



Metten van de fotosynthese: van plant tot kas

Anja Dieleman, Steven Driever, Peter van Weel en Jan Bontsema



© 2010 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
	1.1	Efficiënt gebruik van zon, CO ₂ en energie 7
	1.2	Metten van de fotosynthese 7
	1.3	Opzet van dit onderzoek 7
2	Ontwerp en testen van de meetkamer voor CO ₂ opname	9
	2.1	Vraagstelling 9
	2.2	Gebuurde materialen 9
	2.3	Test lekdichtheid cabine 11
	2.4	Meting met 10 Phalaenopsis planten in de cabine 12
	2.5	Metingen met 10 Bromelia planten in de cabine 16
	2.6	Opmerkingen 17
	2.7	Conclusie 18
3	Workshop	19
	3.1	Inleiding 19
	3.2	Organisatie 19
	3.3	Resultaten 19
	3.4	Conclusies 21
4	Discussie en aanbevelingen	23
Bijlage I	Presentaties op de workshop	25

Samenvatting

Om het zonlicht gedurende de dag en het seizoen zo efficiënt mogelijk te benutten en om de beschikbare hoeveelheid CO₂ en energie zo goed mogelijk in te zetten, is het van belang continu te weten wat de status van een gewas is. Het meest geschikte proces om direct de effecten van klimaat te monitoren is de fotosynthese. Met de methoden die nu gebruikelijk zijn om de fotosynthese te meten of te schatten, wordt over het algemeen slechts een deelproces van de fotosynthese van een blad of een gedeelte van een blad bepaald. De waarden die dit oplevert, zijn niet voldoende representatief voor de fotosynthese van het hele gewas.

Om het mogelijk te maken de fotosynthese van een aantal planten te meten is een eenvoudig prototype van een meetkamer gebouwd, waarin de CO₂ opname gedurende de nacht en de afgifte van CO₂ gedurende de dag van *Phalaenopsis* is bepaald. Deze meetkamer is 1 m x 1 m x 1 m groot, en is CO₂ lekvrij. Omdat het een eenvoudig ontwerp is, is geen koeling of ventilatie aangebracht. In de meetkamer kan zuivere CO₂ gedoseerd worden. Het klimaat in de meetkamer en de hoeveelheid CO₂ die gedoseerd worden, worden continu geregistreerd. Uit het verloop van de CO₂ concentratie en de hoeveelheid CO₂ die gedoseerd wordt, is de CO₂ opname of afgifte door het gewas te berekenen.

De meetkamer is getest door de CO₂ opname en afgifte van 10 *Phalaenopsis*planten gedurende enkele dagen te volgen. Het bleek dat de meetkamer in staat is om de CO₂ opname gedurende de nacht per tijdseenheid van 10 minuten goed in beeld te brengen. De gemeten waarden stemmen goed overeen met handmatige fotosynthesemetingen uit eerdere experimenten. Omdat er geen koeling en ventilatie in de meetkamer zijn aangebracht, liep de temperatuur op tot ca. 40 °C en was de luchtvochtigheid permanent hoger dan 90%. Om ook overdag goed de fotosynthese te kunnen meten, zou het goed zijn de meetkamer voor vervolgmetingen uit te rusten met koeling en ontvochtiging.

In de workshop "Optimalisatie van de gewasfotosynthese: meettechnieken en sturing door klimaat" die op 8 juli 2010 gehouden is, werd een inleiding gegeven over de processen van de fotosynthese en hoe deze te meten zijn. Verder werden de resultaten van de metingen met *Phalaenopsis* in de meetkamer toegelicht. In de discussie werd door telers en voorlichters aangegeven dat zij het continu monitoren van het gewas belangrijk vinden. Daarbij is het van groot belang hoe de meetwaarden geïnterpreteerd moeten worden. Alleen een waarde als output is van een meting is niet voldoende, deze waarde moet duidelijk maken of ingrijpen in het klimaat al dan niet nodig is. Hiervoor zal de ondersteuning van ervaringsdata, rekenregels of een model nodig zijn. Uit de discussie met de telers bleek ook dat de stapjes die genomen moeten worden om te komen tot het continu monitoren van gewasfotosynthese klein moeten zijn, en dat de telers bij al die stappen goed betrokken zouden moeten worden om ze mee te nemen in het proces. Alleen dan is het mogelijk een fotosynthesemonitor te realiseren die door telers goed gebruikt kan en zal worden om daarmee het uiteindelijke doel van een efficiënte kasklimaatregeling te realiseren.

1 Inleiding

1.1 Efficiënt gebruik van zon, CO₂ en energie

Om zo efficiënt mogelijk gebruik te maken van zonlicht, CO₂ en energie, moet het gewas continu gemonitord worden, zodanig dat op het juiste moment maatregelen kunnen worden genomen die de efficiëntie verhogen zonder nadelige effecten op de groei van het gewas. Het is tot op heden niet inzichtelijk voor de tuinder wat energie besparende maatregelen betekenen voor de plant prestaties, omdat de efficiëntie van het gewas niet direct gemeten wordt. De opname van CO₂ door het gewas en de door het gewas geabsorbeerde instraling kunnen informatie geven over de efficiëntie van de plant. De fotosynthese en respiratie bepalen voor de plant respectievelijk de beschikbare hoeveelheid en de omzetting van assimilaten die kunnen worden gevormd tot een oogstbaar product

1.2 Meten van de fotosynthese

Momenteel is het in de praktijk niet mogelijk om inzichtelijk te maken in hoeverre genomen (energie besparende) maatregelen een effect hebben op fotosynthese en respiratie en daarmee de efficiëntie van de plant. Omdat fotosynthese en respiratie aan de basis staan van het productie proces is het van belang van een gewas continu te weten wat de fotosynthesesnelheid is om op die manier de effecten van maatregelen te kunnen overzien.

Tot nu toe zijn er methoden beschikbaar om de fotosynthese nauwkeurig te meten of te schatten door middel van CO₂-opname en -afgifte of met behulp van (continue) chlorofylfluorescentie metingen. Het grote nadeel hiervan is echter dat deze over het algemeen slechts een gedeelte van een blad meten of de fotosynthese eigenschappen van het blad meten. Er bestaan methoden om deze metingen op te schalen naar een geheel gewas, waardoor gewasfotosynthese te berekenen is, maar dit vereist een reeks nauwkeurige aanvullende metingen en berekeningen. In de praktijk is deze methode daarom niet direct toepasbaar en zou het wenselijk zijn om de actuele fotosynthesesnelheid van het hele gewas direct te meten met een simpele en betrouwbare methode, bij voorkeur onder kasomstandigheden. Eerder onderzoek door Hansen et al (1996) en Körner et al (2007) heeft aangetoond dat fotosynthese van een gewas te bepalen is in een speciaal ontwikkelde kas binnenin een kas. In verschillende eerdere onderzoeken (o.a. Bontsema *et al.*, 2007) is getracht CO₂ opname en afgifte van een gehele kas te monitoren, om hieruit gewasfotosynthese te berekenen. Deze onderzoeken geven aan dat er mogelijkheden zijn om fotosynthese van een heel gewas te meten.

1.3 Opzet van dit onderzoek

In dit project wordt een prototype van een meetkamer gebouwd en getest, waarin de CO₂ opname gedurende de dag en de afgifte van CO₂ gedurende de nacht van *Phalaenopsis* wordt bepaald. Daarna wordt een workshop gewasfotosynthese georganiseerd voor telers en voorlichters waarin het proces gewasfotosynthese en hoe dit goed gemeten kan worden, wordt uitgelegd en waarin de resultaten van de meetkamer worden toegelicht. In dit rapport worden de resultaten van de meetkamer en de workshop beschreven.

In een mogelijk vervolg van dit project kan de meetkamer verder ontwikkeld worden om ook overdag gebruikt te kunnen worden om de CO₂ opname door planten te bepalen. Daarnaast kan een online gewasfotosynthesemonitor op kasniveau ontwikkeld worden. Indien deze meetmethoden voldoende robuust blijken te zijn, kunnen de effecten van teeltmaatregelen, zoals het inzetten van belichting op de gewasfotosynthese en lichtbenuttingsefficiëntie getest worden met behulp van deze methoden. Hiermee kan het uiteindelijke doel van het onderzoek, namelijk het verhogen van de efficiëntie van zon, CO₂ en energie door monitoring van de gewasstatus gerealiseerd worden.

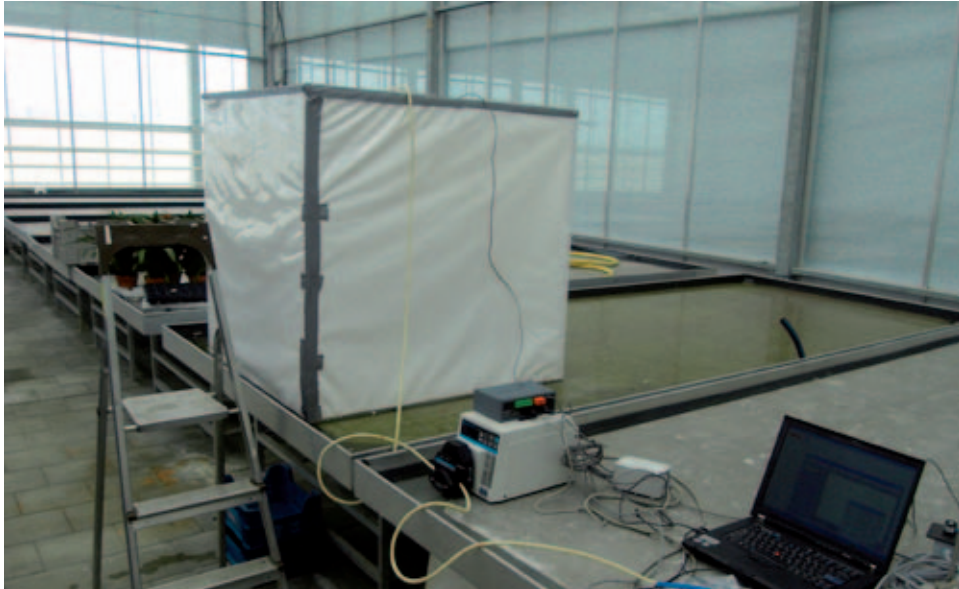
2 Ontwerp en testen van de meetkamer voor CO₂ opname

2.1 Vraagstelling

Het meten van de CO₂ consumptie van een gewas geeft een direct beeld van het effect van klimaatingrepen. Hoe korter de interval tijd waarmee die consumptie bepaald kan worden, hoe groter de kans dat de effecten van dynamische veranderingen zoals aanzetten van belichting, het openen van ramen of schermen enz., ook gemeten kunnen worden. Tot nu toe bestaat er alleen demogelijkheid om met een fotosynthesemeter van een (deel van) een blad te meten hoe de gasuitwisseling verloopt. Om dit te vertalen naar een hele plant is complex en voor praktijkmetingen vrijwel niet uitvoerbaar. Daarom wordt gezocht naar een meetopstelling waarmee voor hele planten en liefst in een praktisch bruikbare methode, de CO₂ consumptie gemeten kan worden. In principe bestaat zo'n meetopstelling al in onderzoekslabs in de vorm van een klein kasje dat volledig gesloten is en waarvan het binnenklimaat zoveel mogelijk gelijk wordt gehouden aan de kas waarin dit kleine kasje geplaatst wordt. Dit soort meetinstrumenten zijn nogal complex, onderhoudsgevoelig en duur. Gezien de grote hoeveelheid luchtbeweging die binnen zo'n kasje nodig is om de zonnearmte af te voeren kan bovendien de vraag gesteld worden hoe representatief zo'n meting nu eigenlijk is. Zolang er weinig tot geen instraling is kan wellicht worden volstaan met een veel eenvoudiger meetcabine. Voor CAM planten kan dan wellicht de CO₂ consumptie bij donker worden bepaald. Om voor dit doel een test uit te voeren is een ontwerp voor een dergelijke cabine gemaakt. Het doel van dit onderzoek is om de perspectieven daarvan te onderzoeken. Als dit lukt kan van daaruit wellicht kennis worden vergaard waarmee een betaalbaar ontwerp voor een complexere meetcabine voor de dagsituatie worden gemaakt.

2.2 Gebruikte materialen

- Cabine 1 m x 1 m x 1 m, CO₂ dicht, opgesteld in een bak met water voor luchtdichte onderafsluiting. Zijkanten melkwitte folie, bovenzijde transparante acrylplaat. Bovenin de cabine een EBMPAPST type 8526 VWR circulatieventilator met een debiet van 50 m³/uur. Deze cabine is in een kasafdeling geplaatst.
- Meting CO₂, temperatuur en RV bovenin de cabine met meetbox.
- Dosering zuivere CO₂ (bij atmosferische druk) met slangenpomp type: Masterflex LS computerized, model 7550-22 met een pompkop model 77202-60 en een Norprene slang type 06402-25. Debiet op een vaste waarde ingesteld van 19,33 l/min. Aan-uit geschakeld met een Hoogendoorn klimaatcomputer op basis van de gemeten CO₂ waarde in de cabine.



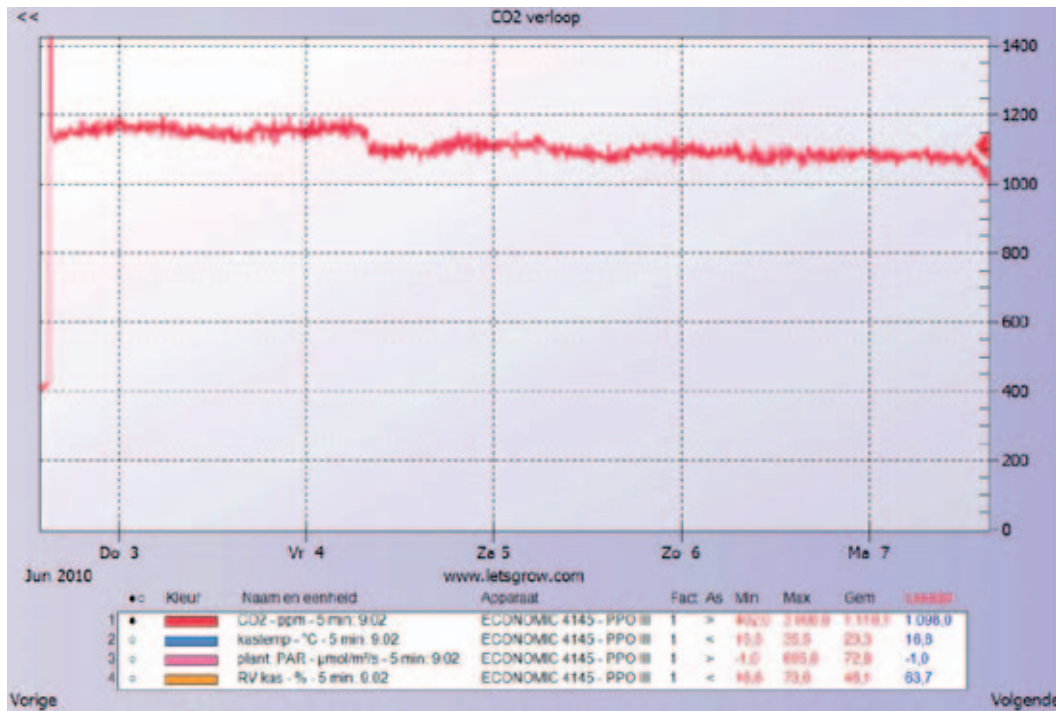
Figuur 1. Meetopstelling met cabine, slangenpomp, datalogger en meetbox in cabine



Figuur 2. Bovenaanzicht cabine met meetbox, circulatieventilator en 10 planten

2.3 Test lekdichtheid cabine

Gedurende een aantal dagen is in de cabine de CO₂ concentratie gemeten zonder planten. Vooraf was de cabine inhoud op 1150 ppm gebracht. Na 1,5 dag is de cabine even wat opgetild waardoor ongeveer 50 ppm verloren ging. Over de meetperiode van 5 dagen werd geen meetbare lekkage van CO₂ via de wanden vastgesteld.

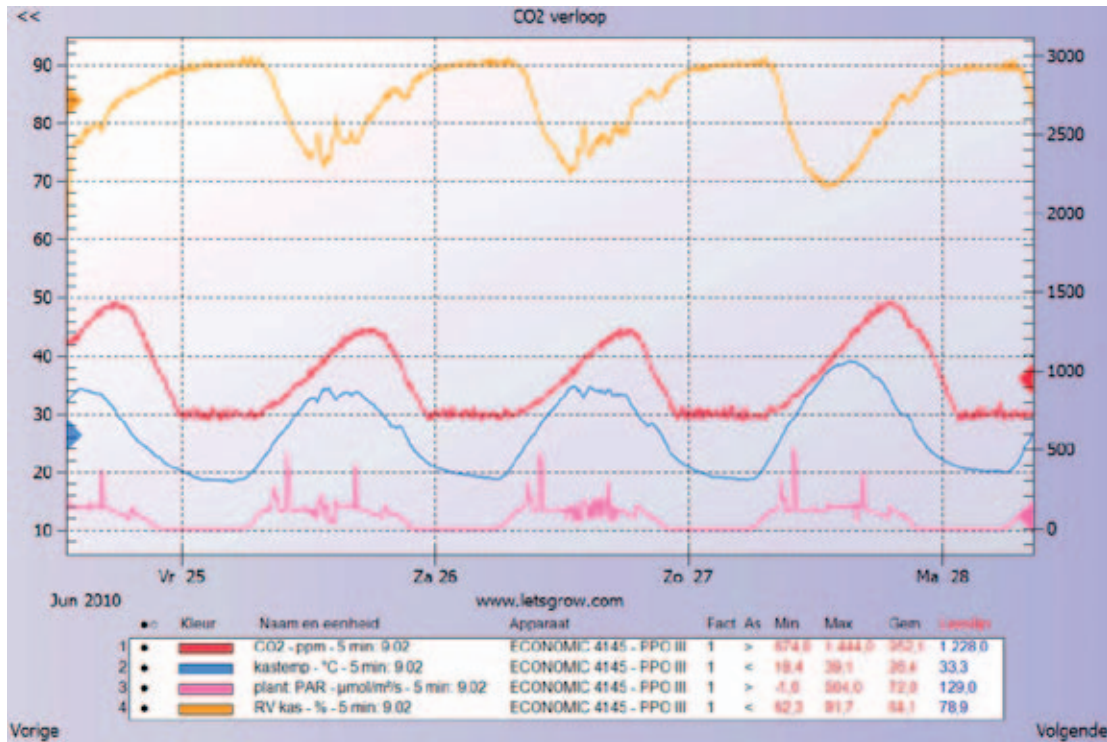


Figuur 3. Verloop van de CO₂ concentratie in de cabine zonder planten.

2.4 Meting met 10 Phalaenopsis planten in de cabine

Gedurende 4 dagen/nachten zijn er op de oppervlakte van 1 x 1 m 10 bloeiende Phalaenopsis planten geplaatst met totaal bladoppervlak van 5690 cm². Over de hele periode werd gestreefd naar een CO₂ concentratie in de cabine van 720 ppm.

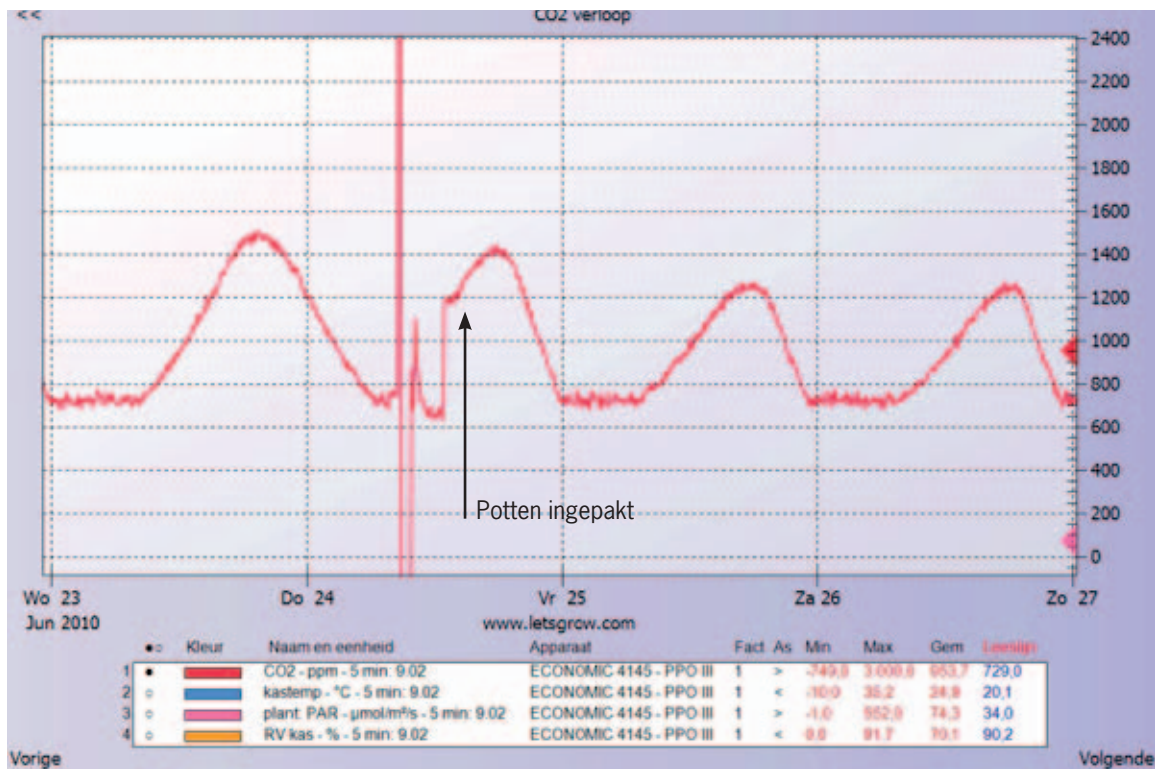
Het klimaat in de cabine zag er als volgt uit:



Figuur 4. Verloop van CO₂, temperatuur en RV in de cabine gevuld met Phalaenopsis planten en de PAR straling buiten de cabine.

Daarin valt op dat overdag de CO₂ concentratie oploopt. Om uit te sluiten dat dit door de bark in de potten werd veroorzaakt is op 24 juni een dichte foliezak om het substraat aangebracht.

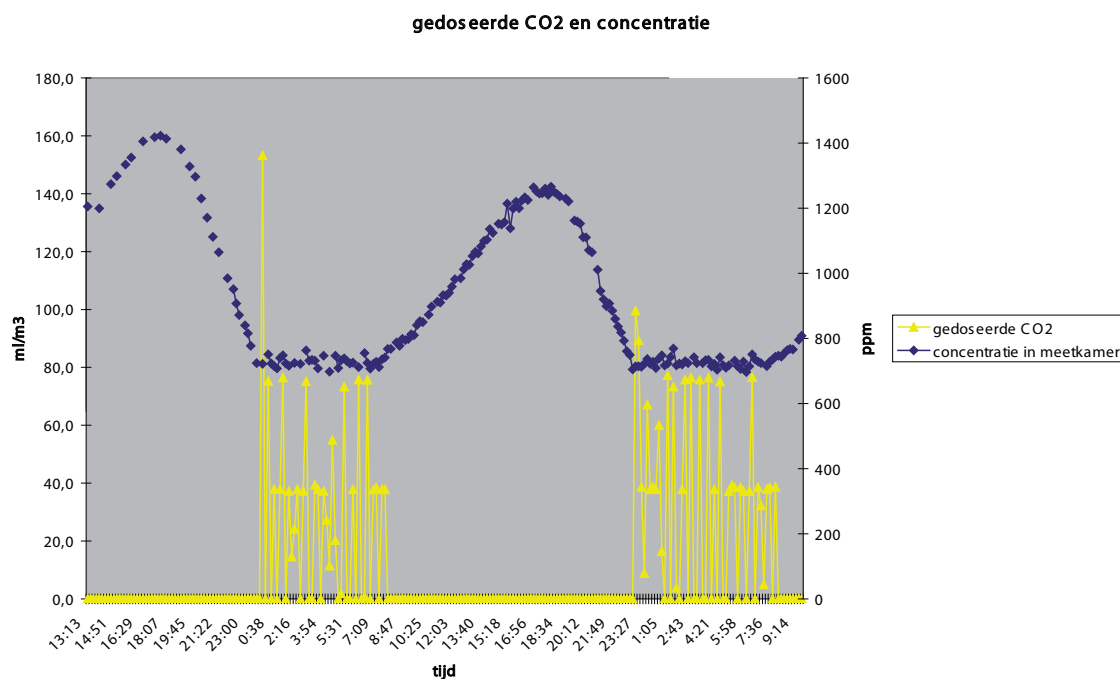
In Figuur 5. is te zien dat op de dagen na het inpakken van de potten in de ochtend een minder snelle stijging van de CO₂ concentratie in de cabine optrad. Uit het constante verschil in hellingshoek van de stijging en de daling van de gasconcentratie in de cabine kan worden afgeleid dat de afgifte uit de potten vrij constant is. Dit betekent dat met een eenmalige bepaling van deze afgifte kan worden volstaan waarna dit kan worden afgetrokken van de gemeten waarden.



Figuur 5. Verloop van de CO₂ concentratie in de cabine voor en na het afdekken van de potten met plastic zakken op 24 juni om 13.00 uur

Op basis van de metingen aan de doseerpomp kon het volgende worden vastgesteld over het nachtelijke verbruik aan CO₂ op basis van 10-minuten waarnemingen:

Datum	Nachtperiode	ml/m ³ CO ₂ gedoseerd
25 juni	00.05 - 07.42 uur	1253,0
26 juni	23.17 - 07.58 uur	1599,9
27 juni	01.37 - 07.47 uur	1371,0



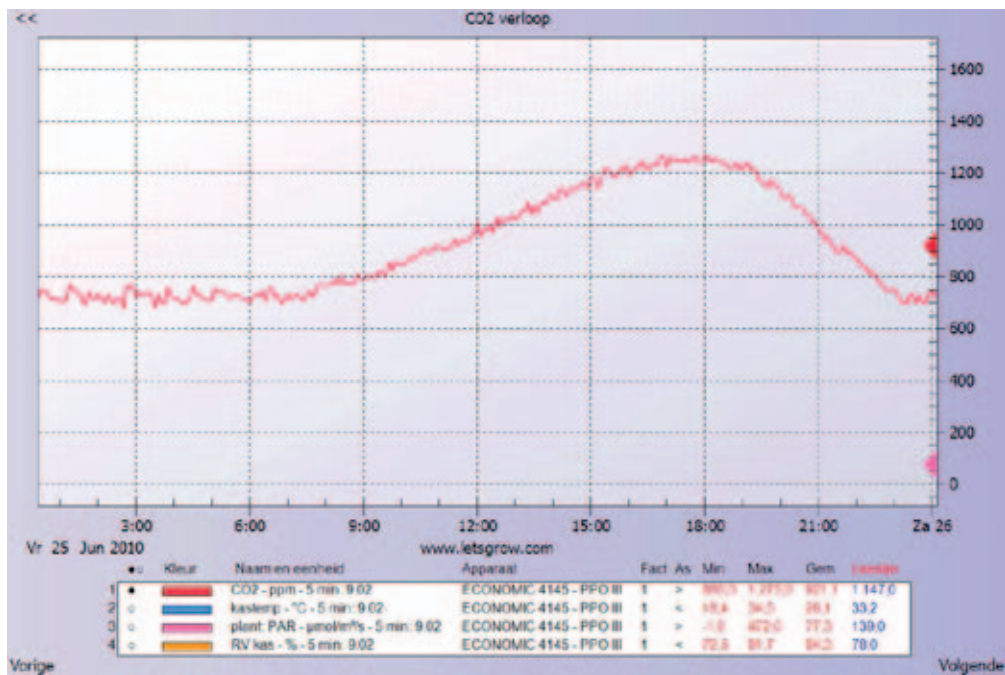
Figuur 6. Gedoseerde hoeveelheden CO₂ over een periode van 2 dagen en de resulterende CO₂ concentratie in de cabine gevuld met planten.

Gezien het verloop van de curven begint de plant netto vanaf ongeveer 18.00 uur CO₂ op te nemen. Dat duurt meestal tot ongeveer 8.00 uur. Het nachtelijke verbruik kan door de pomp uitstekend worden aangevuld zodat in de cabine een stabiele nacht concentratie ontstaat. Daaruit is af te lezen dat het verbruik van de planten tussen 24.00 en 8.00 uur vrijwel continu op ongeveer 40 ml/m² per 10 minuten zit, met af en toe een uitschieter naar hogere waarden. Per plant wordt er gedurende de hele nacht tussen de 125 en de 160 ml verbruikt. Dit komt neer op een netto CO₂ opname van 4.9 μmol/m²/s (m² staat hier voor m² bladoppervlak). Dit stemt goed overeen met de netto CO₂ opname gemeten met draagbare bladfotosynthese apparatuur (Dueck *et al.*, 2010)¹ aan verschillende Phalaenopsis cultivars in een ander experiment (Tabel 1.).

Tabel 1. CO₂ gaswisseling metingen gedaan in de kas-in-kas meetcabine en met behulp van bladfotosynthese meters in een ander experiment met verschillende Phalaenopsis cultivars (Dueck *et al.*, 2010), uitgedrukt in μmol CO₂ per m² bladoppervlakte per seconde.

	Kas-in-kas meetcabine	Dueck et al (2010)
CO ₂ opname	4.9 μmol m ² s ⁻¹	2.5 – 6.2 μmol m ² s ⁻¹
Respiratie	1.2 μmol m ² s ⁻¹	0.3 – 1.5 μmol m ² s ⁻¹

¹ Dueck, T., P. de Boer & F. van Noort, 2010. Teeltversnelling Phalaenopsis door klimaat optimalisatie. Rapport GTB-1016, Wageningen UR Glas-tuinbouw, 50 blz.



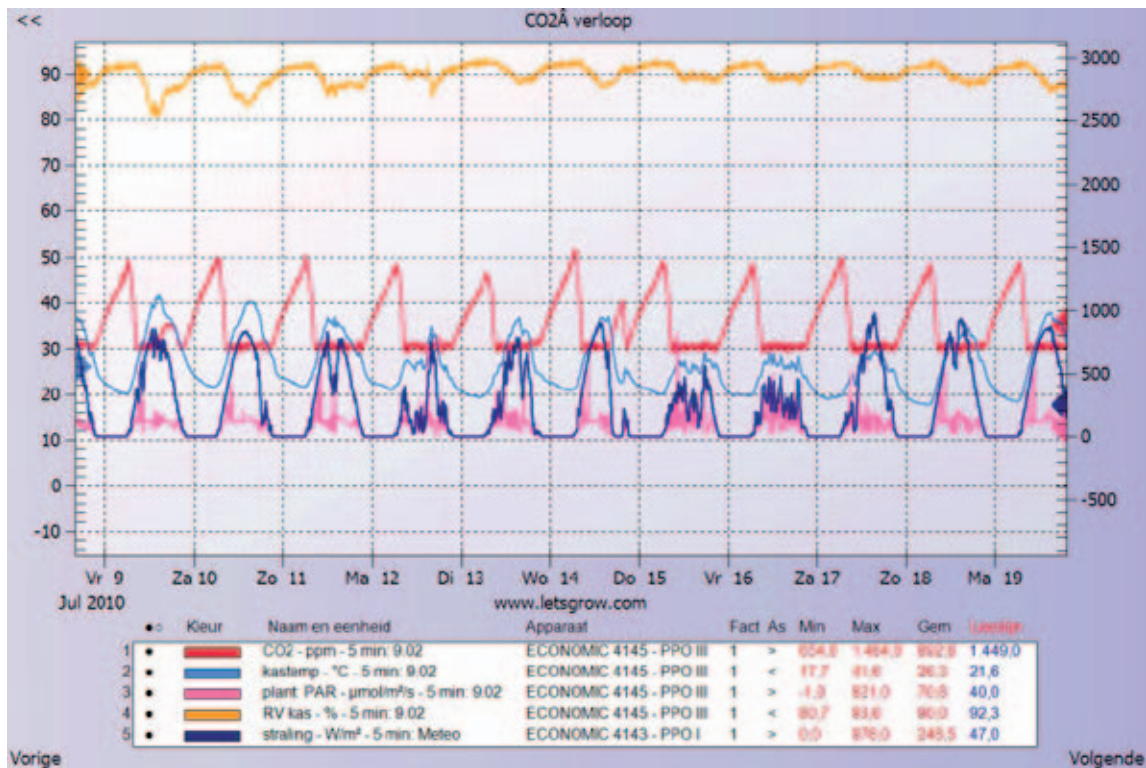
Figuur 7. Verloop van de CO₂ concentratie in de cabine overdag

In de perioden dat de CO₂ concentratie in de cabine niet constant is, valt uit de snelheid van stijgen de CO₂ productie van de planten af te lezen (Figuur 7.). Van 8.00 uur tot 17.00 uur stijgt de concentratie van 700 naar 1250 ppm. Per uur een stijging van 60 ppm. Bij een cabine inhoud van 1 m³ betekent dit een afgifte van ongeveer 0,11 gram/uur voor 10 planten. Dit komt neer op 1.2 µmol/m²/s respiratie, wat goed overeen komt met eerder gemeten respiratie voor Phalaenopsis (Tabel 1.). Op dezelfde wijze kan het verbruik tussen 18.00 uur en 23.00 uur worden berekend. Dat is in dit voorbeeld een daling van 1250 naar 700 ppm. Dus dezelfde afname van 550 ppm, maar dit keer in 5 uur. Per uur dus 110 ppm ofwel 0,20 gram per 10 planten.

De nachtelijke dosering was voor die dag 1253 ml in 9 uur, dus gemiddeld 140 ml per uur. 1 liter CO₂ weegt bij atmosferische druk 1,78 gram dus 140 ml: 0,25 g. De consumptie in de avond is dus iets hoger dan de consumptie bij donker.

2.5 Metingen met 10 Bromelia planten in de cabine

Gedurende 11 dagen is een test uitgevoerd met 10 Bromelia planten in de 1 x 1 m meetcabine. In onderstaande Figuur is het verloop van het klimaat in de meetkamer gedurende die tijd weergegeven.



Figuur 8. Klimaat in de meetcabine tijdens een test met 10 bromelia planten.

Uit bovenstaande Figuur is te zien dat in deze periode de temperatuur overdag opliep tot ruim 41 °C en de luchtvochtigheid 's nachts tot bijna 94%. Uit het patroon van de CO₂ concentratie en de CO₂ doseringen valt de CO₂ opname te berekenen.

De bromeliaplanten bleken na 11 dagen in de meetkamer wel een verschil in ontwikkeling te vertonen ten opzichte van dezelfde planten die buiten de meetkamer in de kas hebben gestaan (Figuur 9.).

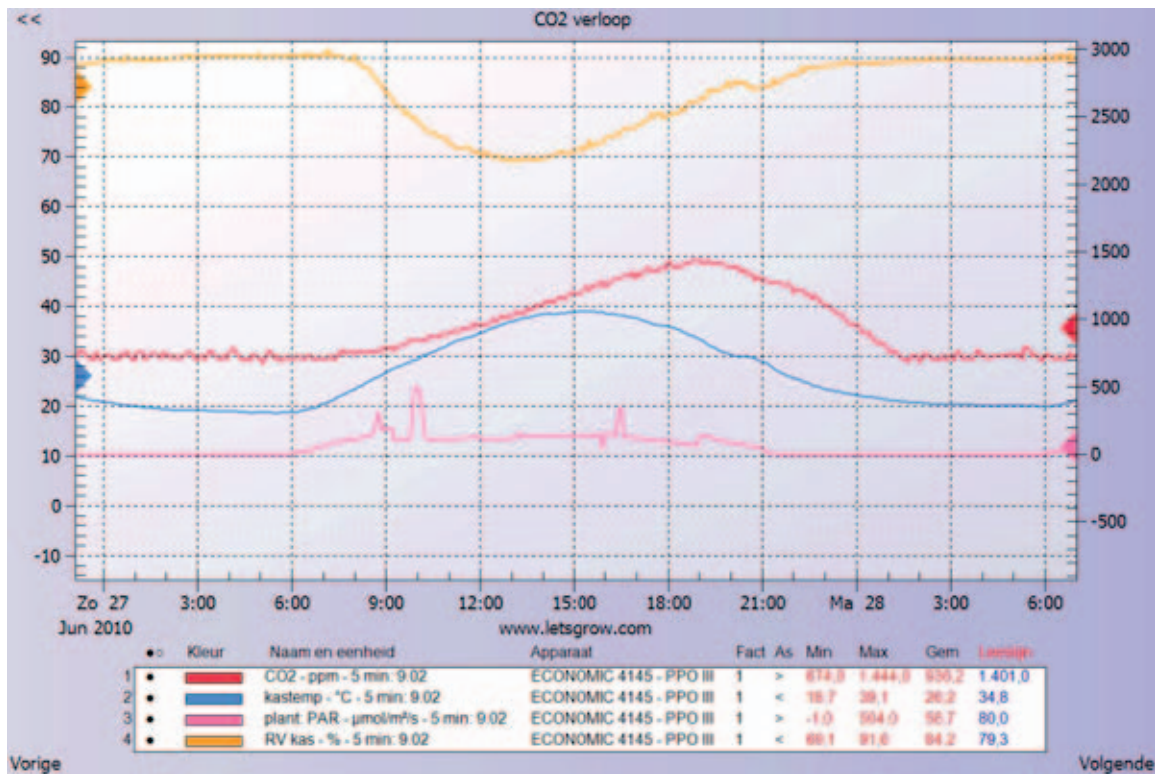


Figuur 9. De linker plant stond 11 dagen in de meetcabine, rechter plant stond in de kas.

Hoewel het in de meetkamer 41 °C en de luchtvochtigheid permanent boven de 90% is geweest, was er geen zichtbare schade, was de bladkleur beter dan dezelfde plant uit de kas en was de plantvorm beduidend veranderd. Een duidelijk teken dat de meetkamer al in korte tijd een grote invloed uit kan oefenen zolang de omstandigheden niet gelijk zijn aan de kas.

2.6 Opmerkingen

De temperatuur liep in de cabine overdag erg hoog op tot ca. 40 graden. Dat was voor de planten geen ideale situatie. De RV liep overigens in de nacht maar tot 92 % op, dat viel eigenlijk erg mee. Door het omwikkelen van het substraat van de Phalaenopsisplanten met een dichte zak was watergeven ook erg lastig. Daardoor kon de meting niet langer dan 4 dagen duren.



Figuur 10. *Klimaat in de cabine gedurende een dag met veel instraling(860 W/m²)*

Omdat het afkoelen in de avond op deze meetdag pas na 21.00 uur inzette (blauwe lijn, gemeten in de cabine) is het de vraag of de cabine voor die tijd niet beter open gezet had kunnen worden.

Het mixen van de lucht in de meetkamer creëert natuurlijk wel een andere situatie rondom de bladeren dan in de rest van de kas. De stilstaande laag lucht rondom het blad zal veel kleiner zijn en daardoor zal CO₂ makkelijker het blad in kunnen diffunderen. Dit kan een afwijking geven tov de rest van de kas, maar de vraag is of de flux in de rest van de kas gelimiteerd wordt door de diffusiesnelheid van CO₂. Helemaal aangezien het volume lucht per plant in de kas groter is.

2.7 Conclusie

De meetcabine is in staat om het verbruik en de productie van CO₂ gedurende de late avond en de nacht per tijdseenheid van 10 minuten goed in beeld te brengen. In de late middag en de vroege avond kunnen er vraagtekens worden gezet bij de inzet van de cabine zonder ventilatie of koeling. De CO₂ opname wordt in die periode mogelijk beïnvloed door een te hoge temperatuur en luchtvochtigheid. De afgifte van CO₂ vanuit het substraat kan middels een eenmalige meting met afgedekte potten worden verdisconteerd.

3 Workshop

3.1 Inleiding

Gewasfotosynthese is een complex onderwerp, maar het is voor de telers wel van groot belang over dit proces goed geïnformeerd te zijn. In het project “Meten van de fotosynthese: van plant tot kas” was voorzien dat een workshop georganiseerd zou worden over het onderwerp fotosynthese waarvoor telers en voorlichters uitgenodigd zouden worden. Doel van deze workshop is het draagvlak uitbreiden door kennis te delen en de mogelijkheden van gewasfotosynthese meten voor de praktijk te laten zien.

3.2 Organisatie

Op 8 juli 2010 is door Wageningen UR Glastuinbouw de workshop “Optimalisatie van de gewasfotosynthese: meettechnieken en sturing door klimaat” georganiseerd. Voor deze workshop waren telers en voorlichters uitgenodigd waarvan een aantal af heeft gezegd vanwege drukke werkzaamheden. Op de workshop waren telers en voorlichters aanwezig van de gewassen gerbera, roos, tomaat, paprika, komkommer, ficus, Phalaenopsis en anthurium.

Het programma van de workshop was als volgt:

13:30 uur	Ontvangst met koffie
14:00 uur	Opening door Anja Dieleman
14:05 uur	Steven Driever: Fotosynthese: van blad tot gewas
14:35 uur	Peter van Weel: Meetkamer voor het bepalen van CO ₂ opname door CAM planten
14:55 uur	Marcel Raaphorst: Fotosynthese meten in een gesloten kas
15:00 uur	Discussie met behulp van stellingen o.l.v. Anja Dieleman
16:00 uur	Afsluiting.

De presentaties staan weergegeven in bijlage I.

3.3 Resultaten

Presentatie Steven Driever: Fotosynthese: van blad tot gewas

Deze presentatie richtte zich op de processen van de fotosynthese en de metingen die nodig zijn om beide processen (CO₂ fixatie, te meten door CO₂ gastuitwisseling en elektronentransport, te meten via chlorofylfluorescentie), op de specifieke eigenschappen van de CO₂ vastlegging bij CAM planten zoals Phalaenopsis en wat een fotosynthese monitor in zou moeten houden om een goede, continue en directe meting te geven van het elektronentransport en de CO₂ fixatie.

De vragen bij deze presentatie richtten zich met name op:

- De temperatuurgevoeligheid van de fotosynthese;
- Mogelijke beschadiging van de fotosystemen door licht, en hoe dit van de overige klimaatfactoren (m.n. CO₂) afhangt;
- Wat veroorzaakt de verschillen in huidmondjesdichtheid bij verschillende telers van hetzelfde ras, en wat betekenen deze verschillen?
- Wat bepaalt de efficiëntie van het opvangen licht, en hoe is dit te meten?
- Hoe kan de grenslaagweerstand gemeten worden?

Presentatie Peter van Weel: Meetkamer voor het bepalen van CO₂ opname door CAM planten

In deze presentatie werd het doel, het principe, de werking en de resultaten van de meetkamer om de CO₂ opname van Phalaenopsis te bepalen toegelicht. De meetkamer bleek goed in staat om 's nachts de CO₂ opname en overdag de afgifte van CO₂ van Phalaenopsis te bepalen. Tenslotte werd in de presentatie geschetst wat de beperkingen zijn van de meetkamer voor C3 planten, en hoe dit te ondervangen zou zijn.

De vragen bij deze presentatie richtten zich met name op:

- De zuurstoftoevoer naar de wortels, als de potten ingepakt worden om CO₂ afgifte door de bark te voorkomen
- Opening van de huidmondjes van Phalaenopsis voordat het helemaal donker is
- Aantal en kwaliteit van de CO₂ meters nodig om goed de CO₂ opname van een hele kas te kunnen bepalen
- Luchtbeweging in de meetkamer moet zo veel mogelijk overeen komen met de luchtbeweging in de kas

Presentatie Marcel Raaphorst: Fotosynthese meten in een gesloten kas

In deze presentatie werd getoond hoe in een gesloten kas de CO₂ opname door het gewas berekend werd op basis van de gemeten verschillen in de CO₂ concentraties in de slang onder het gewas en boven in de kas. In deze kas was het verloop van de CO₂ opname gedurende de dag redelijk nauwkeurig te volgen met deze methode wanneer instraling hoog genoeg was. Echter, wanneer instraling laag is, de CO₂ dosering begint of tijdelijk stopt of er geventileerd wordt, voldoet de gebruikte methode niet meer omdat dan het evenwicht is verstoord.

De vragen bij deze presentatie richtten zich met name op:

- De eventuele gelaagdheid in de opname van CO₂, die echter met deze methode niet gemeten is.
- De lek van de kas voor CO₂
- Hoe de gemeten fotosynthese te vertalen is naar productie
- De kwaliteit van de CO₂ sensoren nodig om dit soort berekeningen accuraat te kunnen doen.

Discussie aan de hand van stellingen

Voorafgaand aan de stellingen hebben we eerst de vraag gesteld wat de telers nu meten in hun teelt. Alle telers registreren hun klimaat (straling, temperatuur, CO₂ concentratie) en er wordt productie en teeltduur geregistreerd. In de rozenteelt wordt op basis van het kasklimaat de productie berekend. Er is ervaring met andere metingen aan planten (o.a. Grow-Watch), maar die ervaringen zijn niet zo positief, met name door een gebrek aan begeleiding bij de interpretatie van de meetgegevens.

Stelling 1: Ik heb in mijn teelt behoefte mijn gewas continu te monitoren.

Op deze stelling werd door alle deelnemers positief gereageerd, op één van de voorlichters na die vond dat incidenteel meten voldoende is. De telers en voorlichters merkten op dat op dit moment de frequentie van monitoring te laag is, maar dat ze continu willen weten wat er gebeurt.

Hierna vervolgde de discussie over interpretatie van de meetwaarden. De telers en voorlichters hebben behoefte om continu de status van het gewas te kennen. Daarvoor is het wel nodig de meetwaarden te begrijpen. Alleen een waarde als output van een meting is niet voldoende, deze waarde moet hen ook duidelijk maken of de waarde "goed" is of dat er bijvoorbeeld in het klimaat moet worden ingegrepen. Het is dus van belang om naast een sensor ook opleiding en begeleiding te hebben, en de meetwaarden goed te kunnen interpreteren. Een mogelijkheid daarvoor kan een achterliggend model zijn, zodat een gemeten waarde vergeleken wordt met een berekende "gewenste" waarde.

Stelling 2: Fotosynthese is het proces dat de groei van mijn gewas het beste on-line weergeeft

Op deze stelling volgt een uitgebreide discussie. In eerste instantie geven de telers aan dat de uiteindelijke productie (aantal stelen roos, vorm en grootte van de potplanten, kilo's tomaten) de winst van het bedrijf bepaalt. En dat wordt weer voor een groot gedeelte bepaald door de kwaliteit van de teler ("groene vingers"). Echter, dit is op de langere termijn te meten (interval van dagen, weken of langer). Op de korte termijn is er wel behoefte aan metingen aan gewas. Voor met name tomaat wordt aangegeven dat elke meeropbrengst belangrijk is en dat de fotosynthese daarvoor de basis vormt. Een groot verschil is dat bij een teelt als tomaat alle licht gebruikt wordt, en dat bij teelten als roos of potplanten er in de zomer licht weggeschermd wordt om de kwaliteit/vorm van het gewas goed te houden. Een van de telers van Phalaenopsis geeft echter aan dat ondanks het feit dat de kwaliteit bepalend is voor de prijs van zijn product, hij wel wil weten hoe de fotosynthese en CO₂ opname van zijn gewas verloopt over de dag en nacht, en hoe die te verbeteren is.

De discussie werd gesloten met de vraag of de telers en voorlichters bij een eventueel vervolg van dit project betrokken zouden willen worden. Daarop gaven de telers en voorlichters aan dat zij graag bij het vervolg betrokken zouden willen zijn. Dat kan door experimenten bij hun op het bedrijf, door in een BCO van een proef te zitten of door bij workshops aanwezig te zijn om de informatie over het vervolg te horen.

3.4 Conclusies

Door de telers en voorlichters wordt aangegeven dat zij het continu monitoren van het gewas belangrijk vinden. Zij willen graag continu weten wat de status van het gewas is. Daarbij is het van groot belang hoe de meetwaarden geïnterpreteerd moeten worden. Bij een eventueel vervolg van dit project zou daar voldoende aandacht aan besteed moeten worden. Uit de discussie met de telers bleek ook dat de stapjes die genomen moeten worden om te komen tot het continu monitoren van gewasfotosynthese klein moeten zijn, en dat de telers bij al die stappen goed betrokken zouden moeten worden om ze mee te nemen in het proces. Alleen dan is het mogelijk een fotosynthesemonitor te realiseren die door telers goed gebruikt kan en zal worden.

4 Discussie en aanbevelingen

Om energiezuinig te kunnen telen zonder verlies aan productie of productkwaliteit is het van belang de effecten van klimaatomstandigheden op het gewas continu te kunnen monitoren. Het meest geschikte proces om het meest direct effecten van klimaatomstandigheden te monitoren is de fotosynthese van het gewas. Het onderzoek waarvan hier de eerste fase is beschreven, heeft als doel het gewas continu te monitoren om te weten wat de prestatie van het gewas is, en hoe de efficiëntie hiervan in relatie tot energiegebruik te verbeteren is.

In de eerste fase van het onderzoek is een meetkamer gebouwd en getest voor de opname van CO₂ door CAM planten zoals Phalaenopsis. Deze testen zijn succesvol uitgevoerd, en het blijkt dat met deze meetkamer een CO₂ opname van Phalaenopsis gemeten werd, die vergelijkbaar is met handmatige metingen op bladniveau met een draagbare fotosynthesemeter die in eerdere onderzoeksprojecten zijn gedaan.

De meetkamer is gebouwd als een eenvoudig prototype, er is dan ook geen koeling of ventilatie in aangebracht. Tijdens de metingen bleek overdag de temperatuur in de kamer op te lopen tot ca. 40 °C, hetgeen te warm is voor de meeste planten. Om verder te gaan met het concept van een meetkamer in een kas om van een aantal planten de CO₂ opname te meten zou het wenselijk zijn ventilatie en/of koeling in de meetkamer aan te brengen om de temperatuur te kunnen regelen, de kamer te kunnen ontvochtigen omdat de luchtvochtigheid 's nachts opliep tot 94%, en de luchtbeweging zo veel mogelijk het zelfde te hebben als in de kas. Het effect van de omstandigheden in de meetkamer op de verdamping kan bepaald worden door de verdamping van een aantal planten in de meetkamer met behulp van een weegschaal te meten en te vergelijken met de verdamping van een groep planten in de kas.

In de workshop "Optimalisatie van de gewasfotosynthese: meettechnieken en sturing door klimaat" bleek dat telers en voorlichters het continu monitoren van het gewas belangrijk vinden. Wat er precies gemonitord moet worden en hoe, verschilt per type gewas. Voor alle gewassen wordt erkend dat de gewasfotosynthese de basis is voor groei en productie. Voor gewassen als tomaat en andere vruchtgroentegewassen geldt dat alle licht (waarschijnlijk) bijdraagt aan meer productie, en dat zij graag de fotosynthese van een hele kas zouden willen kunnen meten, om daarop het klimaat te regelen en prognoses te doen voor de productie. Voor siergewassen als snijbloemen en potplanten is de sierwaarde van groot belang. In die teelten wordt vaak licht weggeschermd en wordt veel meer gekeken naar timing, kwaliteit van bloemen, vorm van de plant etc. dan naar kilogramproductie. Telers van siergewassen willen ook graag weten hoe hun gewas presteert, maar voor hen is een meetkamer waarin zij klimaat kunnen variëren en CO₂ opname van een beperkt aantal planten kunnen meten voldoende. Het zou daarom wenselijk zijn in een volgende fase van het project zowel een monitor te ontwikkelen waar de fotosynthese van een hele kas mee bepaald kan worden, begeleid door een aantal vruchtgroentetelers, als een verbeterde versie van de meetkamer waar onder begeleiding van een aantal potplantentelers metingen gedaan worden aan CO₂ opname onder verschillende temperaturen, CO₂ concentraties etc.

Door een aantal telers die bij de workshop aanwezig waren, is ervaring opgedaan met gewasmonitoring. Op basis daarvan gaven zij aan dat het erg belangrijk is dat een monitor niet alleen een meetwaarde oplevert, maar dat ook duidelijk is wat de betekenis is van die waarde en hoe daarop gereageerd moet worden. Hieruit blijkt dat het bij de verdere ontwikkeling van een meetkamer of monitoringsysteem voor de CO₂ opname van belang is telers bij het proces te betrekken zodat zij aan kunnen geven aan wat voor type informatie zij behoefte hebben bij het gebruiken van een dergelijk systeem. En verder dat er via bestaande kennis, aanvullende (handmatige) metingen, rekenregels of modellen kennis ingebracht moet worden die het mogelijk maakt de meetwaardes te interpreteren. Bij de ontwikkeling van een meetkamer of monitoringsysteem zal hiervoor ruimschoots aandacht moeten zijn.

Bijlage I Presentaties op de workshop

Presentatie gewasfotosynthese - Steven Driever

11/11/2010

Fotosynthese: van blad tot gewas

Steven Driever, Wageningen UR Glastuinbouw

WAGENINGEN UR
 Wageningen University & Research
 Fynfacto Wageningen University & Research
 Wageningen University & Research

"de fotosynthese"

- Fotosynthese; de "black box":
 kooldioxide + water + licht
 → glucose + zuurstof + water

$$6 \text{ CO}_2 + 12 \text{ H}_2\text{O} + \text{fotonen} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{ O}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O}$$

WAGENINGEN UR
 Wageningen University & Research

Een complex proces in een dynamisch systeem!

- Electronen transport
- CO₂ fixatie
- Vele beperkende factoren, o.a.:
 - Grenslaag, Stomata, Mesofyl
 - Allocatie assimilaten, source-sink, metabolisme (feedback)
 - Reparatie fotosystemen
- Kunnen deel-processen meten m.b.v. Chl fluorescentie en CO₂ gaswisseling

Baker (2007)

WAGENINGEN UR
 Wageningen University & Research

Efficientie van lichtgebruik van planten

Asada (1999)

WAGENINGEN UR
 Wageningen University & Research

De fotosynthese in de ideale plant

- Wordt alleen gelimiteerd door het beschikbare licht!
- Wat kunnen we leren uit de natuur?

Amaranthus palmeri
(Carelessweed)

From Percy and Ehlinger (1984)

WAGENINGEN UR
 Wageningen University & Research

Efficientie van lichtgebruik in kasgewassen

- Afhankelijk van beschikbare CO₂ concentratie

Paprika

(Rasporst et al. 2007; bron van uitgangspunten: DeJman et al., 2003)

WAGENINGEN UR
 Wageningen University & Research

Externe beperkingen voor CO₂ diffusie

- Stomataire weerstand
- Grenslaag weerstand

Kitaya 2005

Interne beperkingen van CO₂ diffusie

Hoe te meten?

- CO₂ gaswisseling

Verskil tussen *in en uit* is opgenomen door blad

Benutting van licht door fotosystemen

CO₂ fixatie

Electronen transport

Hoeveel licht wordt gebruikt voor CO₂ fixatie?

- Een directe relatie...

Maar niet in alle gevallen!

Meting van alléén CO₂ opname of Chl fluorescentie volstaat niet

Bij CAM planten...

Crassulacean Acid Metabolism

Efficientie van lichtgebruik in kasgewassen

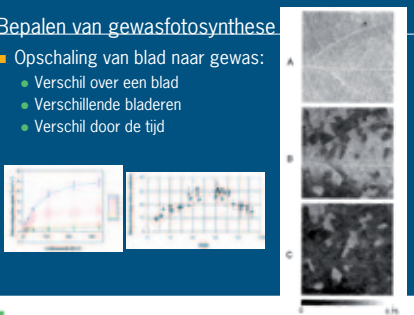
- Afhankelijk van bladlaag en seizoenen

(Daeck et al., 2005)

(van den Boogaard & Engels, 2003)

Bepalen van gewasfotosynthese

- Opschaling van blad naar gewas:
 - Verschil over een blad
 - Verschillende bladeren
 - Verschil door de tijd



WAGeningen UR
Plantagewas

Een directe meting van het hele gewas?

- Op bladniveau zijn CO₂ fixatie en elektronen transport goed te meten
- Maar:
 - Bepert oppervlak t.o.v. hele gewas
 - CO₂ fixatie alleen te meten met gespecialiseerde apparatuur en kennis
 - Opschaling van blad naar gewas ingewikkeld
- Continue metingen van Chl fluorescentie nu al mogelijk (plantivity/MONI-PAM en MIPS imaging)
- Continue metingen van CO₂ opname *nog niet* op gewas niveau

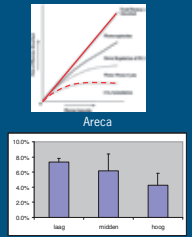
Zonder "monitor" nu niet op te regelen



WAGeningen UR
Plantagewas

Wat zou een fotosynthese monitor kunnen?

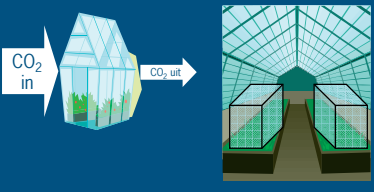
- Combinatie monitor/sensor met model: optimalisatie van klimaat
 - Wanneer schermen/belichten?
 - Wanneer extra CO₂?
 - Wanneer hogere vochtigheid?
- "Het Nieuwe Telen" voor Potplanten; meer licht en hogere temperatuur toelaten



WAGeningen UR
Plantagewas

Mogelijkheden voor een fotosynthese monitor

- Kas als cuvet
- Kas-in-kas



WAGeningen UR
Plantagewas

Wageningen UR Glastuinbouw

Innovaties vóór en mét de glastuinbouw

© Wageningen UR



WAGeningen UR
Plantagewas


Meetkamer voor het bepalen van CO₂ opname door CAM planten

Peter van Weel, Wageningen UR Glastuinbouw





Doel meetkamer

- Tijdens donker per 10 minuten voor 1 m² kas bij CAM planten de geabsorbeerde CO₂ bepalen zonder het microklimaat te beïnvloeden.
- Bij succes uitbouwen naar een systeem dat ook overdag de CO₂ opname van C3 planten kan meten in een kas zonder verstoring van het microklimaat



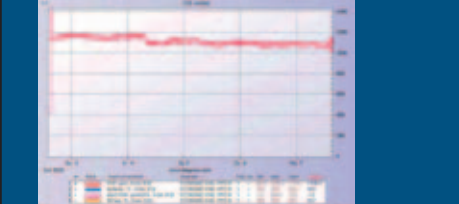
Principe CO₂ meetkamer




Meetkamer met meet en regel apparatuur



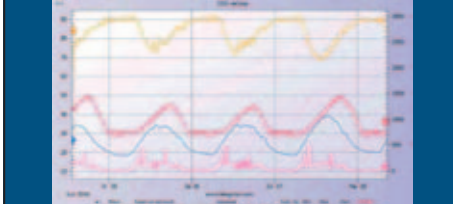
Test lekdichtheid




-Verlies door wanden is verwaarloosbaar
-Schommelingen in de CO₂ meting niet van invloed

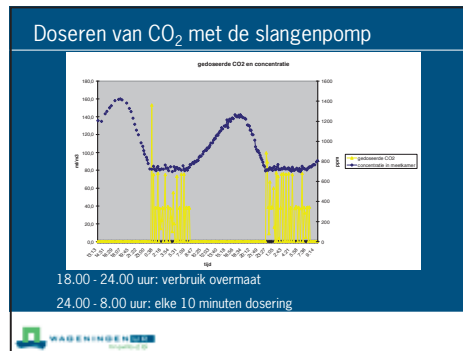
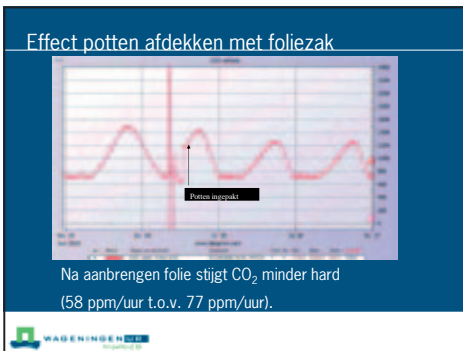


Test met 10 Phalaenopsis planten in pot



RV, temp en CO₂ in meetkamer gemeten, PAR erbuiten

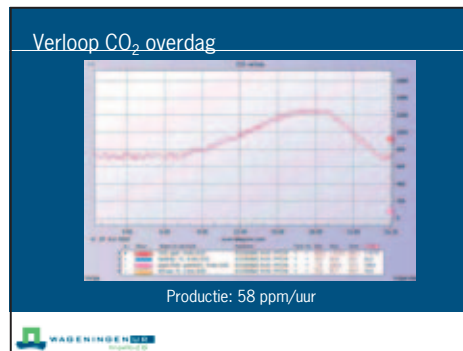




Dosering CO₂ op basis van 10 minuten waarnemingen

ml/m ³ CO ₂ gedoseerd over de hele nacht			
25-jun	1253,0	00.05 - 07.42	uur
26-jun	1599,9	23.17 - 07.58	uur
27-jun	1371,0	01.37 - 07.47	uur

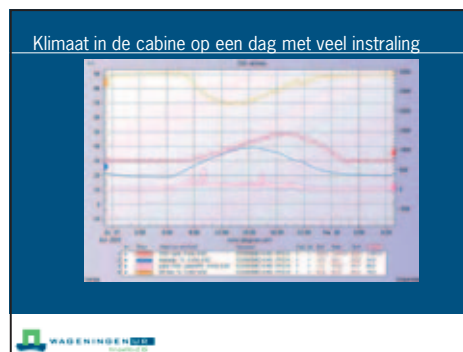
Verbruik tussen 24.00 en 8.00 uur: 4 ml/plant/uur (40 ml/m²)
Totaal per nacht: 125-160 ml/plant



CO₂ afgifte en opname over een hele dag

- Afgifte 8.00 en 18.00 uur: 0,011 gr/pl/uur.
- Opname 18.00 en 24.00 uur: 0,020 gr/pl/uur
- Opname 24.00 en 8.00 uur: 0,025 gr/pl/uur

- Nacht: 64 pl/m² * 0,025 g = 1,6 gr/m²/uur
- Dag: 64 pl/m² * 0,011 g = 0,7 gr/m²/uur



Conclusies

- De meetkamer is in staat om in de nacht per 10 minuten nauwkeurig de CO₂ consumptie te bepalen.
- De afgifte van CO₂ door het substraat kan door een eenmalige meting met ingepakte potten worden verdisconteerd.
- Overdag loopt de temperatuur in de meetkamer erg hoog op. Dan zou hij eigenlijk geopend moeten worden.



Perspectieven

- Praktijkbedrijf:
 - Als plantmonitor
 - Om proeven te doen, bijv. met CO₂ concentraties, temperatuur of RV
 - Vergelijking tussen afdelingen/bedrijven
- Onderzoek
 - Effect behandelingen beter bepalen
 - Dynamisch gedrag van planten bestuderen



Hoe verder voor C3 planten?



Wageningen UR Glastuinbouw Innovaties vóór en mét de glastuinbouw



Fotosynthese meten in gesloten kas

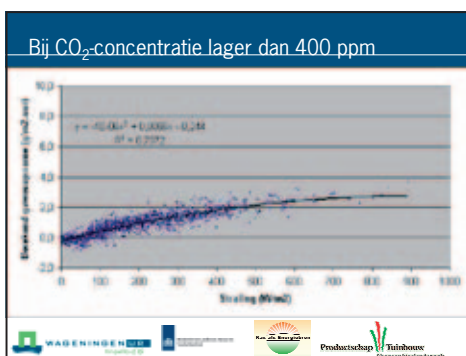
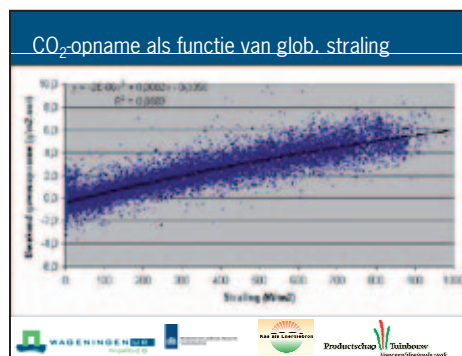
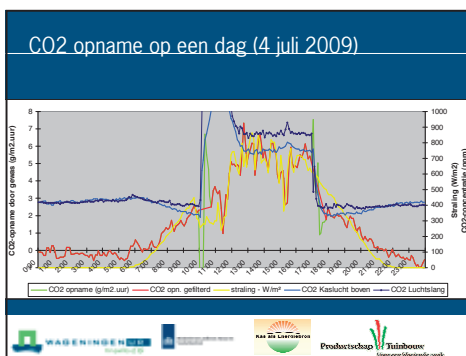
Marcel Raaphorst

WAGENINGEN

Meting CO₂-opname gewas

- Luchtstroom altijd 20 m³/m².uur
- Geen invloed luchtramen
- CO₂-meting in slang en boven gewas
- Gewasopname berekenen door verschil concentratie onder en boven

WAGENINGEN



Conclusies

- Verloop CO₂-opname nauwkeurig te volgen
- Dagen met lagere opname nog niet verklaard
- Tomaat kent geen stress
 - althans, niet in de gesloten kas van Lans Zeeland
 - vochtdeficit nooit hoger dan 7 g/kg
- CO₂-concentratie lijkt grote invloed te hebben

WAGENINGEN

Verbeterpunten

- Absolute meting (betrouwbaarheid) kan beter
- 1 CO₂-meter in plaats van 2.
- Controle met CO₂ meting op ingeblazen buitenlucht



Wageningen UR Glastuinbouw
Innovaties vóór en mét de glastuinbouw

© Wageningen UR



