielvrij" bij het Delphy improvement Centre te Bleiswijk; foto's 21 mei 2019).

De fotosynthese-capaciteit gemeten met de Li-6800 fotosynthesemeter ligt van de topbladeren fors hoger dan van de middenbladeren, en de onderste laag ligt weer fors lager (Figuur 8 links). Navent daalt bij de middenbladeren en de onderste bladeren het lichtrendement bij toenemend licht harder dan bij de topbladeren (Figuur 8 rechts). Deze data zijn vervolgens vergeleken met de gemeten rendementen door de prototypes Hortisensor (Figuur 9). In Figuur 9 is te zien is dat de Hortisensor het rendement van de topbladeren onderschat, maar dat het rendement bij de onderste bladeren op hetzelfde niveau ligt als de Li-6800 fotosynthesemeter. De middenbladeren liggen hier wat betreft overeenkomst tussen de metingen van de twee types sensoren tussenin. Dit suggereert dat de pulssterkte van de Hortisensor bij de topbladeren hoger had moeten worden ingesteld. Ten tijde van de rapportage was het effect van deze aanpassing in pulssterkte nog niet bekend. Opgemerkt moet worden, dat een deel van de afwijking ook kan veroorzaakt zijn door een onderschatting van de lichtintensiteit door de Hortisensor.



Figuur 8. Resultaten lichtrespons van de fotosynthese gemeten met de Li-6800 fotosynthesemeter op drie hoogtes: Top gewas, halvervege en onderaan (n=3). De fotosynthese is gemeten bij 700 ppm.



Figuur 9. Vergelijk lichtrendement tussen de Li-6800 fotosynthesemeter en de Hortisensor op verschillende hoogtes in een tomatengewas. Te zien is dat de Hortisensor het rendement van de topbladeren onderschat maar bij de onderste bladeren op hetzelfde niveau ligt. Bij de middenbladeren ligt het verschil in meetwaarden hier tussenin. Dit suggereert dat de pulssterkte van de topbladeren hoger moet worden ingesteld. NB een deel van de afwijking kan ook veroorzaakt worden door een onderschatting van de lichtintensiteit door de Hortisensor.

4 Conclusies en evaluatie

4.1 Eisen aan de Hortisensor vanuit begeleidende tuinders

Tijdens de eerste bijeenkomst van de begeleidingscommissie bestaande uit Phalaenopsis-kwekers werden er een aantal eisen opgesteld waaraan de Hortisensor moest gaan voldoen. Deze worden hieronder puntsgewijze weergegeven. Het resultaat wordt schuin weergegeven.

- Prijs: Moet fors voordeel bieden ten opzichte van de Walz monipam (Plantivity)
Dit is uitgangspunt van Sendot.
- Geen schaduw door sensor op meetpunt
*Meetkop wordt nog doorontwikkeld. Nu is door kleine bladclip beschaduwning minimaal.
Transparante bladclip wordt overwogen.*
- Geen beïnvloeding meetplek (minimaal een week)
Meting om de 10 minuten, 's nachts een lagere frequentie van eens in het uur. Resultaat bleek bevredigend.
- Betrouwbaar/ robuust onder kasomstandigheden:
Dit is uitgangspunt van Sendot. Prototypes draaien al een jaar zonder problemen.
- Waterdicht
Ja.
- Meststoffen-proof? Oxiderend zuurstof? / chloor?
Meststoffen zijn getest bij Plant Lighting en geen problemen geconstateerd. Oxiderend zuur en chloor is getest door Sendot en zij constateerden geen problemen.
- Gebruik aan arm van PAR-sensor?
Is mogelijk.
- Iets anders dan bladclip? Op afstand? Magneet? Ontwatering is bij clip een aandachtspunt.
Bladclip geeft fixatie op 1 punt wat een voordeel is.
- Niet te veel 'toeters en bellen' wat betreft de output. Rendement alleen is mogelijk al voldoende: simpelheid is een pre!
Er wordt gestart met alleen weergave van lichtrendement.
- Verbinding met bestaand platform, liefst een lijn op de klimaatcomputer
Alles is mogelijk: contact met LetsGrow en 30 MHz is geregeld.

4.2 Kenmerken sensor

Omdat de sensor nog steeds wordt doorontwikkeld, hebben de hieronder opgesomde kenmerken van de sensor een voorlopig karakter. De volgende stand van zaken geldt voor het najaar van 2019:

Pro versie:

- 3 weken loggen (per 5 minuten) zonder vervanging batterij
- Aansluiting op klimaatcomputer
- Aansluiting op 30 MHz netwerk (draadloos)
- Web based uitlezing via de Senbox (Foto 6)
- PAR sensor
- Verschillende meetfrequentie bij nacht (PAR=0, bijvoorbeeld 1 x per uur) en overdag (PAR > X, bijvoorbeeld 1 x per 10 minuten)



Foto 6. De Senbox van Sendot B.V.. Hier kunnen 5 willekeurige sensoren aan gekoppeld worden. De data komt via een 4G modem direct via internet beschikbaar.

4.3 Evaluatie

4.3.1 Werking Hortisensor

Zoals getoond in paragrafen 3.3 & 3.4 werken de prototypes van de Hortisensoren bij Phalaenopsis naar behoren. De momenten dat 's middags het malaat op is, zijn duidelijk waar te nemen (Figuren 1-7). Bij tomaat stond in eerste instantie de pulssterkte te laag ingesteld (Figuur 9). Het is dus nuttig om een procedure te hebben die per gewas de ideale pulssterkte bepaalt. In zekere zin hangt deze af van de hoeveelheid licht die de plant normaliter krijgt. Dus mogelijk is te classificeren naar teeltomstandigheden.

Ook zal er gekeken moeten worden naar het doel van de metingen. Bij phalaenopsis gaat het om het patroon van de meetwaarden over de dag waardoor uitputting van de malaatpool zichtbaar wordt. Dit is een meer kwalitatieve respons. In absolute zin hoeft de meting dan niet heel zuiver te zijn en mag best 5-10% afwijken. Voor inzet van de Hortisensor bij tomaat ligt het veel meer voor de hand om een kwantitatief zuivere meting te willen hebben. Dit omdat die data een opstap bieden om gewasfotosynthese te berekenen, en dienen als beslissingsondersteuning om lampen al dan niet af te schakelen. Voor toepassing van de sensor voor dit laatstgenoemde doel is nog enige doorontwikkeling van de sensor benodigd.

4.3.2 Puntmeting of oppervlak

Gedurende de looptijd van dit project is ook de CropObserver door het bedrijf Phenovation praktijkrijp gemaakt. De CropObserver meet binnen een aantal vierkante meters een raster van enkele honderden meetpunten op afstand. De CropObserver wordt 1 tot 3 meter boven een gewas gehangen. Ieder meetpunt kost 5 seconden zodat er per 24 uur ruim 17000 metingen mogelijk zijn. In vergelijking met de Hortisensor die bijvoorbeeld eens per 10 minuten meet op 1 punt doet de CropObserver 120 verschillende meetpunten (Als de Hortisensor ingesteld staat per 5 minuten dus 1 : 60 meetpunten).

De voordelen van de CropObserver boven de Hortisensor zijn hiermee ook helder:

- Veel meetpunten (herhalingen) in het meetvlak per tijdseenheid. Wij pleiten er dan ook voor om op één meetplaats nooit één maar meerdere Hortisensors in te zetten.
- Meting contactloos op afstand, geen last van de meter tijdens gewasbewerkingen of gewasverplaatsingen.

Hier staat de Hortisensor tegenover:

- Bij een gefixeerde puntmeting weet je wat je meet: de meest representatieve bladeren. Via contactloze meting met een CropObserver zouden metingen onbedoeld ook in bladoksels of veel diepere gewaslagen kunnen plaatsvinden, waarop je feitelijk niet wilt sturen met klimaat/ belichting/ schermen. Of in theorie zelfs op net geplukte bladeren die op de grond liggen (tomaat), of algen/mossen op de pot, omdat deze

groene delen ook chlorofylfluorescentie uitstralen. Hier zijn overigens al oplossingen voor bedacht. Vincent Jalink (Phenovation) deelt mee:

- “De CropObserver keurt de gemeten waarden goed of fout aan de hand van criteria. Wanneer er geen goede meting wordt gedaan doordat de laser een blad gedeeltelijk raakt of de laser inderdaad verdwijnt in een oksel dan worden deze metingen afgekeurd. Dit gebeurt zowel elke nacht om 12 uur wanneer alle spots worden gevalideerd alsook wanneer de metingen overdag worden gedaan. Voorbeeld waar we op keuren is grote van de meetspot (is de hele laser zichtbaar).
- Er kunnen inderdaad metingen plaats vinden op diepere gewaslagen maar doordat we de hoogte meemeten kunnen we deze meetpunten uitsluiten. Doordat we de metingen koppelen aan de hoogte van het gewas geeft dit extra inzicht aan de kweker.”
- Het is de vraag hoeveel meetpunten er nodig zijn om een representatief beeld te verkrijgen van het functioneren van de bladeren waarop gestuurd moet worden. Naar onze verwachting zou dit prima met 5 herhalingen moeten kunnen. Hierbij is een juiste bladkeuze natuurlijk cruciaal.
- Met de gefixeerde meting hangt samen dat een ‘zuiver’ tijdsverloop in beeld komt. Het tijdsverloop is vaak belangrijker dan de zuiverheid van de meting in absolute zin. Vincent Jalink (Phenovation) merkt op: “Ieder meetpunt van de CropObserver heeft een tijdsstempel en xyz-coördinaten”. Als echter bladeren veel bewegen kan dan juist een bladclip een voordeel zijn.
- Kosten: Door het eenvoudiger ontwerp zijn de kosten voor de Hortisensor meer beheersbaar, zeker als gedacht moet worden aan Phalaenopsisbedrijven waar vier aparte afdelingen zijn met ieder een eigen lichtstrategie (opkweek I, opkweek II, koeling en afkweek). Hier zijn dan of 4 CropObservers of rond de 20 Hortisensoren voor nodig.

De auteurs zijn van mening dat beide type sensoren binnen de tuinbouw een positieve rol kunnen vervullen. Per bedrijf zal gekeken moeten worden wat de beste optie is. Die zal afhangen van de kosten op bedrijfsniveau, bedrijfsinrichting en het werkgemak. Regeling van de belichting, schermstand en de CO₂-dosering (specifiek CAM-planten) naar plantbehoefte komt hiermee dichterbij.

Referenties

- Hogewoning SW, J. Sanders, A. de Jong, S. Persoon.** 2019. Phalaenopsis met minimale input: CO₂, licht en vocht naar gewasbehoefte. Deelrapport II: Energiezuinige teelt. Plant Lighting B.V., Bunnik, 31p.
- 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.
- Trouwborst G, Hogewoning SW, van der Spek R.** 2016a. Minder belichten Phalaenopsis zonder productieverlies II. Plant Lighting B.V., Bunnik. 45p.
- Trouwborst G, Hogewoning SW, Van der Spek R, Pot CS.** 2016b. Zuiniger met CO₂ bij gelijkblijvende of hogere productie: Phalaenopsis. Plant Lighting B.V., Bunnik. 37p.
- Trouwborst G, Hogewoning SW, van der Spek R.** 2017. Minder belichten Phalaenopsis zonder productieverlies III. Maximale daglichtbenutting voor minimale belichting Phalaenopsis. Plant Lighting B.V., Bunnik. 52p.
- Trouwborst G, Hogewoning SW.** 2017 Phalaenopsis met minimale input: CO₂, licht en vocht naar gewasbehoefte. Deelrapport I: Plantenfysiologisch onderzoek op procesniveau. Plant Lighting B.V., Bunnik, 27p.
- G. Trouwborst, S. van den Boogaart, S.W. Hogewoning.** 2019. Minder belichten Phalaenopsis zonder productieverlies IV: Belichten phalaenopsis op plantbehoefte. Plant Lighting B.V., Bunnik. 59p.