



Kasklimaatregeling op basis van fotosynthese-metingen: wat zijn de mogelijkheden?

Verslag van het eerste werkpakket van het project “Energie besparen door sturing van licht en CO₂ op basis van gewasbehoefte”

Anja Dieleman¹, Sander Pot², Jan Snel¹, Wanne Kromdijk¹, Henk Jalink¹ en Jan Bontsema¹

¹Wageningen UR Glastuinbouw ²Plant Dynamics



Referaat

Het klimaat in een kas wordt ingesteld om een optimale gewasfotosynthese, assimilatenverdeling en plantvorm te realiseren. Om momentaan het kasklimaat aan te kunnen passen aan de behoeftes van de plant is het van groot belang inzicht te hebben in de directe gevolgen van aanpassingen in het klimaat op de plant prestaties, in het bijzonder op de fotosynthese. Dit is te doen met de volgende methodes:

1. Gasuitwisseling van bladeren: nauwkeurige metingen van de fotosynthese van een stukje blad, met draagbare meetapparatuur.
2. Plantivity: een commercieel verkrijgbare meter die de fluorescentie van een stukje blad meet.
3. Kas-in-kas: een niet-geklimatiseerde meetkamer waarin CO₂ opname van een aantal planten gemeten kan worden.
4. Fluorescentie-imaging: fluorescentie metingen op afstand aan een groter oppervlakte gewas.
5. Fotosynthese-monitor: soft-sensor waarmee de CO₂ opname van een kas berekend wordt op basis van ventilatievoud en metingen van de CO₂ concentratie binnen en buiten de kas.

Uit twee workshops met telers bleek dat zij fotosynthese als een belangrijk proces beschouwen in de teelt van hun gewas, en dat zij de fotosynthese van hun gewas graag momentaan online zouden willen meten. Het is daarom wenselijk door te gaan met de ontwikkeling van een robuust en betrouwbaar meetsysteem voor de gewasfotosynthese.

Summary

Greenhouse climate set points are adjusted to the needs of the crop. In order to do so, we need to have knowledge of the direct effects of climate changes on plant performance, especially on photosynthesis. This can be done by measuring with:

1. Gas exchange of leaves: accurate measurements of the photosynthesis of a part of the leaf, with portable equipment.
2. Plantivity: a commercially available sensor that can measure the fluorescence of a part of the leaf.
3. Chamber in the greenhouse: a non-climatized chamber in which the CO₂ uptake of a number of plants can be determined.
4. Fluorescence-imaging: fluorescence measurement at a distance of a large area of plants.
5. Photosynthesis-sensor: soft-sensor that calculates the CO₂ uptake of a greenhouse based on the ventilation and measurements of the CO₂ concentrations inside and outside the greenhouse.

Growers indicated in two workshops that they consider photosynthesis an important process in the cultivation of their crop. They would like to be able to measure the photosynthesis instantaneously and online. We therefore suggest to continue with the development of a robust and reliable measuring system for crop photosynthesis.

© 2013 Wageningen, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO)

Alle intellectuele eigendomsrechten en auteursrechten op de inhoud van dit document behoren uitsluitend toe aan de Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO). Elke openbaarmaking, reproductie, verspreiding en/of ongeoorloofd gebruik van de informatie beschreven in dit document is niet toegestaan zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DLO.

Voor nadere informatie gelieve contact op te nemen met: DLO in het bijzonder onderzoeksinstituut Wageningen UR Glastuinbouw

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

Wageningen UR Glastuinbouw

Adres : Droevendaalsesteeg 1, 6708 PB Wageningen
: Postbus 644, 6700 AP Wageningen
Tel. : 0317 - 48 60 01
Fax : 0317 - 41 80 94
E-mail : glastuinbouw@wur.nl
Internet : www.glastuinbouw.wur.nl

Inhoudsopgave

	Samenvatting	5
1	Inleiding	7
2	Meettechnieken	9
	2.1 Metingen van de gasuitwisseling van bladeren.	9
	2.2 Fluorescentiemetingen (Plantivity)	10
	2.3 Kas-in-kas	12
	2.4 Fluorescentie-imaging	14
	2.5 Fotosynthese monitor	15
3	Workshops	17
	3.1 Inleiding	17
	3.2 Organisatie	17
	3.3 Resultaten	17
	3.4 Discussie	18
	3.5 Conclusies	19
4	Communicatie	21
5	Discussie en aanbevelingen	23
	5.1 Inleiding	23
	5.2 Meetmethodes	23
	5.3 Draagvlak	24
	5.4 Hoe nu verder?	24

Samenvatting

Het klimaat in een kas wordt zo ingesteld dat een optimale gewasfotosynthese, assimilatenverdeling en plantvorm gerealiseerd kan worden. Om rekening houdend met fysiologische processen energie te kunnen besparen, zullen er op het juiste moment maatregelen moeten worden getroffen die het energieverbruik terug dringen en de plantprocessen optimaal laten verlopen. Om dat goed te kunnen doen, is het van groot belang inzicht te hebben in de directe gevolgen van energiebesparende maatregelen zoals minder belichten, temperatuur verlagen, schermen of ontvochtigen op de plant prestaties, in het bijzonder op de fotosynthese.

In dit verslag wordt een aantal meetmethodes beschreven waarmee de fluorescentie of fotosynthese van een (stukje) blad of een gewas gemeten kan worden. De geschiktheid van iedere methode om gewasfotosynthese te meten en op basis daarvan het kasklimaat te regelen staat hieronder kort samengevat:

1. Gasuitwisseling van bladeren: nauwkeurige metingen van de fotosynthese van een stukje blad, met draagbare meetapparatuur. Is een onderzoeksinstrument, niet robuust genoeg om continu mee te monitoren in een kas.
2. Plantivity: een commercieel verkrijgbare meter die de fluorescentie van een stukje blad meet. Wordt gebruikt als en is geschikt als ondersteuning voor de teler bij het nemen van beslissingen op het gebied van klimaataanpassingen.
3. Kas-in-kas: een niet-geklimatiseerde meetkamer waarin CO₂ opname van een aantal planten gemeten kan worden. Om in de praktijk te gebruiken voor "kleine" planten moet de kamer geklimatiseerd worden.
4. Fluorescentie-imaging: een nog verder te ontwikkelen methode om fluorescentie van afstand te meten aan een groter oppervlakte (50 cm diameter of veelvoud daarvan).
5. Fotosynthese-monitor: een nog verder te ontwikkelen soft-sensor waarmee de CO₂ opname van een kas berekend wordt op basis van ventilatievoud en metingen van de CO₂ concentratie binnen en buiten de kas.

Zoals uit bovenstaande opsomming blijkt is geen van de op dit moment beschikbare meetmethodes representatief voor de fotosynthese van een geheel gewas. De methodes die wel een bepaling zouden kunnen geven van de gewasfotosynthese zijn nog niet uitontwikkeld. Dat betekent dat om het kasklimaat energiezuinig te kunnen regelen op basis van de efficiëntie van het gewas, er een bestaande methode verder uitgewerkt moet worden of een nieuwe methode ontwikkeld moet worden om de efficiëntie van het gewas online, robuust en betrouwbaar te kunnen meten.

In het kader van dit project zijn twee workshops georganiseerd met als titel "Kasklimaatregeling op basis van fotosynthesemetingen: wat zijn de mogelijkheden?", die beide met ca. 25 deelnemers (voornamelijk telers) goed bezocht waren. De workshops bestonden uit een aantal presentaties en een discussie, die gevoerd werd aan de hand van drie vragen:

1. Beschouwt u fotosynthese als een belangrijk proces voor uw gewas?
2. Vindt u het belangrijk de fotosynthese te monitoren?
3. Zou u deze metingen gebruiken om het klimaat op te regelen?

De aanwezige telers beantwoordden de eerste twee vragen volmondig met "ja". Zij gaven aan dat zij fotosynthese als een belangrijk proces beschouwen in de teelt van hun gewas, en dat zij de fotosynthese van hun gewas graag momentaan online zouden willen meten. Op de derde vraag gaven de telers aan dat ze de meetresultaten zeker mee zouden nemen in hun beslissingen hoe ze het klimaat zouden regelen, maar dat ze deze (nog) niet zouden gebruiken om automatisch het kasklimaat te regelen.

De algehele conclusie van de discussie was dat het meten van fotosynthese de klimaatregeling en daarmee de teelt ten goede zou komen, en dat we zeker door zouden moeten met de ontwikkeling van een goed, robuust en betrouwbaar meetsysteem voor de gewasfotosynthese.

1 Inleiding

Het klimaat in een kas wordt zo ingesteld dat een optimale gewasfotosynthese, assimilatenverdeling en plantvorm gerealiseerd kan worden. Hierbij geldt dat licht en CO₂ in de praktijk ingezet worden op basis van de algemene aanname dat meer licht of meer CO₂ tot meer productie leidt. Temperatuur (en in mindere mate luchtvochtigheid) speelt een grote rol in de verdeling van assimilaten over de plant, ontwikkelingsnelheid en strekking, vooral belangrijk voor de kwaliteit van siergewassen.

Om rekening houdend met de fysiologische processen energie te kunnen besparen, zullen er op het juiste moment maatregelen moeten worden getroffen die het energieverbruik terug dringen en de plantprocessen optimaal laten verlopen. Om dat goed te kunnen doen, is het van groot belang inzicht te hebben in de directe gevolgen van energiebesparende maatregelen zoals minder belichten, temperatuur verlagen, schermen of ontvochtigen op de plant prestaties, in het bijzonder op de fotosynthese. Vragen daarbij zijn: is aanzetten van de lampen wel steeds even zinvol of kunnen ze op bepaalde momenten beter (gedeeltelijk) uitgezet worden? Benut de plant het licht altijd even efficiënt? Op welke momenten van de dag speelt dit, en hoe groot zijn de verschillen in het gewas? Wanneer heeft bijvoorbeeld het gewas te veel licht en hoeveel licht kan er dan weg geschermd worden? Dit zijn vragen waarmee bijna elke teelt te maken heeft en waarbij informatie over de efficiëntie van lichtbenutting van het gewas belangrijk is. Vergelijkbare vragen zijn er voor de inzet van CO₂, verwarming en sturing van de luchtvochtigheid. Het is tot op heden niet inzichtelijk voor de tuinder wat energiebesparende maatregelen betekenen voor de plantprestaties, omdat de efficiëntie van het gewas niet direct gemeten kan worden. Hoe efficiënt een gewas omgaat met licht, CO₂, temperatuur en VPD is momentaan te volgen door de gewasfotosynthese te meten. Dit bepaalt hoeveel assimilaten er gevormd worden door het gewas. Hoe deze vervolgens in oogstbaar product worden vastgelegd, verschilt per gewas en gewasgroep, en hangt af van overige klimaatomstandigheden.

Op dit moment zijn er nog geen methodes beschikbaar om in een kas momentaan betrouwbaar de gewasfotosynthese te meten. Er zijn wel methodes beschikbaar om van een stukje blad de fluorescentie, een maat voor de efficiëntie van het electronentransport van de fotosynthese te meten (Plantivity) of om met draagbare fotosynthese-apparatuur de CO₂ opname, de netto fotosynthese van een stukje blad te meten. In de afgelopen paar jaar is er een methode ontwikkeld die van een grotere oppervlakte de fluorescentie kan meten. Echter, deze methode is nog niet in een kas beproefd. Verder is er een methode ontwikkeld om van een aantal planten de CO₂ opname te bepalen door de planten in een afgesloten ruimte te plaatsen, waarbij de CO₂ dosering nauwkeurig geregeld kon worden. Dit systeem functioneert goed, maar de ruimte zou geconditioneerd moeten worden om te kunnen meten onder omstandigheden die vergelijkbaar zijn met het kasklimaat. Tenslotte is een soft sensor ontwikkeld, waarmee zowel de verdamping als de fotosynthese van een kas bepaald zou kunnen worden. Voor de verdamping functioneert het systeem goed. De bepaling van de gewasfotosynthese zal nog gevalideerd moeten worden voordat dit systeem in gebruik genomen zou kunnen worden.

Uit bovenstaande opsomming blijkt dat geen van de op dit moment beschikbare meetmethodes representatief is voor de fotosynthese van een geheel gewas. De methodes die wel een bepaling zouden kunnen geven van de gewasfotosynthese zijn nog niet uitontwikkeld. Dat betekent dat om het kasklimaat energiezuinig te kunnen regelen op basis van de efficiëntie van het gewas, er een methode ontwikkeld moet worden om de efficiëntie van het gewas online, robuust en betrouwbaar te kunnen meten.

In het eerste deel van het project “Energie besparen door sturing van licht en CO₂ op basis van gewasbehoefte” wordt een inventarisatie gemaakt van de beschikbare meetmethodes, en wordt in twee workshops met telers de wenselijkheid en mogelijkheden van het regelen op basis van fotosynthesemetingen besproken. Op basis hiervan worden aanbevelingen gedaan hoe het ontwikkeltraject van een nieuwe meetmethode ingezet zou kunnen worden.

2 Meettechnieken

In dit hoofdstuk wordt een aantal meet- of berekeningsmethodes voor de fotosynthese toegelicht:

1. Metingen van de gasuitwisseling van bladeren
2. Fluorescentiemetingen met één of meerdere puntmetingen per systeem
3. Kas-in-kas
4. Fluorescentie-imaging m.b.v. camerasysteem
5. Fotosynthese van hele kas schatten op basis van de ventilatiemonitor

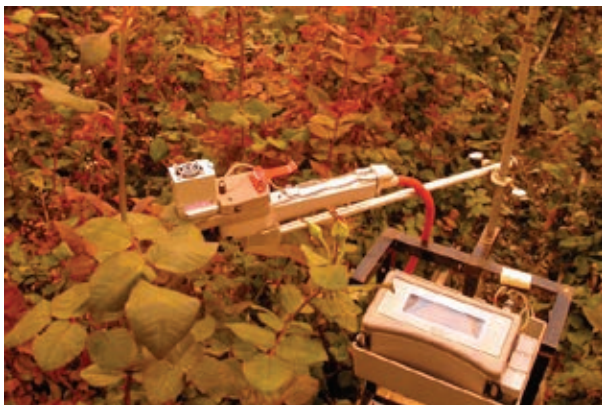
Van elk van deze methoden wordt de huidige stand van zaken beschreven. Zijn ze voldoende robuust om in een kas continu toegepast te kunnen worden? Wat is de frequentie en nauwkeurigheid van de metingen? Wat zijn de voor- en nadelen van de afzonderlijke methodes?

2.1 Metingen van de gasuitwisseling van bladeren.

Wat houdt de methode in?

In het proces van fotosynthese wordt CO_2 door een blad opgenomen en onder invloed van licht omgezet in suikers. De netto bladfotosynthese kan gemeten worden met een draagbare fotosynthesemeter (Figuur 1.). Het blad wordt ingeklemd in een meetkop, waarin de temperatuur geregeld kan worden en de lichtintensiteit gestuurd kan worden met behulp van een lichtbron. Over het blad loopt een luchtstroom, met een ingestelde CO_2 concentratie en een ingestelde dampspanning. Uit het verschil van de CO_2 concentratie en dampspanning van de in- en uitgaande lucht wordt de netto bladfotosynthesesnelheid ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) berekend, evenals de verdampingssnelheid ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) en de geleidbaarheid van de huidmondjes voor waterdamp ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

Bij deze methode wordt de fotosynthese gemeten van 2 tot 6 cm^2 bladoppervlakte. Het stukje blad waaraan gemeten wordt, is over het algemeen niet representatief voor het hele gewas, door de grote variatie in (met name) lichtverdeling in de kas, zowel horizontaal als verticaal. Dit betekent dat om deze metingen op te schalen naar gewasniveau er (model) berekeningen noodzakelijk zijn.



Figuur 1. Metingen met een draagbare fotosynthesemeter aan verschillende gewassen in de kas.

Is deze methode nu bruikbaar in de kas? Zo niet, wat moet er dan nog aangepast worden?

Deze methode is in veel projecten toegepast in de kas, zowel door Wageningen UR Glastuinbouw als door PlantDynamics. Er kan in de kas zowel momentane fotosynthese gemeten worden, waarbij de klimaatomstandigheden in de meetkop vergelijkbaar zijn met die in de kas, als fotosyntheseresponscurves, waarbij de temperatuur, VPD, CO_2 concentratie of het lichtniveau gestuurd kunnen worden.

Deze methode levert nauwkeurige metingen van de fotosynthese van een stukje blad, en wordt veel gebruikt om relaties tussen licht, temperatuur, CO₂ en VPD enerzijds en de fotosynthese anderzijds vast te stellen. Daarmee is het erg goed te gebruiken als onderzoeksinstrument: het laat zien hoe een blad reageert op veranderende klimaatomstandigheden zonder dat het klimaat in de hele kas aangepast moet worden. Daarnaast is deze methode ook veel gebruikt om metingen te doen op bedrijven, om daarmee de telers te adviseren in het regelen van hun kasklimaat. Een aantal voorbeelden die getoond zijn in een van de presentaties op de workshop geven aan dat de luchtvochtigheid in de kas te laag kan zijn, waardoor de huidmondjes sloten en verder belichten geen bijdrage meer leverde aan de fotosynthese. Op basis van dit soort metingen kon een teler zijn belichtingsstrategie aanpassen, of andere aanpassingen doen aan het klimaat om deze huidmondjessluiting te voorkomen.

Wat zijn de voordelen van deze methode (vanuit het perspectief van het continu meten van gewasfotosynthese)?

- o Deze methode meet de CO₂ opname van een blad, dus daadwerkelijk fotosynthese en geen afgeleide.
- o Er is veel ervaring met het meten van fotosynthese met behulp van dit type draagbare fotosynthesemeters.

Wat zijn de nadelen van deze methode (vanuit het perspectief van het continu meten van gewasfotosynthese)?

- o De fotosynthese wordt met een fotosynthesemeter gemeten aan een deel van één blad dat niet noodzakelijkerwijs representatief is voor alle bladeren in die gewaslaag
- o Om een inschatting te krijgen van de gewasfotosynthese is opschaling van de metingen nodig met behulp van modellen.
- o De meetapparatuur is duur en relatief kwetsbaar, en de metingen zijn arbeidsintensief. In voorgaande projecten zijn de meters wel gedurende 24 h in een praktijkkas ingezet, maar dat betekende wel dat er regelmatig storingen optraden, met onbetrouwbare metingen tot gevolg. De meters zijn daarmee in de huidige vorm niet geschikt om permanent routinematig in kassen ingezet te worden.

Hoe kunnen de metingen opgeschaald/vertaald worden naar gewasfotosynthese?

Met behulp van een gewasgroeimodel kunnen fotosynthesemetingen boven in het gewas opgeschaald worden naar de gewasfotosynthese, met behulp van metingen of inschatting van de lichtverdeling in het gewas.

2.2 Fluorescentiemetingen (Plantivity)

Wat houdt de methode in?

De Plantivity meter is een fluorescentie meter. Fluorescentiemetingen maken gebruik van het principe dat geabsorbeerde lichtenergie langs een aantal routes kan worden afgevoerd:

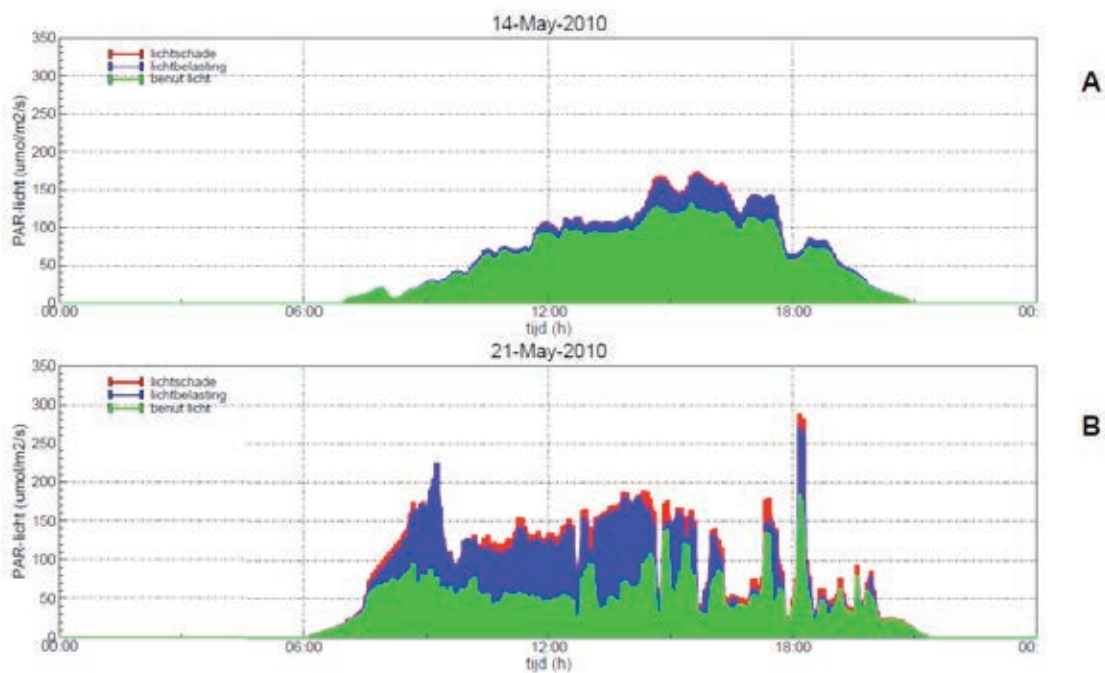
- o via chemische omzettingen (m.n. fotosynthese, fotorespiratie),
- o via warmte,
- o via fluorescentie

Doordat de verhouding tussen deze verschillende routes binnen het tijdsbestek dat de meting duurt (minder dan een seconde) niet noemenswaardig veranderen, kan op basis van een fluorescentiebepaling tijdens omgevingscondities en tijdens een verzadigende lichtintensiteit worden geschat wat de momentane efficiëntie van fotosysteem 2 is. De meting gaat als volgt:

- o Een blad wordt in een bladklem geklemd.
- o De efficiëntie van fotosysteem 2 wordt gemeten voor het stukje blad in de bladklem met behulp van fluorescentie.
- o Op basis van deze meting en de intensiteit van opvallend licht wordt het lineair electronentransport berekend.

Het electronentransport is één van de stappen in het fotosyntheseproses. Om deze stap op te schalen naar een inschatting van de fotosynthese (CO₂ opname door het blad), zijn gegevens nodig over de openingstoestand van de huidmondjes. In de Plantivity zit een rekenmodule per gewas, waarmee op basis van metingen van kasklimaat de stomataire geleidbaarheid (een maat voor de openingstoestand van de huidmondjes) berekend wordt. Op basis van een

combinatie van de fluorescentiemetingen en de berekeningen geeft de Plantivity de inschatting van de fotosynthese weer in een grafiek.



Figuur 2. 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). A laat een ideaalplaatje zien, terwijl B een verre van ideaal beeld toont (Dankers e.a., 2011¹).

In de praktijk wordt de Plantivity al op meerdere bedrijven gebruikt, vaak in een GrowWatch opstelling. Dit is een set sensoren voor temperatuur, luchtvochtigheid, CO₂, PAR licht, bladtemperatuur en een Plantivity meter, met software voor de dataverwerking.



Figuur 3. Metingen met een Plantivity meter aan verschillende gewassen in de kas.

Is deze methode nu bruikbaar in de kas? Zo niet, wat moet er dan nog aangepast worden?

De methode is zeer bruikbaar in de kas en wordt nu ook al regelmatig ingezet (zie bijvoorbeeld de Growsense projecten, of "Grip op licht"). De fluorescentie-meters zijn robuust uitgevoerd en speciaal doorontwikkeld voor monitoring doeleinden (Plantivity). In "Grip op licht" is bovendien een flinke verbetering gemaakt in de aansturing van de Plantivity waardoor nu minder vaak gewisseld hoeft te worden van blad. Bovendien wordt er in het project "Grip op licht" ook verder ontwikkeld om de risicoschatting bij een nieuwe versie van deze meters verder te verbeteren.

1 Dankers, P., E. de Rooij, H. Verberkt, A. Blaakmeer, T. Roovers-Huijbe, S. Pot, G. Trouwborst, 2011. GrowSense 2. Energiebesparing door optimalisatie van de teelfactoren temperatuur, CO₂, licht en VPD op basis van plantreactie.

Wat zijn de voordelen van deze methode (vanuit het perspectief van het continu meten van gewasfotosynthese)?

- o De Plantivitymeters worden al regelmatig gebruikt in de praktijk. Veel telers hebben ze daardoor al eens in gebruik gezien.
- o Er zijn directe contacten met Gademann Instruments (R&D van Walz, waar de Plantivity wordt gemaakt), waardoor mogelijke verbeteringen in de apparatuur of de meetprotocollen snel doorgevoerd kunnen worden in de Plantivity.
- o Er zijn al plannen gemaakt om een 'multiplexer' versie van deze meter te ontwikkelen, een meetapparaat met meerdere meetkoppen die op verschillende plaatsen of verschillende hoogtes in het gewas geplaatst zouden kunnen worden. Dit systeem zou het mogelijk maken fluorescentiemetingen te doen op meerdere plaatsen, hetgeen het bezwaar van één puntmeting verkleint.

Wat zijn de nadelen van deze methode (vanuit het perspectief van het continu meten van gewasfotosynthese)?

- o De Plantivity meet slechts één punt op een blad. Dat betekent dat er dus nog een vertaalslag gemaakt worden richting gewasfotosynthese.
- o De Plantivity meter moet regelmatig (na enkele dagen meten) verplaatst worden, omdat er anders een effect optreedt van de lichtpulsen die gegeven worden om te kunnen meten op de meetresultaten.
- o De Plantivity is daardoor meer geschikt om te gebruiken als sensor om risico's te vermijden (bijvoorbeeld lichtschade bij potplanten) of om de informatie te gebruiken bij het regelen van kasklimaat bij weersovergangen dan als sensor voor de gewasfotosynthese.
- o Met de Plantivity wordt geen CO₂ opname gemeten, maar electronentransport, dat wordt gebruikt als maat voor fotosynthese. Voor de vertaling van electronentransport naar fotosynthese, worden aannames gedaan over de huidmondjesopening, die niet onder alle klimaatcondities opgaan.

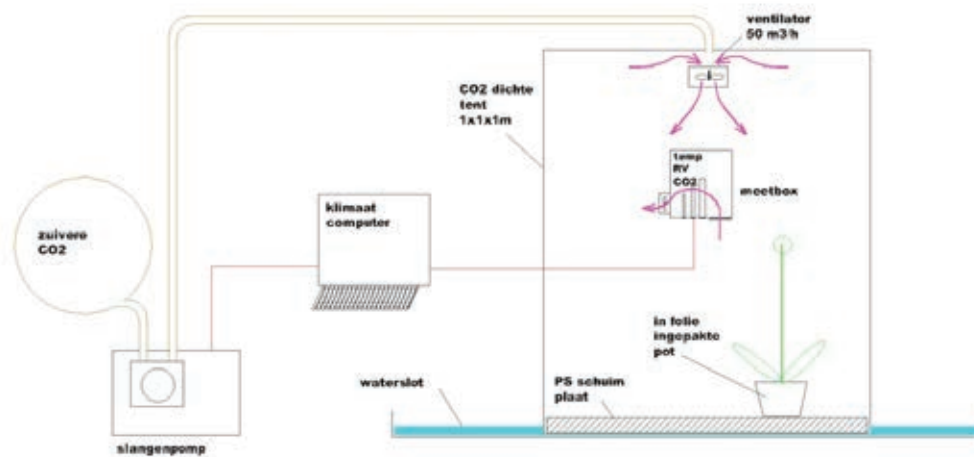
Hoe kunnen de metingen opgeschaald/vertaald worden naar gewasfotosynthese?

In het geval van een multiplexer (d.w.z. 4, 8 of 16 meetkoppen op 1 systeem) kunnen de meetkoppen langs een representatieve verticale as in het gewas gezet worden. Gecombineerd met een schatting van het bladoppervlakte en lichtintensiteit langs dezelfde as kan dan het 'gewas-electronentransport' worden geschat. Wanneer daarbij de aannames en berekeningen over de huidmondjesopening kloppen, is een goede indicatie te verkrijgen van de gewasfotosynthese.

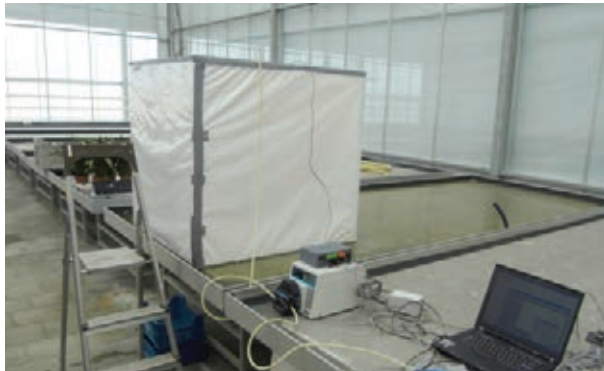
2.3 Kas-in-kas

Wat houdt de methode in?

De kas-in-kas die bij Wageningen UR Glastuinbouw beschikbaar is, is gebouwd voor het project "Meten fotosynthese: van blad tot kas". Het is een relatief eenvoudig meetsysteem dat bestaat uit een frame met omhulling van transparant plastic folie dat vrijwel geheel gesloten is voor CO₂ en water (1 x 1 x 1 m). Met behulp van een CO₂ doseersysteem kan nauwkeurig de CO₂ concentratie in de kas-in-kas gestuurd worden (Figure 4. en 5.). De hoeveelheid CO₂ die gedoseerd wordt, wordt bijgehouden. Op basis van de metingen van concentratie en de hoeveelheid gedoseerd CO₂ kan de opname van CO₂ door het gewas in de kas-in-kas bepaald worden. Uit metingen die tot nu toe gedaan zijn, bleken de metingen van de CO₂ opname (fotosynthese) van Phalaenopsis in dit systeem goed overeen te stemmen met handmatige metingen.



Figuur 4. Schematische weergave van het kas-in-kas ontwerp.



Figuur 5. Meetopstelling met cabine, slangpomp, datalogger en meetbox in cabine.

Is deze methode nu bruikbaar in de kas? Zo niet, wat moet er dan nog aangepast worden?

De kas-in-kas is reeds in een kas gebruikt. Omdat de kas-in-kas constructie die we tot nu toe gebruikt hebben geen temperatuurregeling en VPD regeling heeft, lopen de temperaturen en VPD gedurende de dag zeer hoog op. Dat betekent dat deze kas-in-kas zonder verdere klimatisering niet gebruikt kan worden om betrouwbaar de fotosynthese te meten. Verder wordt het type planten waar aan gemeten kan worden beperkt door de hoogte van de kas-in-kas. Wanneer de kas-in-kas voorzien zou worden van een systeem om de lucht in de kas te koelen en te drogen, zou de kas-in-kas goed te gebruiken zijn om de fotosynthese van planten in een kas te meten.

Wat zijn de voordelen van deze methode (vanuit het perspectief van het continu meten van gewasfotosynthese)?

- o Bij deze methode wordt direct de gewasfotosynthese gemeten. Er is geen opschaling nodig.
- o Wanneer de planten ingezet zijn in het systeem, behoeven de metingen verder nauwelijks arbeid.
- o Metingen aan Phalaenopsis (CAM plant, dus metingen gebeuren 's nachts) gaven aan dat de fotosynthese betrouwbaar gemeten wordt.

Wat zijn de nadelen van deze methode (vanuit het perspectief van het continu meten van gewasfotosynthese)?

- o De kas-in-kas is niet geklimatiseerd. Dat betekent dat de temperaturen en VPD sterk oplopen gedurende de dag, hetgeen afwijkingen in de plantgroei in vergelijking tot planten buiten de kas-in-kas tot gevolg heeft. Verder is levert het transparante folie lichtverlies op, met als gevolg minder groei en meer gestrekte planten.
- o De maat van de planten die gemeten kunnen worden, wordt beperkt door de hoogte van de kas-in-kas.

Hoe kunnen de metingen opgeschaald/vertaald worden naar gewasfotosynthese?

Opschaling is niet nodig, er wordt al gewasfotosynthese gemeten in het kas-in-kas systeem.

2.4 Fluorescentie-imaging

Wat houdt de methode in?

Het principe achter de meting is de bepaling van het functioneren van de fotosynthese van hele planten door het belichten op afstand van de plant met korte lichtpulsjes van led-lampen en het opnemen van beelden van de chlorofylfluorescentie die hierdoor ontstaat met een digitale camera. De fotosynthese zal op deze korte lichtpulsjes reageren en hierdoor zal de chlorofylfluorescentie in sterkte variëren (Kautski-effect). Deze variatie wordt uitgedrukt in F_v , de variabele fluorescentie.

De respons van de plant wordt beeldvormend gemeten met de recentelijk ontwikkelde CF-LED-Camera en wordt weergegeven voor iedere pixel van het beeld (Figuur 6.). Voor donker geadapteerde planten correleert dit met de maximale efficiëntie van de fotosynthese, F_v/F_m (F_m =maximale fluorescentie). Voor planten in het licht correleert dit met de effectieve efficiëntie van de fotosynthese, F_v'/F_m' . F_v/F_m wordt voornamelijk toegepast voor het opsporen van aantastingen aan planten door bijvoorbeeld ziekten, maar ook de effecten van gewasbeschermingsmiddelen. F_v'/F_m' wordt gebruikt als maat voor de fotosynthesecapaciteit van planten van een bepaald genotype en onder bepaalde klimaatcondities. Daarmee zou deze parameter mogelijk gebruikt kunnen worden voor het optimaliseren van het klimaat in de kas.



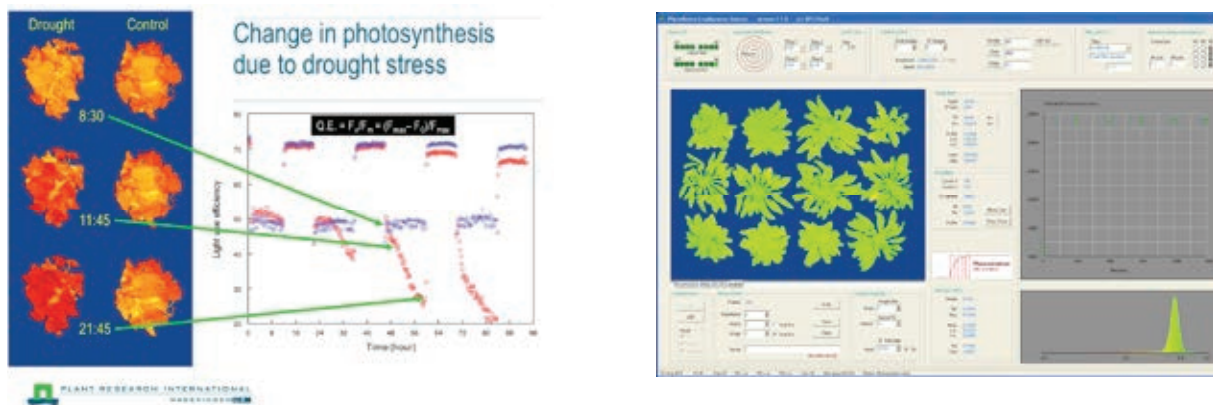
Figuur 6. Op de kleurenopname lijkt de plant gezond. De fluorescentie opname laat verschillen in fluorescentie intensiteit zien, met name aan de bladranden. De meest rechtse opname geeft per pixel F_v/F_m en correleert met de werking van de fotosynthese. De rode gebieden geven schade aan en de groene en gele gebieden zijn gezond.

Is deze methode nu bruikbaar in de kas? Zo niet, wat moet er dan nog aangepast worden?

De methode is bruikbaar in de kas, want de camera kan bij verschillende lichtomstandigheden meten, op afstand van circa 1 á 2 meter. Hierdoor wordt de plant zo weinig mogelijk verstoord. Er hoeft namelijk geen contact te worden gemaakt met de plant, zoals bij andere meetmethodes. De camera kan van plant naar plant worden verplaatst en van iedere plant een opname maken. Een demo versie van de camera heeft 4 maanden storingsvrij gedraaid op de Floriade in het paviljoen van het ministerie van Economische Zaken, "My Green World". Hier heeft de camera onder wisselende lichtomstandigheden de kwaliteit van planten gemeten.

Wat zijn de voordelen van deze methode (vanuit het perspectief van het continu meten van gewasfotosynthese)?

- o Deze nieuw ontwikkelde apparatuur meet de fluorescentie van hele planten of (in geval van gewassen met een hoge LAI) van de bovenste bladlagen van een gewas.
- o De metingen zijn snel en verstoren het gewas niet (omdat er bijvoorbeeld geen blad ingeklemd hoeft te worden).
- o Het in beeld te brengen oppervlak bedraagt nu 50 cm in diameter (Figuur 7.), en kan worden vergroot door de modulaire opzet van de technologie. Voor een groter te meten oppervlak kunnen meerdere modules worden ingezet.



Figuur 7. Twee Hedera planten 4 dagen continu gevolgd in het licht en donker (links). Na één dag is de droogte stress te meten, die de volgende dagen alleen maar groter wordt. Met de nieuwe camera zijn 12 Arabidopsis planten in één beeld te meten, diameter van opname 50 cm met 1.4 Mp camera (rechts).

Wat zijn de nadelen van deze methode (vanuit het perspectief van het continu meten van gewasfotosynthese)?

- o De camera meet niet de CO₂ opname van een blad, maar meet de efficiëntie van fotosysteem II. Om een betere inschatting van de fotosynthese te krijgen, moet ook de PAR instraling gemeten worden, waarmee dan de electronentransportsnelheid gemeten kan worden. Evenals bij de Plantivity kan de electronentransportsnelheid “vertaald” worden naar de fotosynthese, als gegevens of resultaten van berekeningen over de huidmondjesopening bekend zijn.
- o Dit fluorescentie-imaging systeem is nog niet getest onder kasomstandigheden. Het is al wel gebruikt in een opstelling in een klimaatkamer.

Hoe kunnen de metingen opgeschaald/vertaald worden naar gewasfotosynthese?

In het geval van planten van een beperkte omvang (een LAI tot ongeveer 2) geven de metingen een beeld van de fluorescentie van de hele plant, en daarmee van de fluorescentie van het hele gewas. De metingen kunnen opgeschaald worden door ook de PAR te meten en gegevens over de huidmondjesopening te gebruiken om de berekeningen van gewasfotosynthese te maken. Wanneer gemeten worden aan een hoog opgaand gewas met een hoge LAI zal een vertaalslag gemaakt moeten worden naar het hele gewas door eventueel additioneel fluorescentie van de lager gelegen bladlagen te meten.

2.5 Fotosynthese monitor

Wat houdt de methode in?

De fotosynthesemonitor berust op de massabalans van een kas voor CO₂. Deze massabalans kan weergegeven worden als een weegschaal (Figuur 8.). Links op de weegschaal staat de dosering van CO₂. Rechts op de weegschaal staan de gewasfotosynthese, het verlies van CO₂ door ventilatie en de CO₂ ophoping (verhoging van de CO₂ concentratie in de kas). Het verlies aan CO₂ bestaat uit opname van CO₂ door het gewas (fotosynthese) en ventilatieverlies aan CO₂ via de ramen. De aanvoer van CO₂ bestaat uit de CO₂ dosering. De toename van de CO₂ concentratie is het verschil tussen het verlies en de aanvoer van CO₂ en bepaalt de toename of afname van de CO₂ concentratie in de kas.



Figuur 8. CO₂ massabalans van een kas.

Natuurkundig gesproken is de weegschaal altijd in balans. Hiervan wordt bij de fotosynthesemonitor in de berekening van de fotosynthese gebruik gemaakt. Om het ventilatieverlies aan CO₂ te bepalen, wordt gebruik gemaakt van de waarde die de ventilatiemonitor berekent. We gaan er van uit dat de fotosynthese onbekend is. Daarmee is de balans uit evenwicht. Door nu op ieder tijdstip net zolang de opname van CO₂ door de fotosynthese te corrigeren tot de weegschaal weer in evenwicht is, is de fotosynthese te berekenen.

Voor de fotosynthesemonitor zijn de CO₂ concentratie in de kas, de CO₂ dosering, het ventilatievoud en de CO₂ concentratie buiten nodig. De eerste twee worden standaard door de klimaatcomputer geleverd, de derde kan worden berekend door de ventilatiemonitor en voor de vierde is een extra sensor nodig of een aanpassing van de CO₂ meetapparatuur binnen.

Om een goed inzicht te krijgen in kwaliteit van de fotosynthesemonitor zijn metingen van de CO₂ opname van een blad nodig (zie paragraaf 2.1). Deze metingen hoeven niet over een lange periode worden uitgevoerd, enkele dagen met karakteristiek weer is voldoende om de fotosynthesemonitor te valideren.

Recent is de ventilatiemonitor verbeterd door de methode gelijktijdig toe te passen op de energie- en vochtbalans van de kas. De verdamping (eigenlijk verdamping min de condensatie) speelt een belangrijke rol in de energiehuishouding van de kas, het gewas treedt op als een koelmechanisme. Deze aanpassing leidt tot een aanzienlijke verbetering in de kwaliteit van de ventilatiemonitor en de verdampingsmonitor. Deze nieuwe aanpak kan ook simultaan toegepast worden op de energiebalans, vochtbalans en de CO₂-balans.

Is deze methode nu bruikbaar in de kas? Zo niet, wat moet er dan nog aangepast worden?

Om de fotosynthesemonitor in de kas te kunnen gebruiken zijn enkele aanpassingen en aanvullingen nodig. Er is een buiten CO₂ sensor nodig, een buiten RV-sensor en de aansluiting van deze sensoren op de kasklimaatcomputer. Verder moet een extra PC voor de berekeningen aangesloten worden, alles in een LetsGrow omgeving. Voor onderzoeksdoeleinden is een extra CO₂sensor binnen gewenst. Indien het gaat om belichte gewassen, moet de energiebalans van de kas daarop aangepast worden. Belangrijk is dat bij de verdere ontwikkeling van de fotosynthesemonitor ook de nauwkeurigheid van de methode wordt onderzocht. Dit kan gedaan worden door de resultaten van de fotosynthesemonitor te vergelijken met metingen van de CO₂ opname met draagbare fotosyntheseapparatuur (zie paragraaf 2.1) of door een analyse van de doorwerking van onnauwkeurigheden in de sensoren.

Wat zijn de voordelen van deze methode voor dit project?

Deze methode bepaalt de gewasfotosynthese op gewasniveau en een opschaling is niet nodig. Indien de methode voldoende nauwkeurig is, is het eenvoudig te implementeren en is het voor de tuinder in principe onderhoudsvrij (alleen de extra buitensensoren dienen in het gebruikelijke onderhoudsschema te worden opgenomen). De methode is geschikt voor allerlei gewassen en kan ook aangepast worden aan bijvoorbeeld belichte teelten.

Wat zijn de nadelen van deze methode voor dit project?

- o De fotosynthesemonitor is nog niet geïmplementeerd. In vorige projecten bleek het nog niet goed te werken, doordat de daar gebruikte rekenmethode niet geschikt bleek en omdat er te weinig aandacht werd besteed aan de nauwkeurigheid van de gebruikte CO₂-sensoren. De nieuwe rekenmethode is wel geschikt om de fotosynthesemonitor verder mee te ontwikkelen.
- o Tot nu toe is de fotosynthese monitor niet goed getest vooral door probleem met de CO₂ metingen en het is daarom tot nu niet duidelijk hoe nauwkeurig deze methode is.

Hoe kunnen de metingen opgeschaald/vertaald worden naar gewasfotosynthese?

Opschaling is voor deze methode niet nodig, dat zit in de methode.

3 Workshops

3.1 Inleiding

Het meten van fotosynthesekarakteristieken van een gewas is een complex onderwerp, maar het is voor de telers wel van groot belang om over dit proces goed geïnformeerd te zijn. In dit project zijn twee workshops georganiseerd met als titel “Kasklimaatregeling op basis van fotosynthesemetingen: wat zijn de mogelijkheden?”. Het doel van deze workshops is de telers informeren over de stand van zaken van de meetmethoden die nu (gedeeltelijk) beschikbaar zijn, het belang van het continu monitoren van het gewas, en hoe op basis hiervan het klimaat geregeld zou kunnen worden.

3.2 Organisatie

Op 6 en 7 maart 2013 zijn door Wageningen UR Glastuinbouw en PlantDynamics twee workshop “Kasklimaatregeling op basis van fotosynthesemetingen: wat zijn de mogelijkheden?” georganiseerd. Op 6 maart werd de workshop gehouden bij Wageningen UR Glastuinbouw in Bleiswijk. Deze was in eerste instantie bedoeld voor telers van siergewassen en toeleveranciers. Hierbij waren telers van phalaenopsis, roos, anthurium, bougainvillea, calathea, anemonen, paprika en aubergine. Verder waren er vertegenwoordigers aanwezig van Hortimax, Priva, Vakblad voor de Bloemisterij, Groenten&Fruit, studenten van de HAS Den Bosch, het proefcentrum voor de sierteelt in Destelbergen, Proefcentrum Hoogstraten en de coördinatoren van Kas als Energiebron van EZ en PT. Op 7 maart werd de workshop gehouden bij kwekerij Wijnen Square Crops in Grubbenvorst. Hierbij waren 20 paprikatelers aanwezig. Verder waren er telers van tomaat, aardbei, gloriosa en tacca, alsmede een toeleverancier en een adviseur.

Het programma van de workshop was als volgt:

13:30	Ontvangst met koffie
14:00	Opening door dagvoorzitter (Wouter Verkerke, Wageningen UR Glastuinbouw)
14:05	Fotosynthesemetingen in de praktijk (Sander Pot, Plant Dynamics)
14:45	Grip op licht. Plantmonitoring in een teeltproef (Jan Snel, Wanne Kromdijk, Wageningen UR)
15:20	Kasklimaat regelen op basis van fotosynthesemetingen: mogelijkheden en beperkingen (Anja Dieleman, Wageningen UR)
15:40	Discussie o.l.v. Wouter Verkerke
16:30	Afsluiting.

De presentaties staan weergegeven in Bijlage I.

3.3 Resultaten

Presentatie Sander Pot: Fotosynthesemetingen in de praktijk

In deze presentatie werd eerst een inleiding gegeven op het fotosynthesep proces, lichtresponscurves en de regulering van de huidmondjesopening. Daarna werden er voorbeelden gegeven van metingen met de Plantivity en de LiCor-6400 en de effecten van plantleeftijd en moment van de dag op de respons van de fotosynthese op reeksen licht of CO₂.

De vragen bij deze presentatie richtten zich met name op:

- Hoe werkt de fotosynthese bij CAM planten?
- Hoe zit het met het herstel in de nacht, waar moet de plant van herstellen?
- Hoe zit het met de relatie fotosynthese - kwaliteit?
- Wanneer is CO₂ doseren effectief?
- Hoe moet het licht op de dag optimaal benut worden.

Presentatie Jan Snel en Wanne Kromdijk: Grip op licht. Plantmonitoring in een teeltproef

In deze presentatie werden de proeven die nu uitgevoerd worden in het kader van het project “Grip op licht” toegelicht. Het doel van deze proeven is het ontwikkelen van een systeem voor plantmonitoring op basis van chlorofylfluorescentie om lichtschade te voorkomen. In dit project wordt gebruik gemaakt van de Plantivity, en is het meetprotocol van deze Plantivity aangepast om een langere meetduur per plant mogelijk te maken.

De vragen bij deze presentatie richtten zich met name op:

- Verschillen in soorten en rassen in gewasreactie
- Hoe snel reageer je op de metingen van de Plantivity?
- Wat is het effect van het inklemmen van het blad?
- Zou er ook op afstand gemeten kunnen worden?

Presentatie Anja Dieleman: Kasklimaat regelen op basis van fotosynthesemetingen: mogelijkheden en beperkingen

In deze presentatie werd ingegaan op het belang van monitoren om het klimaat optimaal in te stellen. Er werden vijf verschillende methodes van monitoring van de fotosynthese toegelicht: plantivity, fluorescentie-imaging, meten van de CO₂ opname, kas-in-kas en de fotosynthesemonitor van een kas. De voor- en nadelen van alle methodes werden benoemd en er werd beschreven hoe de resultaten van een monitor gepresenteerd zouden kunnen worden.

De vragen bij deze presentatie richtten zich met name op:

- De eisen die er aan een systeem gesteld moeten worden
- In hoeverre de fluorescentie-imaging op te schalen zou zijn
- Er werd aangegeven dat er een werkgroep nodig zou zijn om het ontwikkelproces van een fotosynthesemonitor te begeleiden

3.4 Discussie

De discussie werd op beide dagen gevoerd aan de hand van drie vragen:

1. Beschouwt u fotosynthese als een belangrijk proces voor uw gewas?
2. Vindt u het belangrijk de fotosynthese te monitoren?
3. Zou u deze metingen gebruiken om het klimaat op te regelen?

Ad. 1. Beschouwt u fotosynthese als een belangrijk proces voor uw gewas?

Op deze vraag werd door alle aanwezigen volmondig “ja” geantwoord. Alle aanwezigen realiseerden zich dat de fotosynthese het basisproces is voor de groei, die de bouwstenen moet leveren voor de gewichtstoename van de planten. Hoe belangrijk fotosynthese is in de totale productiewaarde van de plant, verschilt per gewasgroep. Door de telers van paprika, tomaat en aubergine werd fotosynthese direct genoemd als een belangrijk proces voor de aanmaak van assimilaten en daarmee voor de groei en productie. Ook door de telers van alle andere gewasgroepen werd gezegd dat fotosynthese belangrijk is, maar daarbij werden door telers van o.a. rozen en potplanten de kanttekening gemaakt dat de verdeling van de aangemaakte assimilaten van groot belang is voor de plantvorm en de kwaliteit, en dat deze voor een belangrijk deel de waarde van het eindproduct bepalen.

Ad. 2. Vindt u het belangrijk de fotosynthese te monitoren?

Ook op deze vraag werd door de aanwezigen “ja” geantwoord. Een aantal telers gaf aan dat het nodig is om inzicht te hebben in de reacties van het gewas op het klimaat om verder te gaan dan “veilig” te telen. Om het optimale uit het gewas te halen moet je weten wanneer het zin heeft meer uit het gewas te halen door bijvoorbeeld extra CO₂ te geven of meer te belichten, en op welke momenten dat geen zin heeft omdat het gewas niet meer kan dan het al doet. Wat verder werd gesteld is om dit mogelijk te maken er gemeten moet worden. Goed telen is verder ook het zoveel mogelijk voorkomen van fouten. Ook hierbij kan een monitoringstelsel helpen.

De telers gaven aan dat “algemene” metingen aan een gewas en dit in een rapport beschrijven onvoldoende is voor hen. En dat meten beter is dan het gebruiken van tabellen of richtlijnen, omdat daar toch nog een groot deel interpretatie in zit.

Een aantal telers, zowel van siergewassen als van groentegewassen, heeft ervaring met het gebruik van de Plantivity. Op basis van de gegevens van de Plantivity wordt gekeken naar de instellingen van het klimaat, met name op te verwachten stressmomenten zoals bijvoorbeeld weersvergangen. Bij beslissingen als het openen of sluiten van het scherm wordt naar de Plantivity gekeken; bijvoorbeeld als het rode deel in de Figuur te groot is, wordt het scherm gesloten.

De telers met ervaring geven aan dat het tijd kost om inzicht te krijgen in de resultaten van een monitoringssysteem als de Plantivity. Je moet eerst leren van de resultaten, vaker de getallen en figuren gezien hebben, om daarna beslissingen te kunnen nemen op basis van de meetgegevens.

Ad. 3. Zou u deze metingen gebruiken om het klimaat op te regelen?

Op deze vraag gaven de telers aan dat ze meetresultaten van een monitoringssysteem voor fotosynthese zeker mee zouden nemen in hun beslissingen hoe ze het klimaat zouden regelen, met name op momenten van weersvergangen. Echter, ze zouden het nog niet gebruiken om er automatisch het kasklimaat op te regelen. In de beslissing of ze wel of niet (automatisch) het klimaat zouden regelen op basis van een dergelijk monitoringssysteem maakt het uit wat het gemeten oppervlakte is. Zoals (terecht) gesteld werd: “Je gaat niet op basis van een meting van een paar vierkante cm 10 ha kas regelen. Een puntmeting is geschikt om gewasreacties te meten, maar een puntmeting zal nooit leiden tot aanpassingen in het kasklimaat”.

De telers die aangeven dat ze het graag zouden willen gebruiken, willen het gebruiken om hun klimaatregeling (handmatig) te verbeteren, fouten uit de regeling te halen, en er mee te “spelen”: dingen uitproberen in de klimaatregeling en kijken naar het effect op het gewas.

In de presentatie waren een aantal eisen aan het monitoringssysteem opgesomd. Door de telers werden additioneel nog een aantal eisen genoemd:

- o Het moet een meter zijn die het blad niet raakt (want er is effect van aanraken op de plant);
- o De meter kan het beste gebruikt worden in combinatie met andere typen meters (bijvoorbeeld de sapstroommeter)
- o Als een klein oppervlakte gemeten wordt zijn meerdere meters nodig (om meerdere plaatsen in de kas te kunnen meten)
- o De monitor moet gekoppeld kunnen worden aan de klimaatcomputer (geldt nog niet voor de plantivity, dus moet je er veel moeite voor doen om de resultaten van de plantivity te linken aan de schermopening, buistemperatuur, belichting, etc.)

3.5 Conclusies

In het kader van dit project zijn twee workshops georganiseerd met als titel “Kasklimaatregeling op basis van fotosynthesemetingen: wat zijn de mogelijkheden?”, die beide met ca. 25 deelnemers (voornamelijk telers) goed bezocht waren. De aanwezige telers gaven aan dat zij fotosynthese als een belangrijk proces beschouwen in de teelt van hun gewas, en dat zij de fotosynthese van hun gewas graag momentaan online zouden willen meten. Een aantal telers deelde hun ervaringen met het meetsysteem dat zij op hun bedrijf nu gebruiken (Plantivity), hetgeen de discussie ook voor de overige telers zeer aantrekkelijk maakte. Naar aanleiding van deze praktijkvoorbeelden was de algehele conclusie dat het meten van fotosynthese de klimaatregeling en daarmee de teelt ten goede kwam, en dat we zeker door zouden moeten met de ontwikkeling van een goed, robuust en betrouwbaar meetsysteem voor de gewasfotosynthese. De eerste vrijwilligers om mee te denken in dit proces boden zich tenslotte ook nog aan.

4 Communicatie

Naar aanleiding van de workshops zijn de volgende artikelen verschenen:

Visser, P., 2013. Sturen op fotosynthese. Groenten & Fruit website, 2013-03-14

Sleegers, J., 2013. Op weg naar de volautomatische kas. Vakblad voor de bloemisterij 68(13): 32-33

Vegter, B., 2013. Betere teelt door sturen via fotosynthese-monitor. Vakblad voor de bloemisterij 35: 32-33

Op het Energiek Event 2013 is een poster over dit project gepresenteerd:

Dieleman, A., S. Pot, J. Snel, H. Jalink, J. Bontsema, P. van Weel en W. Kromdijk, 2013. Kasklimaatregeling op basis van fotosynthese-metingen: wat zijn de mogelijkheden? Poster EnergiekEvent, 18 april 2013.



Achtergrond
Het klimaat in de kas moet zo ingesteld worden dat een optimale gewasfotosynthese, assimilatieverdeling en plantvorm gerealiseerd kan worden. Vragen die hierbij spelen zijn wanneer en hoeveel CO₂ gedoseerd moet worden, wat de efficiëntie van de belichting gedurende de dag is, of er licht weggeschermd moet worden en welke temperatuurstrategie gekozen moet worden. Om de efficiëntie van het gewas vast te stellen, zou continu de fotosynthese gemeten moeten kunnen worden.

- Doelstelling**
- Verder ontwikkelen van een robuust en betrouwbaar meetstelsel voor de fotosynthese-snelheid van een gewas op basis van bestaande methodes.
 - Het kasklimaat op een energie-efficiënte manier optimaal afstemmen op de fotosynthese.

Resultaten
Er zijn verschillende meetmethodes beschikbaar, waarmee de fotosynthesekarakteristieken van een (stukje) blad, enkele planten of een hele kas met gewas gemeten en/of berekend kunnen worden. Hieronder volgen korte omschrijvingen van een aantal van deze meetmethodes:

1. Fluorescentiemetingen van een stukje blad (Plantivity)
De energie van licht dat door het blad geabsorbeerd wordt, kan gebruikt worden voor de fotosynthese, of kan via afgifte van warmte of fluorescentie afgevoerd worden. Door de fluorescentie te meten, is een goede inschatting te maken van de efficiëntie van de fotosynthese. Dit wordt gedaan door een stukje blad in te klemmen en een verzadigende lichtpuls te geven. Op basis hiervan en de heersende lichtintensiteit wordt de efficiëntie van het elektronentransport berekend.



Figuur 1. Plantivity

2. Metingen van de CO₂ opname van een stukje blad
In de fotosynthese wordt CO₂ door het blad opgenomen en onder invloed van licht omgezet in suiker. Met een draagbare fotosynthesemeter kan de opname van CO₂ gemeten worden. Door licht, temperatuur of CO₂ concentratie in de meetkamer te wijzigen, zijn relaties tussen de klimaafdoeren en de fotosynthese vast te stellen.



Figuur 2. Portabele fotosynthesemeter

3. Fluorescentie-imaging
In de kas worden op afstand lichtputten aan planten gegeven met LED lampen. De fluorescentiebeelden worden opgenomen met digitale camera's die in de kas zouden kunnen bewegen. Daarmee wordt een inschatting gegeven van de fotosynthese-efficiëntie van hele planten.



Figuur 3. Fluorescentie-opname aan verschillende intensiteiten van de fluorescentie (rood) en efficiëntie van de fotosynthese (groen) die wordt aan de planten.

4. Kas-In-kas
De kas-in-kas is een afgesloten ruimte, waarin planten geplaatst kunnen worden. Door nauwkeurig CO₂ te doseren en de CO₂ concentratie te meten, kan de fotosynthese van een aantal planten bepaald worden.



Figuur 4. Schematische weergave van de kas-in-kas. Metingen bij Plantenoplossing laten goede resultaten zien.

5. Fotosynthese monitor
Deze 'soft sensor' maakt gebruik van de CO₂ balans in de kas: CO₂ dosering aan de ene kant en aan de andere kant verlies door ventilatie, opname door het gewas en veranderingen in de CO₂ concentratie in de kas. Met goede CO₂ metingen binnen en buiten, kan deze soft sensor de opname van CO₂ door het gewas, de fotosynthese, van de hele kas berekenen.



Figuur 5. CO₂ balans van de kas als basis voor de berekening van de fotosynthese van het gewas.

Conclusies
In workshops gaven telers aan geïnteresseerd te zijn in het monitoren van de fotosynthese, en deze metingen te willen betrekken bij het regelen van het kasklimaat. Een of meerdere van de bestaande methodes zullen doorontwikkeld moeten worden tot een robuuste en betrouwbare meetmethode voor de gewasfotosynthese.

Dankwoord
Dit onderzoek wordt gefinancierd door Productieschap Tuinbouw en het Ministerie van Economische Zaken in het programma Kaskas Energieklimaat.

Wageningen UR Oostlandbouw
Postbus 644, 6700 AP Wageningen
Contact: arg.dieleman@wur.nl
T 0317 482228
www.glastuinbouw.nl

PlantEnergy
Contact: Sander Pot, sander.pot@plant-energy.nl
T +31 206 23 88 22 25
www.pot@plant-energy.nl

5 Discussie en aanbevelingen

5.1 Inleiding

Om rekening houdend met plantenfysiologische processen voor groei en ontwikkeling energie te kunnen besparen, zullen er op het juiste moment maatregelen moeten worden getroffen die het energieverbruik terug dringen en de plantprocessen optimaal laten verlopen. Dit kan alleen op een verantwoorde manier gedaan worden, als het mogelijk is inzicht te krijgen in de directe gevolgen van energiebesparende maatregelen zoals minder belichten, temperatuur verlagen, schermen, ontvochtigen (door ventileren of via gecontroleerde buitenluchtaanzuiging) etc. op de plant prestaties, in het bijzonder op de fotosynthese.

Met een betrouwbare meetmethode die continu de gewasfotosynthese meet, zou het kasklimaat optimaal op de fotosynthese afgestemd kunnen worden. Dit biedt mogelijkheden om een afweging te maken van de kosten en baten van klimaatfactoren als belichting, schermen, ventileren, CO₂ dosering en ontvochtigen. Als continu de fotosynthese van het gewas bekend is, kunnen de CO₂ dosering, belichting en regeling van het vochtdeficiet worden aangepast op momenten dat de fotosynthese niet efficiënt verloopt. Hiermee kan dan op basis van plantmetingen energie bespaard worden.

In 2012 is daarom door Wageningen UR Glastuinbouw en PlantDynamics een projectvoorstel geschreven "Energie besparen door sturing van licht en CO₂ op basis van gewasbehoefte". Dit project had als doel te komen tot 15-20% energiebesparing en 50% reductie in CO₂ emissie. Van dit project is het eerste werkpakket goedgekeurd, waarin een inventarisatie gemaakt zou worden van de beschikbare meetmethodes en waarin met telers de wenselijkheid en mogelijkheden van het regelen van het kasklimaat op basis van fotosynthesemetingen zou worden besproken in een aantal workshops.

5.2 Meetmethodes

Zoals in dit rapport staat beschreven zijn er verschillende methodes ontwikkeld of nog in ontwikkeling om fluorescentie of fotosynthese van (stukjes van) bladeren, van planten of van een gewas in een kas te meten. De geschiktheid van iedere methode om gewasfotosynthese te meten en op basis daarvan het kasklimaat te regelen staat hieronder kort samengevat:

1. Gasuitwisseling van bladeren: nauwkeurige metingen van de fotosynthese van een stukje blad, met draagbare meetapparatuur. Is een onderzoeksinstrument, niet robuust genoeg om continu mee te monitoren in een kas.
2. Plantivity: een commercieel verkrijgbare meter die de fluorescentie van een stukje blad meet. Wordt gebruikt als en is geschikt als ondersteuning voor de teler bij het nemen van beslissingen op het gebied van klimaataanpassingen.
3. Kas-in-kas: een niet-geklimatiseerde meetkamer waarin CO₂ opname van een aantal planten gemeten kan worden. Om in de praktijk te gebruiken voor "kleine" planten moet de kamer geklimatiseerd worden.
4. Fluorescentie-imaging: een nog verder te ontwikkelen methode om fluorescentie van afstand te meten aan een groter oppervlakte (50 cm diameter of veelvoud daarvan).
5. Fotosynthese-monitor: een nog verder te ontwikkelen soft-sensor waarmee de CO₂ opname van een kas berekend wordt op basis van ventilatievoud en metingen van de CO₂ concentratie binnen en buiten de kas.

Zoals uit bovenstaande opsomming blijkt is geen van de op dit moment beschikbare meetmethodes representatief voor de fotosynthese van een geheel gewas. De methodes die wel een bepaling zouden kunnen geven van de gewasfotosynthese zijn nog niet uitontwikkeld. Dat betekent dat om het kasklimaat energiezuinig te kunnen regelen op basis van de efficiëntie van het gewas, er een bestaande methode verder uitgewerkt moet worden of een nieuwe methode ontwikkeld moet worden om de efficiëntie van het gewas online, robuust en betrouwbaar te kunnen meten.

5.3 Draagvlak

In het kader van dit project zijn twee workshops georganiseerd met als titel “Kasklimaatregeling op basis van fotosynthesemetingen: wat zijn de mogelijkheden?”, die beide met ca. 25 deelnemers (voornamelijk telers) goed bezocht waren. De workshops bestonden uit een aantal presentaties en een discussie, die gevoerd werd aan de hand van drie vragen:

1. Beschouwt u fotosynthese als een belangrijk proces voor uw gewas?
2. Vindt u het belangrijk de fotosynthese te monitoren?
3. Zou u deze metingen gebruiken om het klimaat op te regelen?

De aanwezige telers beantwoordden de eerste twee vragen volmondig met “ja”. Zij gaven aan dat zij fotosynthese als een belangrijk proces beschouwen in de teelt van hun gewas, en dat zij de fotosynthese van hun gewas graag momentaan online zouden willen meten. Op de derde vraag gaven de telers aan dat ze de meetresultaten zeker mee zouden nemen in hun beslissingen hoe ze het klimaat zouden regelen, maar dat ze deze (nog) niet zouden gebruiken om automatisch het kasklimaat te regelen.

De algehele conclusie van de discussie was dat het meten van fotosynthese de klimaatregeling en daarmee de teelt ten goede zou komen, en dat we zeker door zouden moeten met de ontwikkeling van een goed, robuust en betrouwbaar meetsysteem voor de gewasfotosynthese. Daarnaast boden zich al telers aan voor een begeleidingsgroep voor het ontwikkelen van een fotosynthese meetsysteem.

5.4 Hoe nu verder?

In 2012 is het projectvoorstel “Energie besparen door sturing van licht en CO₂ op basis van gewasbehoefte” geschreven door Wageningen UR Glastuinbouw en PlantDynamics. Hiervan is het eerste werkpakket goedgekeurd, waarin een inventarisatie gemaakt zou worden van de beschikbare methodes om (gewas)fotosynthese te meten en waarin met telers de wenselijkheid van het regelen van het kasklimaat op basis van fotosynthesemetingen zouden worden besproken. De resultaten van dit werkpakket staan beschreven in dit rapport.

Uit de workshops is duidelijk gebleken dat er onder telers voldoende draagvlak voor het (verder) ontwikkelen van methodes om de gewasfotosynthese te meten. De informatie die deze methodes opleveren willen zij gebruiken in hun beslissingen hoe ze hun kasklimaat gaan regelen. Eerst willen zij ervaring op doen met deze methodes, pas daarna komt de vraag aan de orde of zij deze methodes zullen gebruiken om automatisch het kasklimaat te gaan regelen.

Dat betekent dat het zinvol is verder te gaan met het ontwikkelen van methodes om de gewasfotosynthese te meten. Van de 5 methodes die beschreven zijn in dit rapport (Plantivity, handmatige fotosynthesemetingen, fluorescentie-imaging, kas-in-kas en fotosynthese monitor) lijkt het het meest zinvol ons te richten op de fluorescentie-imaging en de fotosynthese monitor. Immers, met de Plantivity is in de praktijk al veel ervaring opgedaan, de methode wordt thans al verder geoptimaliseerd in het project “Grip op licht” en het blijven metingen aan een klein stukje blad; de handmatige fotosynthesemetingen zijn niet robuust genoeg voor continu gebruik in de kas en de kas-in-kas sluit planten in een in ruimte waarin het klimaat altijd zal verschillen van het werkelijke kasklimaat. Voor de telers was een groot voordeel van de fluorescentie-imaging dat bladeren niet ingeklemd hoeven te worden, en dat het systeem in een kas mobiel gemaakt kan worden en dat daarmee een groot oppervlakte gemeten kan worden. Om een maat te hebben voor de fotosynthese van het gewas, is het overigens voldoende om één meetwaarde te hebben van dit oppervlakte, een “image” is niet noodzakelijk. Dat is met de bestaande technieken goed mogelijk. De fotosynthese monitor heeft als voordeel dat het de echte CO₂ opname van het gewas meet, dat er geen additionele metingen nodig zijn, dat het een robuust systeem is en dat de gegevens die deze soft sensor oplevert makkelijk te koppelen zijn aan de klimaatdata. Op termijn zou hiermee makkelijk geregeld kunnen worden.

Wij stellen daarom voor om in een vervolgproject de methodes “fluorescentie-imaging” en de “fotosynthese monitor” verder te ontwikkelen en beproeven. Dit traject zal nauw begeleid moeten worden door een aantal telers die een goed idee hebben hoe ze deze systemen in hun eigen teelt zouden willen gebruiken.

