WAGENINGEN UR
For quality of life

Efficiëntie van groeilicht gedurende het etmaal

Anja Dieleman, Esther Meinen, Mary Warmenhoven, Johan Steenhuizen,
Dik Uenk, Svetlana Chizhmak & Pieter de Visser

Productschap Tuinbouw
Voor een bloeiende zaak

landbouw, natuur en
voedselkwaliteit

Nota 490

WAGENINGEN UR
For quality of life

Efficiëntie van groeilicht gedurende het etmaal

Anja Dieleman, Esther Meinen, Mary Warmenhoven, Johan Steenhuizen, Dik Uenk, Svetlana Chizhmak & Pieter de Visser

Wageningen UR Glastuinbouw, Wageningen
november 2007

Nota 490

© 2007 Wageningen, Wageningen UR Glastuinbouw
Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Wageningen UR Glastuinbouw

Wageningen UR Glastuinbouw

Adres : Bornsesteeg 65, 6708 PD Wageningen
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen
Tel. : 0317 - 47 70 01
Fax : 0317 - 41 80 94
E-mail : glastuinbouw@wur.nl
Internet : www.glastuinbouw.wur.nl

Inhoudsopgave

		pagina
Voorwoord		1
Samenvatting		3
1	Inleiding	5
1.1	Factoren van invloed op de fotosynthese	5
1.2	Verloop van de fotosynthese gedurende de dag	8
1.3	Efficiëntie van het groeilicht	11
2	Materiaal en methoden	13
2.1	Fotosynthesemetingen	13
2.2	Fase 1: controlemetingen	13
2.3	Fase 2: metingen op praktijkbedrijven	13
3	Resultaten fotosynthesemetingen op praktijkbedrijven	15
3.1	Hoge lichtintensiteit (190 µmol PAR m^{-2} s^{-1}), 20 uur belichten	15
3.2	Middelhoge lichtintensiteit (100 µmol PAR m^{-2} s^{-1}), 22 uur belichten	18
3.3	Lage lichtintensiteit (40 µmol PAR m^{-2} s^{-1}), 20 uur belichten	21
3.4	Hoge lichtintensiteit (145 µmol PAR m^{-2} s^{-1}), 24 uur belichten	23
3.5	Hoge lichtintensiteit (140 µmol PAR m^{-2} s^{-1}), 24 uur belichten	25
3.6	Middelhoge lichtintensiteit (100 µmol PAR m^{-2} s^{-1}), 20 uur belichten, kleinbloemige roos	28
4	Fotosynthese en stomataire geleidbaarheid gedurende de nacht	31
5	Discussies met telers	37
6	Discussie	39
7	Conclusies	41
8	Literatuur	43
Bijlage I.	Resultaten controlemetingen	3 pp.
Bijlage II.	Strategie: 190 µmol PAR m^{-2} s^{-1}, 20 uur belichten, grootbloemige rode roos	9 pp.
Bijlage III.	Strategie: 100 µmol PAR m^{-2} s^{-1}, 22 uur belichten, grootbloemige rode roos	5 pp.
Bijlage IV.	Strategie: 40 µmol PAR m^{-2} s^{-1}, 20 uur belichten, grootbloemige rode roos	5 pp.
Bijlage V.	Strategie: 145 µmol PAR m^{-2} s^{-1}, 24 uur belichten, grootbloemige rode roos	7 pp.
Bijlage VI.	Strategie: 140 µmol PAR m^{-2} s^{-1}, 24 uur belichten, grootbloemige rode roos	10 pp.
Bijlage VII.	Strategie: 100 µmol PAR m^{-2} s^{-1}, 20 uur belichten, kleinbloemige rode roos	7 pp.

Voorwoord

In het kader van het energieonderzoek binnen het programma Kas als energiebron is in 2007 in opdracht van het Ministerie van LNV en het Productschap Tuinbouw (PT projectnummer 12737) door Wageningen UR Glastuinbouw onderzoek gedaan naar de efficiëntie van groeilicht gedurende het etmaal. In de rozenteelt wordt nu vaak 20 tot 24 uur per dag belicht. De vraag is of de efficiëntie van de belichting gedurende elk uur van de dag en de nacht even hoog is. Om dit na te gaan is in dit project het verloop van de fotosynthese gedurende het etmaal gemeten op een aantal rozenbedrijven. Als zou blijken dat de efficiëntie van het groeilicht niet ieder uur even hoog is, zou het mogelijk efficiënter zijn om minder uren te belichten.

De vele fotosynthesemetingen die nodig waren om een goed beeld te krijgen van de efficiëntie van groeilicht gedurende het etmaal zijn gedaan en geanalyseerd door Johan Steenhuizen, Mary Warmenhoven, Esther Meinen, Dik Uenk en Svetlana Chizhmak (Wageningen UR Glastuinbouw). De metingen zijn uitgevoerd op de bedrijven van Leon Dukker, Huub van der Burg, Dirk en Karel van Rijn, Remco van der Arend, Johan Muusers en Alex Hogervorst. Ik wil hen allen van harte bedanken voor de bereidheid mee te werken aan dit project, voor hun gastvrijheid en de medewerking bij het verkrijgen van klimaatdata. Een deel van de klimaatdata is verkregen via LetsGrow.com. De (voorlopige) resultaten van dit project zijn besproken in een studiegroep voor Passion telers en een studiegroep Avalanche telers, onder begeleiding van Edwin van der Knaap (DLV). Aan dit project hebben verder Pieter de Visser, Gert-Jan Swinkels en Leo Marcelis (Wageningen UR Glastuinbouw) meegewerkt. Ik wil allen bedanken voor hun inbreng, discussies en prettige samenwerking.

Anja Dieleman
Wageningen UR Glastuinbouw
November 2007

Samenvatting

Efficiëntie van groeilicht gedurende het etmaal

In de huidige rozenteelt wordt veelal 20 uur of meer per dag belicht. Het is de vraag of gedurende elk uur van de dag en van de nacht de efficiëntie van de belichting voor het gewas even hoog is. Wanneer dat niet zo is, is het mogelijk efficiënter om minder uren te belichten. In opdracht van het Ministerie van LNV en Productschap Tuinbouw heeft Wageningen UR Glastuinbouw het verloop van de fotosynthese van bladeren van belichte rozen op een aantal praktijkbedrijven bepaald gedurende de winter en het voorjaar. Deze metingen hadden als doel na te gaan in welke mate de efficiëntie van belichten van een rozengewas verandert gedurende het etmaal.

Metingen

Het verloop van de fotosynthese werd gemeten op 6 rozenbedrijven, waarbij de belichtingsintensiteiten varieerden van 40 tot 190 µmol PAR m^{-2} s^{-1} en belichtingsduur tussen de 20 en 24 uur lag. Er werd op elk bedrijf gemeten in januari of februari 2007, en in maart of april. In maart en april werd vaak niet meer volledig belicht. De fotosynthese werd gemeten met draagbare fotosyntheseapparatuur. Op een rozenblad werd een meetcuvet geklemd. Daarin werden licht, temperatuur, VPD en CO_2 concentratie constant gehouden tijdens de metingen.

Fotosynthese

Fotosynthese is het proces waarbij CO_2 in aanwezigheid van water met behulp van lichtenergie wordt omgezet in suikers, waarbij zuurstof vrijkomt. De suikers worden gebruikt voor de groei van de plant. Onder normale omstandigheden in een kas, wordt de fotosynthesesnelheid van de plant voornamelijk bepaald door de heersende lichtintensiteit. In de rozenteelt wordt daarvan gebruik gemaakt door te belichten, en daarmee productie en productkwaliteit te verhogen. De fotosynthesesnelheid wordt verder verhoogd door een hogere CO_2 concentratie aan te houden. Wanneer de vochtigheid van de kaslucht te laag wordt, sluiten de huidmondjes om uitdroging te voorkomen. Daardoor wordt de opname van CO_2 bemoeilijkt, waardoor de fotosynthese afneemt. Verder kan het zijn dat de fotosynthese aan het einde van de dag afneemt door een assimilatenophoping in de bladeren (“feed-back inhibitie van de fotosynthese). Het “teveel” aan assimilaten in de bladeren kan dan ’s nachts verwerkt worden, zodat het niveau van de fotosynthese zich in de nacht weer herstelt.

Resultaten

De efficiëntie van groeilicht is bepaald op bedrijven die gedurende 20 tot 24 uur belichten met belichtingsintensiteiten die variëren tussen 40 en 190 µmol PAR m^{-2} s^{-1}. De metingen lieten zien dat er op de meeste dagen geen verloop was van de fotosynthese gedurende het etmaal gemeten onder constante omstandigheden in de meetcuvet. Hieruit is af te leiden dat planten bij deze belichtingsintensiteiten gedurende het hele etmaal even efficiënt met licht om kunnen gaan. Er is dan vanuit de plant bezien geen reden de belichting eerder uit te schakelen.

Zonnige en warme dagen

Op een aantal dagen nam de fotosynthese tijdens de dag af, en herstelde zich weer tijdens de nacht. Dit gebeurde op dagen met een hoge instraling en dus een hoge kasluchttemperatuur en droge kaslucht. Welk van deze factoren het verloop van de fotosynthese bepaald heeft, is niet te zeggen. Het is mogelijk dat de hoeveelheid instraling geleid heeft tot de afname van de fotosynthese door een assimilatenverzadiging. Hierbij heeft de belichtingsstrategie waarschijnlijk geen rol gespeeld, omdat er op deze zonnige dagen alleen nog enkele uren per etmaal belicht werd met 70 µmol PAR m^{-2} s^{-1}.

Efficiëntie van belichten

Uit fotosynthesemetingen die gedaan zijn aan belichte rozen blijkt dat de efficiëntie van de fotosynthese aan het einde van de dag niet afneemt door een assimilatenverzading door te lang belichten. Er is in de wintermaanden, waarin volop belicht wordt vanuit de plant bezien geen reden de belichting eerder uit te schakelen. De efficiëntie van de fotosynthese wordt wel negatief beïnvloed als op zonnige dagen de hoeveelheid instraling hoog is, de temperatuur in de kas hoog wordt en de vochtigheid van de kaslucht laag. Welk van deze factoren het belangrijkst is bij de afname van de efficiëntie van de fotosynthese op die momenten is niet bekend.

1 Inleiding

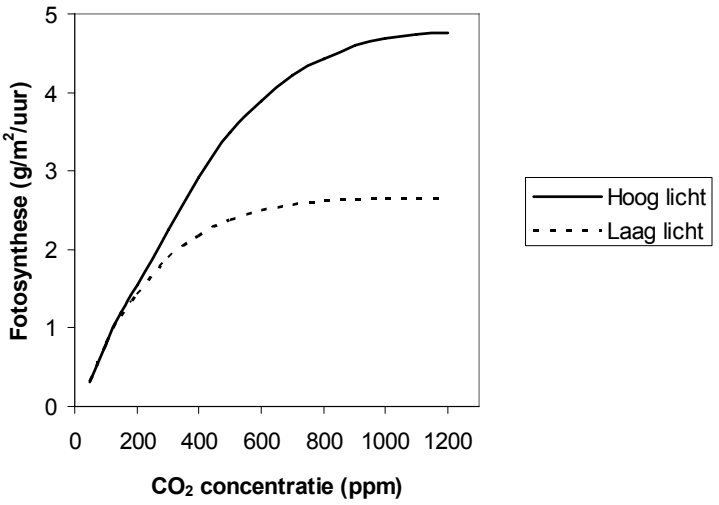
In de huidige rozenteelt wordt veelal 20 uur of meer per dag belicht. Het is de vraag of gedurende elk uur van de dag en van de nacht de efficiëntie van belichting voor het gewas even hoog is. Wanneer dat niet zo is, is het mogelijk efficiënter om minder uren te belichten. In dit project zijn langdurige fotosynthesemetingen aan bladeren van rozen uitgevoerd. De metingen hebben als doel na te gaan in welke mate de efficiëntie van belichten van een rozengewas verandert gedurende het etmaal. Als de fotosynthese-efficiëntie sterk zou variëren gedurende het etmaal, kan de tuinder zijn belichtingsstrategie aanpassen, zodanig dat hij alleen de lampen laat branden op momenten dat dat het meest efficiënt is. In dit project zijn op 6 praktijkbedrijven, variërend in belichtingsintensiteit, belichtingsduur en cultivar, metingen gedaan aan het verloop van de fotosynthese gedurende het etmaal. Gemeten veranderingen in het verloop werden gerelateerd aan kasklimaatgegevens en de matwaterstatus. Hieruit werden conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan over de optimale inzet van groeilicht.

1.1 Factoren van invloed op de fotosynthese

Fotosynthese is het proces waarbij CO_2 in aanwezigheid van water met behulp van lichtenergie wordt omgezet in suikers, waarbij zuurstof vrijkomt. De suikers worden gebruikt voor de groei van de plant. Onder normale omstandigheden in een kas, wordt de fotosynthesesnelheid van de plant voornamelijk bepaald door de heersende lichtintensiteit. In de rozenteelt wordt daarvan gebruik gemaakt door te belichten, en daarmee productie en productkwaliteit te verhogen. In dit onderzoek wordt gekeken of een plant gedurende de hele dag bij eenzelfde hoeveelheid licht in de meetcuvet een even hoge fotosynthesesnelheid heeft. In deze paragraaf wordt besproken welke factoren, naast licht, bepalen hoe hoog de fotosynthesesnelheid is.

CO_2

Tijdens de fotosynthese wordt CO_2 omgezet in suikers. Naarmate de CO_2 concentratie in de (kas)lucht hoger is, is de fotosynthesesnelheid hoger (Figuur 1.1).

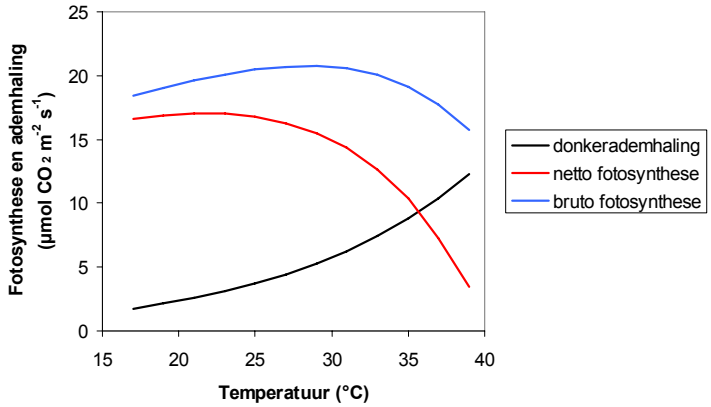


Figuur 1.1. Standaard CO_2 responscurve van een gezond blad bij twee lichtniveaus.

Het effect van CO_2 op de fotosynthesesnelheid wordt mede bepaald door de lichtintensiteit. Bij hogere lichtintensiteiten is het effect van CO_2 op de fotosynthese groter. Andersom geldt ook dat bij hogere CO_2 concentraties in de kaslucht, het effect van meer licht op de fotosynthese groter is.

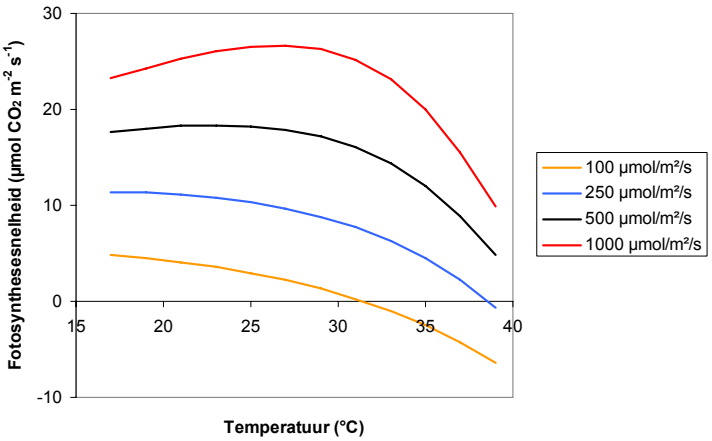
Temperatuur

De fotosynthesesnelheid waarover in dit onderzoek gesproken wordt, is de netto fotosynthesesnelheid. Dit is de resultante van de binding van CO_2 (bruto fotosynthese) en de productie van CO_2 tijdens de donkerademhaling. De bruto fotosynthese heeft een beperkte temperatuurafhankelijkheid. De ademhaling, ook wel dissimilatie genoemd, daarentegen neemt over een groot temperatuurtraject exponentieel toe met de temperatuur (Figuur 1.2). De resultante is dat de netto fotosynthese sterk temperatuurgevoelig is (Berry & Björkman, 1980).



Figuur 1.2. Temperatuurresponscurves van de donkerademhaling, netto fotosynthesesnelheid en bruto fotosynthesesnelheid bij 500 µmol PAR m^2 s^1 en 580 ppm CO_2 berekend met een gewasgroeimodel (Bron: Dieleman et al., 2003).

De respons van de fotosynthese op temperatuur is sterk afhankelijk van de lichtintensiteit (Ludlow & Wilson, 1971). Bij een hoge lichtintensiteit is er een duidelijk temperatuuroptimum van de fotosynthese (Berry & Björkman, 1980). Naarmate de lichtintensiteit verlaagd wordt, wordt de temperatuurresponscurve platter en breder (Figuur 1.3). Dit heeft te maken met het feit dat de ademhaling bij laag licht op min of meer hetzelfde niveau blijft, terwijl de bruto fotosynthese afneemt.



Figuur 1.3. Temperatuurresponscurve van de netto bladfotosynthese berekend met een gewasgroeimodel bij lichtintensiteiten oplopend van 100 naar 1000 µmol PAR m^{-2} s^{-1} en een CO_2 concentratie van 780 ppm CO_2 (Bron: Dieleman et al., 2003).

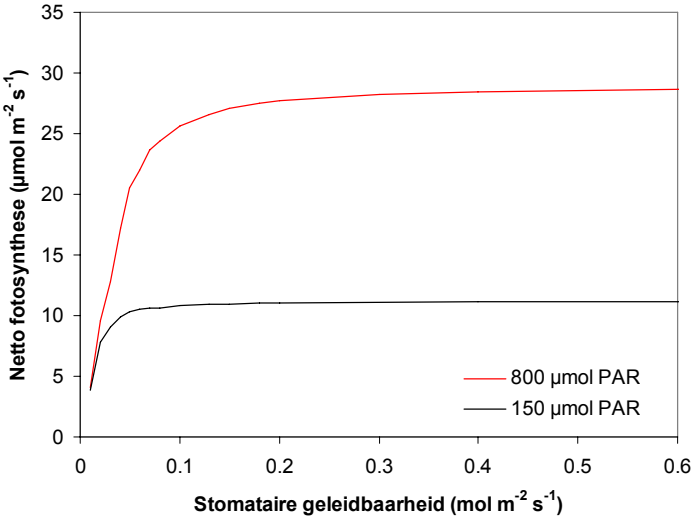
Luchtvochtigheid

Het effect van luchtvochtigheid op de fotosynthesesnelheid wordt voor een groot deel bepaald door de huidmondjesopening (Lange *et al.*, 1971; Farquhar & Sharkey, 1982). Een hogere luchtvochtigheid leidt tot een hogere stomataire geleidbaarheid (Grange & Hand, 1987) en daarmee tot een hogere fotosynthese. Bij lage luchtvochtigheid sluiten huidmondjes zich. Daardoor is de weerstand voor de uitwisseling van waterdamp en CO_2 groter dan bij een hoge luchtvochtigheid. Daardoor verloopt de fotosynthese langzamer bij lagere luchtvochtigheden (Ludlow & Wilson, 1971). In een recente studie bij roos gaven Schapendonk & Pot (2007) aan dat de luchtvochtigheid van groot belang is voor de optimale fotosynthesesnelheid en groei.

Bakker (1991) berekende dat een verhoging van het vochtdeficit met 8 gram per m^3 (van ca. 100 naar 50% RV) leidde tot een afname van de bladfotosynthese van tomaat met 16% onder omstandigheden met lichtverzadiging waarbij de huidmondjes bij de hoge luchtvochtigheid maximaal open staan. Het effect op lager gelegen bladeren die minder licht krijgen was veel kleiner. Het uiteindelijke effect op de totale gewasfotosynthese is beperkt. Bij veel licht daalt de gewasfotosynthese met minder dan 5% en in omstandigheden met weinig licht met 2-3%. Ook Grange & Hand (1987) gaven aan dat het effect van luchtvochtigheden tussen 50 en 90% RV (bij 20 °C) op de fotosynthese beperkt is, tenzij de verdamping groter is dan de hoeveelheid water die beschikbaar is en er water stress ontstaat.

Stomataire geleidbaarheid

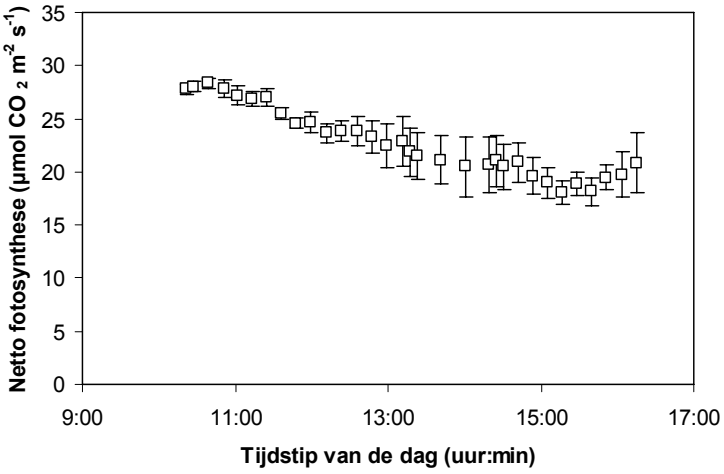
Om gasuitwisseling tussen blad en omgeving mogelijk te maken, is het nodig dat de huidmondjes van het blad geopend zijn (Farquhar & Sharkey, 1980). Als de huidmondjes te ver gesloten zijn, is de stomataire geleidbaarheid (maat voor de openingstoestand van de huidmondjes) onder die condities beperkend voor de fotosynthese (Figuur 1.4). Uit berekeningen met een fotosynthesemodel (Farquhar *et al.*, 1980) blijkt dat naarmate de lichtintensiteit hoger is, de stomataire geleidbaarheid eerder beperkend is. Bij een lichtniveau van 150 µmol m^{-2} s^{-1} is de fotosynthese 95% van de maximale waarde bij een stomataire geleidbaarheid van 0.08 mol m^{-2} s^{-1}. Bij een lichtniveau van 800 µmol m^{-2} s^{-1} is dit bij een stomataire geleidbaarheid van 0.19 mol m^{-2} s^{-1}. Als de stomataire geleidbaarheid toeneemt boven deze drempelwaardes (de huidmondjes gaan verder open) heeft dit geen gevolgen voor de fotosynthese. Er zijn dan andere factoren beperkend voor de fotosynthesesnelheid. Als de stomataire geleidbaarheid onder deze drempelwaardes zakt, neemt de fotosynthesesnelheid sterk af.



Figuur 1.4. Relatie tussen de stomataire geleidbaarheid en de berekende netto fotosynthese bij twee lichtniveaus. Deze relaties zijn berekend met een fotosynthesemodel volgens Farquhar et al., 1980.

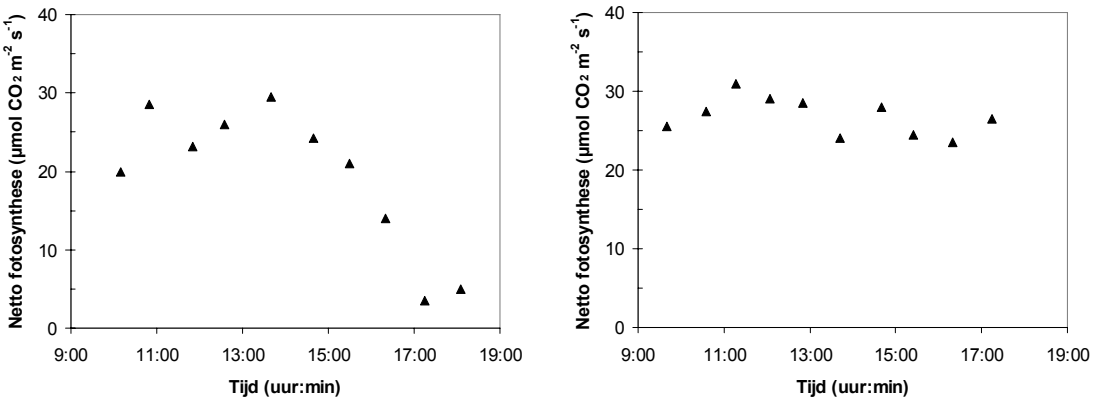
1.2 Verloop van de fotosynthese gedurende de dag

In het onderzoeksproject "Optimaliseren van de energie-efficiëntie van belichting" (Dueck *et al.*, 2007) dat in 2006 is uitgevoerd, werd het verloop van de fotosynthese van belichte rozenplanten midden op de dag gemeten op een praktijkbedrijf. Gedurende de periode dat de metingen werden gedaan, van ca. 10:00 uur tot 16:15 uur nam de fotosynthese geleidelijk af van ca. 28 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1} naar ca. 18 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1} (Figuur 1.5), een daling van 35%. Deze metingen stopten aan het einde van de middag. De vraag blijft wat er in de ochtend gebeurt met de fotosynthese, en of er gedurende de nacht een herstel van de fotosynthese plaatsvindt. Uit deze meetresultaten werd geconcludeerd dat als de gesommeerde gemiddelde fotosynthese tussen 13:00 en 15:00 uur hoger was dan ca. 6 mg CO_2 m^{-2} s^{-1}, er een reductie van de fotosynthesesnelheid optrad. Dueck *et al.* (2007) geven als mogelijke redenen voor de afname van de fotosynthese gedurende de dag een suboptimale vochtvoorziening of feedback-inhibitie (afname van de fotosynthese door assimilatenophoping) aan.



Figuur 1.5. Het verloop van de fotosynthese van een rozengewas cv Passion gedurende de dag, gemiddeld over 6 meetdagen (Bron: Dueck et al., 2007).

Ook in het project "Energiebesparing mobiele belichting roos" (Marissen *et al.*, 2005) zijn gedurende de dag fotosynthesemetingen uitgevoerd in een rozengewas in een onderzoekskas. In dit project werd gemeten aan rozen die "op snee" geteeld werden. Dat houdt in dat van een gewas op een zeker moment volledig teruggeknipt is en dat op de basis van het gewas in de weken daarna alleen jonge scheuten groeien die uitgroeien tot oogstbare takken. Bij metingen aan het begin van de snee bleek dat 's morgens om ca. 10 uur de fotosynthesesnelheid ca. 20 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1} bedroeg. Aan het begin van de middag was de maximale fotosynthese gestegen tot ca. 30 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}, waarna deze afnam tot ongeveer 5 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1} om 18:00 uur (Figuur 1.6; Marissen *et al.*, 2005). Bij een gewas aan het einde van de snee bleek de fotosynthesesnelheid gedurende de dag redelijk constant te blijven (Figuur 1.2). Marissen *et al.* (2005) geven aan dat de daling van de fotosynthese aan het begin van de snee mogelijk werd veroorzaakt doordat er weinig assimilatiegebruikende delen aan de plant zaten en halverwege de dag de behoefte aan assimilaten voor de groei al was gedekt. Hiervoor kan ook de term "feedback inhibitie" gebruikt worden.



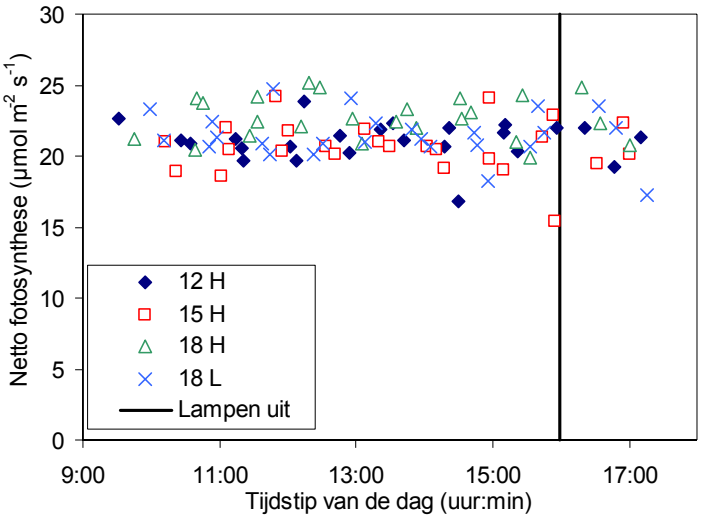
Figuur 1.6. Verloop van de netto fotosynthese gemeten aan een rozengewas op snee geteeld aan het begin van de teelt (links) en aan het einde van de eerste snee (rechts) (Bron: Marissen et al., 2005).

In een onbelichte rozenteelt werd fotosynthese in een plantkamer gemeten bij omgevingsomstandigheden (temperatuur, licht, CO_2 en RV) (Kim & Lieth, 2001). De netto fotosynthese varieerde met het licht mee. Uit een vergelijk van de gemeten resultaten met modelberekeningen, bleek dat het verloop van de metingen overeenstemde met de modelberekeningen, hetgeen aangeeft dat het fotosynthesesysteem van de plant gedurende de hele dag met een zelfde efficiëntie gefunctioneerd heeft aangezien alle parameters van het fotosynthesemodel gedurende de dag constant werden gehouden.

In bovenstaande projecten werden korte metingen aan individuele bladeren van rozen uitgevoerd (Marissen *et al.*, 2005; Dueck *et al.*, 2007) of werd langdurig gemeten aan een hele plant in een plantkamer (Kim & Lieth, 2001). In dit project werd langdurig bladfotosynthese gemeten door een deel van het blad gedurende 16 tot 24 uur in te klemmen en onder constante condities in de meetcuvet te houden. Deze methode is in fase 1 van dit project getest, en in fase 2 met goed resultaat toegepast (zie hoofdstuk 3, resultaten).

Ook in een aantal andere (kas)gewassen is onderzoek gedaan naar het verloop van de fotosynthese gedurende de dag. Bij tomaat (Ayari *et al.*, 2000) werd in de winter geen verloop van de fotosynthese gedurende de dag gevonden. In het voorjaar, bij hogere lichtintensiteiten, bleek de fotosynthese gedurende de dag af te nemen. Dit ging gepaard met een toename van assimilaten in het blad, gemeten als sucrose en zetmeel. Ayari *et al.* (2000) nemen dan ook aan dat de afname van de fotosynthese in het voorjaar wordt veroorzaakt door een (tijdelijk) assimilatenoverschot in het blad (feedback inhibitie). Door Dieleman & Kempkes (2005) werden vergelijkbare resultaten gevonden. In januari vertoonde de fotosynthese geen verloop gedurende de dag (tussen 10:00 en 16:00 uur). Aan het begin van de dag nam de fotosynthese gemeten onder vaste omstandigheden in de meetcuvet toe, aan het einde van de dag nam de

fotosynthese af, hetgeen gerelateerd was aan de openingstoestand van de huidmondjes. Bij de metingen in het voorjaar was te zien dat de fotosynthese vanaf enkele uren na zonsopkomst geleidelijk afnam (Dieleman & Kempkes, 2005). Nederhoff & Vegter (1994) hebben de gewasfotosynthese van tomaat, komkommer en paprika gemeten. Zij vonden voor deze gewassen geen relatie tussen het niveau van de fotosynthese en het tijdstip van de dag. Nederhoff & Vegter maakten hierbij het voorbehoud dat zij geen fotosynthesemetingen hebben gedaan op zeer zonnige dagen (lichtniveau was maximaal 640 µmol PAR m^{-2} s^{-1}) en dat een effect op de fotosynthese onder hoog licht omstandigheden niet uit te sluiten is. Heuvelink (1996) heeft echter wel metingen gedaan aan gewasfotosynthese op zeer zonnige dagen (tot ongeveer 1400 µmol PAR m^{-2} s^{-1}). Ook hij vond geen hysterese in de gewasfotosynthese, met andere woorden: er was geen systematisch verschil tussen fotosynthese in de ochtend en in de middag (Heuvelink, 1996). Recent is in tomaat onderzoek gedaan naar de efficiëntie van belichting (Dueck *et al.*, 2007). Er werden 4 behandelingen aangehouden, te weten 12, 15 of 18 uur belichten met 162 µmol PAR m^{-2} s^{-1} of 18 uur belichten met 135 µmol PAR m^{-2} s^{-1}. Het starttijdstip van de belichting verschilde per behandeling. Het eindtijdstip van de belichting was voor alle behandelingen 16:00 uur. In Figuur 1.7 is te zien dat de fotosynthesesnelheid onder vaste omstandigheden in de meetcuvet voor alle behandelingen gelijk was, en gedurende de laatste uren van de belichtingsperiode constant was.



Figuur 1.7. *Netto fotosynthesesnelheid van tomaat geteeld bij 12, 15 of 18 uur belichting met 162 µmol PAR m^2 s^{-1} (12H, 15H, 18H) of 18 uur belichting met 135 µmol PAR m^2 s^{-1} (18L), gemeten bij vaste klimaatomstandigheden in de meetcuvet (465 µmol PAR m^2 s^{-1} op het blad, 700 ppm CO_2 en 21 °C). Bron: Dueck et al., 2007.*

Volgens Hand *et al.* (1992, 1993), die de gewasfotosynthese van aubergine gemeten hebben, is er voor planten (in de kas) die voldoende water krijgen nauwelijks verschil tussen lichtresponscurven gemaakt in de ochtend of de middag.

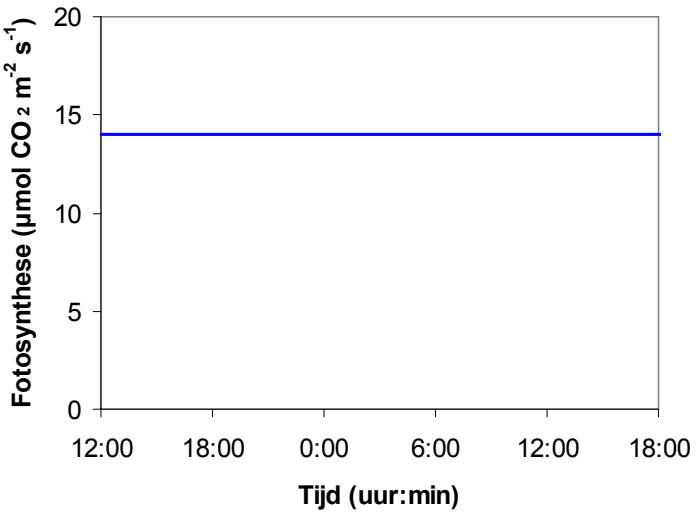
Veel onderzoek naar het verloop van de fotosynthese gedurende de dag is uitgevoerd aan (houtige) gewassen die buiten een kas worden geteeld.

In *Arbutus unedo* (aardbeiboom) werd gedurende langere tijd het verloop van de fotosynthese gedurende de dag gemeten aan een deel van het blad (Raschke & Resemann, 1986). Uit deze metingen bleek dat er een middagdepressie in de fotosynthese optrad: vanaf 10:00 uur namen de stomataire geleidbaarheid en fotosynthese sterk af, om zich na ca. 12:00 uur weer te herstellen. Oorzaak van deze tijdelijke daling van de fotosynthese is naar alle waarschijnlijkheid een hoge VPD. Het bleek dat de fotosynthese nauwelijks gevoelig was voor de temperatuur, zolang de VPD constant gehouden werd (Raschke & Resemann, 1986). Niet in alle gevallen was de reden duidelijk

van een (tijdelijke) daling van de fotosynthese gedurende de dag. Chaumont *et al.* (1994) concludeerde dat de afname van de fotosynthese gedurende de middag bij druif zowel werd veroorzaakt door stomataire en niet-stomataire effecten. In *Quercus subur* werd gevonden dat de fotosynthesesnelheid in de ochtend toenam met de hoeveelheid licht. Als de VPD boven een zekere waarde kwam, namen de stomataire geleidbaarheid en fotosynthese sterk af, tot in de loop van de middag de VPD weer daalde (Tenhunen *et al.*, 1984). Ondanks de sluiting van de huidmondjes, blijft de CO_2 concentratie in het blad op min of meer hetzelfde niveau. Dit houdt in dat er dan in het blad ook metabole veranderingen plaats moeten vinden, waardoor een hoge CO_2 concentratie aangehouden kan worden in het blad.

1.3 Efficiëntie van het groeilicht

In dit onderzoek wordt nagegaan wat het verloop van de efficiëntie van het groeilicht gedurende het etmaal is. Als planten gedurende het hele etmaal even efficiënt met licht om zouden kunnen gaan, zou het verloop van de fotosynthese onder vaste, constante omstandigheden in de meetcuvet een vast niveau hebben (Figuur 1.8).



Figuur 1.8. Theoretisch verloop van de fotosynthese gedurende een etmaal onder constante omstandigheden in de meetcuvet.

Er zijn veel factoren die er de oorzaak van kunnen zijn dat dit theoretische verloop van de fotosynthese gedurende het etmaal niet gerealiseerd wordt. Als het bijvoorbeeld midden op de dag erg warm en droog wordt in de kas, zullen de huidmondjes zich gedeeltelijk sluiten, en zal de fotosynthese op die momenten laag zijn. Dat herstelt zich als de temperatuur weer afneemt en het vochtgehalte in de kaslucht weer toeneemt. In dit project willen we nagaan of de efficiëntie van alle belichtingsuren even hoog is. Als de temperatuur, vochtigheid en CO_2 gehalte van de kaslucht op gewenste niveaus zijn, is het mogelijk dat de fotosynthese aan het einde van de dag afneemt door een assimilatenophoping in de bladeren ("feed-back inhibitie van de fotosynthese). Het "teveel" aan assimilaten in de bladeren zou dan 's nachts verwerkt worden, zodat het niveau van de fotosynthese zich in de nacht weer zou herstellen. Als dit op zou treden zou het mogelijk gunstig zijn de lampen aan het einde van de belichtingsperiode eerder uit te schakelen. Of dit inderdaad zo is, is afhankelijk van de kosten van belichten en de hoogte van de afname in het niveau van de fotosynthese.

2 Materiaal en methoden

2.1 Fotosynthesemetingen

Netto bladfotosynthese werd gemeten met een draagbare fotosynthesemeter (LC Pro$^+$, ADC, Verenigd Koninkrijk). De fotosynthesemeter heeft een meetcuvet van 6,25 cm^2 die op het topblaadje van een blad met 5 of 7 deelblaadjes wordt geplaatst. Er werd gekozen voor een onbeschadigd blad dat volledig ontwikkeld en uitgegroeid was. In de meetcuvet kan de temperatuur geregeld worden en wordt de lichtintensiteit gestuurd met behulp van een lichtbron. De CO_2 concentratie en dampspanning van de lucht die de meetcuvet binnenkomt kan worden gestuurd. Uit het verschil van de CO_2 concentratie en dampspanning van de in- en uitgaande lucht wordt de netto bladfotosynthesesnelheid (µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}) berekend, evenals de verdampingssnelheid (mmol H_2O m^{-2} s^{-1}) en de geleidbaarheid van de huidmondjes voor waterdamp (mol H_2O m^{-2} s^{-1}).

2.2 Fase 1: controlemetingen

Aan een aantal onbelichte rozenplanten in onderzoekskassen in Wageningen werden fotosynthesemetingen uitgevoerd door gedurende langere tijd (16 tot 48 uur) een deel van een blad in te klemmen in een meetcuvet, waarin lichtintensiteit, luchtvochtigheid, CO_2 concentratie en temperatuur op een vast niveau gehouden kon worden. Aan het einde van deze langdurige metingen werd aan 6 planten korte metingen gedaan om de niveaus van fotosynthese te vergelijken.

2.3 Fase 2: metingen op praktijkbedrijven

In dit project zijn fotosynthesemetingen uitgevoerd op een aantal praktijkbedrijven. Deze bedrijven hebben de volgende karakteristieken:

1. Hoge lichtintensiteit (190 µmol PAR m^{-2} s^{-1}), 20 uur belichten per dag , grootbloemige rode roos 'Red Naomi'
2. Middelhoge lichtintensiteit (100 µmol PAR m^{-2} s^{-1}), 22 uur belichten per dag, grootbloemige rode roos 'Passion'
3. Lage lichtintensiteit (40 µmol PAR m^{-2} s^{-1}), 20 uur belichten per dag, grootbloemige rode roos 'Cherry Lady'
4. Hoge lichtintensiteit (145 µmol PAR m^{-2} s^{-1}), 24 uur belichten per dag, grootbloemige rode roos 'Passion'
5. Hoge lichtintensiteit (140 µmol PAR m^{-2} s^{-1}), 24 uur belichten per dag, grootbloemige rode roos 'Grand Prix'
6. Middelhoge lichtintensiteit (100 µmol PAR m^{-2} s^{-1}), 20 uur belichten per dag, kleinbloemige rode roos 'Sacha'

Tijdens de metingen bleek dat de belichtingstrategieën die gerealiseerd werden niet altijd overeen kwamen met de strategie zoals van te voren was aangegeven. In de resultaten en bijlagen staan de gerealiseerde belichtingsstrategieën verder uitgewerkt.

Op elk bedrijf zijn de volgende metingen gedaan of registraties uitgevoerd:

1. Bedrijfskenmerken
2. Fotosynthesesnelheid
3. Kasklimaatgegevens
4. Watergehalte van de mat

Ad. 1. Bedrijfskenmerken

Van elk bedrijf werden de volgende kenmerken geregistreerd:

- Bedrijfsgegevens: bedrijfsnaam, adres, telefoon en mailadres
- Kas: kasgrootte en –leeftijd, type kasdek en eventuele bijzonderheden
- Gewas: cultivar, leeftijd gewas en eventuele bijzonderheden

- Belichting: belichtingsintensiteit, -duur en –periode, aantal belichtingsgroepen en aanschakeltijden, type lichthinderscherm en tijdstippen van sluiten
- Irrigatie: frequentie en beurtgrootte

Ad. 2. Fotosynthesesnelheid

Op de bedrijven zijn op meerdere dagen gedurende het etmaal fotosynthesemetingen uitgevoerd (zie paragraaf 2.1). De metingen zijn per bedrijf in twee series van drie dagen gedaan. De eerste serie werd gemeten in januari of februari, de tweede serie in maart of april. Tijdens de metingen werd de CO_2 concentratie in de meetcuvet ingesteld op 900 ppm, de temperatuur op 25 °C en de RV op 80%. Tijdens de eerste serie metingen werd het lichtniveau in de meetcuvet 's nachts ingesteld op het niveau van de assimilatiebelichting van het betreffende bedrijf en overdag op het gemiddelde niveau van de hoeveelheid zonlicht in de maand dat gemeten werd plus assimilatielicht. Tijdens de tweede serie metingen werd overdag en 's nachts gemeten bij 150 µmol PAR m^{-2} s^{-1} in de meetcuvet.

Ad. 3. Kasklimaatgegevens

Van elk bedrijf werd het gerealiseerde kasklimaat zoals was gemeten door de meetbox van de teler, gerealiseerde belichtingsstrategie en het gerealiseerde gebruik van het lichthinderscherm opgevraagd van de dagen waarop fotosynthesemetingen gedaan zijn. De mate waarin deze gegevens verkregen werden, was afhankelijk van het type klimaatcomputer, en bleek niet van alle bedrijven volledig te zijn.

Ad. 4. Watergehalte van de mat

Tijdens de fotosynthesemetingen werd het watergehalte van de mat gemeten door rondom de plant waar aan gemeten werd 4 sensoren te steken (WET sensor, Delta T Devices, Verenigd Koninkrijk). Met behulp van een laptop werd het watergehalte elke 4 minuten geregistreerd.

3 Resultaten fotosynthesemetingen op praktijkbedrijven

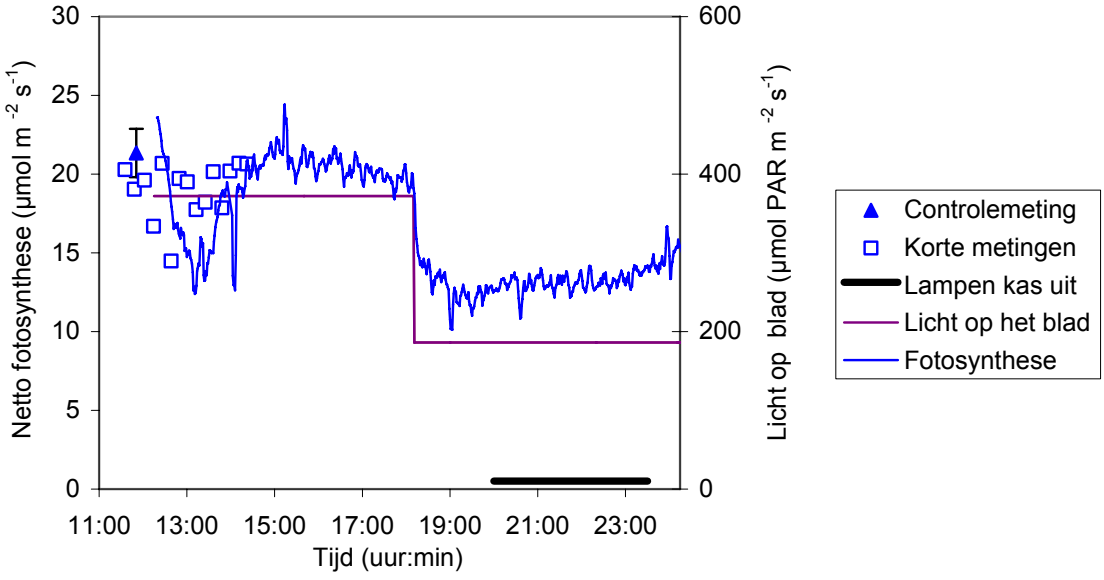
Uit fase 1 van dit project is gebleken dat het goed mogelijk is gedurende 24 uur bij een lichtintensiteit van 250 µmol PAR m^{-2} s^{-1} het verloop van de fotosynthese continu aan één blad te meten. Besloten is aan het einde van dergelijke langdurige metingen altijd een controle uit te voeren op het eindniveau van de fotosynthese door van een aantal vergelijkbare bladeren de fotosynthese te meten. De resultaten van de metingen in fase 1 zijn in Bijlage I weergegeven.

In onderstaande paragrafen worden per belichtingstrategie de resultaten van de fotosynthesemetingen samengevat weergegeven. De uitgebreide weergaven van de meetresultaten, zoals met de telers besproken, staan weergegeven in Bijlagen II tot en met VII.

3.1 Hoge lichtintensiteit (190 µmol PAR m^{-2} s^{-1}), 20 uur belichten

De resultaten van de fotosynthesemetingen bij de belichtingsstrategie "20 uur 190 µmol PAR m^{-2} s^{-1}" zijn te vinden in Bijlage II. In deze paragraaf wordt hiervan een samenvatting gegeven. De eerste serie metingen bij deze belichtingsstrategie is uitgevoerd in februari. In deze periode werd de belichting in 3 stappen aan- en uitgeschakeld. De belichting was volledig uitgeschakeld tussen 20:00 en 23:40 uur. Gedurende de tweede serie metingen, in maart, was de donkerperiode van 20:00 tot middernacht (zie Bijlage II). De metingen aan deze belichtingsstrategie zijn uitgevoerd bij de grootbloemige rode roos "Red Naomi".

Tijdens de eerste serie metingen werd in de meetcuvet overdag een lichtniveau van 372 µmol PAR m^{-2} s^{-1} aangehouden en 's nachts 186 µmol PAR m^{-2} s^{-1}. Op een van de meetdagen werd overdag zowel langdurig aan één plant gemeten en werden kortdurende metingen aan verschillende, vergelijkbare bladeren gedaan (Figuur 3.1).

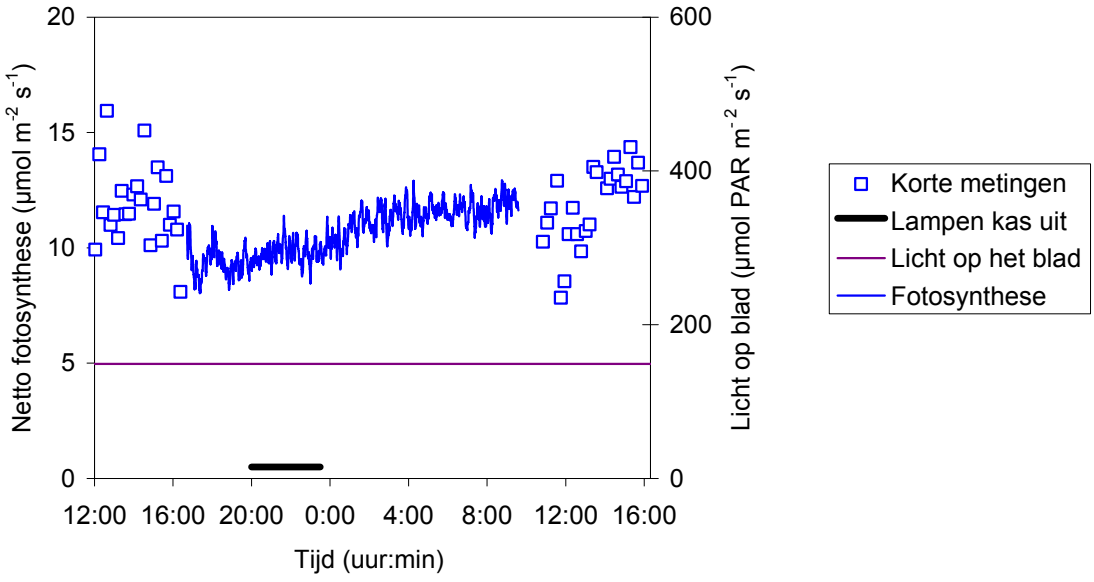


Figuur 3.1. Netto fotosynthese van roos 'Red Naomi' op 20 februari gedurende de dag bij 372 µmol PAR m^2 s^{-1} en gedurende de nacht bij 186 µmol PAR m^2 s^{-1}.

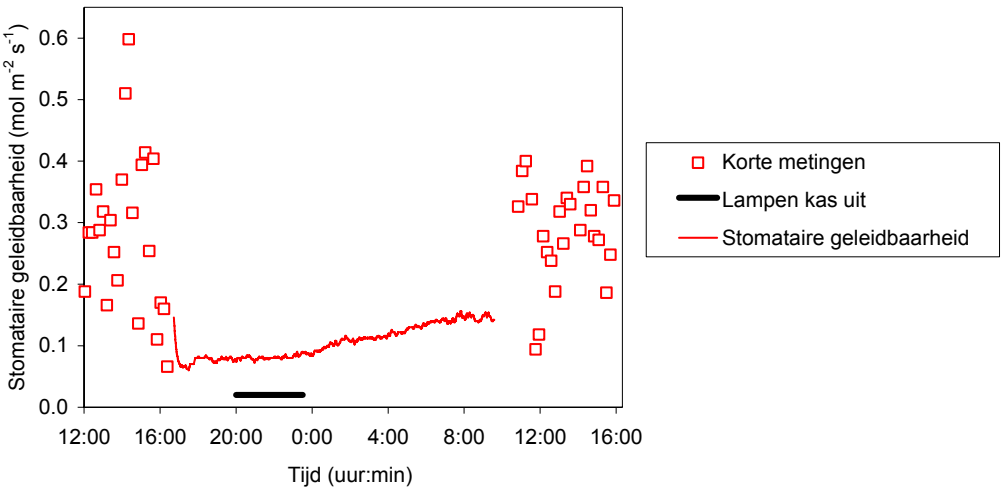
De resultaten laten zien dat de fotosynthese gedurende de laatste uren van de (natuurlijke dag) min of meer constant is. 's Nachts ligt de fotosynthese op een lager niveau omdat er minder licht is in de bladkamer. Ook 's nachts is de fotosynthese min of meer constant. Tijdens de nacht traden er soms problemen op met vocht in de fotosynthese-apparatuur. De metingen waren daardoor niet betrouwbaar, daarom zijn alleen de metingen getoond tot middernacht.

De tweede serie fotosynthesemetingen is gedaan bij één lichtniveau in de meetcuvet, te weten 150 µmol PAR m^{-2} s^{-1}. Overdag zijn afzonderlijke metingen gedaan aan verschillende, vergelijkbare bladeren. Aan het einde van de middag werd de meetcuvet op een blad geplaatst, waaraan gedurende de nacht werd gemeten.

Uit de individuele metingen (puntmetingen)blijkt dat er een grote variatie is in de metingen van fotosynthese aan verschillende planten (Figuur 3.2), ondanks het feit dat de omstandigheden in de meetcuvet (lichtniveau, temperatuur, CO_2 en vochtgehalte) gelijk zijn. Dit geeft aan dat er een grote variatie is tussen afzonderlijke planten. De fotosynthese neemt gedurende de dag (tot zononder) geleidelijk af. Bij de puntmetingen wordt elke 10-15 minuten gemeten aan een nieuwe plant. Deze planten staan onder de heersende omstandigheden, waarbij de stomataire geleidbaarheid met een afname van de straling aan het einde van de middag afneemt. In de nacht neemt de fotosynthese toe van ca. 9 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1} tot ca. 12 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1} (Figuur 3.2). De reden hiervoor is waarschijnlijk dat de langdurige meting pas om ongeveer half 5 gestart is. De stomataire geleidbaarheid van de huidmondjes van de planten waaraan de kortdurende metingen gedaan zijn, was op dat moment gedaald naar ca. 0.1 mol m^{-2} s^{-1}. Gelijk met de toename van de fotosynthese 's nachts is ook een toename van de stomataire geleidbaarheid te zien (Figuur 3.3).

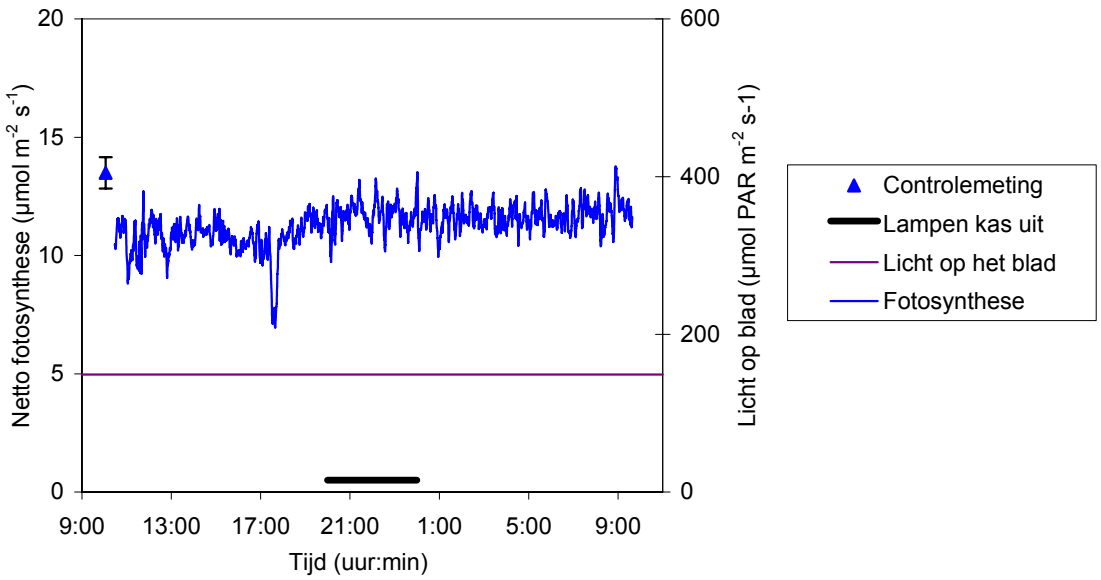


Figuur 3.2. Netto fotosynthese van roos 'Red Naomi' op 21 en 22 maart gedurende de dag en nacht bij 150 µmol PAR m^{-2} s^{-1}.



Figuur 3.3. Stomataire geleidbaarheid van roos 'Red Naomi' op 21 en 22 maart gedurende de dag en nacht bij 150 µmol PAR m^2 s^{-1}.

Op 26 maart is het verloop van de fotosynthese gedurende de dag (tot zononder) redelijk constant. In de nacht neemt de fotosynthese eerst iets toe, en blijft gedurende de rest van de nacht op een constant niveau (Figuur 3.4).



Figuur 3.4. Netto fotosynthese van roos 'Red Naomi' op 26 en 27 maart gedurende de dag en nacht bij 150 µmol PAR m^2 s^{-1}.

Een voor de hand liggende verklaring voor een dalende fotosynthesesnelheid aan het einde van de dag zou kunnen zijn dat het gewas aan het einde van een dag met veel straling minder efficiënt met licht om zou gaan dan aan het einde van een dag met weinig straling. Op 21 en 22 maart, dagen dat er 's nachts sprake was van een toename van de fotosynthese is de globale stralingssom buiten respectievelijk 9.9 en 14.9 MJ per m^2. Door de belichting zijn de absolute verschillen in de kas kleiner. De PAR stralingssommen in de kas zijn 18.6 mol per m^2 op 21 maart en 20.0 mol per m^2 op 22 maart. Op 26 maart, als de fotosynthese gedurende het etmaal min of meer constant is, is de hoeveelheid straling hoger. De globale straling is die dag 17.1 MJ per m^2 en de PAR stralingssom in de kas is

dan 21.4 mol per m^2. Dit geeft aan dat de stralingssom niet de enige factor is die het verloop van de fotosynthese gedurende de dag bepaalt.

In onderstaande tabel staan de meetresultaten bij de belichtingsstrategie "190 µmol PAR m^{-2} s^{-1} gedurende 20 uur" samengevat.

Meetdag	Lichtsom[1] (mol m^{-2} dag^{-1})	Verloop fotosynthese tot zon onder	Verloop fotosynthese 's nachts	Mogelijk oorzaak verloop fotosynthese
19 februari	15.6	Constant	n.b.[2]	n.v.t.
20 februari	16.6	Constant	Constant	n.v.t.
21 februari	13.7	Daling	Toename	Onbekend
21 maart	18.6	Daling	Toename	Tot zononder kortdurende metingen. Verloop ging gepaard met daling stomataire geleidbaarheid. Langdurige fotosynthese-meting gestart aan einde van de middag, toename ging gepaard met toename stomataire geleidbaarheid
22 maart	20.0	Constant	Toename	Langdurige fotosynthesemeting gestart aan einde van de middag, toename ging gepaard met toename stomataire geleidbaarheid
26 maart	21.4	Constant	Constant	n.v.t.

[1] *De lichtsom betreft PAR straling in de kas, van zowel de zon als de belichting*

[2] *Verloop 's nachts niet bekend door technische storingen*

Conclusie

De resultaten van de fotosynthesemetingen bij de belichtingsstrategie "20 uur belichten met 190 µmol PAR m^{-2} s^{-1}" geven aan dat planten onder deze belichtingsstrategie en teeltcondities gedurende het hele etmaal even efficiënt met licht om kunnen gaan.

Opmerkingen

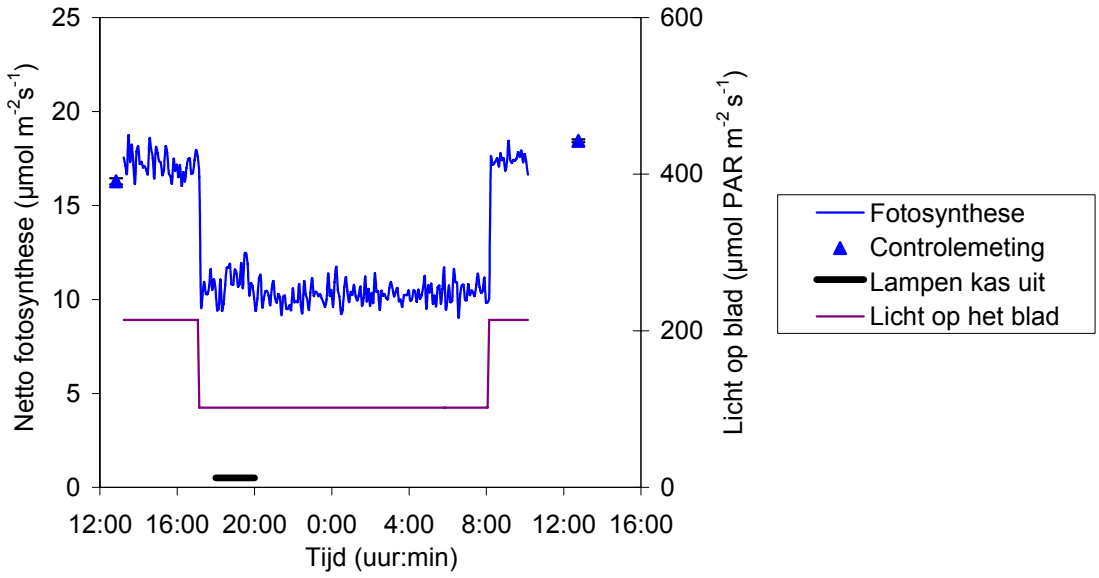
Er is onder deze belichtingsstrategie op een aantal manieren fotosynthese gemeten. De dag die het meest relevant is voor de conclusie is 26 maart. Uit de andere meetdagen blijkt dat naar het einde van de dag toe de stomataire geleidbaarheid van een blad afneemt. Wanneer dan gestart wordt met een langdurige fotosynthesemeting bij een vast lichtniveau, neemt de stomataire geleidbaarheid geleidelijk toe, wat gepaard gaat met een toename van de fotosynthese. Het is niet aannemelijk dat deze toename van de fotosynthese te maken heeft met een assimilaten-overschot in de plant, dat gedurende de nacht verwerkt wordt. Aanwijzing hiervoor is ook dat er op 26 maart geen toename van de fotosynthese 's nachts gemeten wordt, terwijl dat de meetdag bij deze belichtingsstrategie is met de hoogste stralingssom.

3.2 Middelhoge lichtintensiteit (100 µmol PAR m^{-2} s^{-1}), 22 uur belichten

De resultaten van de fotosynthesemetingen bij de belichtingsstrategie "22 uur belichten met 100 µmol PAR m^{-2} s^{-1}" zijn te vinden in Bijlage III. In deze paragraaf wordt hiervan een samenvatting gegeven. De eerste serie metingen bij deze belichtingsstrategie is uitgevoerd van 22-25 januari. In die periode werden de lampen direct na zonsondergang

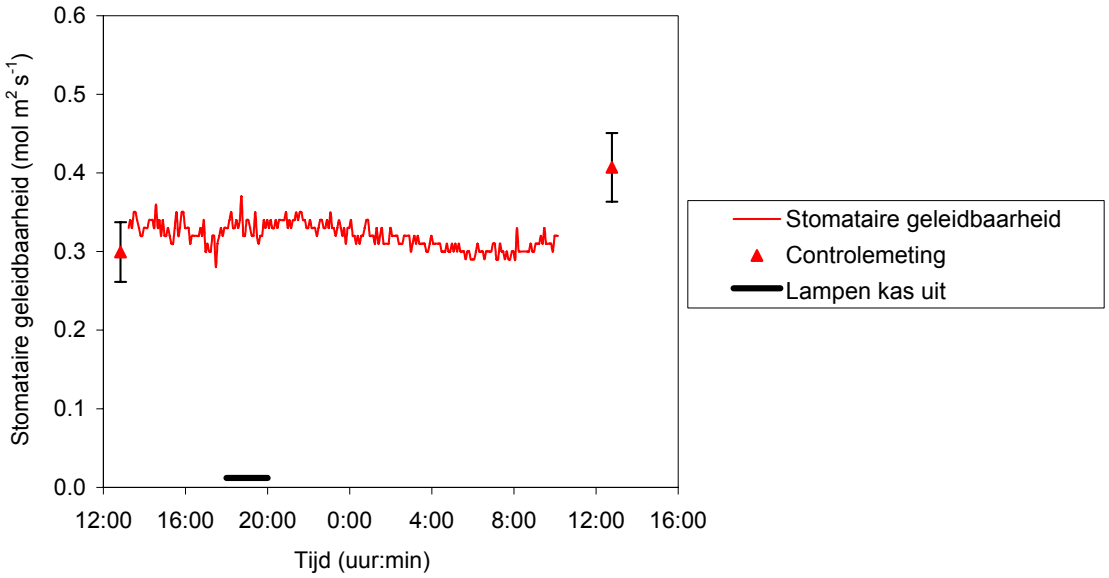
2 uur uitgeschakeld, van 17:00 tot 19:00 uur (op 22 januari van 18:00 tot 20:00 uur). Tijdens de tweede serie metingen werden de lampen uitgeschakeld tussen 19:00 uur en 23:00 uur, een belichtingsduur van 20 uur. De metingen aan deze belichtingsstrategie zijn uitgevoerd bij de grootbloemige rode roos “Passion”.

In februari werd fotosynthese gemeten met overdag 215 µmol PAR m^{-2} s^{-1} licht in de meetcuvet en ’s nachts 100 µmol PAR m^{-2} s^{-1}, het niveau van de assimilatiebelichting. Uit de resultaten bleek dat de fotosynthese gedurende de dag en de nacht constant was bij beide lichtniveaus (Figuur 3.5). Dit geeft aan dat de plant gedurende de hele dag even efficiënt met het licht om kan gaan.



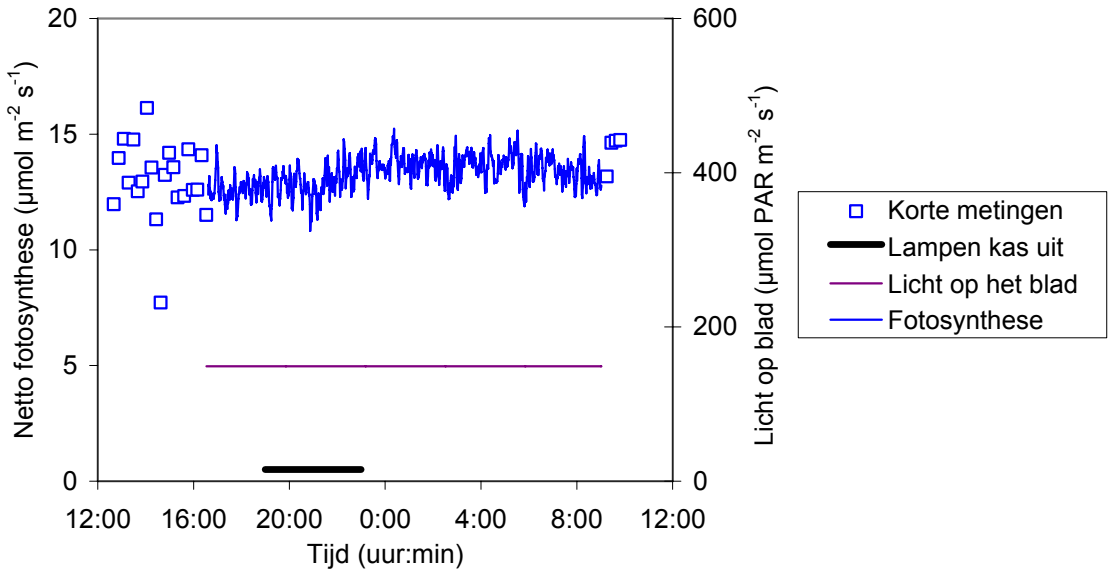
Figuur 3.5. Netto fotosynthese van roos ‘Passion’ op 22 en 23 januari 2007 bij 215 µmol PAR m^2 s^{-1} gedurende de dag en 100 µmol PAR m^2 s^{-1} gedurende de nacht.

Ook de stomataire geleidbaarheid, een maat voor de openingstoestand van de huidmondjes is op deze dagen heel constant (Figuur 3.6).



Figuur 3.6. Stomataire geleidbaarheid van bladeren van roos 'Passion' op 22 en 23 januari 2007 bij 215 µmol PAR m^2 s^{-1} gedurende de dag en 100 µmol PAR m^2 s^{-1} gedurende de nacht.

In maart werd de fotosynthese gemeten bij continu 150 µmol PAR m^{-2} s^{-1} in de meetcuvet. Overdag werden kortdurende fotosynthesemetingen gedaan aan verschillende, vergelijkbare bladeren. Aan het einde van de dag werd een langdurige meting gestart (Figuur 3.7).



Figuur 3.7. Netto fotosynthese van roos 'Passion' op 29 en 30 maart 2007 gedurende de dag en nacht bij 150 µmol PAR m^2 s^{-1}.

In onderstaande tabel staan de meetresultaten bij de belichtingsstrategie "100 µmol PAR m^{-2} s^{-1} gedurende 22 uur" samengevat.

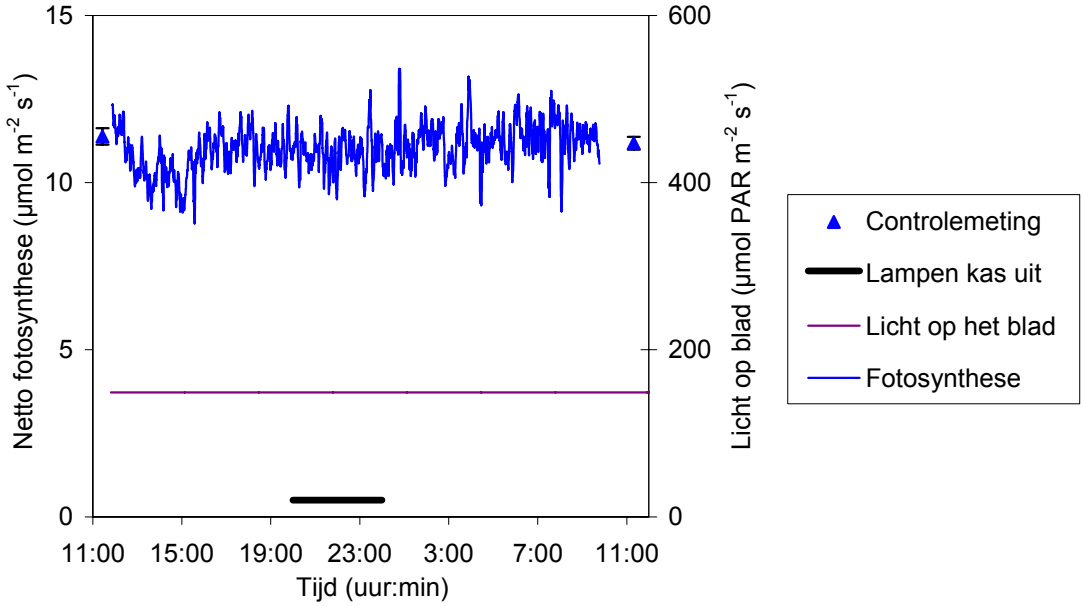
Meetdag	Lichtsom[1] (mol m^{-2} dag^{-1})	Verloop fotosynthese tot zon onder	Verloop fotosynthese 's nachts	Mogelijk oorzaak verloop fotosynthese
22 januari	10.1	Constant	Constant	
23 januari	14.3	Constant	Constant	
24 januari	14.4	Constant	Constant	
28 maart	32.7	Constant	Toename	Tot zononder kortdurende metingen. Verloop ging gepaard met daling stomataire geleidbaarheid. Langdurige fotosynthese-meting gestart aan einde van de middag, toename ging gepaard met toename stomataire geleidbaarheid
29 maart	20.2	Constant	Constant	

De conclusie van de metingen bij de belichtingstrategie "20 tot 22 uur belichten met 100 µmol PAR m^{-2} s^{-1}" is dat de planten onder deze strategie gedurende de hele dag even efficiënt met licht om kunnen gaan. De fotosynthese-efficiëntie van de planten wordt niet belemmerd door belichtingsduur of –intensiteit.

3.3 Lage lichtintensiteit (40 µmol PAR m^{-2} s^{-1}), 20 uur belichten

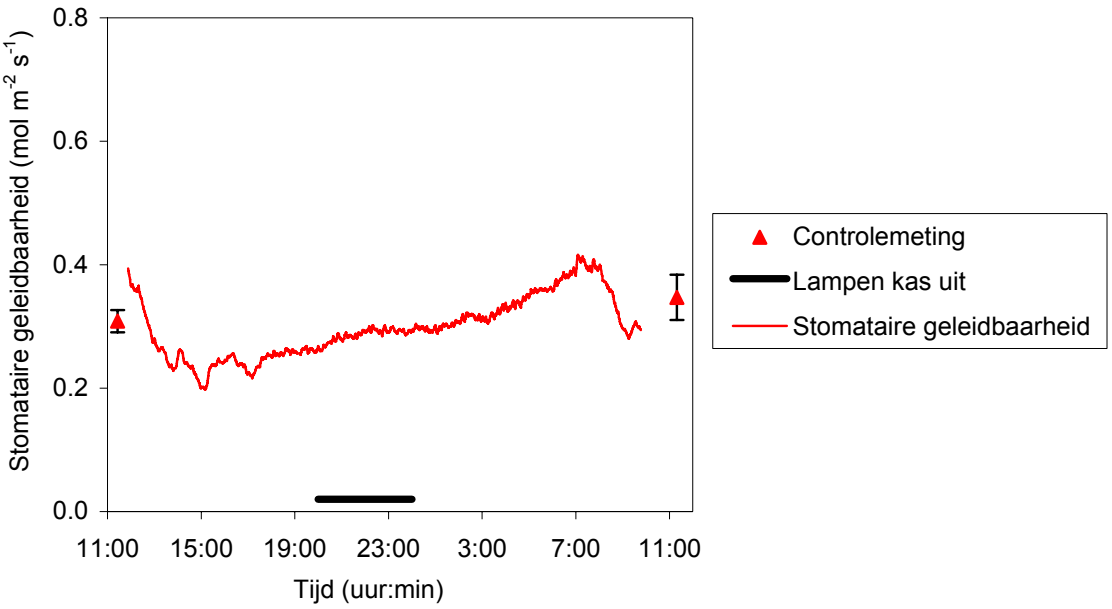
Bij de eerste serie metingen die bij deze belichtingstrategie zijn uitgevoerd, eind januari/begin februari werd op de meeste dagen 20 uur belicht. Bij de tweede serie metingen, in maart, werd 12-14 uur belicht per dag. Overdag werd bij hogere lichtintensiteiten de belichting uitgeschakeld. De metingen aan deze belichtingsstrategie zijn uitgevoerd bij de grootbloemige rode roos "Cherry Lady".

De resultaten van de fotosynthesemetingen zijn te vinden in Bijlage IV. In deze paragraaf wordt hiervan een samenvatting gegeven. Het verloop van de fotosynthese op de meetdagen was redelijk constant. In Figuur 3.8 is als voorbeeld de fotosynthese te zien op 13 en 14 maart 2007.



Figuur 3.8. Verloop van de netto fotosynthese van een rozenblad cv. Cherry Lady op 13 en 14 maart gedurende de dag en nacht bij 150 µmol PAR m^{-2} s^{-1}.

Ook op andere meetdagen zijn de schommelingen in fotosynthese gedurende de middag te zien, die samenvielen met een hoge instraling van de zon in de kas en de meetcuvet. Op die momenten was de relatieve luchtvochtigheid in de kaslucht relatief laag (65-70%). Door de hoge instraling in de meetcuvet was op die momenten de temperatuur in de meetcuvet hoog (26.5°C) en het vochtdeficit ook hoger dan gebruikelijk, hetgeen waarschijnlijk de schommelingen in fotosynthese veroorzaakt. De huidmondjes waren op die momenten iets meer gesloten (Figuur 3.9), hoewel een stomataire geleidbaarheid van 0.2 mol m^{-2} s^{-1} niet beperkend hoeft te zijn voor de fotosynthese (zie Figuur 1.4).



Figuur 3.9. Verloop van de stomataire geleidbaarheid van een rozenblad cv. Cherry Lady op 13 en 14 maart gedurende de dag en nacht bij 150 µmol PAR m^{-2} s^{-1}.

In onderstaande tabel staan de meetresultaten bij de belichtingsstrategie "40 µmol PAR m^{-2} s^{-1} gedurende 20 uur" samengevat.

Meetdag	Lichtsom[1] (mol m^{-2} dag^{-1})	Verloop fotosynthese tot zon onder	Verloop fotosynthese 's nachts	Mogelijk oorzaak verloop fotosynthese
31 januari	17.8	Daling	Constant	Onbekend
1 februari	10.1	n.b.[2]	n.b.	
12 maart	42.5	Dip	Constant	Vochtdeficit in de meetcuvet hoog tijdens de dip
13 maart	33.9	Dip	Constant	Vochtdeficit in de meetcuvet hoog tijdens de dip
14 maart	34.1	Korte dip	Constant	Vochtdeficit in de meetcuvet hoog tijdens de dip

[1] *De lichtsom betreft PAR straling in de kas, van zowel de zon als de belichting*

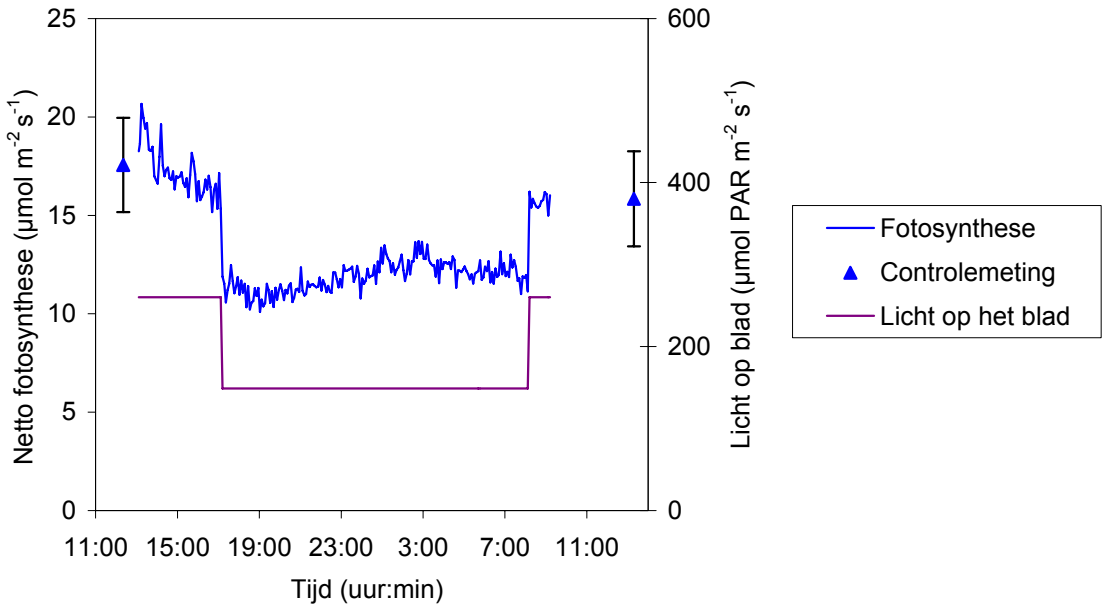
De conclusie van de metingen bij de belichtingstrategie "20 uur belichten met 40 µmol PAR m^{-2} s^{-1}" is dat de planten onder deze strategie gedurende de hele dag even efficiënt met licht om kunnen gaan. De fotosynthese-efficiëntie van de planten wordt niet belemmerd door belichtingsduur of –intensiteit. Een beperkende factor voor het efficiënt

gebruik van licht kan de vochtigheid van de (kas)lucht zijn. Op moment dat het vochtdeficit van de lucht in de meetcuvet en de kas tijdelijk hoog zijn, lijken de huidmondjes zich iets te sluiten en is de fotosynthese tijdelijk lager. Op het moment dat het vochtdeficit weer iets lager is, herstelt de fotosynthese zich.

3.4 Hoge lichtintensiteit (145 µmol PAR m^{-2} s^{-1}), 24 uur belichten

De resultaten van de fotosynthesemetingen bij de belichtingstrategie "24 uur belichten met 145 µmol PAR m^{-2} s^{-1} zijn te vinden in Bijlage V. In deze paragraaf wordt hiervan een samenvatting gegeven. Op het bedrijf waar deze metingen werden uitgevoerd, wordt over het algemeen 20 uur belicht. Speciaal voor dit project werd op de dagen dat fotosynthese werd gemeten, gedurende 24 uur belicht. De metingen aan deze belichtingsstrategie zijn uitgevoerd bij de grootbloemige rode roos "Passion".

In januari werd de fotosynthese gemeten met overdag 260 µmol PAR m^{-2} s^{1} in de meetcuvet en 's nachts 150 µmol PAR m^{-2} s^{-1}. Op de drie dagen dat in januari gemeten werd, bleek de fotosynthese op 2 van de 3 dagen aan het einde van de dag op een min of meer constant niveau was. Op één van de drie dagen bleek dat de fotosynthese aan het einde van de dag afnam (Figuur 3.10). Tijdens de eerste uren van de nacht trad een herstel op van de fotosynthese, die daarna de rest van de nacht min of meer stabiel bleef.

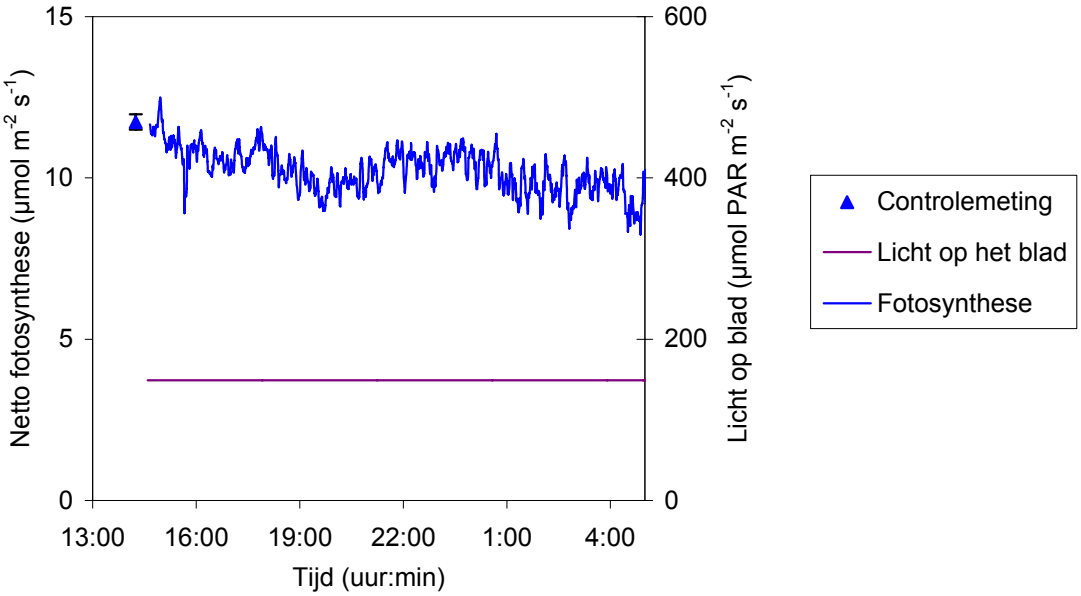


Figuur 3.10. Netto fotosynthese van roos 'Passion' op 18 en 19 januari 2007 bij 260 µmol PAR m^{2} s^{1} gedurende de dag en 150 µmol PAR m^{2} s^{1} gedurende de nacht.

Het verloop van de fotosynthese aan het einde van de dag zou een relatie kunnen hebben met de hoeveelheid straling in de kas. Op 17 januari is er geen daling van de fotosynthese aan het einde van de dag, bij een lichtsom van 14.8 mol per m^{2} per dag. Op 18 januari is er wel een daling van de fotosynthese, waarbij de lichtsom van die dag in de kas 16.1 mol m^{-2} dag^{-1} was. Van 19 januari is er door een stroomstoring geen lichtsom beschikbaar.

Anderhalve maand later, op 6, 7 en 8 maart werd opnieuw fotosynthese gemeten, nu bij één lichtintensiteit in de meetcuvet, namelijk 150 µmol m^{-2} s^{-1}. Overdag (tot zononder) was de fotosynthese min of meer constant. Op deze

dagen waren de lichtsommen in de kas voor de tijd van het jaar erg laag, te weten 16.1 mol m^{-2} dag^{-1} (6 maart) en 20.0 mol m^{-2} dag^{-1} (7 maart). 's Nachts vertoonde de fotosynthese een dalende tendens (Figuur 3.11).



Figuur 3.11. Netto fotosynthese van roos 'Passion' op 7 en 8 maart 2007 gedurende de dag en nacht bij 150 µmol PAR m^2 s^1.

In onderstaande tabel staan de meetresultaten bij de belichtingsstrategie "145 µmol PAR m^{-2} s^{-1} gedurende 24 uur" samengevat.

Meetdag	Lichtsom[1] (mol m^{-2} dag^{-1})	Verloop fotosynthese tot zon onder	Verloop fotosynthese 's nachts	Mogelijk oorzaak verloop fotosynthese
17 januari	14.8	Constant	Daling	Onbekend
18 januari	16.1	Daling	Toename	Onbekend
19 januari	n.b.	Constant	n.b.[3]	
5 maart	21.7	n.b.[4]	n.b.[4]	
6 maart	16.1	Constant	Daling	Onbekend
7 maart	20.0	Constant	Daling	Onbekend

[1] *De lichtsom betreft PAR straling in de kas, van zowel de zon als de belichting*
[2] *Lichtsom niet bekend door stroomuitval*
[3] *Fotosynthesemetingen 's nachts afgebroken door stroomuitval*
[4] *Technische storingen*

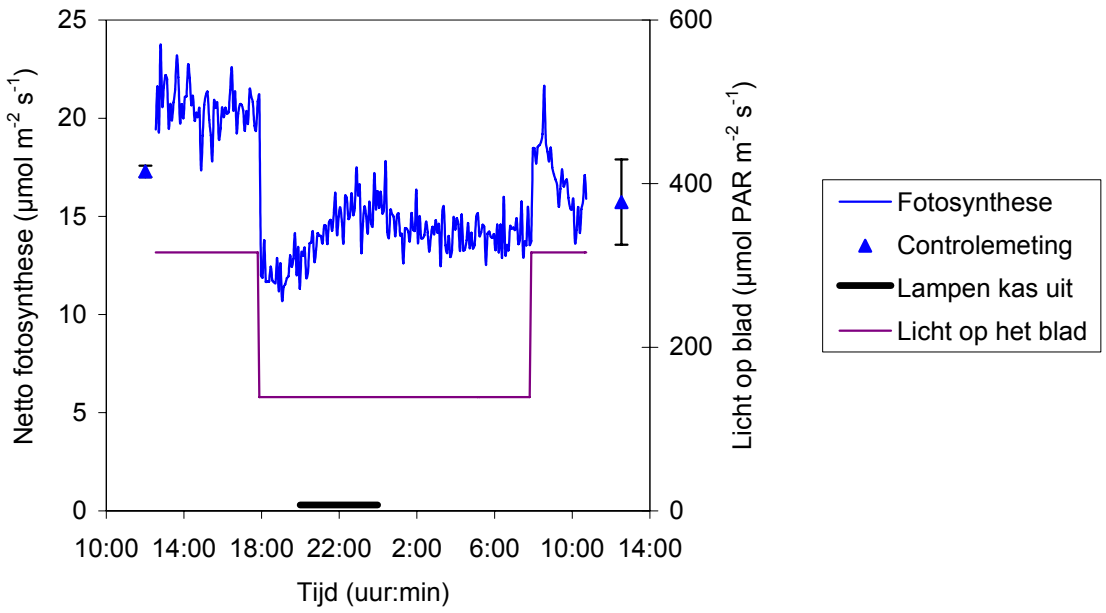
De resultaten van de fotosynthesemetingen bij de belichtingsstrategie "24 uur belichten met 145 µmol PAR m^{-2} s^{-1}" in januari en maart geven aan dat de planten onder een belichtingsduur van 24 uur niet altijd even efficiënt met licht om kunnen gaan. Op een aantal dagen vertoont de fotosynthese gedurende de dag (tot zononder) een daling, terwijl op

andere dagen de fotosynthese de laatste uren van de (natuurlijke) dag op een min of meer constant niveau blijft. Gedurende de nacht is zowel een lichte toename (herstel) als een lichte daling van de fotosynthese gevonden.

3.5 Hoge lichtintensiteit (140 µmol PAR m^{-2} s^{-1}), 24 uur belichten

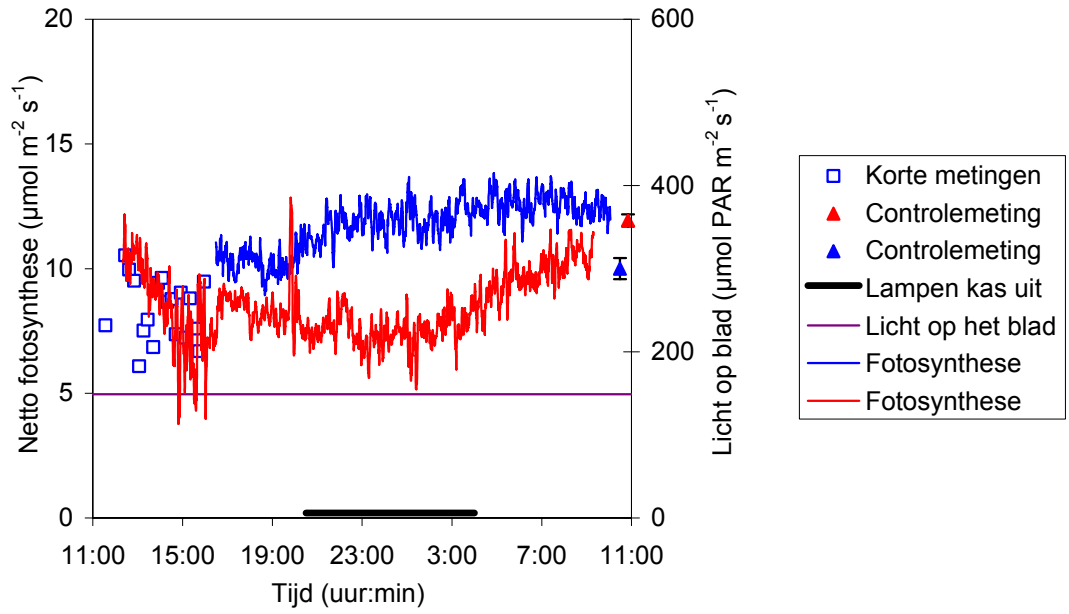
De resultaten van de fotosynthesemetingen bij de belichtingstrategie "24 uur belichten met 140 µmol PAR m^{-2} s^{-1}" zijn te vinden in Bijlage VI. In deze paragraaf wordt hiervan een samenvatting gegeven. De eerste serie metingen werd uitgevoerd van 13-16 februari 2007. Op 13 februari werd gedurende 24 uur belicht, op 14, 15 en 16 februari werd in de nacht een donkerperiode van 4 uur aangehouden. Op 12, 13 en 14 april werd gedurende de nacht nog enkele uren belicht. De metingen aan deze belichtingsstrategie zijn uitgevoerd bij de grootbloemige rode roos "Grand Prix".

Tijdens de eerste serie metingen werd in de meetcuvet overdag een lichtintensiteit van 316 µmol PAR m^{-2} s^{-1} aangehouden en 's nachts 139 µmol PAR m^{-2} s^{-1}. De fotosynthese is de laatste uren van de (natuurlijke) dag constant. Daarna wordt de hoeveelheid licht in de meetcuvet verlaagd, en daalt de fotosynthesesnelheid. De fotosynthese herstelt zich in de loop van de nacht weer tot een stabiel niveau (Figuur 3.12).

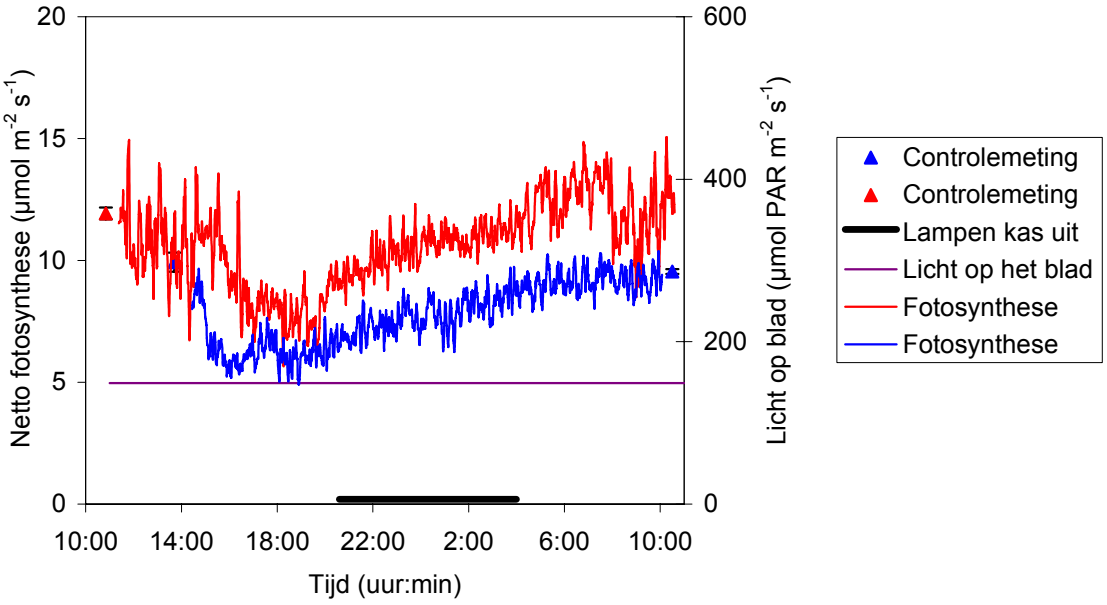


Figuur 3.12. Netto fotosynthese van roos 'Grand Prix' op 14 en 15 februari 2007 bij 316 µmol PAR m^2 s^1 gedurende de dag en 139 µmol PAR m^2 s^1 gedurende de nacht.

In de tweede meetserie werd gemeten op een aantal zonnige dagen met een globale stralingssom van ca. 20 MJ m^{-2}. Op beide dagen bleek de fotosynthese, gemeten met twee fotosynthesemeters overdag te dalen, en 's nachts toe te nemen (Figuren 3.13 en 3.14).

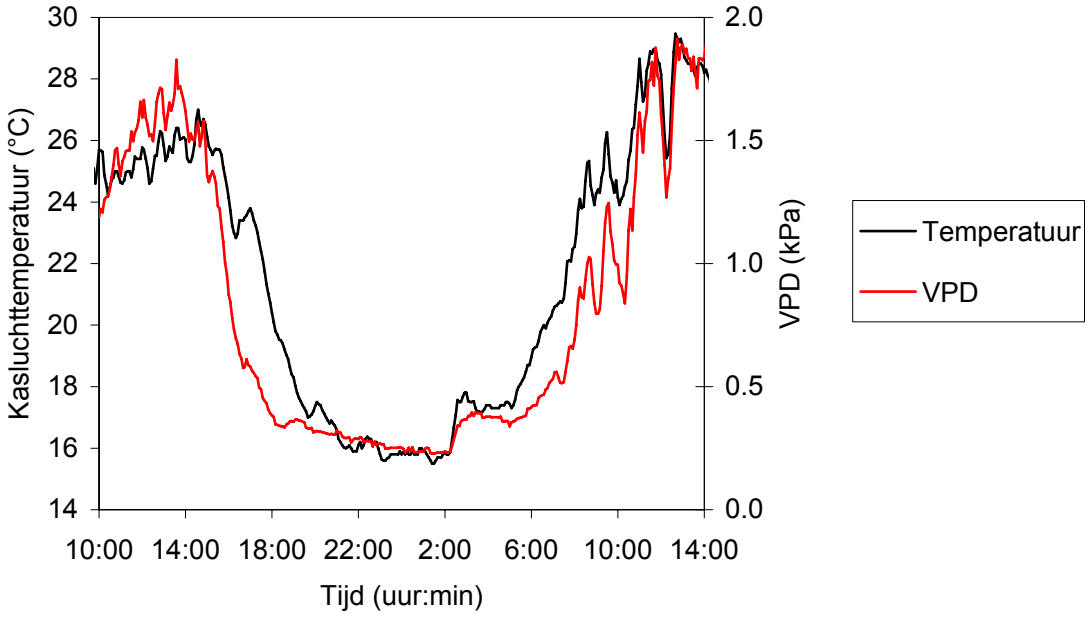


Figuur 3.13. Netto fotosynthese van twee verschillende bladeren van roos 'Grand Prix' op 12 en 13 april 2007 gedurende de dag en nacht bij 150 µmol PAR m^2 s^{-1}.



Figuur 3.14. Netto fotosynthese van 2 verschillende bladeren van roos 'Grand Prix' op 13 en 14 april 2007 gedurende de dag en nacht bij 150 µmol PAR m^2 s^{-1}.

Op zowel 12 als 13 april loopt de globale straling op tot ca. 850 W m^{-2}. Op die dagen loopt de kasluchttemperatuur op tot 26 – 29 °C en daalt de RV tot 50-55% (Figuur 3.15). Dit kunnen redenen zijn voor de afname van de fotosynthese tussen ongeveer 11:00 uur en 14:00 uur, en het feit dat de fotosynthese zich na 18:00 uur weer herstelt.



Figuur 3.15. Verloop van de temperatuur en VPD van de kaslucht tijdens de teelt van roos 'Grand Prix' op 12 en 13 april 2007.

In onderstaande tabel staan de meetresultaten bij de belichtingsstrategie "145 µmol PAR m^{-2} s^{-1} gedurende 24 uur" samengevat.

Meetdag	Lichtsom[1] (mol m^{-2} dag^{-1})	Verloop fotosynthese tot zon onder	Verloop fotosynthese 's nachts	Mogelijk oorzaak verloop fotosynthese
13 februari	17.1	Constant	Toename begin van de nacht	Onbekend
14 februari	12.3	Constant	Toename begin van de nacht	Onbekend
15 februari	23.3	Constant	Toename begin van de nacht	Onbekend
12 april	34.4	Constant	Toename	Herstel na dag met hoge temperaturen, hoge instraling en lage VPD
12 april[2]	34.4	Daling	Toename	Herstel na dag met hoge temperaturen, hoge instraling en lage VPD
13 april	32.7	Constant	Toename	Herstel na dag met hoge temperaturen, hoge instraling en lage VPD
13 april[2]	32.7	Daling	Toename	Herstel na dag met hoge temperaturen, hoge instraling en lage VPD

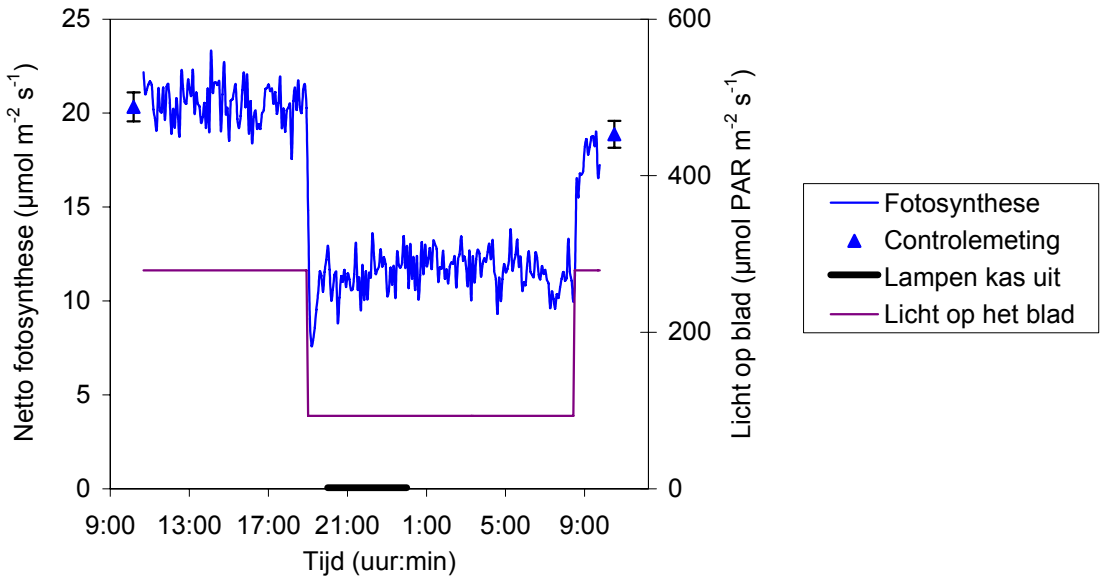
[1] *De lichtsom betreft PAR straling in de kas, van zowel de zon als de belichting*
[2] *Op 12 en 13 april is met twee fotosynthesemeters gemeten.*

De fotosynthese van de rozen die geteeld zijn onder de belichtingsstrategie “24 uur belichten met 140 µmol PAR m^{-2} s^{-1}” vertoont een duidelijk verloop gedurende het etmaal. Onder de omstandigheden zoals die op de meetdagen in de kas geheerst hebben, waren de planten niet in staat op elk moment van de dag even efficiënt met de hoeveelheid aangeboden licht om te gaan. Dit houdt verband met de hoge instraling van die dagen, met de hoge temperaturen en lage vochtigheid van de kaslucht en daarmee samenhangend de waterstatus van de plant. Het is niet aannemelijk dat de belichtingsstrategie hierin een rol speelt, omdat tijdens de metingen in april er nog slechts enkele uren per etmaal belicht werd met 70 µmol PAR m^{-2} s^{-1}. Wel is het mogelijk dat er assimilatenverzadiging optrad door een hoge lichtsom veroorzaakt door de hoge instraling van de zon.

3.6 Middelhoge lichtintensiteit (100 µmol PAR m^{-2} s^{-1}), 20 uur belichten, kleinbloemige roos

Op het bedrijf waar de fotosynthese van kleinbloemige rode rozen gemeten werd die geteeld werden bij een belichtingstrategie van 20 uur belichten met 100 µmol PAR m^{-2} s^{-1} waren de gerealiseerde belichtingsduur en -intensiteit afhankelijk van de globale straling en de elektriciteitsprijs. In de eerste periode dat gemeten werd (februari), werd 15 tot 20 uur met groep 1 belicht (44 µmol m^{-2} s^{-1}) en 14 tot 17 uur met groep 2 (56 µmol m^{-2} s^{-1}). In maart werd op de meetdagen 13 tot 18½ uur met groep 1 belicht en 11 tot 14 uur met groep 2. De metingen aan deze belichtingsstrategie zijn uitgevoerd bij de kleinbloemige rode roos “Sacha”.

De resultaten van de fotosynthesemetingen zijn te vinden in Bijlage VII. In deze paragraaf wordt hiervan een samenvatting gegeven. In de eerste serie metingen, uitgevoerd in februari, werd het lichtniveau in de meetcuvet overdag op 279 µmol PAR m^{-2} s^{-1} gehouden en ’s nachts op 93 µmol PAR m^{-2} s^{-1}. Het niveau van de fotosynthese bleek het niveau van de belichting gedurende het hele etmaal te volgen (Figuur 3.16).



Figuur 3.16. Netto fotosynthese van roos ‘Sacha’ op 26 en 27 februari 2007 gedurende de dag bij 279 µmol PAR m^{-2} s^{-1} en gedurende de nacht bij 93 µmol PAR m^{-2} s^{-1}.

In de tweede meetserie gehouden medio maart, bleek dat midden op de dag (tussen 12:00 en 14:00) de fotosynthese steeg (zie Figuur 6, Bijlage VI) of daalde (zie Figuur 7, Bijlage VI). Op deze momenten was er veel instraling, en was de belichting uitgeschakeld. De temperatuur en VPD in de meetcuvet waren op die momenten hoog, hetgeen het verloop van de fotosynthese waarschijnlijk verklaart. Tussen 14:00 uur en zonsondergang was de fotosynthese

constant. Ook in de nacht was geen verloop van de fotosynthese te zien (zie Figuur 8, Bijlage VII).

In onderstaande tabel staan de meetresultaten bij de belichtingsstrategie "100 µmol PAR m^{-2} s^{-1} gedurende 20 uur" samengevat.

Meetdag	Verloop fotosynthese tot zon onder	Verloop fotosynthese 's nachts	Mogelijk oorzaak verloop fotosynthese
26 februari	Constant	Constant	
27 februari	Stijging	Daling	Onbekend
28 februari	Constant	Constant	
15 maart	Constant	Constant	
19 maart	Constant	Constant	

[1] *De lichtsom betreft PAR straling in de kas, van zowel de zon als de belichting*

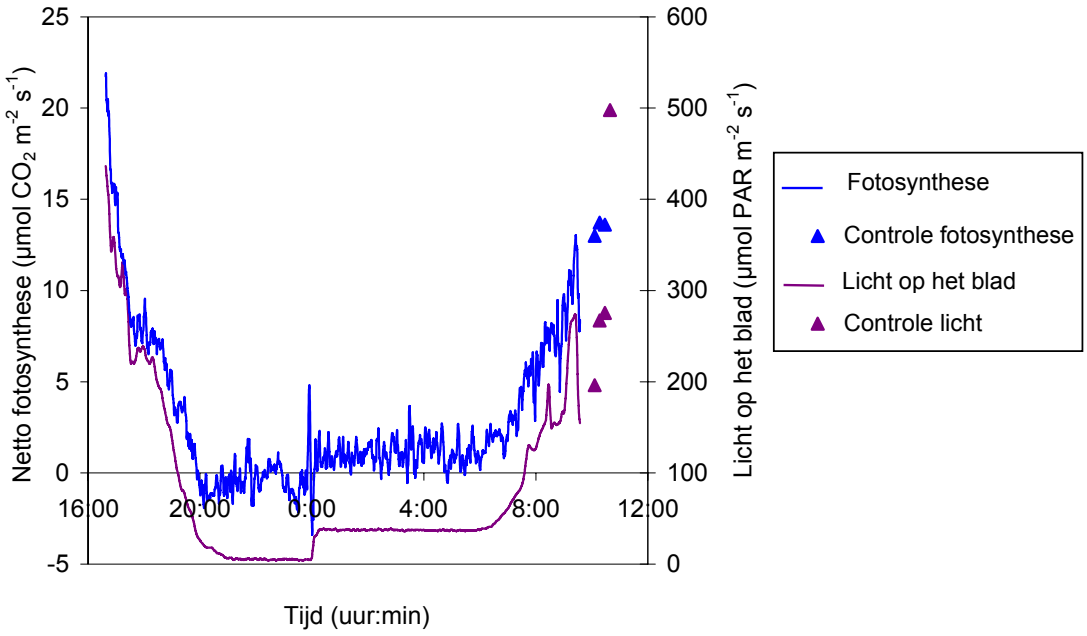
Uit deze bevindingen is de conclusie getrokken dat kleinbloemige rode rozen die geteeld zijn onder de belichtingsstrategie "20 uur, 100 µmol PAR m^{-2} s^{-1}" in staat zijn even efficiënt met licht om te gaan gedurende de dag. De efficiëntie van de planten wordt niet belemmerd door belichtingsduur of –intensiteit. Te hoge temperaturen of lage luchtvochtigheden kunnen wel tijdelijk de fotosynthese verlagen.

4 Fotosynthese en stomataire geleidbaarheid gedurende de nacht

Om een beeld te krijgen van de reacties van huidmondjes op een donkerperiode zijn op het bedrijf waar met 190 µmol PAR m^{-2} s^{-1} belicht werd gedurende 20 uur aanvullende fotosynthesemetingen gedaan. Dit is op 2 manieren gedaan:

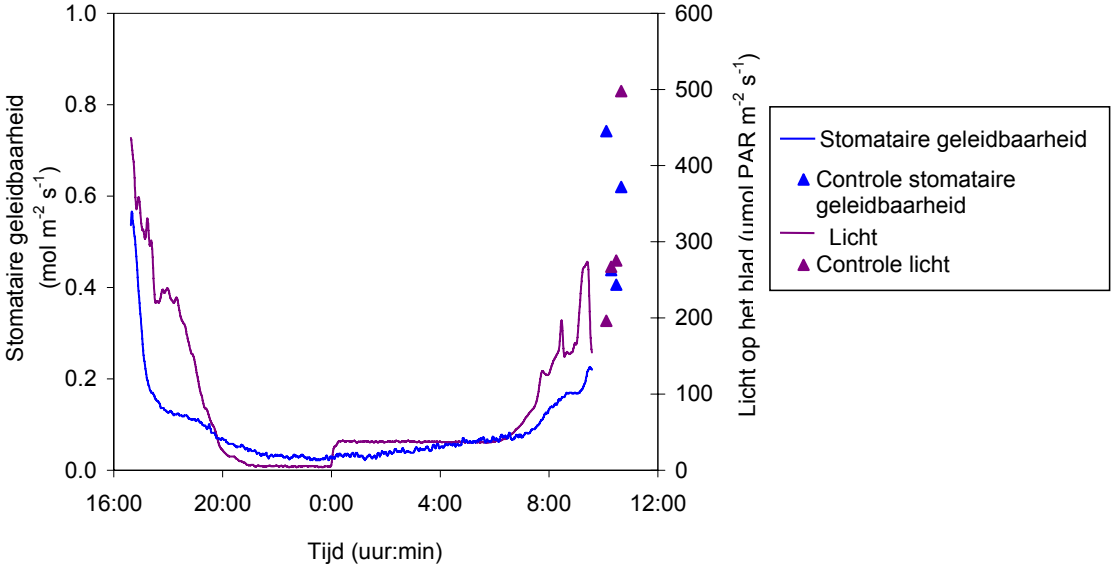
1. Gedurende 2 dagen werd de actuele fotosynthese gemeten. Daarbij werd geen lichtbron gebruikt, maar kon de plant fotosynthetiseren bij de actuele lichtintensiteiten. Overige klimaatcondities (temperatuur, CO_2 en vochtigheid) in de meetcuvet werden wel constant gehouden.
2. Gedurende dezelfde 2 dagen werd met een andere fotosynthesemeter de fotosynthese gemeten, waarbij de hoeveelheid licht in de meetcuvet vastgezet werd op 150 µmol PAR m^{-2} s^{-1}. In de periode dat in de kas de assimilatiebelichting uit was (ca. 20:00 tot 0:00 uur) werd de lamp van de fotosynthesemeter gedurende anderhalf uur uitgeschakeld en weer aangeschakeld. Overige klimaatcondities (temperatuur, CO_2 en vochtigheid) in de meetcuvet werden wel constant gehouden.

De fotosynthese gemeten bij actueel licht vertoont eenzelfde verloop als de lichtintensiteit die op het meetblad valt (Figuur 4.1).

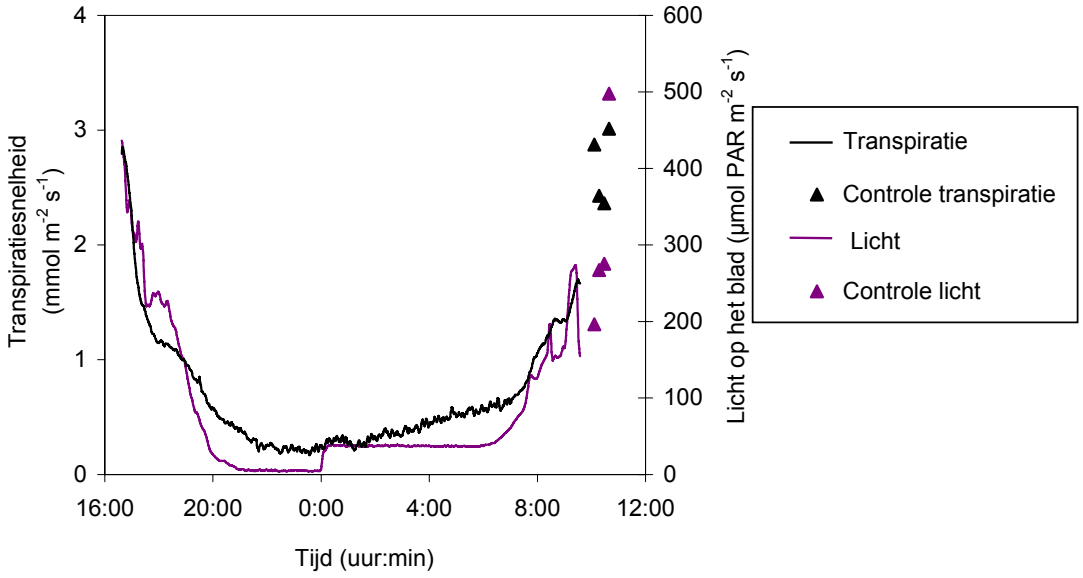


Figuur 4.1. Verloop van de fotosynthese op 25 en 26 april 2007 gemeten bij actueel licht en vaste omstandigheden in de meetcuvet (900 ppm CO_2 en temperatuur van 24 °C).

Aan het einde van de dag daalt de stomataire geleidbaarheid met afnemende lichtintensiteit (Figuur 4.2). Tijdens de periode dat het donker is in de kas (buiten donker en de belichting uitgeschakeld) sluiten de huidmondjes nagenoeg. De stomataire geleidbaarheid neemt tussen 21:00 uur en middernacht af van 0.06 naar 0.03 mol m^{-2} s^{-1}. Vanaf middernacht wordt belicht met 60 µmol PAR m^{-2} s^{-1}. De stomataire geleidbaarheid loopt dan weer op naar 0.06 mol m^{-2} s^{-1} en op het moment dat 's ochtends de zon op komt neemt de stomataire geleidbaarheid toe met de hoeveelheid licht. De transpiratie vertoont een verloop dat sterk vergelijkbaar is met het verloop van de stomataire geleidbaarheid (Figuur 4.3).



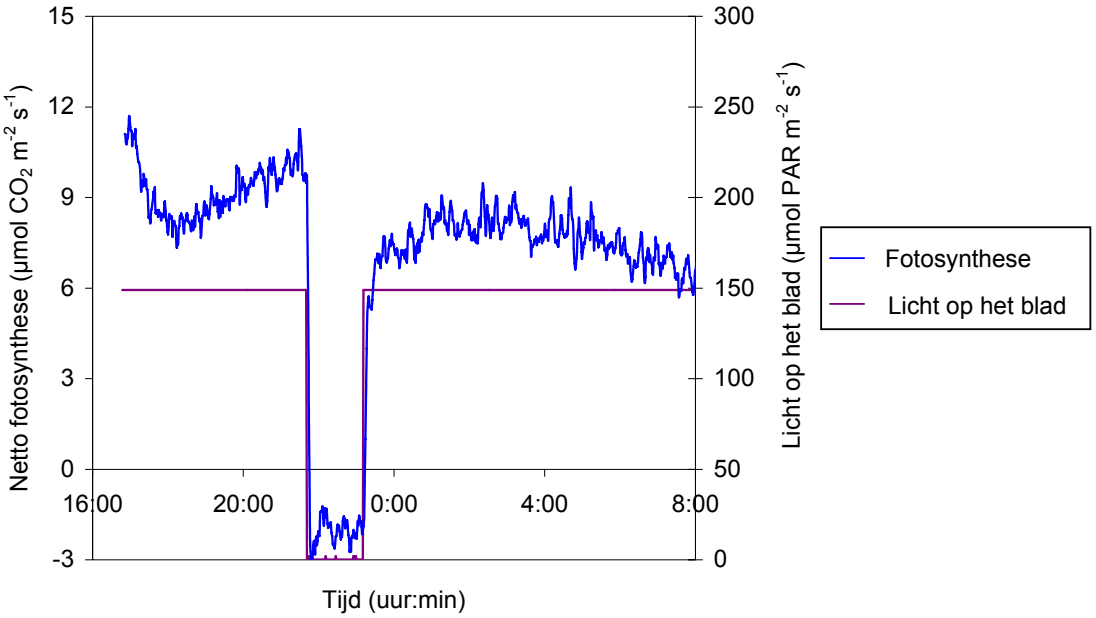
Figuur 4.2. Verloop van de stomataire geleidbaarheid op 25 en 26 april 2007 gemeten bij actueel licht en vaste omstandigheden in de meetcuvet (900 ppm CO_2 en temperatuur van 24 °C).



Figuur 4.3. Verloop van de transpiratiesnelheid op 25 en 26 april 2007 gemeten bij actueel licht en vaste omstandigheden in de meetcuvet (900 ppm CO_2 en temperatuur van 24 °C).

De tweede meetdag waarbij gemeten werd bij actueel licht gaf hetzelfde beeld als de eerste dag. Ook hier zakte de stomataire geleidbaarheid 's nachts naar 0.03 mol m^{-2} s^{-1}.

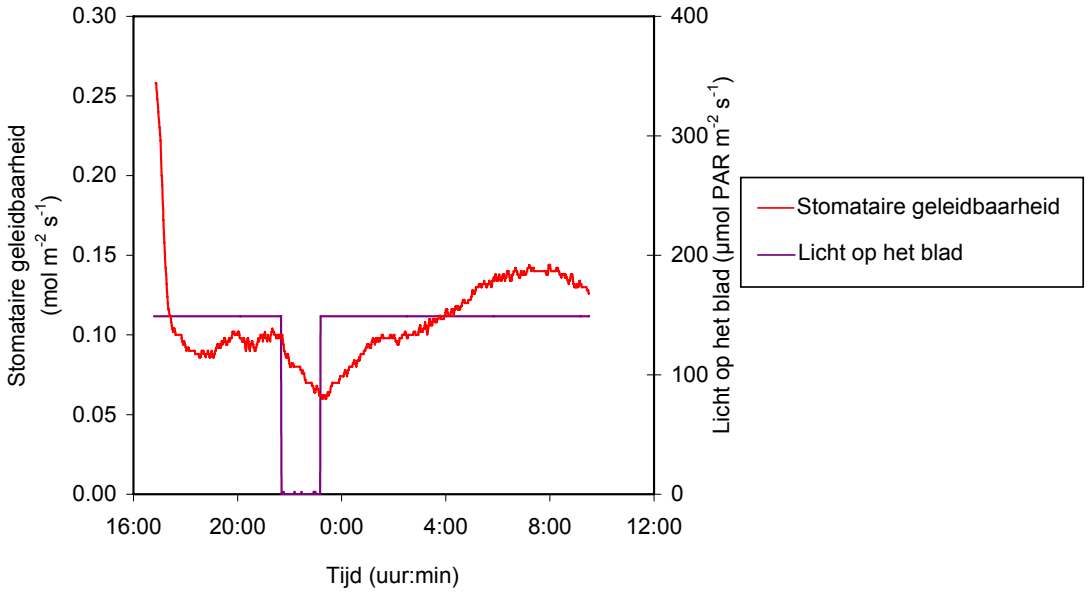
De tweede serie metingen bestond uit het meten van de fotosynthese bij een vaste hoeveelheid licht in de meetcuvet (150 µmol m^{-2} s^{-1}). Gedurende de periode dat de lampen in de kas uit waren, werd gedurende anderhalf uur ook de lamp van de fotosynthesemeter uit gedaan (zie rode lijn in Figuur 4.4)



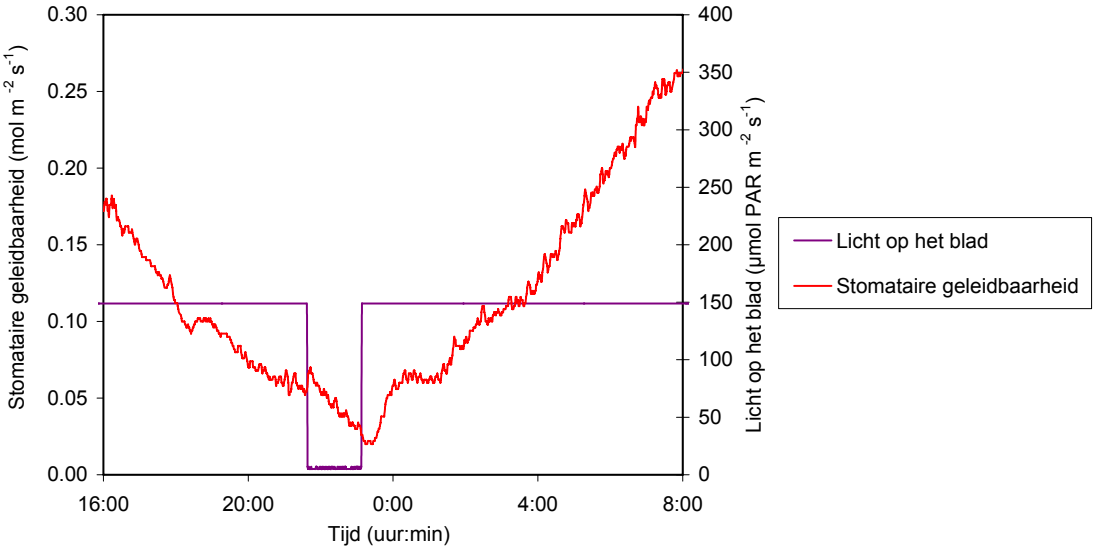
Figuur 4.4. Verloop van de fotosynthese op 25 en 26 april 2007 gemeten bij vaste omstandigheden in de meetcuvet (150 µmol PAR m^2 s^1, 900 ppm CO_2 en temperatuur van 24 °C).

Op het moment dat het licht uit gaat, reageert de fotosynthese daar instantaan op (binnen het meetinterval van 1 minuut). Gedurende de donkerperiode vindt geen vastlegging van CO_2 plaats, maar komt bij de ademhaling CO_2 vrij, hetgeen de negatieve waarden voor de netto fotosynthese gedurende de nacht verklaart. Na de donkere periode van anderhalf uur duurt het ca. 10 minuten voordat de fotosynthese weer enigszins op niveau is.

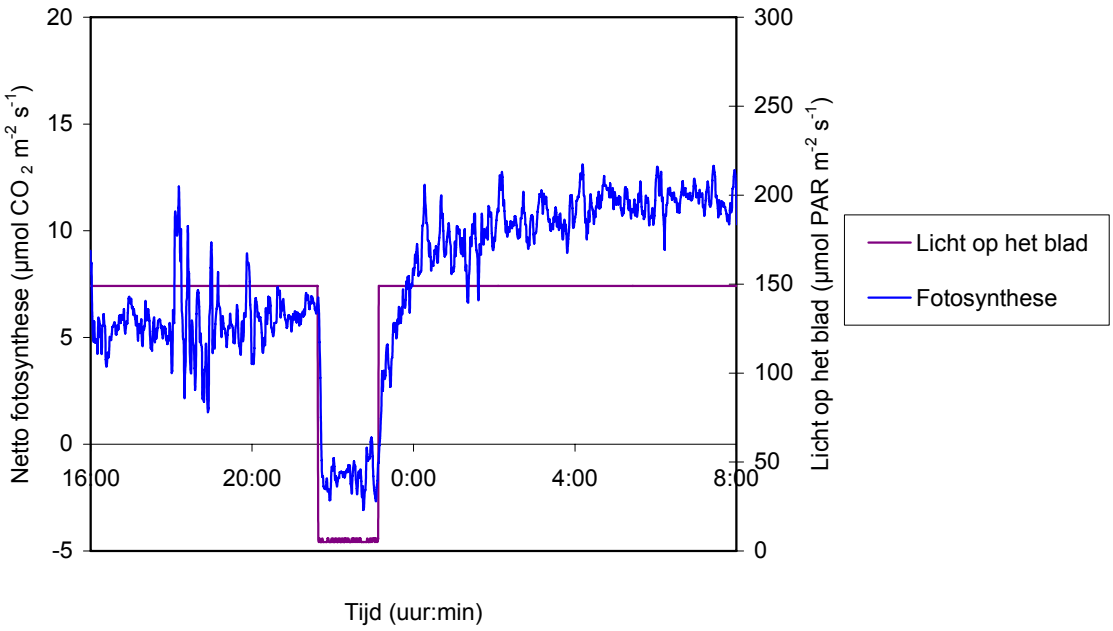
De stomataire geleidbaarheid is om 21:00 uur, als het in de kas donker is, ca. 0.1 mol m^{-2} s^{-1} bij een lichtintensiteit van 150 µmol PAR m^{-2} s^{-1} in de meetcuvet (Figuur 4.5). Op moment dat het licht boven de meetcuvet uitgedaan wordt, neemt de stomataire geleidbaarheid gedurende de anderhalf uur donker geleidelijk af van 0.1 tot 0.06 mol m^{-2} s^{-1}. Op het moment dat het licht in de meetcuvet weer aangedaan wordt, neemt de stomataire geleidbaarheid in ook ca. anderhalf uur weer toe naar 0.1 mol m^{-2} s^{-1}. De huidmondjes hebben blijkbaar meer tijd nodig dan de anderhalf uur donker om zich even ver te sluiten dan onder omstandigheden waarbij onder actueel licht gemeten is (Figuur 4.2). In de tweede nacht, waarin aan een andere plant gemeten wordt, is het verloop hetzelfde. In de anderhalf uur dat het donker is daalt de stomataire geleidbaarheid van 0.06 naar 0.02 mol m^{-2} s^{-1} (Figuur 4.6). Nadat het licht weer aangegaan is neemt de stomataire geleidbaarheid in anderhalf uur weer toe naar 0.06 mol m^{-2} s^{-1}. De fotosynthese reageert veel sneller op aan- of uitgaan van licht (Figuur 4.7), hetgeen aangeeft dat bij deze lage lichthoeveelheden, de stomataire geleidbaarheid niet of nauwelijks beperkend is voor de fotosynthese.



Figuur 4.5. Verloop van de stomataire geleidbaarheid op 25 en 26 april 2007 gemeten bij vaste omstandigheden in de meetcuvet (150 µmol PAR m^2 s^{-1}, 900 ppm CO_2 en temperatuur van 24 °C).



Figuur 4.6. Verloop van de stomataire geleidbaarheid op 26 en 27 april 2007 gemeten bij vaste omstandigheden in de meetcuvet (150 µmol PAR m^2 s^{-1}, 900 ppm CO_2 en temperatuur van 24 °C).



Figuur 4.7. *Verloop van de fotosynthese op 26 en 27 april 2007 gemeten bij vaste omstandigheden in de meetcuvet (150 µmol PAR m^2 s^1, 900 ppm CO_2 en temperatuur van 24 °C).*

5 Discussies met telers

Op 25 april en 1 mei zijn de voorlopige resultaten van dit project besproken met twee studiegroepen rozentelers. De eerste groep bestond uit telers van het ras Avalanche, de tweede groep uit telers van het ras Passion. In beide gevallen was ook een teeltbegeleider van DLV Plant bij de discussies aanwezig.

Voor beide groepen werd een presentatie gehouden. Aan het begin van de presentatie werd aangegeven dat de achtergrond van dit project onder andere de resultaten uit het project "Optimaliseren van de energie-efficiëntie van belichting" is. De figuur (Figuur 3.3) uit dat rapport waarin de afname van de fotosynthese gedurende de dag te zien is, leidde al tot enige discussie. De techniek van fotosynthesemetingen werd uitgebreid toegelicht, omdat dit essentieel is om de resultaten goed te kunnen begrijpen.

Bij de resultaten werd duidelijk aangegeven dat dit een weergave van een aantal voorlopige resultaten was, maar nog niet het volledige overzicht van alle resultaten en de conclusies die daarbij horen. De telers vonden de resultaten tot nu toe al erg interessant, en gaven aan erg geïnteresseerd te zijn in de uiteindelijke conclusies. Een aantal onderwerpen die in de discussies naar voren kwamen waren:

1. Waterstatus van de plant. De telers gaven aan dat zij het idee hadden dat de getoonde fotosyntheseresultaten naar hun mening een duidelijke relatie hadden met de vochthuishouding van de plant. Bij het verwerken van de resultaten zal dus ook naar de RV of VPD van de kaslucht gekeken worden om het verloop van de fotosynthese gedurende de dag te verklaren. Nog liever hadden ze gehad dat we de waterstatus van de plant gemeten hadden, maar dat was in dit project niet mogelijk.
2. Relatie licht en CO_2. Bij beide bijeenkomsten is uitgebreid gesproken over de relatie van fotosynthesesnelheid met lichtintensiteit en met CO_2 concentratie en de interactie van licht en CO_2 op de fotosynthese. Er is toegelicht dat de bladfotosynthesesnelheid in eerste instantie lineair toeneemt met de lichtintensiteit, daarna afbuigt en uiteindelijk een plateau bereikt. Voor de relatie van de bladfotosynthesesnelheid met CO_2 geldt hetzelfde. Maar als de CO_2 concentratie hoger is, neemt de fotosynthese tot hogere lichtintensiteiten lineair toe. En andersom geldt hetzelfde voor de CO_2 concentratie bij hogere lichtintensiteiten.
3. Donkerperiode. Er is gesproken over het aanhouden van een donkerperiode, de effecten hiervan op groei, productie en kwaliteit van de geoogste rozentakken. Hierover liepen de meningen sterk uiteen. Er zijn telers die probleemloos 24 uur per dag belichten, en ook telers die de houdbaarheid van hun takken vooruit zagen gaan als ze korter gingen belichten.
4. Klimaatbeheersing. In de studiegroepen wordt in het voorjaar bij hoge instraling geschermd. De belangrijkste redenen hiervoor zijn dat de temperatuur zo beter in de hand gehouden kan worden en dat de luchtramen langer dicht kunnen blijven zodat de CO_2 concentratie en luchtvochtigheid beter op peil gehouden kunnen worden. Er is uitgebreid gesproken over of dit de beste strategie was en hoe je de (negatieve) effecten van lichtverlies af moet wegen tegen de positieve effecten van temperatuur, CO_2 en RV.
5. Efficiëntie van licht. De telers gaven aan dat ze in de zomer 2-3 maal zoveel licht hebben als in de winter (groeilicht meegerekend). Toch is de productie in de zomer niet twee maal zo hoog in de winter. Sterker nog, ze gaven aan dat ze in de zomer soms moeite hebben om het productieniveau van de winter te realiseren. De discussie richtte zich hier op welk van de klimaatfactoren in de zomer dan beperkend is, en hoe dit verbeterd zou kunnen worden. Met name werd gesproken over de effecten van een te lage RV in de zomer en wat dit voor gevolgen heeft voor de gewasgroei. Verder werd duidelijk gemaakt dat in de zomer de CO_2 concentraties lager zijn, waardoor het licht minder efficiënt benut wordt dan in de winter.
6. Paspoort roos. Er werd gevraagd naar de relaties tussen ons onderzoek en het project "Paspoort roos". Aangegeven werd dat het twee verschillende projecten zijn, maar dat er wel onderlinge afstemming is tussen Wageningen UR Glastuinbouw en Plant Dynamics die de beide projecten uitvoeren.

Na afronden van de fotosynthesemetingen op de bedrijven, zijn de bevindingen (zie Bijlagen II - VII) teruggekoppeld met de betrokken telers of bedrijfsleiders. Nog openstaande vragen werden via de e-mail of telefonisch beantwoord en de inhoud bediscussieerd. Uit deze gesprekken kwamen de volgende punten naar voren:

- De beschrijvingen van de resultaten van de fotosynthesemetingen op de individuele bedrijven was over het algemeen duidelijk, hoewel men aangaf dat het wel lastige materie is.
- Probeer duidelijk aan te geven wat de verklaringen kunnen zijn voor de gevonden effecten.
- Door een van de telers werd de suggestie aan de hand gedaan dat na een donkere periode de fotosynthese van planten op de eerste zonnige dag aan het einde van de dag terug zou kunnen lopen (met herstel 's nachts), terwijl op volgende zonnige dagen dit effect niet op zou treden.
- Probeer suggesties te doen voor eventuele aanpassingen in de belichtingsstrategie.

6 Discussie

Het onderzoek beschreven in dit rapport had als doel na te gaan wat het verloop van de fotosynthese van rozenplanten geteeld onder een aantal verschillende belichtingstrategieën is. Om dit doel te realiseren zijn op 6 rozenbedrijven, met sterk verschillende belichtingsintensiteiten, fotosynthesemetingen gedaan. Deze metingen zijn uitgevoerd met draagbare fotosynthese-apparatuur, die bij de telers overdag en 's nachts in de kas werd geplaatst. Gezien het grote aantal dagen waarop metingen uitgevoerd moesten worden, was het geen reële optie het verloop van de fotosynthese te meten door elke 10-15 minuten fotosynthesemetingen te doen gedurende het hele etmaal. Er is daarom voor gekozen om langdurig aan één blad te meten om zo het verloop van die dag te bepalen. Uit de testen die in fase 1 van dit onderzoek zijn gedaan, bleek dat dit een manier is die goed functioneert. Als controle zijn aan het einde van een langdurige meting altijd controlemetingen uitgevoerd. Hierbij werden aan een aantal vergelijkbare bladeren kortdurende metingen van de fotosynthese gedaan. Als het niveau van deze metingen overeenstemde met het eindniveau van de langdurige meting, was de langdurige meting betrouwbaar, anders niet. De langdurige metingen hebben als nadeel dat aan slechts één blad wordt gemeten, terwijl bij een reeks kortdurende metingen steeds aan een ander blad gemeten wordt, waardoor de variatie tussen planten meegenomen wordt. Dit nadeel is ondervangen door per belichtingsstrategie per periode op drie achtereenvolgende dagen te meten, zodat het verloop van 3 verschillende bladeren bepaald werd.

De belichtingstrategieën waarbij de fotosynthesemetingen zijn uitgevoerd verschilden in belichtingsintensiteit tussen 40 en 190 µmol PAR m^{-2} s^{-1}. Voor de zuiverheid van vergelijken, zou de fotosynthese bij deze strategieën gemeten moeten worden aan hetzelfde ras. Het is echter zo dat elk ras een eigen 'optimale belichtingsstrategie' heeft. Vergelijken van verschillende belichtingsintensiteiten en duren impliceert dan ook vergelijken van verschillende rassen. Dit zou te voorkomen geweest zijn door een experiment in een proefkas op te zetten, maar bij metingen op praktijkbedrijven is er altijd een interactie tussen belichtingsstrategie en ras. Verder zouden voor een zuivere vergelijking van de belichtingstrategieën bij voorkeur de metingen onder vergelijkbare buitenomstandigheden uitgevoerd moeten worden. In dit project zijn op 6 bedrijven fotosynthesemetingen uitgevoerd. Dit is gedaan in 2 blokken van drie dagen. Omdat een meetdag altijd bestond uit één dag waarop de meting ingezet werd en één dag waarop de meting werd uitgehaald, is in het totaal op ca. 45 dagen fotosynthese gemeten. Dit is de periode van begin januari tot begin april geweest. In deze periode lopen zowel daglengte als de intensiteit van de globale straling buiten sterk op. Het effect hiervan op de fotosynthesemetingen bij de verschillende belichtingstrategieën is gedeeltelijk ondervangen door in twee blokken te meten. Op alle bedrijven zijn metingen gedaan in januari of februari, en een tweede serie metingen in maart of april. Het effect bleek echter niet volledig te ondervangen. Zo werden bijvoorbeeld de metingen van de tweede serie van "140 µmol PAR m^{-2} s^{-1} gedurende 24 uur" gedaan op een aantal dagen met hoge instraling, hoge kasluchttemperaturen en een hoge VPD van de kaslucht, terwijl andere belichtingsstrategieën onder matiger condities werden gemeten.

Tenslotte was een volgende factor die de analyse van de meetresultaten bemoeilijkt het feit dat een aangegeven belichtingsstrategie niet altijd aangehouden werd. Zoals één van de telers aangaf "tot 14 februari zet je alles op alles om de meeste productie te halen, dus dan wordt er veel belicht. Daarna wordt er op de dag meer afgeschakeld. Verder was het na 14 februari tussen 17:00 uur en 22:00 uur interessant om energie terug te leveren, en wordt er dus ook niet belicht". In hoofdstuk 3 is per belichtingsstrategie aangegeven wat er daadwerkelijk aan belichtingsduren en intensiteiten is gerealiseerd.

De resultaten van de fotosynthesemetingen gedurende de dag zijn geanalyseerd per belichtingstrategie/per bedrijf. De resultaten zijn per bedrijf teruggekoppeld en besproken met de telers. Over het algemeen vond men de resultaten duidelijk, maar niet altijd even makkelijk te interpreteren.

De efficiëntie van groeilicht is bepaald op bedrijven die gedurende 20 uur belichten met belichtingsintensiteiten die variëren tussen 40 en 190 µmol PAR m^{-2} s^{-1}. De resultaten van de metingen van de fotosynthese geven aan dat planten bij deze belichtingstrategieën gedurende het hele etmaal even efficiënt met licht om kunnen gaan. Deze conclusie is gebaseerd op het feit dat op de meeste dagen er bij deze strategieën geen verloop van de foto-

synthesesnelheid was gedurende de dag. Op de dagen dat dit wel zo was, had dit te maken met het laat inzetten van de langdurige metingen op het moment dat de stomataire geleidbaarheid van de planten laag was (21 en 22 maart bij 190 µmol PAR m^{-2} s^{-1}) of tijdelijke hoge temperaturen en VPDs in de kas en meetcuvet (12-14 maart, 40 µmol PAR m^{-2} s^{-1}). Met name de metingen die gedaan zijn bij de strategie "100 µmol PAR m^{-2} s^{-1} gedurende 22 uur" laten zien dat het mogelijk is gedurende het hele etmaal een constante efficiëntie van de fotosynthese te hebben. Ook in een recent project waarbij door Schapendonk & Pot (2004) metingen in belichte rozenteelten werden gedaan bleek dat VPD een grote invloed had op de fotosynthesesnelheid en het verloop ervan gedurende de dag.

De meest voor de hand liggende reden voor een afname van de fotosynthese gedurende de laatste uren van de belichtingsperiode zou een assimilatenoverschot zijn in de bladeren ("feed back inhibitie"). Deze assimilaten worden niet snel genoeg verwerkt in het licht, waardoor een signaal teruggaat naar de fotosynthese dat er voldoende assimilaten beschikbaar zijn en de fotosynthesesnelheid verlaagd mag worden (Guinn & Mauney, 1980). Als dit optreedt, zal de fotosynthese onder constante condities vanaf een zeker moment op de dag geleidelijk afnemen, en herstellen tijdens de nacht. In hun studie naar het verloop van de fotosynthese gedurende de dag, concludeerden Dueck *et al.* (2007) dat als de gesommeerde fotosynthese tussen 13:00 en 15:00 uur hoger werd dan een zekere drempelwaarde, er een afname van de fotosynthesesnelheid optrad. Omdat de metingen om ca. 17:00 uur stopten, is het eventueel optreden van een herstel van de fotosynthesesnelheid niet gemeten (Dueck *et al.*, 2007). In onze metingen is een afname van de fotosynthese gedurende de dag en een herstel 's nachts gemeten bij de teler die op ons verzoek 24 uur belichtte op de meetdagen en bij de strategie "24 uur belichten met 140 µmol PAR m^{-2} s^{-1}". Bij deze laatste strategie werd echter op de dagen dat er een duidelijk verloop in de fotosynthese gemeten werd alleen 's nachts enkele uren met 70 µmol PAR m^{-2} s^{-1} belicht. Op de dagen dat er een afname van de fotosynthese gedurende de dag en een toename 's nachts gemeten werd, was de instraling hoog (ca. 33 mol m^{-2} dag^{-1}), de temperatuur liep op tot 26-29 °C en de VPD liep op tot 1.9 kPa. In hoeverre elk van deze factoren het verloop van de fotosynthese bepaald heeft, is niet te zeggen. Het is mogelijk dat de hoeveelheid instraling geleid heeft tot de afname van de fotosynthese (feed-back inhibitie). In dit geval is het echter niet aannemelijk dat de belichtings-strategie hierin een rol speelt, omdat er tijdens de meetdagen nog slechts enkele uren per etmaal belicht werd met 70 µmol PAR m^{-2} s^{-1}. Op de dagen dat er nog wel volop belicht werd, is er geen afname van de fotosynthese gemeten die veroorzaakt zou kunnen zijn door assimilatenverzadiging. De lichtsommen in de kas (van zonlicht en lamplicht) waren op die dagen met 10 tot 20 mol m^{-2} dag^{-1} flink lager dan de 33 mol m^{-2} dag^{-1} op de dagen dat het verloop van de fotosynthese gemeten werd.

7 Conclusies

- Rozen geteeld onder groeilicht kunnen gedurende het hele etmaal even efficiënt met licht omgaan.
- Dit geldt voor belichtingsintensiteiten variërend van 40 tot 190 µmol PAR m^{-2} s^{-1} en belichtingsduren tussen 20 en 22 uur.
- Rozen gaan niet altijd gedurende het hele etmaal even efficiënt met licht om. Bij verschillende belichtingsregimes zijn er midden op de dag wel verstoringen in de fotosynthesesnelheid bij een zekere hoeveelheid licht gevonden. Deze gaan vaak gepaard met een hoge instraling en (tijdelijk) hogere temperatuur en VPD. Als de lichtintensiteit, temperatuur en VPD aan het einde van de middag afnemen, is de efficiëntie van de fotosynthese voor licht de rest van de dag weer constant. De fotosynthese is dan ook weer op hetzelfde niveau als 's ochtends van die dag.
- Er zijn geen aanwijzingen gevonden dat de efficiëntie van belichten verbeterd kan worden door de belichtingsduur te verminderen.
- Er zijn wel aanwijzingen gevonden dat na een dag met hoge instraling (van de zon) de efficiëntie van de fotosynthese aan het einde van de dag afneemt, en 's nachts kan herstellen.
- Er zijn wel aanwijzingen dat de efficiëntie van belichten verbeterd kan worden door hoge temperaturen en lage luchtvochtigheden te voorkomen.

8 Literatuur

Ayari, O., M. Dorais & A. Gosselin, 2000.
Daily variations of photosynthetic efficiency of greenhouse tomato plants during winter and spring. Journal of the American Society for Horticultural Science 125(2): 235-241.

Bakker, J.C., 1991.
Leaf conductance of four glasshouse vegetable crops as affected by air humidity. Agricultural and Forest Meteorology 55: 23-36.

Berry, J. & O. Björkman, 1980.
Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants. Annual Review of Plant Physiology 31: 491-543.

Chaumont, M., J.F. Morot-Gaudry & C.H. Foyer, 1994.
Seasonal and diurnal changes in photosynthesis and carbon partitioning in *Vitis vinifera* leaves in vines with and without fruit. Journal of Experimental Botany 45: 1235-1243

Dieleman, J.A., E. Meinen, A. Elings, D. Uenk, J.J. Uittien, A.G.M. Broekhuijsen, P.H.B. de Visser & L.F.M. Marcelis, 2003.
Effecten van langdurig hoog CO_2 op groei en fotosynthese bij paprika. Eindrapport van het project 'Efficiënt gebruik van CO_2'. Nota 274, Plant Research International, 32 pp

Dieleman, A. & F. Kempkes, 2005.
Schermen in de tomatenteelt: mogelijkheden en beperkingen. Nota 359, Plant Research International, 84 pp.

Dueck, T., E. Meinen, J. Steenhuizen, R. Muusers, D. Uenk & L. Marcelis, 2007.
Belichting tomaat. Elk belichtingsuur volledig benutten. Nota 439, Wageningen UR Glastuinbouw, 40 pp.

Dueck, T.A., R.E.E. Jongschaap, F. de Zwart, H.J. van Telgen, J.W. Steenhuizen, D. Uenk & L.F.M. Marcelis, 2007.
Optimaliseren van de energie-efficientie van belichting. Nota 442, Plant Research International B.V., 46 pp.

Farquhar, G.D., S. von Caemmerer & J.A. Berry, 1980.
A biochemical model of photosynthetic CO_2 assimilation in leaves of C_3 species. Planta 149: 78-90.

Farquhar, G.D. & T.D. Sharkey, 1982.
Stomatal conductance and photosynthesis. Annual Review of Plant Physiology 33: 317-345.

Grange, R.I. & D.W. Hand, 1987.
A review of the effects of atmospheric humidity on the growth of horticultural crops. Journal of Horticultural Science 62(2): 125-134.

Guinn, G. & J.R. Mauney, 1980.
Analysis of CO_2 exchange assumptions: feedback control. In: J.D. Hesketh & J.W. Jones (Eds.), Predicting Photosynthesis for Ecosystems Models II. CRC Press, Boca Raton, pp. 1–16.

Hand, D.W., G. Clark, M.A. Hannah, J.H.M. Thornley & J. Warren Wilson, 1992.
Measuring the canopy net photosynthesis of glasshouse crops. Journal of Experimental Botany 43: 375-381

Hand, D.W., J. Warren Wilson & B. Acock, 1993.
Effects of light and CO_2 on net photosynthesis rates of stands of aubergine and Amaranthus. Annals of Botany 71: 209-216

Heuvelink, E., 1996.
Crop photosynthesis: influence of irradiance, CO_2 concentration and leaf area index. In: Tomato growth and yield: quantitative analysis and synthesis. Thesis Wageningen University, 326 pp.

Kim, S.H. & J.H. Lieth, 2001.
Modeling diurnal variation of whole-plant photosynthesis of greenhouse roses. Acta Horticulturae 547: 111-119.

Lange, O.L., R. Losch, E.D. Schulze & L. Kappen, 1971.
Responses of stomata to changes in humidity. Planta 100: 76-86.

Ludlow, M.M. & G.L. Wilson, 1971.
Photosynthesis of tropical pasture plants. I. Illuminance, carbon dioxide concentration, leaf temperature, and leaf-air vapour pressure difference. Australian Journal of Biological Science 24: 449-470.

Marissen, N., A. Elings, J. Snel, M. Warmenhoven, E. Meinen, P. Dijkhuis, D. Kouwenhoven, P. Schrama & D. Uenk, 2005.
Energiebesparing mobiele belichting roos. Rapportage Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, 56 pp.

Nederhoff, E.M. & J.G. Vegter, 1994.
Photosynthesis fo stands of tomato, cucumber and sweet pepper measured in greenhouses under various CO_2-concentrations. Annals of Botany 73: 353-361.

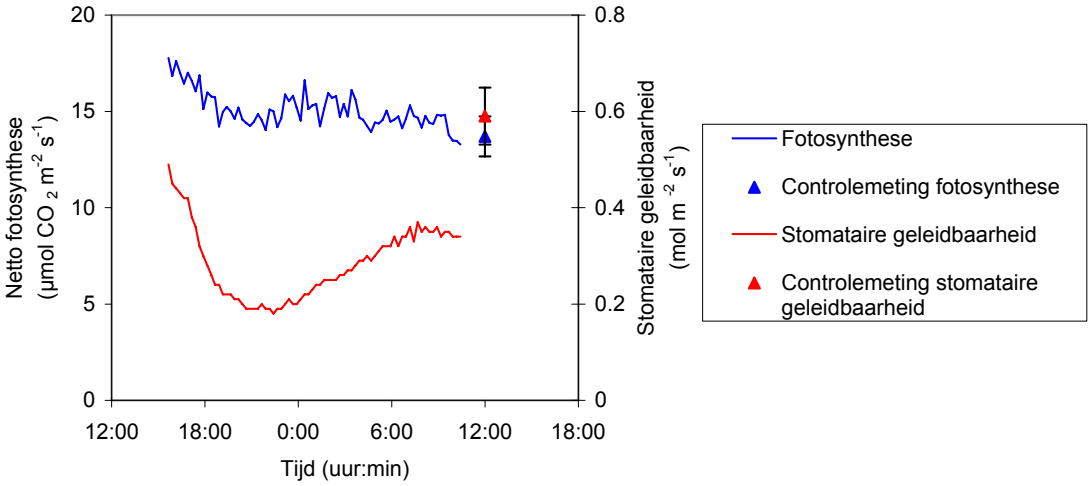
Raschke, K. & A. Resemann, 1986.
The midday depression of CO_2 assimilation in leaves of *Arbutus unedo* L.: diurnal changes in photosynthetic capacity related to changes in temperature and humidity. Planta 168: 546-558.

Schapendonk, A. & S. Pot, 2007.
Plantenpaspoort roos. Rapportage Plant Dynamics, 45 pp.

Tenhunen, J.D., O.L. Lange, J. Gebel., W. Beyschlag & J.A. Weber, 1984.
Changes in photosynthetic capacity, carboxylation efficiency, and CO_2 compensation point associated with midday stomatal closure and midday depression of net CO_2 exchange of leaves of Quercus suber. Planta 162: 193-203.

Bijlage I.
Resultaten controlemetingen

In oktober 2006 is getest of het mogelijk was langdurig fotosynthese aan een blad te meten. De klimaatomstandigheden in de meetcuvet waren daarbij constant. De metingen waarbij gedurende 20 uur aan een blad gemeten werd, laten zien dat er enig verloop is van de fotosynthese gedurende het etmaal (Figuur 1). Om te controleren of het niveau van de fotosynthese aan het einde van de meetperiode nog reëel is, zijn na de langdurige metingen korte metingen aan 6 vergelijkbare bladeren uitgevoerd. Deze metingen staan in Figuur 1 als punten weergegeven.



Figuur 1. *Verloop van de netto bladfotosynthesesnelheid en stomataire geleidbaarheid van een rozenblad in een meetcuvet onder constante condities (233 µmol PAR m^{-2} s^{-1}, 500 ppm CO_2, 23 °C) aan een blad (doorgetrokken lijnen) en losse metingen aan 6 vergelijkbare bladeren (▲,▲).*

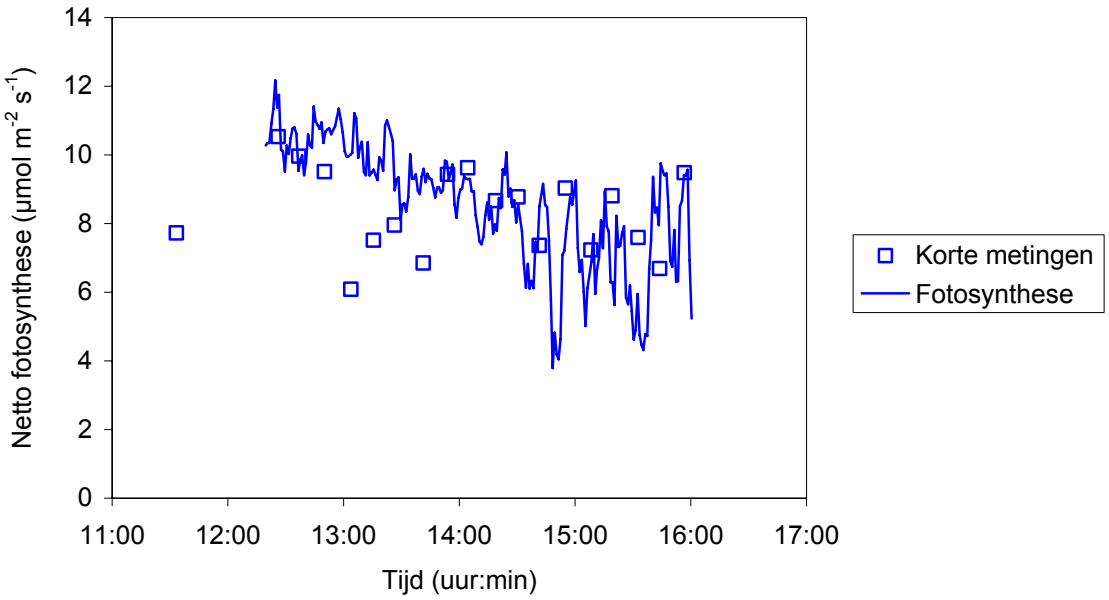
De controlemetingen van de fotosynthese laten zien dat het eindniveau van de fotosynthese van de langdurige meting goed overeenkomt met metingen van de fotosynthese aan 6 vergelijkbare bladeren. Dat betekent dat het mogelijk is langdurig fotosynthese aan een blad te meten en een representatief beeld te krijgen van het verloop van de fotosynthese van dat blad.

De stomataire geleidbaarheid van de bladeren die kortdurend gemeten zijn is hoger dan van het blad dat langdurig in de meetcuvet was ingeklemd. Dit heeft naar alle waarschijnlijkheid te maken met de continue luchtstroom die over het blad gaat in de meetcuvet. De huidmondjes van het stuk blad in de meetcuvet passen zich aan aan deze omstandigheden, hetgeen resulteert in een lagere stomataire geleidbaarheid, dus huidmondjes die minder ver open staan.

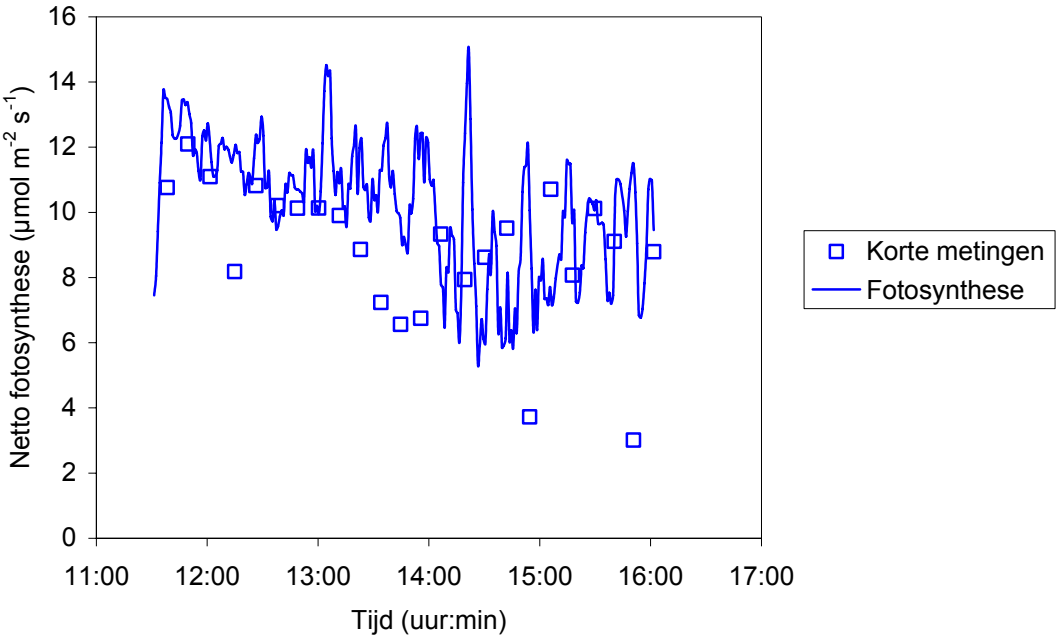
Bovenstaande metingen zijn op twee andere dagen herhaald, waarbij ook het eindniveau van de fotosynthese van de langdurige metingen vergelijkbaar was met dat van een aantal controleplanten. Vervolgens is gedurende 48 uur bij 233 µmol PAR m^{-2} s^{-1} fotosynthese aan een blad gemeten. Uit de controlemetingen bleek dat de fotosynthese na 48 uur meten aan één plant lager was dan van vergelijkbare planten. Ook wanneer 24 uur bij een hogere lichtintensiteit (465 µmol PAR m^{-2} s^{-1}) gemeten wordt, blijkt de fotosynthese van de plant waar langdurig aan gemeten is lager te zijn dan van vergelijkbare planten.

Uit fase 1 van het onderzoek blijkt dat het goed mogelijk is gedurende 24 uur bij een lichtintensiteit tot ca. 250 µmol PAR m^{-2} s^{-1} het verloop van de fotosynthese aan een blad te meten. Besloten is aan het einde van de langdurige metingen altijd een controle uit te voeren op het eindniveau van de fotosynthese door van een aantal vergelijkbare bladeren de fotosynthese te meten. Als het niveau van de kortdurende metingen niet overeenstemt met het eindniveau van de langdurige metingen, zijn de data van de langdurige metingen niet (volledig) bruikbaar.

In fase 2 van het project, tijdens de metingen op praktijkbedrijven, is in een aantal gevallen met twee fotosynthesemeters tegelijkertijd gemeten. Met één fotosynthesemeter is langdurig aan eenzelfde blad gemeten (doorgetrokken lijn). Met de andere fotosynthesemeter werden korte metingen gedaan aan verschillende, vergelijkbare bladeren (punten). In onderstaande figuren staan de resultaten van die metingen weergegeven.



Figuur 2. *Verloop van de netto fotosynthese gedurende de dag continu gemeten aan één blad (doorgetrokken lijn) en middels korte metingen aan verschillende vergelijkbare bladeren (□) bij 150 µmol PAR m^2 s^{-1}, 900 ppm CO_2 en een temperatuur van 25 °C op een praktijkbedrijf op 12 april 2007.*



Figuur 3. *Verloop van de netto fotosynthese gedurende de dag continu gemeten aan één blad (doorgetrokken lijn) en middels korte metingen aan verschillende vergelijkbare bladeren (□) bij 150 µmol PAR m^{-2} s^{-1}, 900 ppm CO_2 en een temperatuur van 25 °C op een praktijkbedrijf op 25 april 2007.*

Uit deze metingen blijkt dat het verloop en de orde van grootte van langdurige metingen aan één blad niet verschillen van puntmetingen aan verschillende vergelijkbare bladeren.

Bijlage II.

Strategie: 190 µmol PAR m^{-2} s^{-1}, 20 uur belichten, grootbloemige rode roos

Gegevens

Ras:	Red Naomi (grootbloemige rode roos)
Leeftijd gewas:	half jaar
Belichtingsintensiteit:	16000 lux Son-T (ongeveer 190 µmol PAR m^{-2} s^{-1})
Belichtingsduur:	in principe 20 uur (van middernacht tot 20:00 uur)
Lichthinderscherm:	Obscura 95%

Aanvullingen klimaat op de meetdagen

Fotosynthese is gemeten op 19, 20, 21, 22 februari en op 21, 22, 23, 26 en 27 maart 2007.
Uit de klimaatdata is de belichtingstrategie tijdens de nacht nagegaan. Hieruit blijkt dat in de meetperiode in februari er een echte donkerperiode is geweest van 3,5 uur. Voor en na de donkerperiode werd het licht op 19 en 20 februari in 3 stappen af- en opgebouwd (Tabel 1).

Tabel 1. Lichtmeting in de kas voor zonsopkomst en na zonsondergang op 19 tot en met 21 februari 2007.

Datum (2007)	Tijd (uur:min)	Licht (µmol PAR m^{-2} s^{-1})
19 feb na zonsondergang	18:00 tot 19:10	180
	19:10 tot 19:50	120
	19:50 tot 20:00	60
	20:00 tot 23:40	0
	23:40 – 0:30	60
20 feb	0:30 tot 1:15	120
	1:15 tot 1:25	180
	1:25 tot 3:05	120
	3:05 tot zonopkomst	180
20 feb na zonsondergang	18:00 tot 19:10	180
	19:10 tot 19:50	120
	19:50 tot 20:05	60
	20:05 tot 23:40	0
	23:40 tot 0:30	60
21 feb	0:30 tot 1:20	120
	1:20 tot zonsopkomst	180
21 feb na zonsondergang	18:00 tot 20:00	120
	20:00 tot 23:40	0
	23:40 tot 0:00	60

In maart was er een donkerperiode van 4 uur. Het licht werd in 2 stappen afgebouwd en in 2 of 3 stappen opgebouwd (Tabel 2).

Tabel 2. Lichtmeting in de kas voor zonsopkomst en na zonsondergang op de meetdagen in maart 2007.

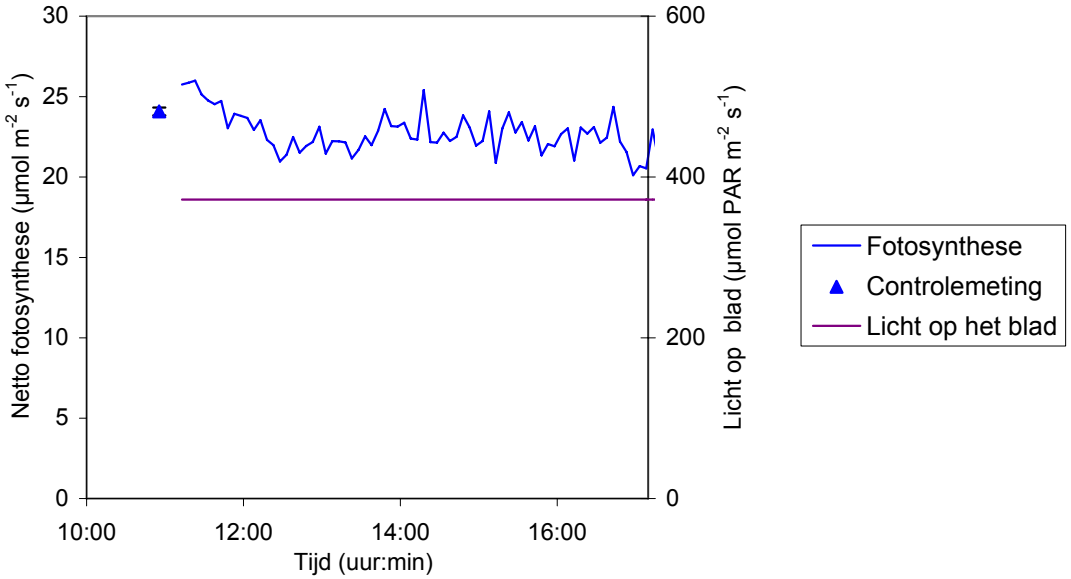
Datum (2007)	Tijd (uur:min)	Licht (µmol PAR m^{-2} s^{-1})
21 maart na zonsondergang	18:55 tot 19:45	120
	19:45 tot 20:00	60
	20:00 tot 0:10	0
22 maart	0:10 tot 0:45	60
	0:45 tot 1:15	120
	1:15 tot zonsopkomst	180
22 maart na zonsondergang	18:55 tot 19:40	120
	19:40 tot 19:55	60
	19:55 tot 0:10	0
23 maart	0:10 tot 0:45	60
	0:45 tot 1:20	120
	1:20 tot zonsopkomst	180
26 maart na zonsondergang (=20:03)	20:15 tot 0:15	0
	0:15 tot 0:45	60
27 maart	0:45 tot zonsopkomst	120

Meetmethode

De fotosynthese is gemeten door op het topblaadje van het bovenste volgroeide blad van een tak een meetcuvet te plaatsen. In de meetcuvet zijn de omstandigheden ingesteld op een temperatuur van 25 °C, CO_2 concentratie van 900 ppm en een RV van 80%. Op 19, 20, 21 en 22 februari is gemeten met een lichtintensiteit in de meetcuvet van 372 µmol PAR m^{-2} s^{-1} gedurende de dag en 186 µmol PAR m^{-2} s^{-1} gedurende de nacht. Op 21, 22, 23, 26 en 27 maart werd gemeten bij continu 150 µmol PAR m^{-2} s^{-1} in de meetcuvet.

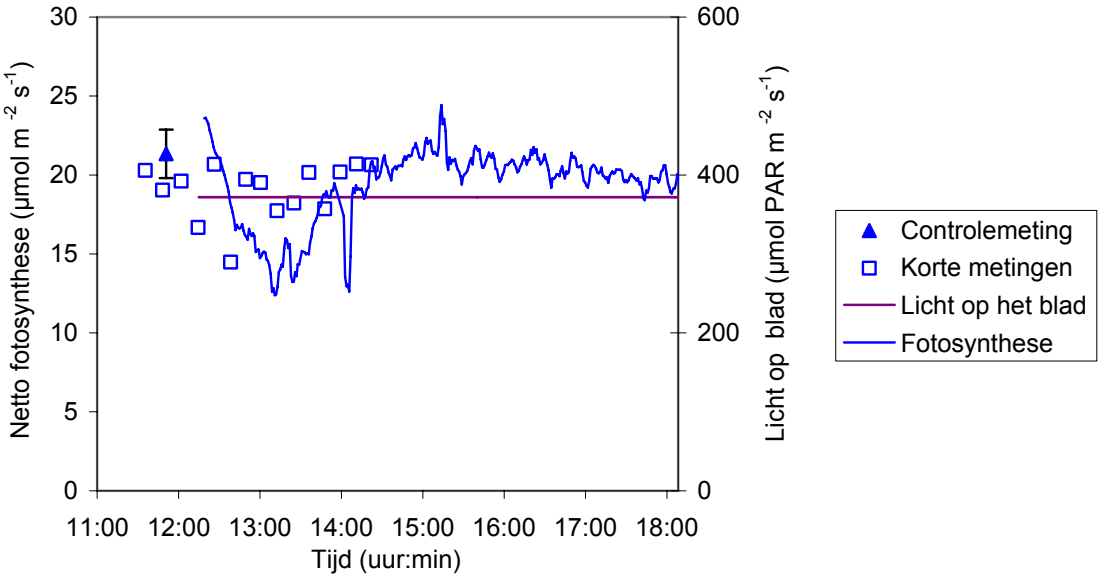
Resultaten

Tijdens de eerste meetserie, in februari, werd gemeten bij een lichtniveau gedurende de dag van 372 µmol PAR m^{-2} s^{-1} in de meetcuvet. De fotosynthese blijft op die dagen redelijk constant. Er is geen sprake van een daling van de fotosynthese aan het einde van de (natuurlijke) dag.



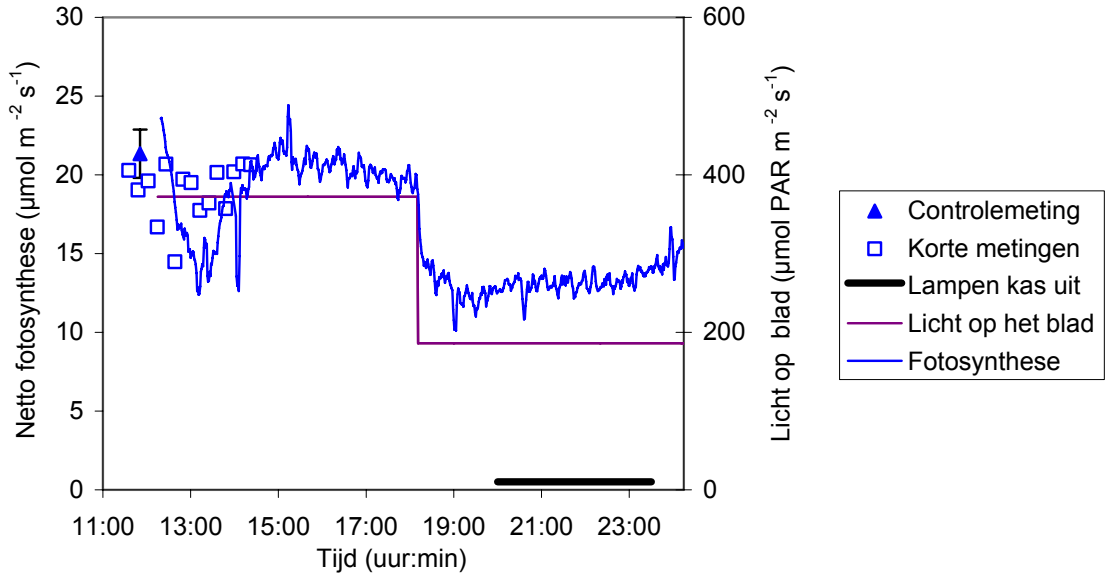
Figuur 1. *Netto fotosynthese van roos 'Red Naomi' op 19 februari gedurende de dag (tot zononder) bij 372 µmol PAR m^2 s^1.*

Op 20 februari is met twee fotosynthesemeters gemeten. Met één meter werd continu aan een zelfde blad gemeten (blauwe doorgetrokken lijn), met de andere meter werd elk kwartier aan een andere plant gemeten (open blokjes). Het verloop van de fotosynthese van de planten vertoont wel enige spreiding, maar duidelijk is te zien dat het verloop van de meting aan één plant representatief is voor wat er bij alle planten gebeurt.



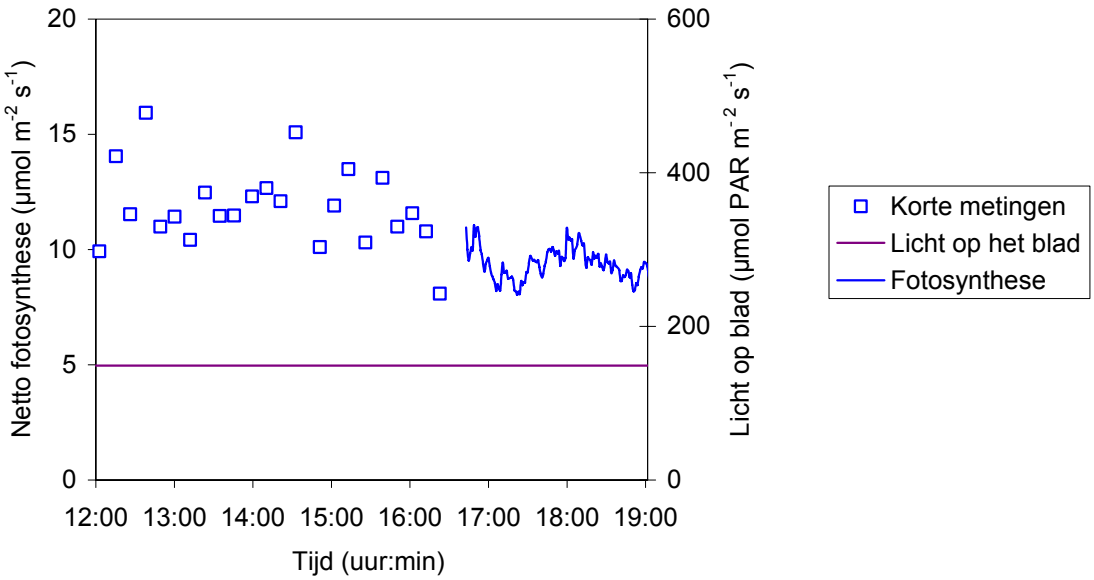
Figuur 2. *Netto fotosynthese van roos 'Red Naomi' op 20 februari gedurende de dag (tot zononder) bij 372 µmol PAR m^2 s^1.*

Gedurende de eerste uren van de nacht was de fotosynthese lager, omdat ook het ingestelde lichtniveau in de meetcuvet lager was dan gedurende de nacht. De fotosynthese bleef gedurende de nacht stabiel op dit lagere niveau. In de loop van de nachten waarin gemeten werd, traden echter problemen op met de fotosynthesemetingen. Doordat het gewas sterk verdampte, kwam er vocht in de apparatuur, waardoor de metingen niet meer betrouwbaar waren. Daarom zijn in onderstaande figuur alleen metingen getoond tot middernacht.



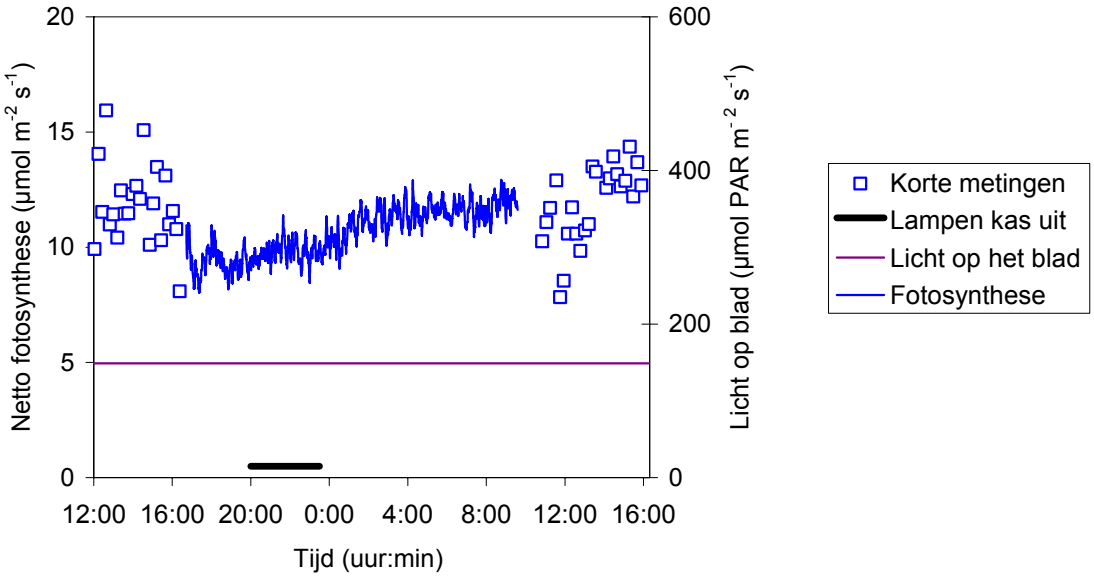
Figuur 3. *Netto fotosynthese van roos 'Red Naomi' op 20 februari gedurende de dag bij 372 µmol PAR m^2 s^1 en gedurende de nacht bij 186 µmol PAR m^2 s^1.*

In de periode 21 tot 27 maart is de tweede serie fotosynthesemetingen uitgevoerd. Hierbij zijn overdag kortdurende metingen uitgevoerd aan verschillende planten, om de variatie tussen de planten te bepalen. Aan het einde van de dag werd de meter op een plant geplaatst, en werd gedurende de nacht aan die ene plant gemeten. In onderstaande figuur is dit te zien: de blauwe driehoekjes zijn de metingen aan afzonderlijke planten, de doorgetrokken blauwe lijn zijn de continue metingen aan één plant.

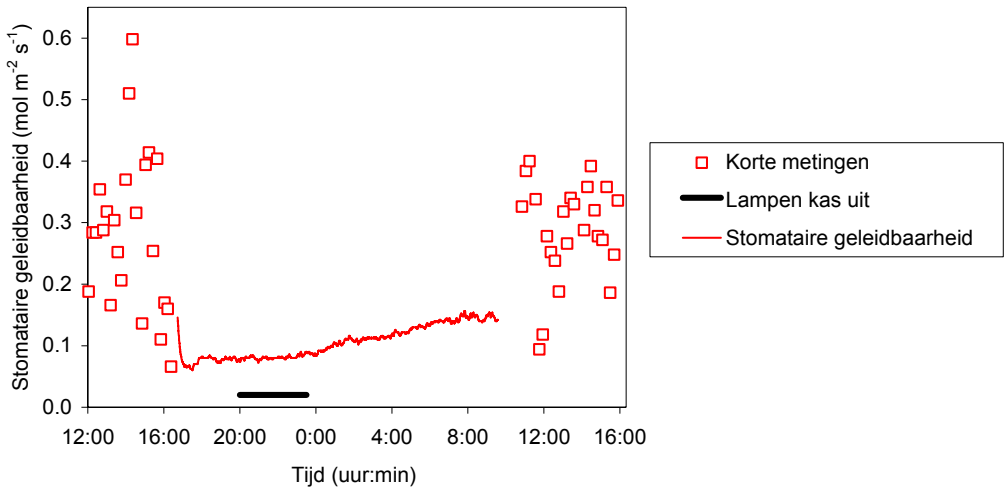


Figuur 4. *Netto fotosynthese van roos 'Red Naomi' op 21 maart gedurende de dag (tot zononder) bij 150 µmol PAR m^2 s^1.*

In Figuur 4 is te zien dat er een grote variatie is in de metingen van fotosynthese aan verschillende planten, ondanks het feit dat de omstandigheden in de meetcuvet (lichtniveau, temperatuur, CO_2 en vochtgehalte) gelijk zijn. Dit geeft aan dat er een grote variatie is tussen afzonderlijke planten. De fotosynthese neemt gedurende de dag (tot zononder) geleidelijk af. Bij de kortdurende metingen wordt elke 10-15 minuten gemeten aan een nieuwe plant. Deze planten staan onder de heersende omstandigheden, waarbij de stomataire geleidbaarheid met een afname van de straling aan het einde van de middag afneemt. In de nacht neemt de fotosynthese toe van ca. 9 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1} tot ca. 12 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1} (Figuur 5). De reden hiervoor is waarschijnlijk dat de langdurige meting pas om ongeveer half 5 gestart is. De stomataire geleidbaarheid van de huidmondjes van de planten waaraan de kortdurende metingen gedaan zijn, was op dat moment gedaald naar ca. 0.1 mol m^{-2} s^{-1}. Gelijk met de toename van de fotosynthese 's nachts is ook een toename van de stomataire geleidbaarheid te zien (Figuur 6).

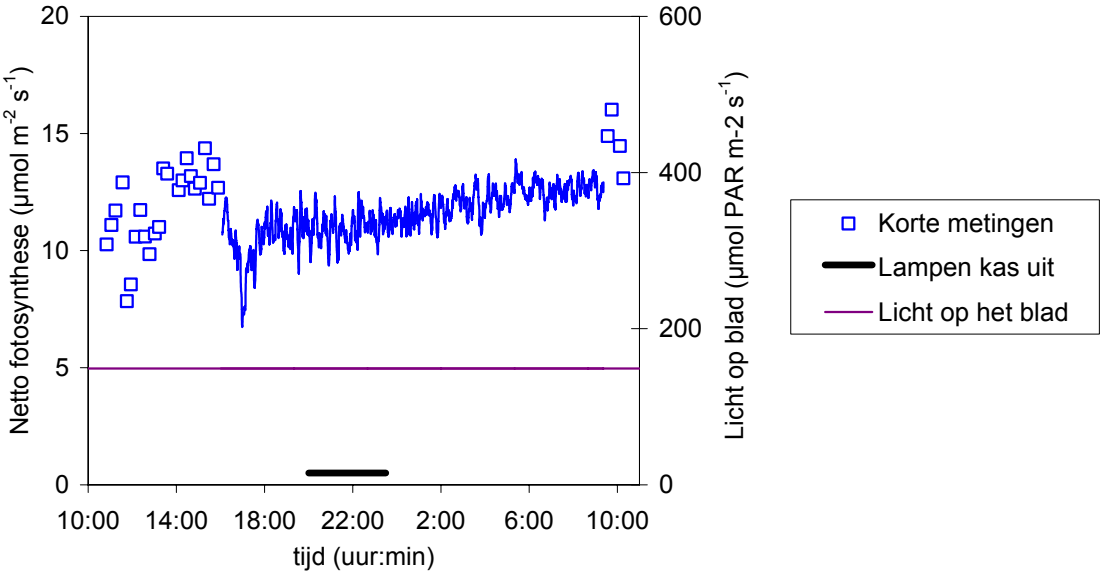


Figuur 5. *Netto fotosynthese van roos 'Red Naomi' op 21 en 22 maart gedurende de dag en nacht bij 150 µmol PAR m^2 s^1.*



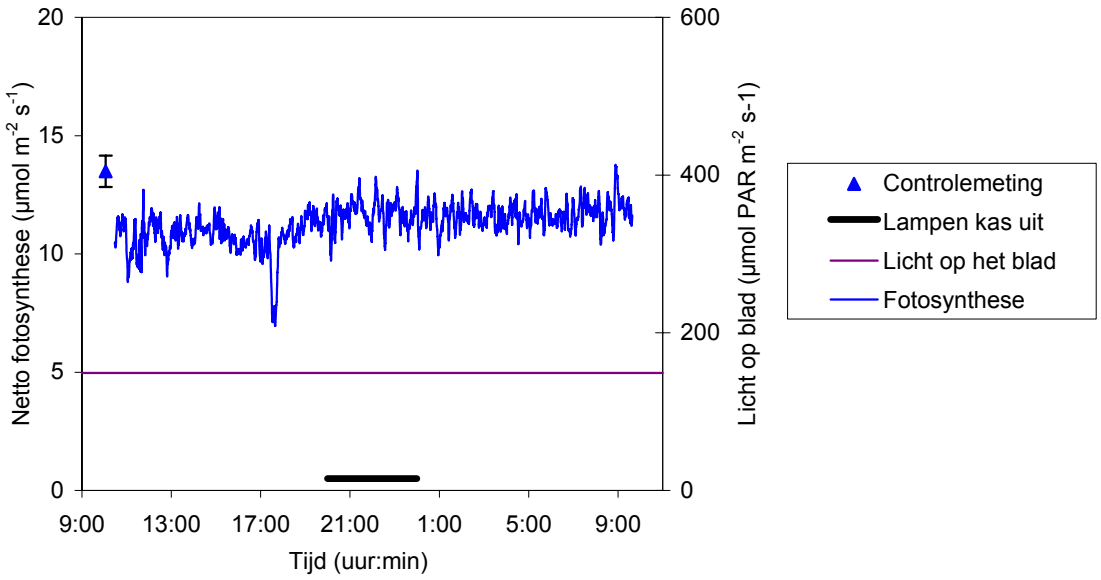
Figuur 6. *Stomataire geleidbaarheid van roos 'Red Naomi' op 21 en 22 maart gedurende de dag en nacht bij 150 µmol PAR m^{-2} s^{-1}.*

De fotosynthese neemt op de volgende meetdag (22 maart) gedurende de dag toe (tot ca. 13:00 uur) en daarna af. Gedurende de nacht neemt de fotosynthese weer toe. Ook op deze dag gaat deze toename van de fotosynthese 's nachts gepaard met een toename van de stomataire geleidbaarheid.



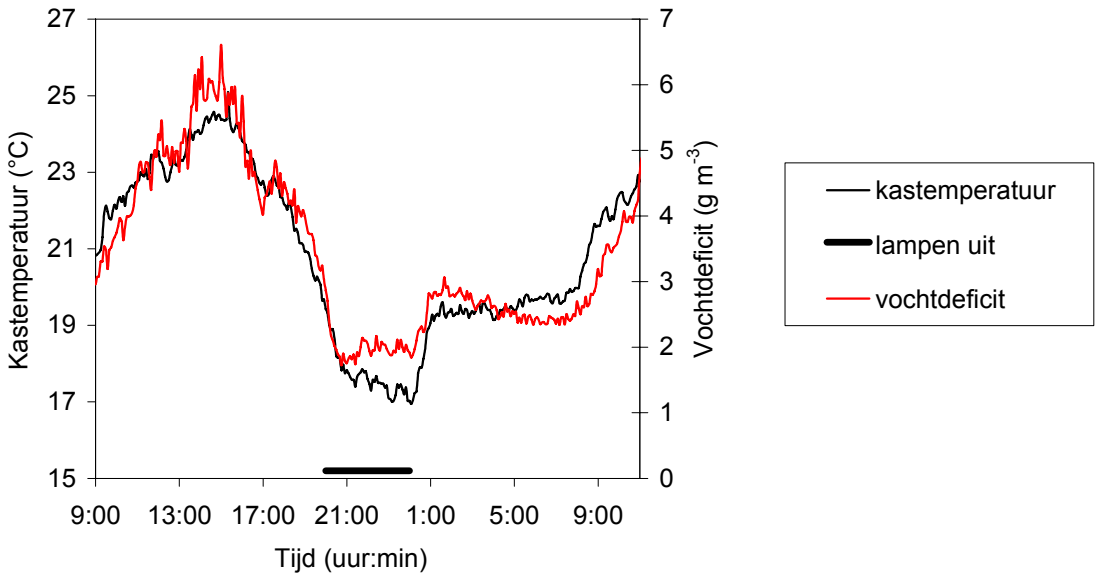
Figuur 7. *Netto fotosynthese van roos 'Red Naomi' op 22 en 23 maart gedurende de dag en nacht bij 150 µmol PAR m^{-2} s^{-1}.*

Op 26 maart is het verloop van de fotosynthese gedurende de dag (tot zononder) redelijk constant. In de nacht neemt de fotosynthese eerst iets toe, en blijft gedurende de rest van de nacht op een constant niveau.



Figuur 8. *Netto fotosynthese van roos 'Red Naomi' op 26 en 27 maart gedurende de dag en nacht bij 150 µmol PAR m^2 s^1.*

Dit verloop van de fotosynthese is gemeten in een meetcuvet met redelijk stabiele condities (licht, CO_2, temperatuur en RV). Het gewas was wel onderhevig aan een wisselend kasklimaat. In Figuur 9 is het verloop van de kas-temperatuur en het vochtdeficit weergegeven op 26 en 27 maart.

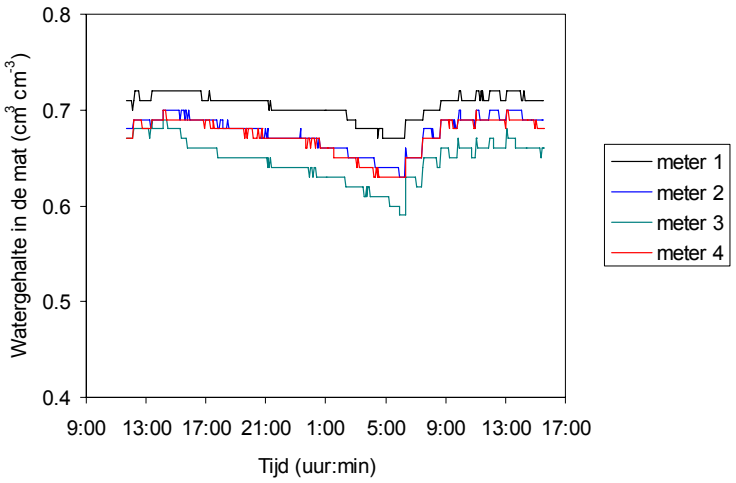


Figuur 9. *Kastemperatuur en vochtdeficit in de kas op 26 en 27 maart gedurende de dag en nacht.*

Een verklaring voor het verloop van de fotosynthese gedurende de dag zou kunnen zijn dat het gewas aan het einde van een dag met veel straling minder efficiënt met licht om zou gaan dan aan het einde van een dag met weinig straling. Op 21 en 22 maart, dagen dat er 's nachts sprake was van een toename van de fotosynthese is de globale stralingssom (buiten) respectievelijk 9.92 en 14.89 MJ m^2. Door de belichting zijn de verschillen in de kas kleiner.

De PAR stralingssommen in de kas zijn 18.6 mol per m^2 op 21 maart en 20.0 mol m^{-2} op 22 maart. Op 26 maart, als de fotosynthese gedurende het etmaal min of meer constant is, is de hoeveelheid straling hoger. De globale straling is die dag 17.12 MJ m^{-2} en de PAR stralingssom in de kas is dan 21.4 mol m^{-2}. Dit geeft aan dat de stralingssom niet de enige factor is die het verloop van de fotosynthese gedurende de dag bepaalt.

Het watergehalte in de mat is tijdens de fotosynthesemetingen continu gemeten met WET sensoren. De resultaten van deze sensoren laten zien dat tijdens de nacht het watergehalte in de mat geleidelijk afneemt. Vanaf 6:00 uur, als er weer water gegeven wordt, neemt het watergehalte weer geleidelijk toe. In onderstaande figuur is het verloop van het matwatergehalte op 21 en 22 maart gegeven. Op andere dagen waarop gemeten werd, was het verloop vergelijkbaar.



Figuur 10. Verloop van het watergehalte in de mat op 21 en 22 maart 2007 gemeten met 4 WET sensoren.

In onderstaande tabel staan de meetresultaten bij de belichtingsstrategie "190 µmol PAR m^{-2} s^{-1} gedurende 20 uur" samengevat.

Meetdag	Lichtsom[1] (mol m^{-2} dag^{-1})	Verloop fotosynthese tot zon onder	Verloop fotosynthese 's nachts	Mogelijk oorzaak verloop fotosynthese
19 februari	15.6	Constant	n.b.[2]	n.v.t.
20 februari	16.6	Constant	Constant	n.v.t.
21 februari	13.7	Daling	Toename	Onbekend
21 maart	18.6	Daling	Toename	Tot zononder kortdurende metingen. Verloop ging gepaard met daling stomataire geleidbaarheid. Langdurige fotosynthese-meting gestart aan einde van de middag, toename ging gepaard met toename stomataire geleidbaarheid
22 maart	20.0	Constant	Toename	Langdurige fotosynthesemeting gestart aan einde van de middag, toename ging gepaard met toename stomataire geleidbaarheid
26 maart	21.4	Constant	Constant	n.v.t.

[1] *De lichtsom betreft PAR straling in de kas, van zowel de zon als de belichting*

[2] *Verloop 's nachts niet bekend door technische storingen.*

Conclusie

De resultaten van de fotosynthesemetingen bij de belichtingsstrategie “20 uur belichten met 190 µmol PAR m^{-2} s^{-1}” geven aan dat planten onder deze belichtingsstrategie en teeltcondities gedurende het hele etmaal even efficiënt met licht om kunnen gaan.

Opmerkingen

Er is onder deze belichtingsstrategie op een aantal manieren fotosynthese gemeten. De dag die het meest relevant is voor de conclusie is 26 maart. Uit de andere meetdagen blijkt dat naar het einde van de dag toe de stomataire geleidbaarheid van een blad afneemt. Wanneer dan gestart wordt met een langdurige fotosynthesemeting bij een vast lichtniveau, neemt de stomataire geleidbaarheid geleidelijk toe, wat gepaard gaat met een toename van de fotosynthese. Het is niet aannemelijk dat deze toename van de fotosynthese te maken heeft met een assimilaten-overschot in de plant, dat gedurende de nacht verwerkt wordt. Aanwijzing hiervoor is ook dat er op 26 maart geen toename van de fotosynthese ’s nachts gemeten wordt, terwijl dat de meetdag bij deze belichtingsstrategie is met de hoogste stralingssom.

Bijlage III.

Strategie: 100 µmol PAR m^{-2} s^{-1}, 22 uur belichten, grootbloemige rode roos

Gegevens teelt en bedrijf

Ras:	Passion (grootbloemige rode roos)
Leeftijd gewas:	3 jaar
Belichtingsintensiteit:	8000 lux Son-T (ongeveer 100 µmol PAR m^{-2} s^{-1})
Belichtingsduur:	in principe 22 uur
Lichthinderscherm:	sluit als het buiten donker is (Obscura 95%)

Realisatie belichtingsduur en –intensiteit

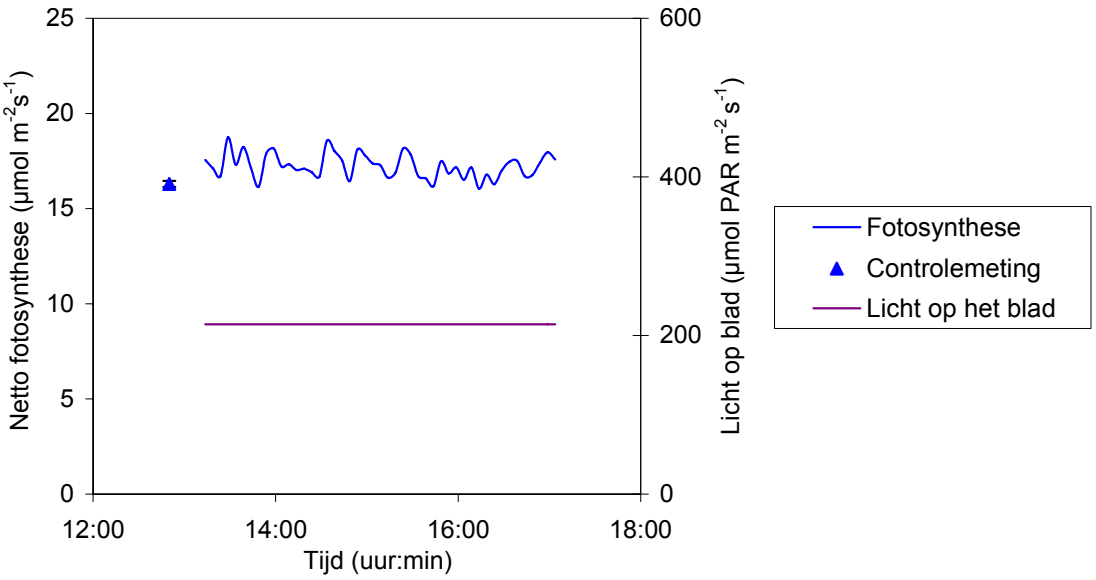
Op de dagen dat er gemeten is, is er 's nachts niet belicht tijdens de volgende uren:
22 januari: van 18:00 tot 20:00
23 januari: van 17:00 tot 19:00
24 januari: van 17:00 tot 19:00
25 januari: van 17:00 tot 19:00
28 maart: van 19:00 tot 23:00
29 maart: van 19:00 tot 23:00
30 maart: van 19:00 tot 23:00
Er werd belicht via 1 groep, dat wil zeggen dat er als er belicht werd altijd met 100 µmol PAR m^{-2} s^{-1} belicht werd. In de eerste meetserie (januari) werd 22 uur per dag belicht, in de tweede meetserie (maart) nog 20 uur.

Meetmethode

De fotosynthese is gemeten door op het topblaadje van het bovenste volgroeide blad van een tak een meetcuvet te plaatsen. In de meetcuvet zijn de omstandigheden ingesteld op een temperatuur van 25 °C, CO_2 concentratie van 900 ppm en een RV van 80%. Op 22, 23, 24 en 25 januari is gemeten, waarbij de lichtintensiteit in de meetcuvet 's nachts op 100 µmol PAR m^{-2} s^{-1} gehouden werd en overdag op 215 µmol PAR m^{-2} s^{-1}. Op 28, 29 en 30 maart werd gemeten bij continu 150 µmol PAR m^{-2} s^{-1} in de meetcuvet.

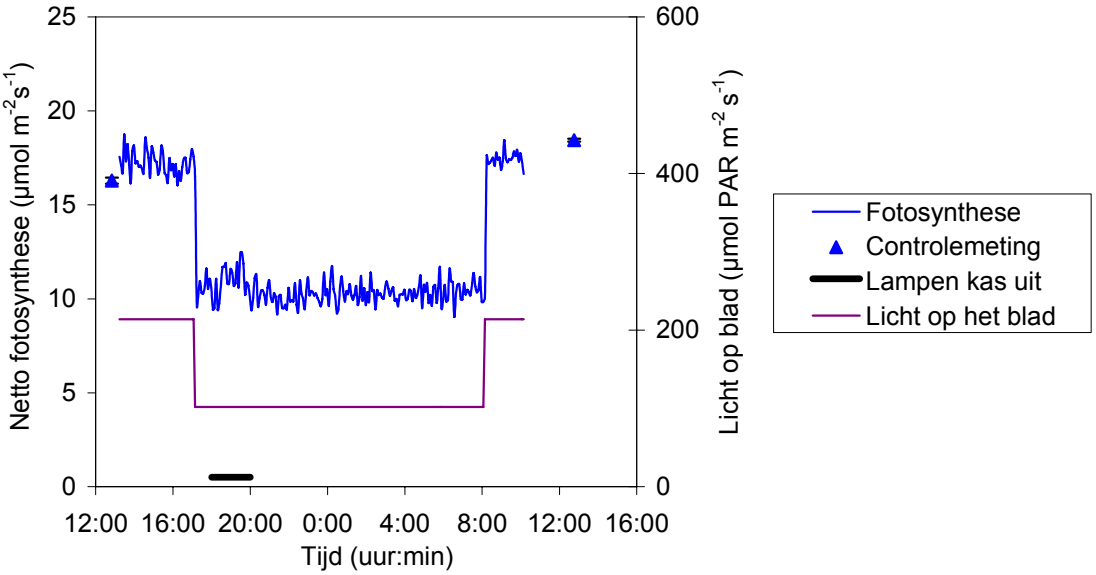
Resultaten

De metingen van de fotosynthese op 22, 23, 24 en 25 januari zijn heel sterk vergelijkbaar, daarom zijn hier alleen de resultaten van 22 januari getoond.



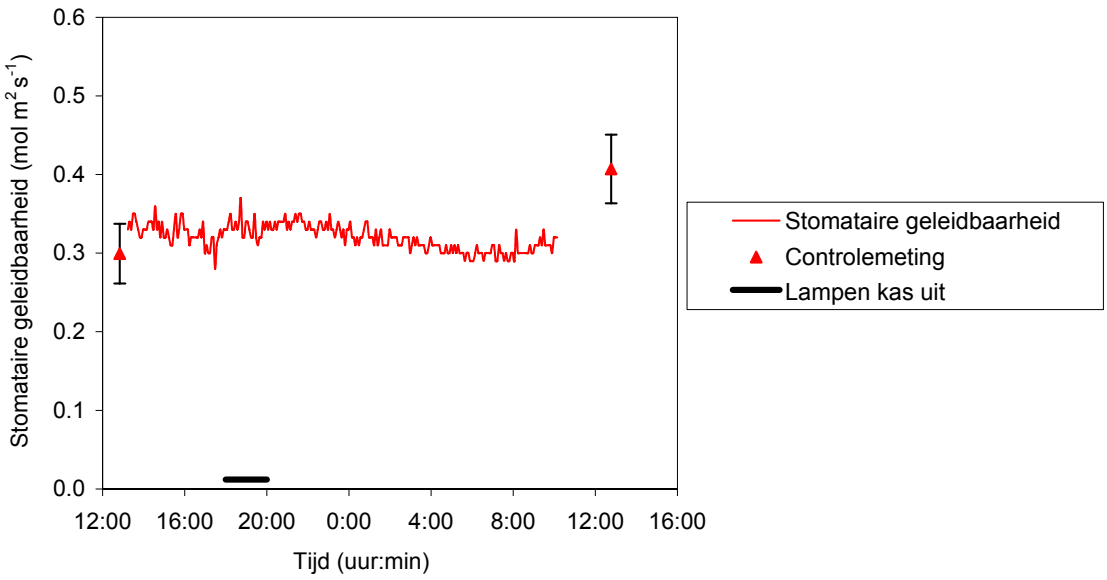
Figuur 1. *Netto fotosynthese van roos 'Passion' op 22 januari 2007 gedurende de dag (tot zononder) bij 215 µmol PAR m^2 s^1.*

De paarse lijn in de figuur geeft de hoeveelheid licht in de meetcuvet aan. Deze is gedurende de dag 215 µmol PAR m^{-2} s^{-1} en gedurende de nacht 100 µmol PAR m^{-2} s^{-1} (niveau van de belichting). De blauwe lijn is de bladfotosynthese-snelheid. In de figuur is duidelijk te zien dat de fotosynthese gedurende de dag op een constant niveau is. 's Nachts is het niveau van de fotosynthese lager, want de hoeveelheid licht is lager. Ook 's nachts is de fotosynthese constant. Op het moment dat de lichtintensiteit de volgende ochtend weer hoger wordt, neemt ook de fotosynthese-snelheid toe tot hetzelfde niveau als de vorige dag (zie onderstaande figuur).



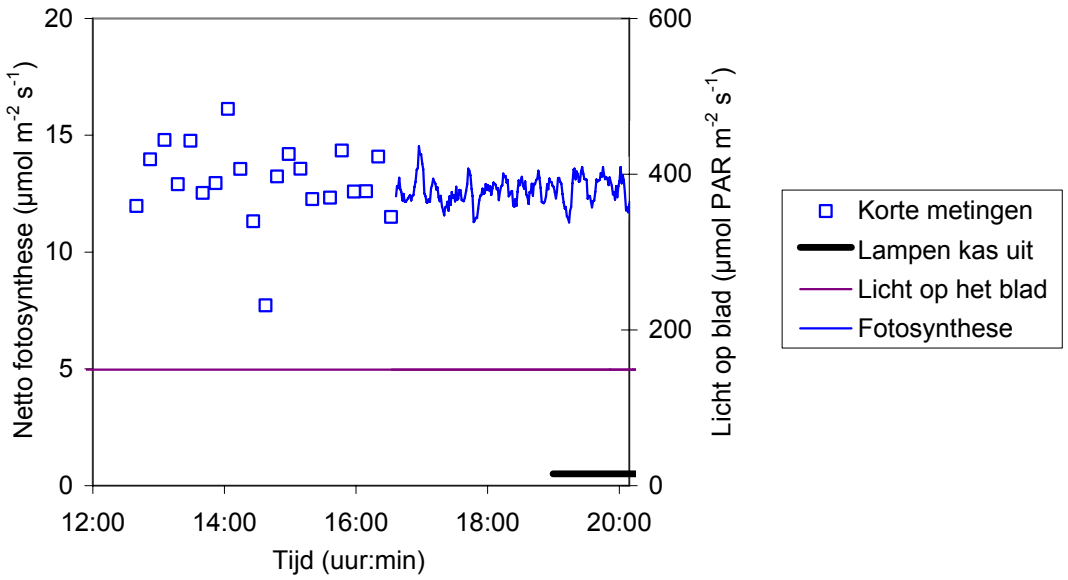
Figuur 2. *Netto fotosynthese van roos 'Passion' op 22 en 23 januari 2007 bij 215 µmol PAR m^2 s^1 gedurende de dag en 100 µmol PAR m^2 s^1 gedurende de nacht.*

De stomataire geleidbaarheid, een maat voor de huidmondjesopening is gedurende de metingen op 22 tot 25 januari redelijk constant, en niet beperkend voor de fotosynthese.



Figuur 3. *Stomataire geleidbaarheid van bladeren van roos 'Passion' op 22 en 23 januari 2007 bij 215 µmol PAR m^2 s^{-1} gedurende de dag en 100 µmol PAR m^2 s^{-1} gedurende de nacht.*

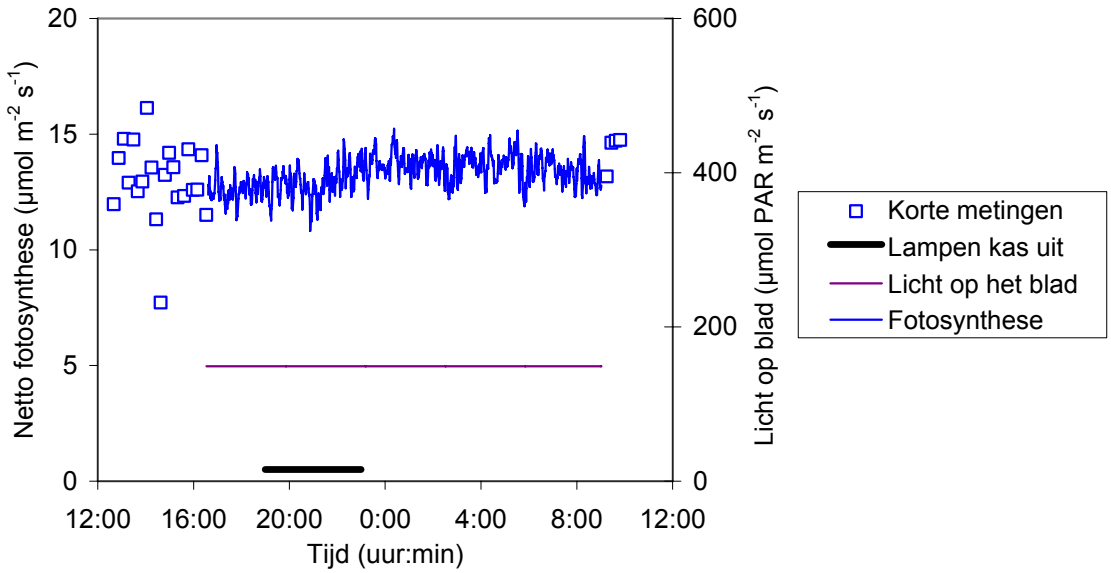
Twee maanden later, op 28, 29 en 30 maart werd opnieuw fotosynthese gemeten, nu bij één lichtintensiteit in de meetcuvet, namelijk 150 µmol m^{-2} s^{-1}. Overdag werden steeds afzonderlijke metingen gedaan aan verschillende planten (punten in de figuur).



Figuur 4. *Netto fotosynthese van roos 'Passion' op 29 maart 2007 gedurende de dag (tot zononder) bij 150 µmol PAR m^2 s^{-1}.*

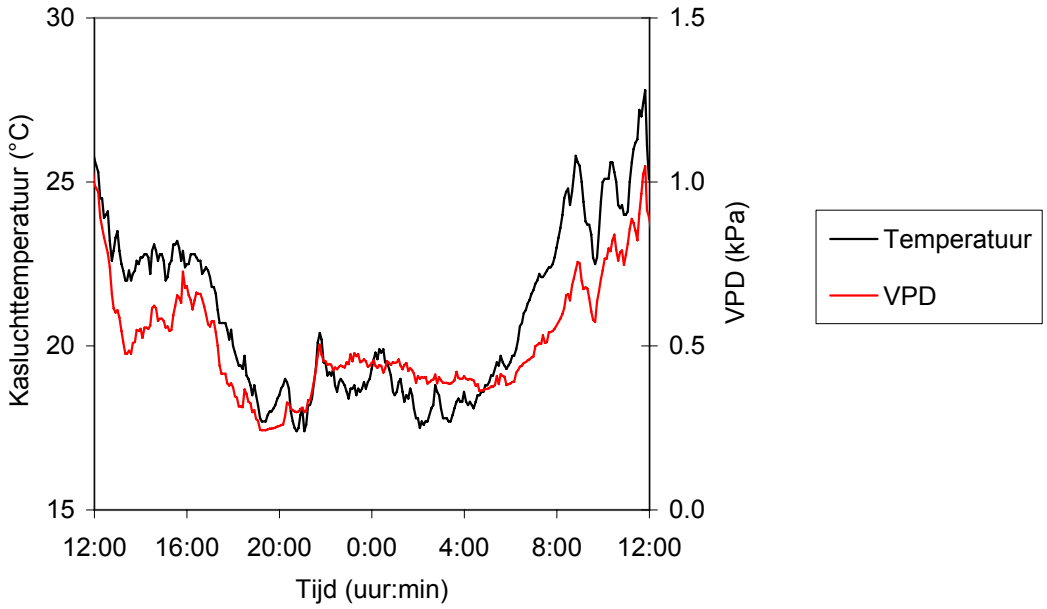
Het niveau van de fotosynthese onder de vaste omstandigheden verschilt tussen de planten, gezien de variatie in meetresultaten, maar het laat geen verloop gedurende de dag zien.

Aan het einde van de dag werd de meetcuvet op een plant gezet, en werd continu gemeten aan één blad tot de volgende ochtend.



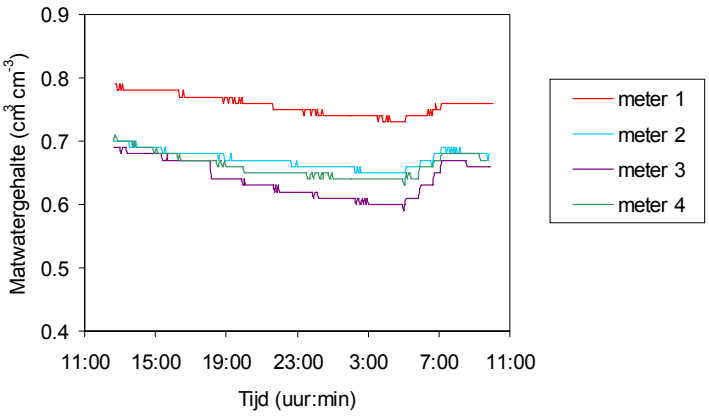
Figuur 5. *Netto fotosynthese van roos 'Passion' op 29 en 30 maart 2007 gedurende de dag en nacht bij 150 µmol PAR m^2 s^1.*

Uit deze figuur blijkt dat de fotosynthese gedurende de dag nauwelijks enig verloop vertoont. In onderstaande figuur is te zien dat de temperatuur en VPD wel variëren gedurende deze periode.



Figuur 6. *Verloop van de temperatuur en VPD van de kaslucht op 29 en 30 maart 2007.*

Het watergehalte in de mat is tijdens de fotosynthesemetingen continu gemeten met WET sensoren. De resultaten van deze sensoren laten zien dat tijdens de nacht het watergehalte in de mat geleidelijk afneemt. Vanaf 5:00 uur, als er weer water gegeven wordt, neemt het watergehalte weer geleidelijk toe. In onderstaande figuur is het verloop van het matwatergehalte op 24 en 25 januari gegeven. Op andere dagen waarop gemeten werd, was het verloop vergelijkbaar.



Figuur 7. Verloop van het watergehalte van de mat op 24 en 25 januari 2007 gemeten met 4 WET sensoren.

In onderstaande tabel staan de meetresultaten bij de belichtingsstrategie "100 µmol PAR m^{-2} s^{-1} gedurende 22 uur" samengevat.

Meetdag	Lichtsom[1] (mol m^{-2} dag^{-1})	Verloop fotosynthese tot zon onder	Verloop fotosynthese 's nachts	Mogelijk oorzaak verloop fotosynthese
22 januari	10.1	Constant	Constant	
23 januari	14.3	Constant	Constant	
24 januari	14.4	Constant	Constant	
28 maart	32.7	Constant	Toename	Tot zononder kortdurende metingen. Verloop ging gepaard met daling stomataire geleidbaarheid. Langdurige fotosynthese-meting gestart aan einde van de middag, toename ging gepaard met toename stomataire geleidbaarheid
29 maart	20.2	Constant	Constant	

[1] *De lichtsom betreft PAR straling in de kas, van zowel de zon als de belichting*

Conclusie

De resultaten van de fotosynthesemetingen in januari en in maart geven aan dat de planten onder deze belichtingsstrategie en teeltcondities gedurende de hele dag even efficiënt met licht om gaat. De efficiëntie van de planten wordt niet belemmerd door belichtingsduur of –intensiteit of een andere factor.

Bijlage IV.

Strategie: 40 µmol PAR m^{-2} s^{-1}, 20 uur belichten, grootbloemige rode roos

Bedrijfs- en teeltgegevens

Ras:	Cherry Lady (grootbloemige rode roos)
Leeftijd gewas:	1 jaar
Belichtingsintensiteit:	3300 lux (ongeveer 40 µmol PAR m^{-2} s^{-1})
Belichtingsduur:	in principe 20 uur (00:00 uur tot 20:00 uur)
Lichthinderscherm:	geen

Aanvullingen klimaat op de meetdagen

Metingen zijn uitgevoerd op 31 januari, 1 en 2 februari; 12, 13, 14, 15 maart 2007 in kasafdeling 2. De tijden waarop de belichting heeft gebrand is gecontroleerd met behulp van de klimaatgegevens (op papier). In onderstaande tabel staan de belichtingstijden.

Tabel 1. Belichtingstijden.

Datum	Branduren totaal	Branduren periode 0:00 tot 12:00 uur	Branduren periode 12:00 tot 20:00 uur
31 januari 2007	19:54	12:05	7:50
1 februari 2007	17:08	11:55	5:13
2 februari 2007	19:54	12:04	7:50
12 maart 2007	13:54	10:42	3:12
13 maart 2007	11:56	8:47	3:09
14 maart 2007	13:20	9:30	3:50
15 maart 2007	11:59	8:51	3:08

In de eerste meetperiode (januari/februari) is bijna 20 uur belicht, in de tweede meetperiode (maart) werd de belichting overdag regelmatig uitgeschakeld.

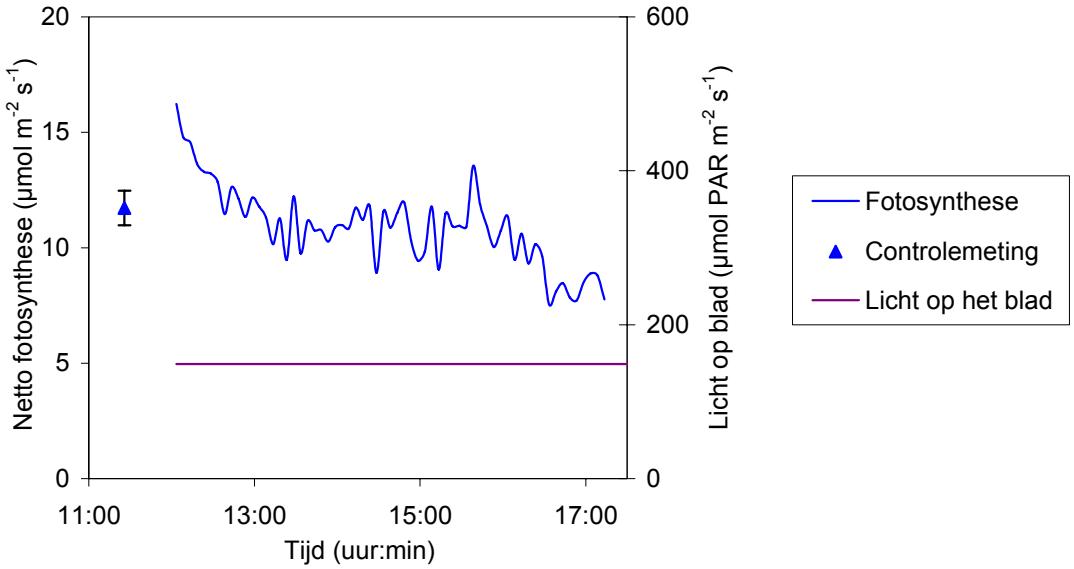
Meetmethode

De fotosynthese is gemeten door op het topblaadje van het bovenste volgroeide blad van een tak een meetcuvet te plaatsen. In de meetcuvet zijn de omstandigheden ingesteld op een temperatuur van 25 °C, CO_2 concentratie van 900 ppm en RV van 80%. Op 31 januari/1 februari was het lichtniveau in de meetcuvet gedurende de dag 150 µmol PAR m^{-2} s^{-1} en gedurende de nacht 46 µmol m^{-2} s^{-1}. Op 12, 13, 14 en 15 maart was het lichtniveau constant 150 µmol PAR m^{-2} s^{-1} in de meetcuvet. De metingen zijn uitgevoerd op 31 januari, 1 en 2 februari en 13, 14 en 15 maart.

Resultaten

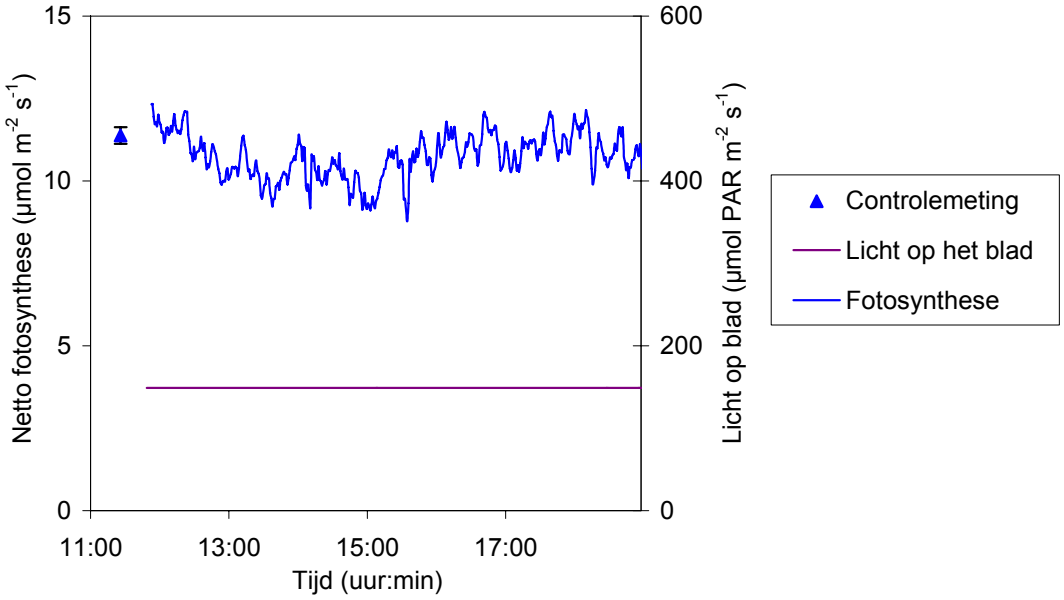
Tijdens de metingen die zijn uitgevoerd in de periode 31 januari tot 2 februari zijn regelmatig technische problemen met de fotosynthesemeter opgetreden, waardoor maar beperkt data beschikbaar zijn. In onderstaande figuur is het

verloop van de fotosynthese gedurende de dag (tot zononder) te zien op 31 januari. Te zien is dat de fotosynthese in het laatste uur voordat de zon onder gaat lager is dan gedurende de rest van de dag.

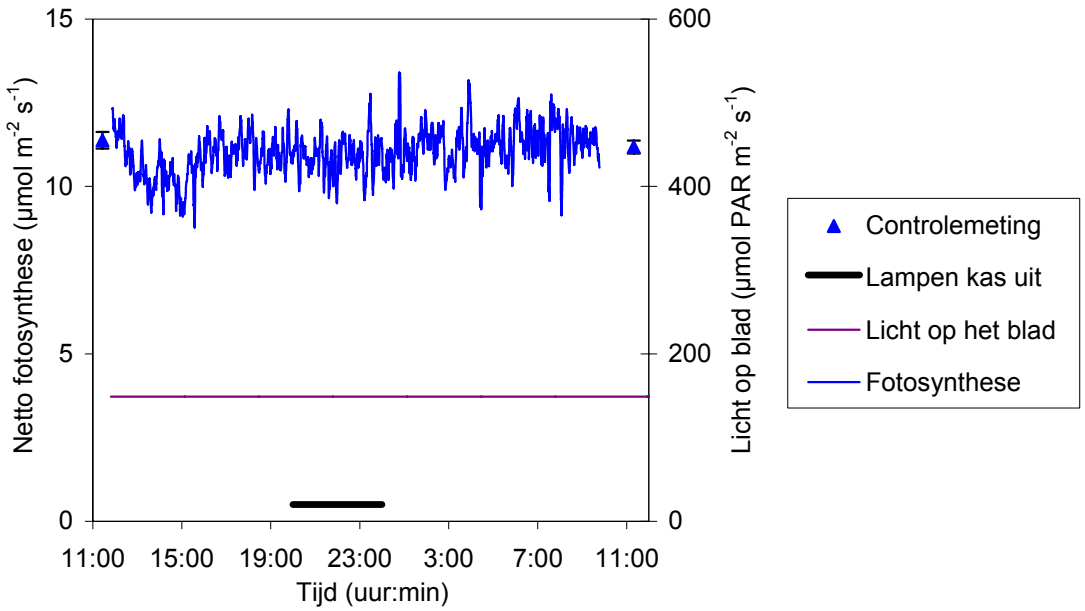


Figuur 1. *Verloop van de netto fotosynthese van een rozenblad cv. Cherry Lady op 31 januari gedurende de dag (tot zononder) bij 150 µmol PAR m^2 s^1.*

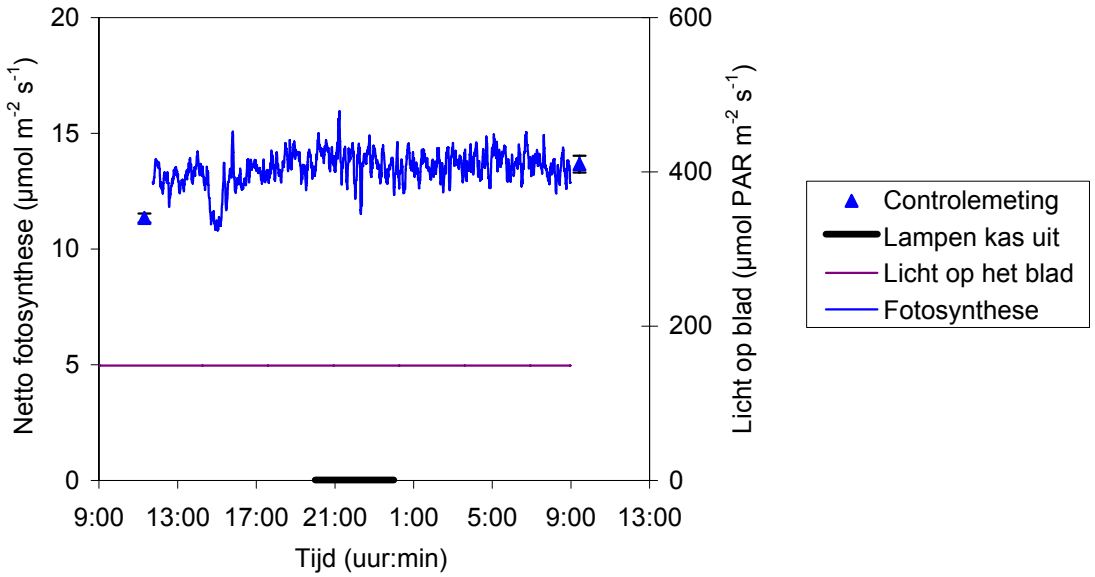
Het verloop van de fotosynthese op de meetdagen 13, 14 en 15 maart is redelijk constant. Er is geen structurele daling of stijging van de fotosynthese te zien naar het einde van de dag. Wel is te zien dat de fotosynthese schommelingen of een dip vertoont in de middag. Deze schommelingen of tijdelijke verlaging van de fotosynthese hebben mogelijk te maken met een tijdelijke hoge instraling van de zon in de kas en in de meetcuvet. Op die momenten was het vochtdeficit in de kaslucht en in de meetcuvet relatief hoog omdat de temperaturen tijdelijk opliepen. Op het moment dat de temperatuur weer iets lager werd, werd ook de fotosynthese weer redelijk constant.



Figuur 2. *Verloop van de netto fotosynthese van een rozenblad cv. Cherry Lady op 13 maart gedurende de dag (tot zononder) bij 150 µmol PAR m^2 s^1.*

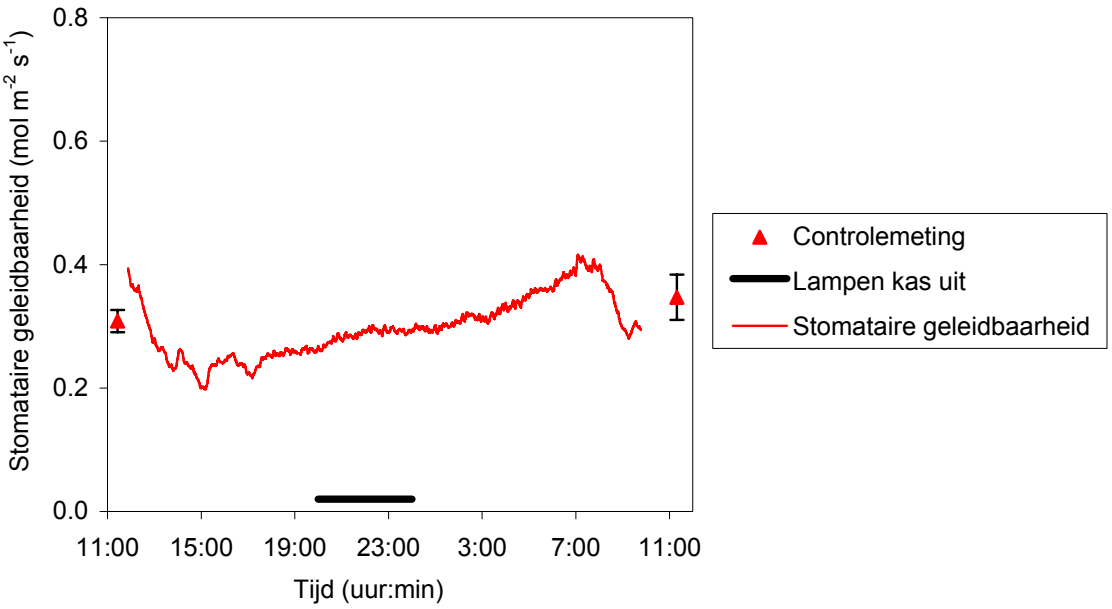


Figuur 3. *Verloop van de netto fotosynthese van een rozenblad cv. Cherry Lady op 13 en 14 maart gedurende de dag en nacht bij 150 µmol PAR m^2 s^1.*

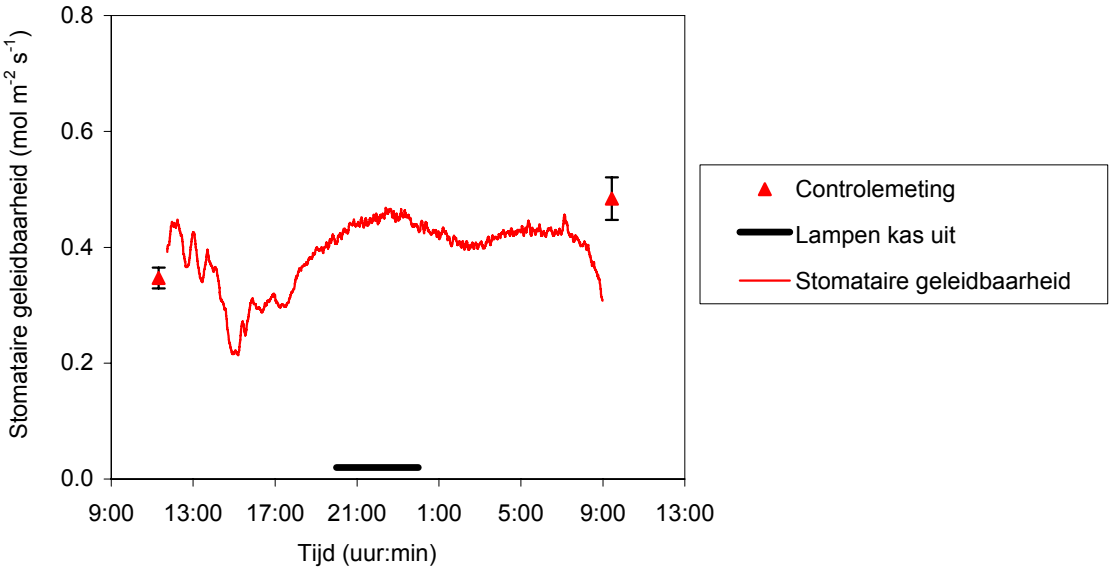


Figuur 4. *Verloop van de netto fotosynthese van een rozenblad cv. Cherry Lady op 14 en 15 maart gedurende de dag en nacht bij 150 µmol PAR m^2 s^1.*

De stomataire geleidbaarheid, een maat voor de huidmondjesopening, vertoont een verloop dat vergelijkbaar is met het verloop van de fotosynthese. Op 13 maart neemt de stomataire geleidbaarheid af tussen 13:00 en 16:00 uur, gelijk met de schommelingen in de fotosynthese (Figuur 5). Op 14 maart rond 16:00 uur, als de fotosynthese laag is, staan de huidmondjes minder ver open dan gedurende de rest van de dag (Figuur 6). De oorzaak kan liggen in de RV van de kaslucht die rond 15:00 uur met ca. 65% laag was. Ook op 13 maart is de RV van de kaslucht op het moment dat de fotosynthese (tijdelijk) afneemt tussen de 65 en 70%.



Figuur 5. *Verloop van de stomataire geleidbaarheid van een rozenblad cv. Cherry Lady op 13 en 14 maart gedurende de dag en nacht bij 150 µmol PAR m^{-2} s^{-1}.*



Figuur 6. *Verloop van de stomataire geleidbaarheid van een rozenblad cv. Cherry Lady op 14 en 15 maart gedurende de dag en nacht bij 150 µmol PAR m^{-2} s^{-1}.*

De matwatergehaltes die tijdens de meetdagen gemeten zijn, zijn overdag redelijk constant, en nemen gedurende de nacht geleidelijk af tot de eerste watergeefbeurten 's ochtends.

In onderstaande tabel staan de meetresultaten bij de belichtingsstrategie "40 µmol PAR m^{-2} s^{-1} gedurende 20 uur" samengevat.

Meetdag	Lichtsom[1] (mol m^{-2} dag^{-1})	Verloop fotosynthese tot zon onder	Verloop fotosynthese 's nachts	Mogelijk oorzaak verloop fotosynthese
31 januari	17.8	Daling	Constant	Onbekend
1 februari	10.1	n.b.[2]	n.b.	
12 maart	42.5	Dip	Constant	Vochtdeficit in de meetcuvet hoog tijdens de dip
13 maart	33.9	Dip	Constant	Vochtdeficit in de meetcuvet hoog tijdens de dip
14 maart	34.1	Korte dip	Constant	Vochtdeficit in de meetcuvet hoog tijdens de dip

[1] *De lichtsom betreft PAR straling in de kas, van zowel de zon als de belichting*

[2] *Verloop niet bekend door technische storingen apparatuur*

Conclusie

De resultaten van de fotosynthesemetingen in januari, februari en maart geven aan dat de planten onder deze belichtingsstrategie en teeltcondities gedurende de hele dag even efficiënt met licht om kunnen gaan. Een beperkende factor voor het efficiënt gebruik van licht kan de vochtigheid van de (kas)lucht zijn. Op moment dat het vochtdeficit van de lucht in de meetcuvet en de kas tijdelijk hoog zijn, lijken de huidmondjes zich iets te sluiten en is de fotosynthese tijdelijk lager. Op het moment dat het vochtdeficit weer iets lager is, herstelt de fotosynthese zich.

Bijlage V.

Strategie: 145 µmol PAR m^{-2} s^{-1}, 24 uur belichten, grootbloemige rode roos

Gegevens

Ras:	Passion (grootbloemige rode roos)
Leeftijd gewas:	ca. half jaar
Belichtingsintensiteit:	12000 lux Son-T (ongeveer 145 µmol PAR m^{-2} s^{-1})
Belichtingsduur:	in principe 20 uur, echter speciaal voor deze metingen is op de meetdagen 24 uur belicht
Lichthinderscherm:	sluit bij buitentemperaturen lager dan 7°C (Bonar Phormium)

Aanvullingen klimaat op de meetdagen

Er is gemeten op de volgende data: 17, 18, 19 januari 2007 en 5, 6, 7, 8 maart 2007.
Op ons verzoek is er 24 uur belicht. Uit de klimaatdata blijken er de afwijkingen te zijn op de lichtintensiteit van circa 145 µmol m^{-2} s^{-1}. De lampen hebben sommige perioden niet op volle sterkte gebrand, maar met een lichtintensiteit van circa 133 µmol PAR en soms 0 (zie onderstaande tabel).

Tabel 1. Lichtintensiteit in de kas tussen zonsondergang en zonsopkomst op de verschillende meetdagen.

Meetdag	Datum	Tijd	PAR
17-18 jan	17 jan 2007	Zonsondergang tot 20:00	150
		20:05	5
		20:10 – 20:25	0
		20:30 – 20:45	Stijging naar 135
		20:50 – 0:15	135
	18 jan 2007	0:20 - zonsopkomst	150
18-19 jan	18 jan 2007	Zonsondergang – zon op	150
5-6 mrt	5 mrt 2007	Zon onder – 19:15	150
		19:20 – 0:15	133
	6 mrt 2007	0:20 - zonsopkomst	150
6-7 mrt	6 mrt 2007	Zon onder – 22:35	133
	7 mrt 2007	22:40 – zon op	150
7-8 mrt	7 mrt 2007	Zon onder – 20:00	155
		20:05 – 0:15	133
	8 mrt 2007	0:20 - zonsopkomst	155

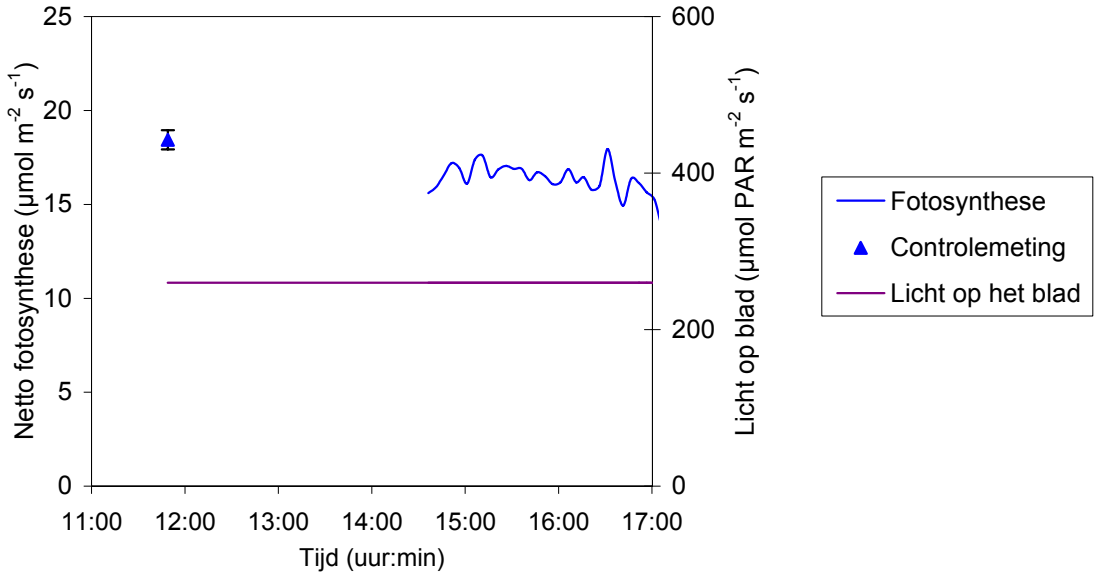
Aan de hand van de klimaatdata is niet na te gaan wanneer het lichthinderscherm gesloten was.

Meetmethode

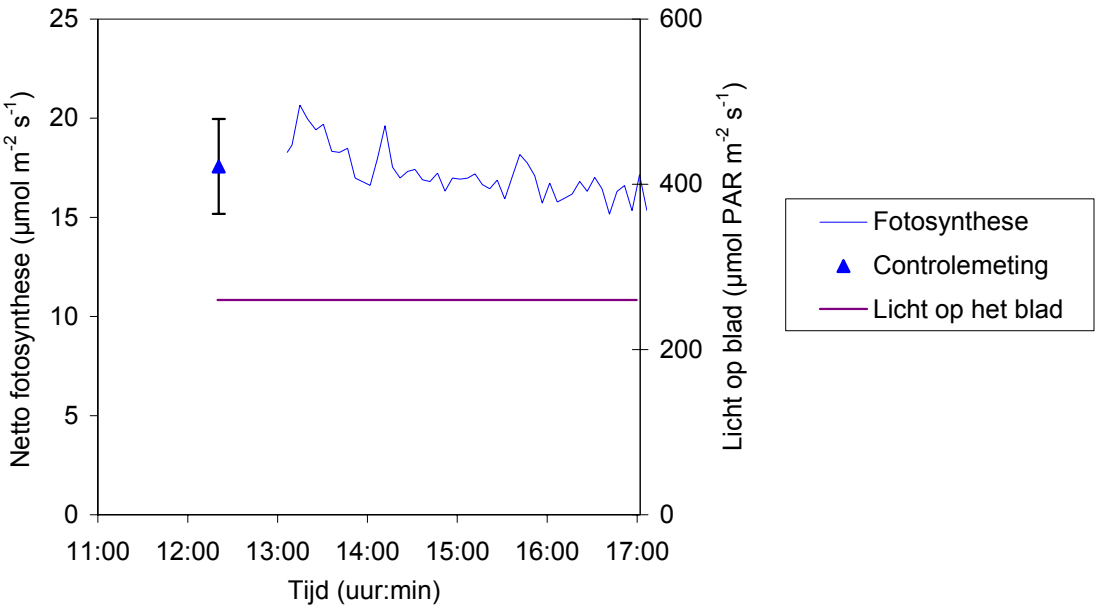
De fotosynthese is gemeten door op het topblaadje van het bovenste volgroeide blad van een tak een meetcuvet te plaatsen. In de meetcuvet zijn de omstandigheden ingesteld op een temperatuur van 25 °C, CO_2 concentratie van 900 ppm en een RV van 80%. Op 17, 18, 19 en 20 januari is gemeten, waarbij de lichtintensiteit in de meetcuvet 's nachts op 150 µmol PAR m^{-2} s^{-1} gehouden werd en overdag op 260 µmol PAR m^{-2} s^{-1}. Op 5, 6, 7 en 8 maart werd gemeten bij continu 150 µmol PAR m^{-2} s^{-1} in de meetcuvet.

Resultaten

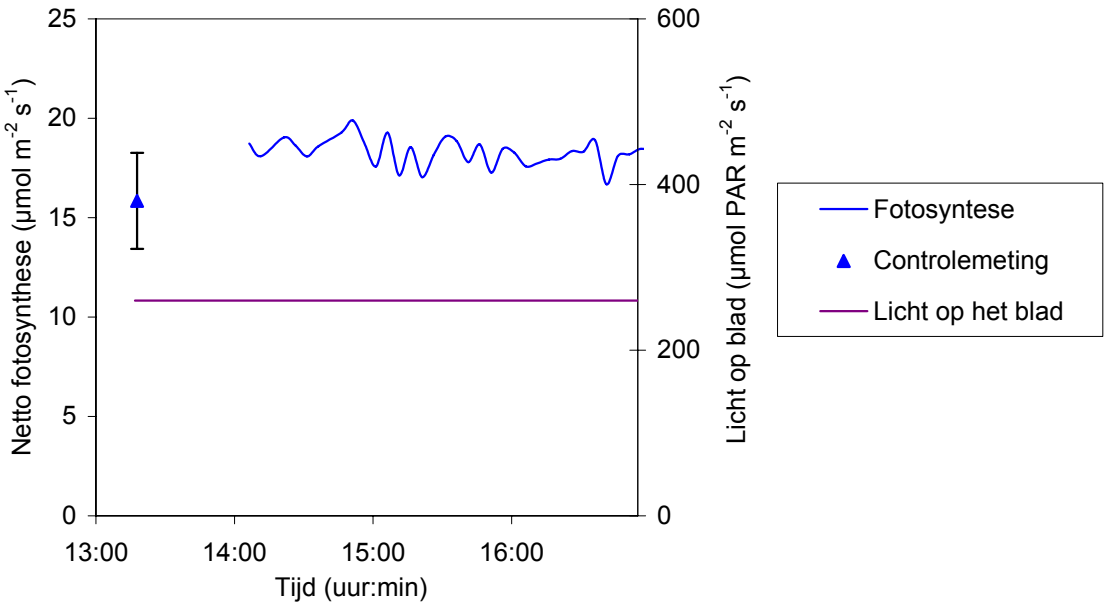
In een voorgaand onderzoeksproject zijn in mei en juni 2005 op dit bedrijf fotosynthesemetingen uitgevoerd, waarbij de fotosynthese tussen ca. 11:00 uur en 16:00 uur afnam van 28 µmol m^{-2} s^{-1} naar 18 µmol m^{-2} s^{-1}, een daling van 35%. Deze metingen zijn niet aan ditzelfde gewas uitgevoerd, aangezien de leeftijd van het gewas waaraan wij gemeten hebben een half jaar was. Op 17, 18 en 19 januari is gedurende vanaf het begin van de middag tot zononder fotosynthese gemeten. In onderstaande figuren geeft de paarse lijn de hoeveelheid licht in de meetcuvet aan. De blauwe lijn is de bladfotosynthesesnelheid. Het blauwe driehoekje geeft het niveau van een aantal controle-metingen van de fotosynthese weer.



Figuur 1. *Netto fotosynthese van roos 'Passion' op 17 januari 2007 gedurende de dag (tot zononder) bij 260 µmol PAR m^{-2} s^{-1}.*



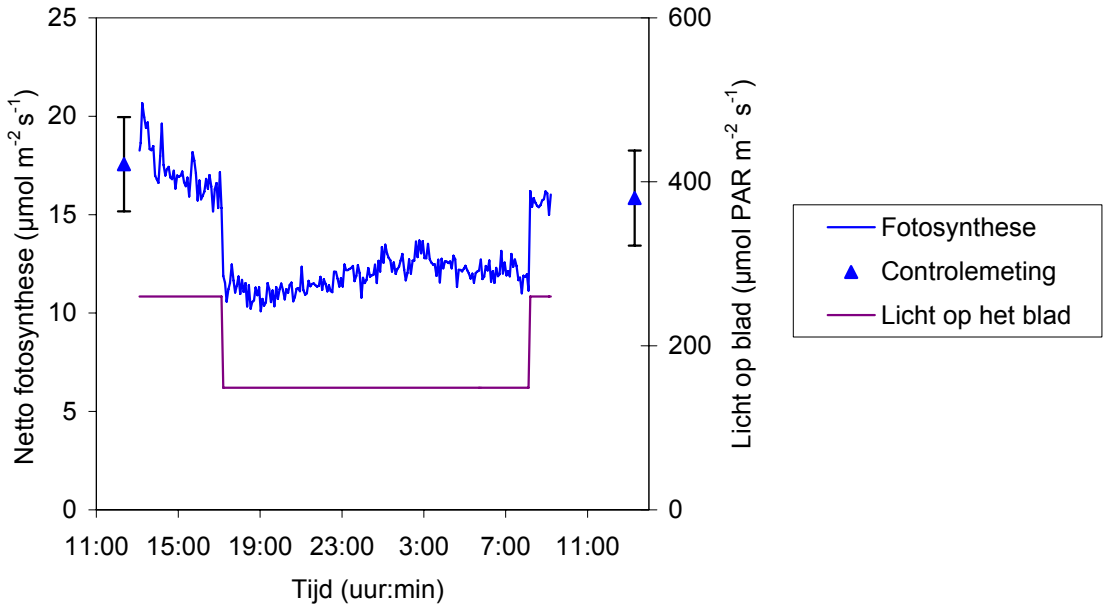
Figuur 2. *Netto fotosynthese van roos 'Passion' op 18 januari 2007 gedurende de dag (tot zononder) bij 260 µmol PAR m^2 s^1.*



Figuur 3. *Netto fotosynthese van roos 'Passion' op 19 januari 2007 gedurende de dag (tot zononder) bij 260 µmol PAR m^2 s^1.*

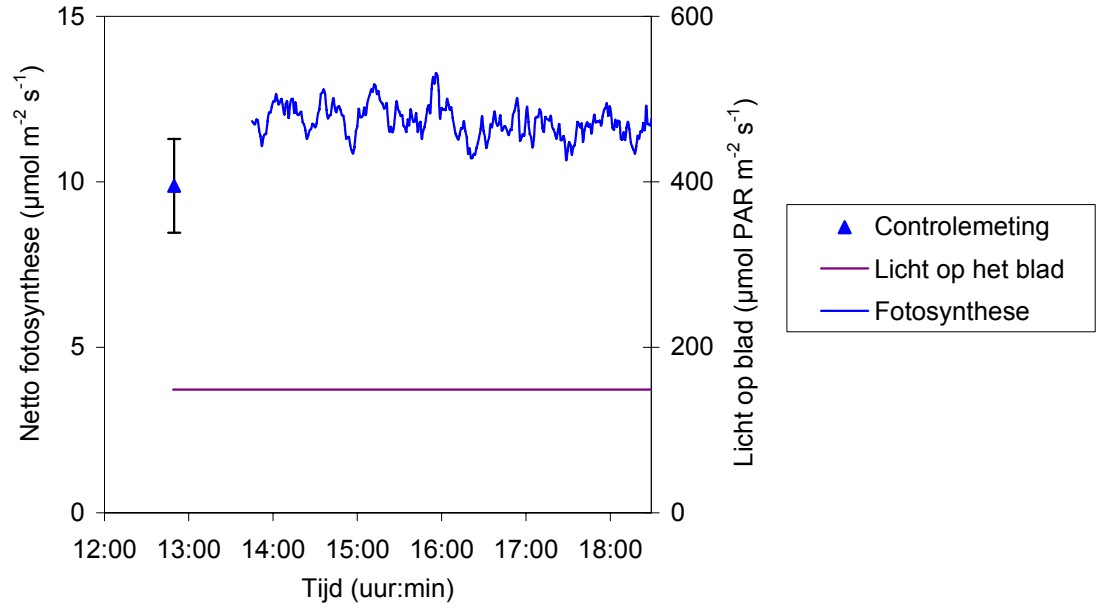
In deze drie figuren is te zien dat de fotosynthese op 17 en 19 januari min of meer constant is, en op 18 januari gedurende de middag afneemt. De fotosynthese daalt dan van ca. 19.5 µmol m^{-2} s^{-1} om 13:00 uur naar 16 µmol m^{-2} s^{-1}, een afname van 18%. Wat de oorzaak van het verschil in verloop van de fotosynthese gedurende de dag is, is niet duidelijk. De lichtsom (PAR in de kas) was op 17 en 18 januari redelijk vergelijkbaar (14.8 respectievelijk 16.1 mol m^{-2} dag^{-1}). Op 19 januari was de stroom uitgevallen, en zijn er geen gegevens van de lichtsom van die dag beschikbaar. Vergelijking met andere weerstations laat zien dat de stralingssom op 19 januari ca. 2 maal zo hoog was als op 18 januari.

Gedurende de nacht treedt er een herstel van de fotosynthese op, zoals in onderstaande figuur is te zien. Tot middernacht loopt de fotosynthese geleidelijk op, waarna de fotosynthese gedurende de rest van de nacht op een min of meer constant niveau blijft.

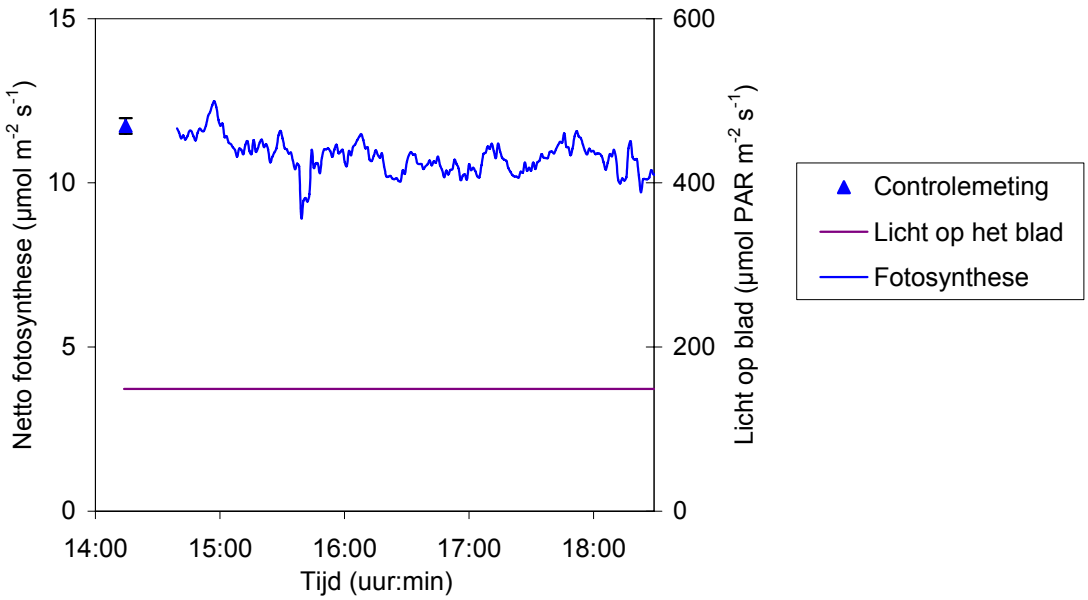


Figuur 4. *Netto fotosynthese van roos 'Passion' op 18 en 19 januari 2007 bij 260 µmol PAR m^2 s^1 gedurende de dag en 150 µmol PAR m^2 s^1 gedurende de nacht.*

Anderhalve maand later, op 6, 7 en 8 maart werd opnieuw fotosynthese gemeten, nu bij één lichtintensiteit in de meetcuvet, namelijk 150 µmol m^{-2} s^{-1}. Overdag (tot zononder) was de fotosynthese min of meer constant (Figuren 5 en 6).

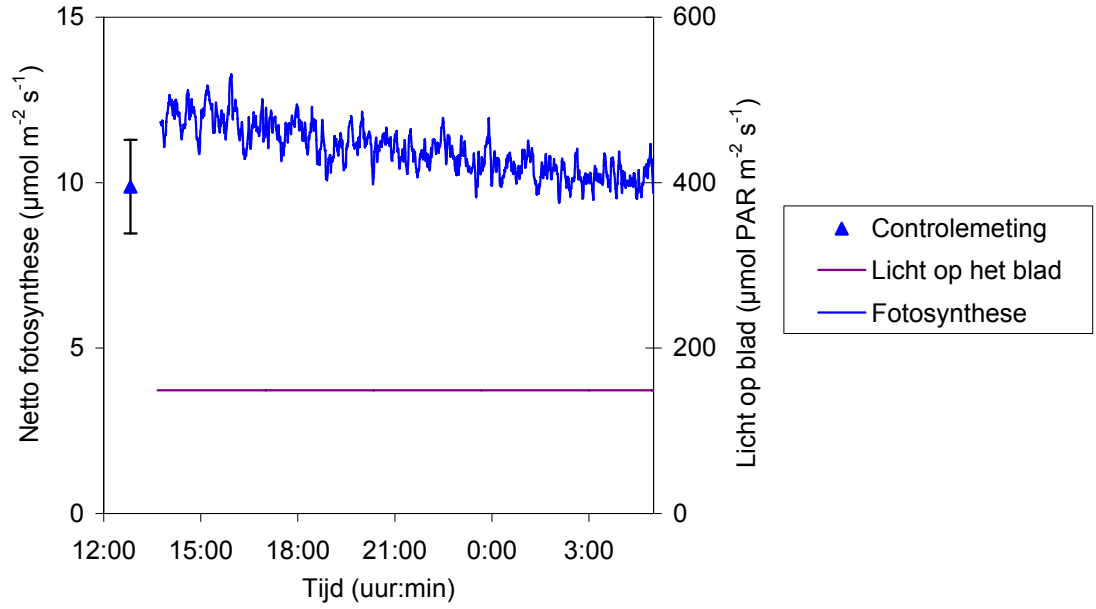


Figuur 5. *Netto fotosynthese van roos 'Passion' op 6 maart 2007 gedurende de dag (tot zononder) bij 150 µmol PAR m^2 s^1.*

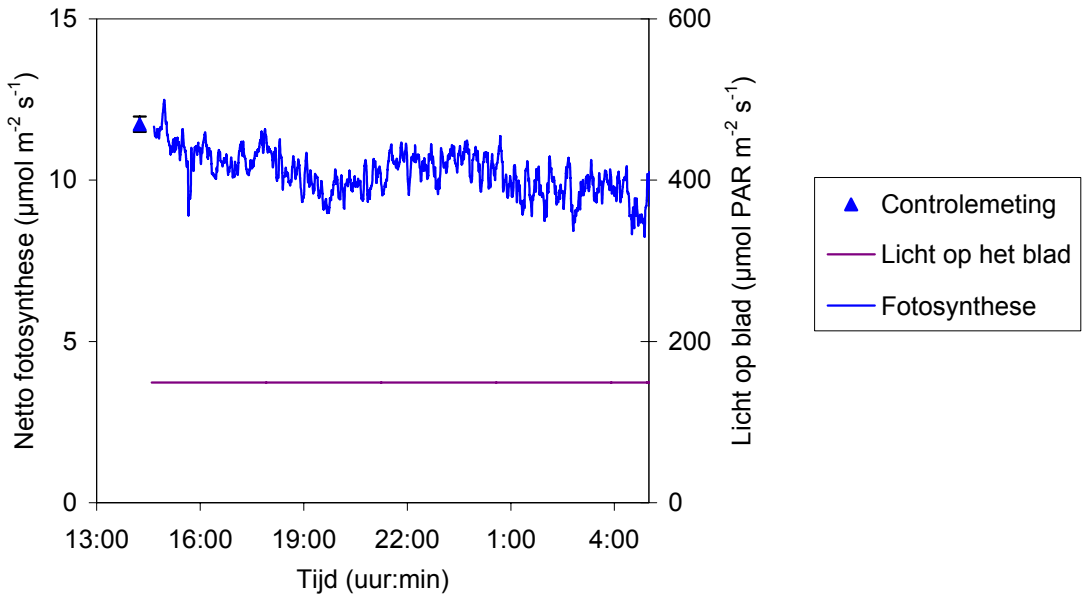


Figuur 6. *Netto fotosynthese van roos 'Passion' op 7 maart 2007 gedurende de dag (tot zononder) bij 150 µmol PAR m^2 s^1.*

Gedurende de nacht vertoonde de fotosynthese een daling (6 - 7 maart) en schommelingen in niveau (7 – 8 maart). Aan het einde van zowel de nacht van 6 op 7 maart, als 7 op 8 maart bleek de luchtvochtigheid in de meetcuvet te hoog te worden, waardoor de metingen niet meer betrouwbaar waren. Daarop eindigen onderstaande figuren om 5:00 uur. Wat de reden is voor de daling van de fotosynthese 's nachts is niet duidelijk. Indien hier sprake zou zijn van een assimilatenverzadiging van de fotosynthese, was te verwachten dat er overdag een daling van de fotosynthese op zou treden, en 's nachts een toename.

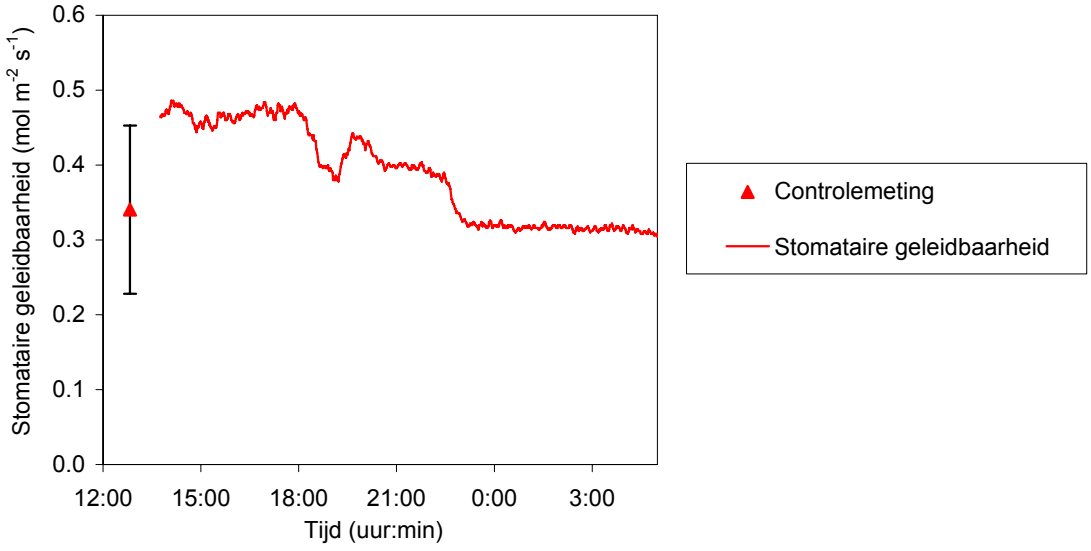


Figuur 7. *Netto fotosynthese van roos 'Passion' op 6 en 7 maart 2007 gedurende de dag en nacht bij 150 µmol PAR m^2 s^1.*



Figuur 8. *Netto fotosynthese van roos 'Passion' op 7 en 8 maart 2007 gedurende de dag en nacht bij 150 µmol PAR m^2 s^1.*

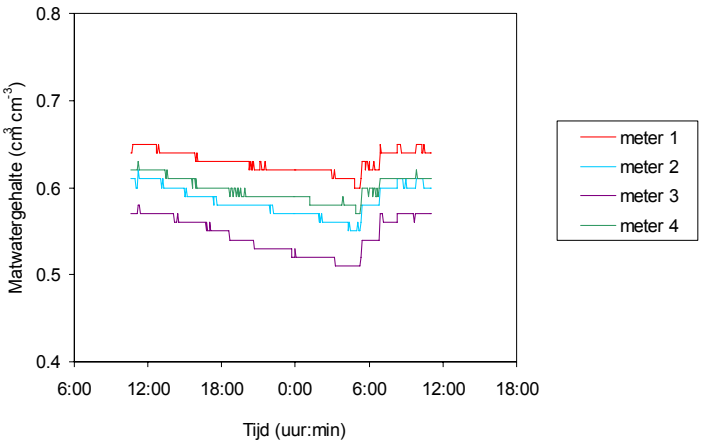
De stomataire geleidbaarheid, een maat voor de openingstoestand van de huidmondjes, neemt gedurende de dag en het begin van de nacht enigszins af. Gedurende de nacht is de huidmondjesopening constant. Aan de spreiding in de controlemetingen is te zien dat er veel variatie tussen de verschillende planten zit in stomataire geleidbaarheid. De variaties tussen 0.2 en 0.5 mol $m^{-2}s^{-1}$ hebben geen effect op het niveau van de fotosynthese. De huidmondjes staan dan zo ver open, dat dit niet beperkend is voor de fotosynthese.



Figuur 9. *Stomataire geleidbaarheid van bladeren van roos 'Passion' op 6 en 7 maart 2007 gedurende de dag en nacht bij 150 µmol PAR m^2 s^1.*

Het watergehalte in de mat is tijdens de fotosynthesemetingen continu gemeten met WET sensoren. De resultaten van deze sensoren laten zien dat tijdens de nacht het watergehalte in de mat geleidelijk afneemt. Vanaf 5:00 uur, als

er weer water gegeven wordt, neemt het watergehalte weer geleidelijk toe. In onderstaande figuur is het verloop van het matwatergehalte op 5 en 6 maart gegeven. Op andere dagen waarop gemeten werd, was het verloop vergelijkbaar.



Figuur 10. Verloop van het matwatergehalte op 5 en 6 maart gemeten met 4 WET sensoren.

In onderstaande tabel staan de meetresultaten bij de belichtingsstrategie "145 µmol PAR m^{-2} s^{-1} gedurende 24 uur" samengevat.

Meetdag	Lichtsom[1] (mol m^{-2} dag^{-1})	Verloop fotosynthese tot zon onder	Verloop fotosynthese 's nachts	Mogelijk oorzaak verloop fotosynthese
17 januari	14.8	Constant	Daling	Onbekend
18 januari	16.1	Daling	Toename	Onbekend
19 januari	n.b.	Constant	n.b.[3]	
5 maart	21.7	n.b.[4]	n.b.[4]	
6 maart	16.1	Constant	Daling	Onbekend
7 maart	20.0	Constant	Daling	Onbekend

1 *De lichtsom betreft PAR straling in de kas, van zowel de zon als de belichting*
2 *Lichtsom niet bekend door stroomuitval*
3 *Fotosynthesemetingen 's nachts afgebroken door stroomuitval*
4 *Technische storingen*

Conclusie

De resultaten van de fotosynthesemetingen in januari en maart geven aan dat de planten onder een belichtingsduur van 24 uur met 12.000 lux gedurende deze periode niet altijd even efficiënt met licht om kunnen gaan. Op een aantal dagen vertoont de fotosynthese gedurende de dag (tot zononder) een daling, terwijl op andere dagen de fotosynthese de laatste uren van de (natuurlijke) dag op een min of meer constant niveau blijft. Gedurende de nacht is zowel een lichte toename (herstel) als een lichte daling van de fotosynthese gevonden. Een mogelijke oorzaak voor deze verschillen in resultaten op de verschillende meetdagen kan zijn dat er een belichtingsduur is aangehouden, die afwijkt van de gangbare belichtingsduur.

Bijlage VI.

Strategie: 140 µmol PAR m^{-2} s^{-1}, 24 uur belichten, grootbloemige rode roos

Gegevens

Ras:	Grand Prix (grootbloemige rode roos)
Leeftijd gewas:	1½ jaar
Belichtingsintensiteit:	11.000 lux Son-T (ongeveer 140 µmol PAR m^{-2} s^{-1}) Er werd belicht met 2 groepen: 70 en 140 µmol PAR m^{-2} s^{-1}
Belichtingsduur:	in principe 24 uur
Lichthinderscherm:	Sluit tussen 20:00 en 0:00 uur en daarvoor en daarna als het buiten donker is en kouder dan 3 °C.

Aanvullingen klimaat op de meetdagen

Tijdens de meetdagen is er alleen op 13 februari 24 uur belicht. In onderstaande tabel zijn de belichtingstijden en -intensiteiten op de meetdagen aangegeven. In de tweede meetperiode (april) werd alleen 's nachts nog enkele uren met 70 µmol PAR m^{-2} s^{-1} belicht.

Tabel 1. Belichtingstijden en lichtintensiteit op de dagen dat fotosynthese is gemeten.

Datum	Tijd	Lichtintensiteit (µmol PAR m^{-2} s^{-1})
13 februari 2007	0:00 – 10:30	140
	10:30 – 15:45	70
	15:45 – 20:00	140
	20:00 – 0:00	70
14 februari 2007	0:00 – 20:00	140
	20:00 – 0:00	0
15 februari 2007	0:00 – 9:30	140
	9:30 – 10:15	70
	10:15 – 14:00	0
	14:00 – 16:30	70
	16:30 – 20:00	140
	20:00 – 0:00	0
16 februari 2007	0:00 – 8:15	140
	8:15 – 9:00	70
	9:00 – 10:00	140
	10:00 – 10:30	70
	10:30 – 15:45	0
	15:45 – 16:00	70
	16:00 – 18:00	140
	18:00 – 18:15	70
	18:15 – 22:00	0
	22:00 – 0:00	70

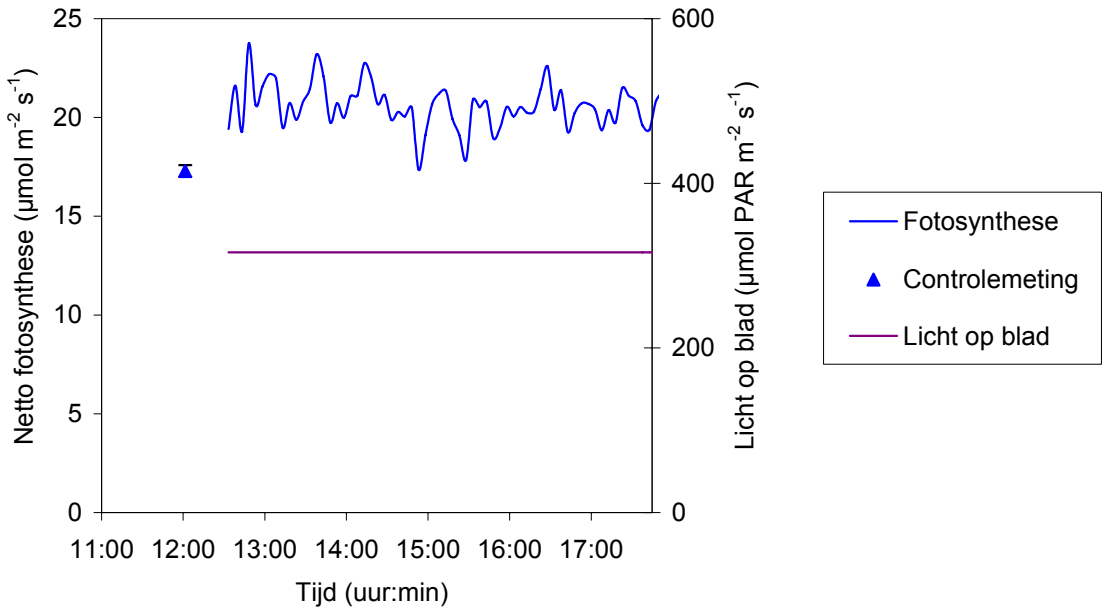
Datum	Tijd	Lichtintensiteit (µmol PAR m^{-2} s^{-1})
12 april 2007	0:00 – 1:00	0
	1:00 – 8:45	70
	8:45 – 0:00	0
13 april 2007	0:00 – 4:00	0
	4:00 – 9:00	70
	9:00 – 0:00	0
14 april 2007	0:00 – 4:00	0
	4:00 – 7:45	70
	7:45 – 0:00	0

Meetmethode

De fotosynthese is gemeten door op het topblaadje van het bovenste volgroeide blad van een tak een meetcuvet te plaatsen. In de meetcuvet zijn de omstandigheden ingesteld op een temperatuur van 25 °C, CO_2 concentratie van 900 ppm en een RV van 80%. Op 13 tot en met 16 februari is gemeten, waarbij de lichtintensiteit in de meetcuvet 's nachts op 139 µmol PAR m^{-2} s^{-1} gehouden werd en overdag op 316 µmol PAR m^{-2} s^{-1}. Op 12, 13 en 14 april werd gemeten bij continu 150 µmol PAR m^{-2} s^{-1} in de meetcuvet.

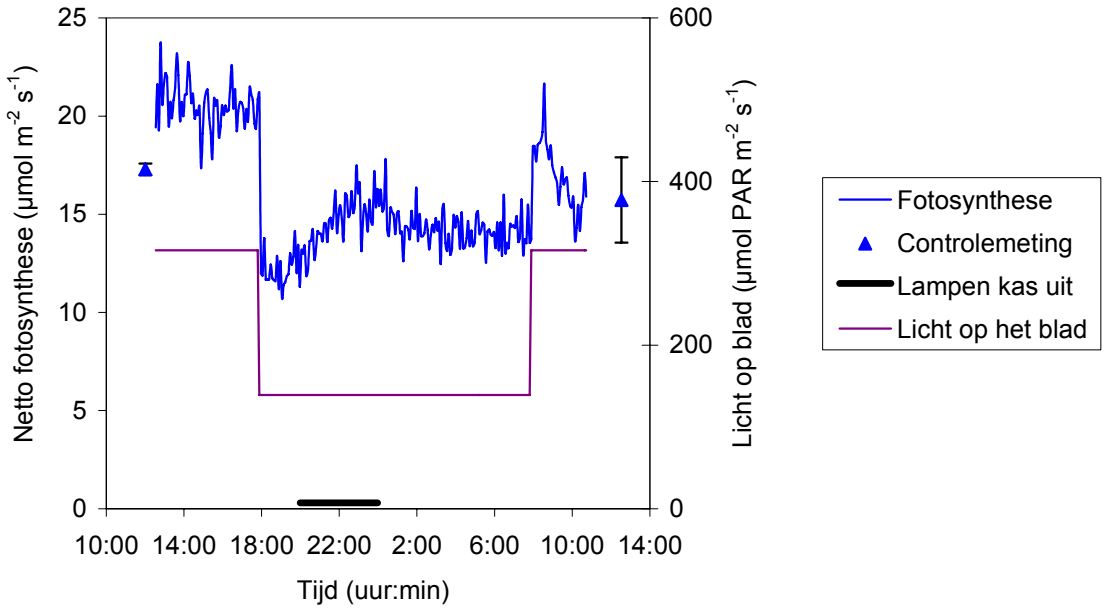
Resultaten

De resultaten van de fotosynthesemetingen op 13, 14 en 15 februari zijn sterk vergelijkbaar, daarom zijn hier alleen de resultaten van 14 februari getoond.



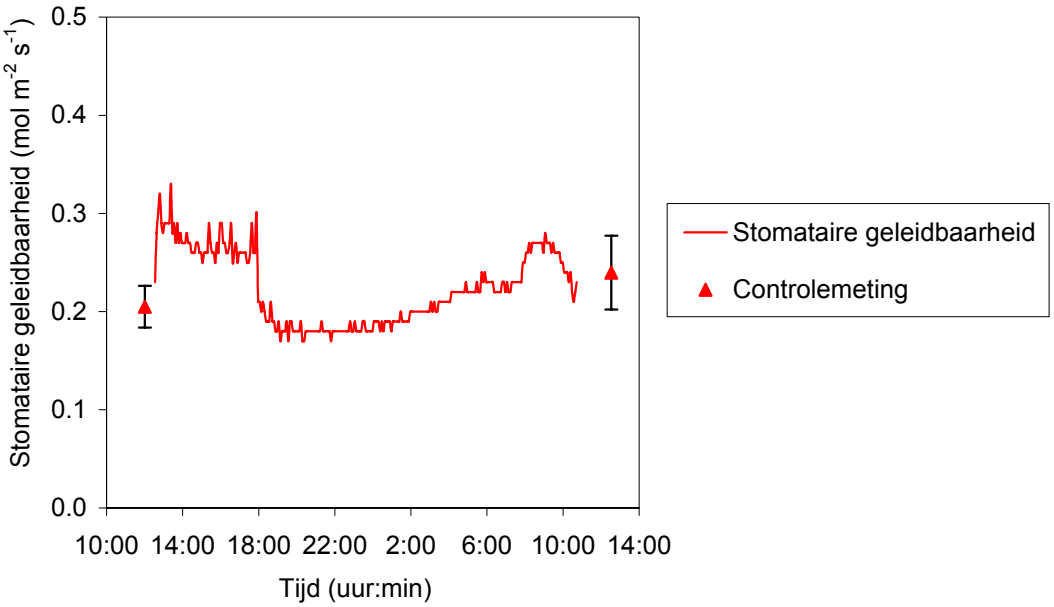
Figuur 1. Netto fotosynthese van roos 'Grand Prix' op 14 februari 2007 gedurende de dag (tot zononder) bij 316 µmol PAR m^{-2} s^{-1}.

De paarse lijn in de figuur geeft de hoeveelheid licht in de meetcuvet aan. Deze is gedurende de dag 316 µmol PAR m^{-2} s^{-1} en gedurende de nacht 139 µmol PAR m^{-2} s^{-1} (niveau van de belichting). De blauwe lijn geeft de bladfotosynthesesnelheid weer. In Figuur 1 is te zien dat de fotosynthese gedurende de dag op een constant niveau is. 's Nachts neemt in eerste instantie de fotosynthese af (Figuur 2), want de hoeveelheid licht in de meetcuvet wordt dan verlaagd van 316 naar 139 µmol m^{-2} s^{-1}. De fotosynthese neemt gedurende de eerste uren van de nacht toe, tot het om ca. 23:00 uur een min of meer stabiel niveau heeft bereikt. In deze nacht werd niet belicht tussen 20:00 en 0:00 uur. Op moment dat de volgende ochtend de lichtintensiteit in de meetcuvet weer toeneemt, neemt ook de fotosynthese weer toe. Dit niveau is echter niet stabiel in de ochtend van 15 februari.



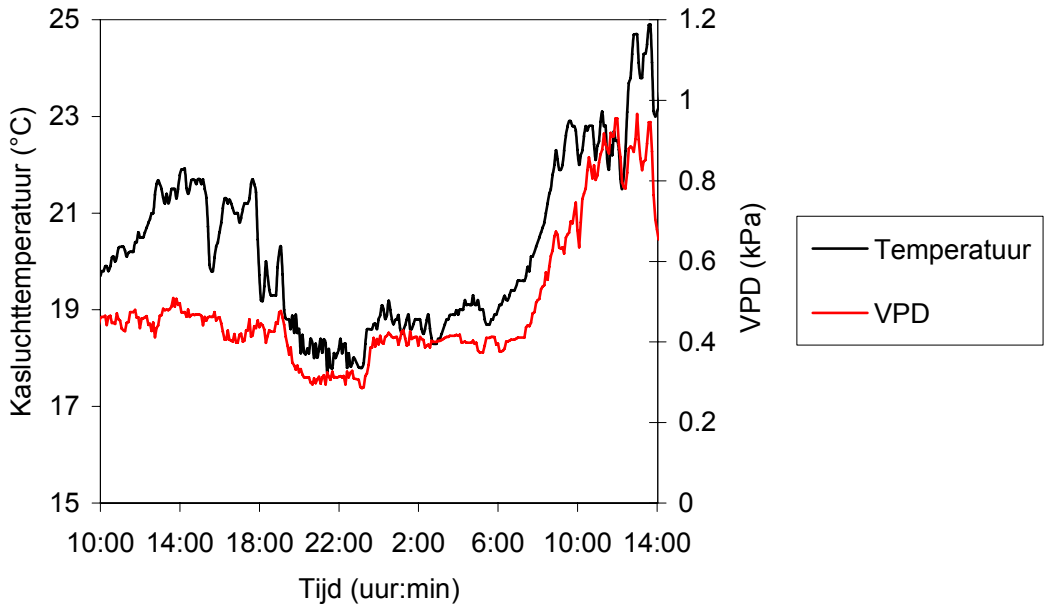
Figuur 2. *Netto fotosynthese van roos 'Grand Prix' op 14 en 15 februari 2007 bij 316 µmol PAR m^{2} s^{1} gedurende de dag en 139 µmol PAR m^{2} s^{1} gedurende de nacht.*

De stomataire geleidbaarheid, een maat voor de huidmondjesopening, is gedurende de metingen op 14 februari gedurende de dag constant. 's Nachts staan de huidmondjes iets minder ver open (lagere stomataire geleidbaarheid), omdat ook het lichtniveau in de meetcuvet dan minder hoog is. De stomataire geleidbaarheid is gedurende deze dag en nacht ten minste 0,2 mmol m^{-2} s^{-1}, voldoende om niet beperkend te zijn voor de fotosynthese.



Figuur 3. *Stomataire geleidbaarheid van bladeren van roos 'Grand Prix' op 14 en 15 februari 2007 bij 316 µmol PAR m^2 s^{-1} gedurende de dag en 139 µmol PAR m^2 s^{-1} gedurende de nacht.*

Op 14 februari was de globale straling buiten maximaal 75 W m^{-2}, terwijl op 15 februari de straling opliep op 510 W m^{-2}. Op 14 februari waren temperatuur en VPD in de kas dan ook erg constant, terwijl in de ochtend van 15 februari de temperatuur en VPD snel opliepen (Figuur 4).

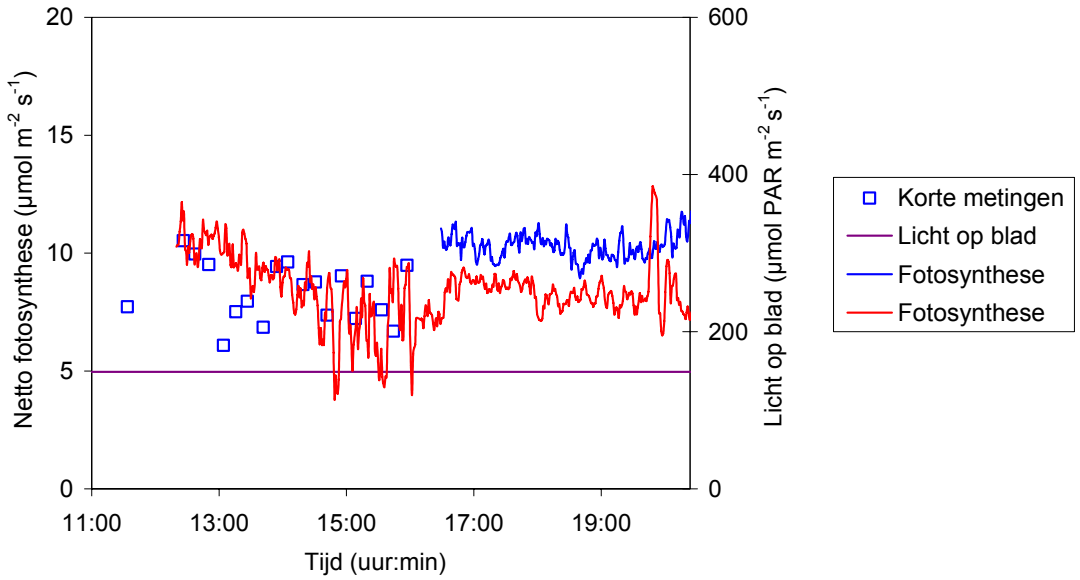


Figuur 4. *Verloop van de temperatuur en VPD van de kaslucht tijdens de teelt van roos 'Grand Prix' op 14 en 15 februari 2007.*

De globale stralingssommen (buiten) op 14, 15 en 16 februari waren respectievelijk 1.36 MJ m^{-2}, 9.89 MJ m^{-2} en 8.53 MJ m^{-2}.

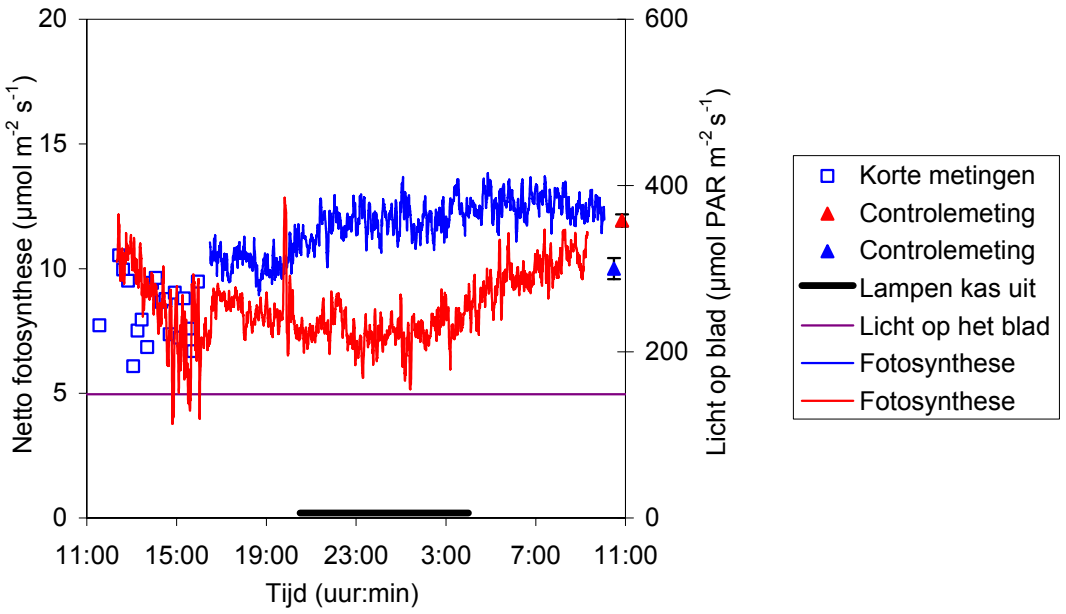
Twee maanden later, op 12, 13 en 14 april werd opnieuw fotosynthese gemeten, nu bij één lichtintensiteit in de meetcuvet, namelijk 150 µmol m^{-2} s^{-1}. Overdag is met één meter een aantal afzonderlijke metingen gedaan aan verschillende planten (punten in de figuur), waarna met deze meter weer continu verder gemeten werd aan één blad (doorgetrokken lijn). Met een andere fotosynthesemeter werd gelijktijdig continu aan een ander blad gemeten (rode lijn).

Bij de metingen die gedaan zijn aan afzonderlijke planten (punten) is te zien dat het niveau van de fotosynthese in de middag erg variabel is (Figuur 5). Er is geen stijgende of dalende trend in de afzonderlijke metingen te zien. Wanneer de meter vanaf ca. 17:00 uur op een blad geplaatst wordt, is het niveau van de fotosynthese tot zonsondergang stabiel. Continue metingen aan een andere plant laten zien dat de fotosynthese van die plant tussen 12:00 en 16:00 afneemt. Daarna is de fotosynthese van die plant min of meer constant tot zonsondergang.



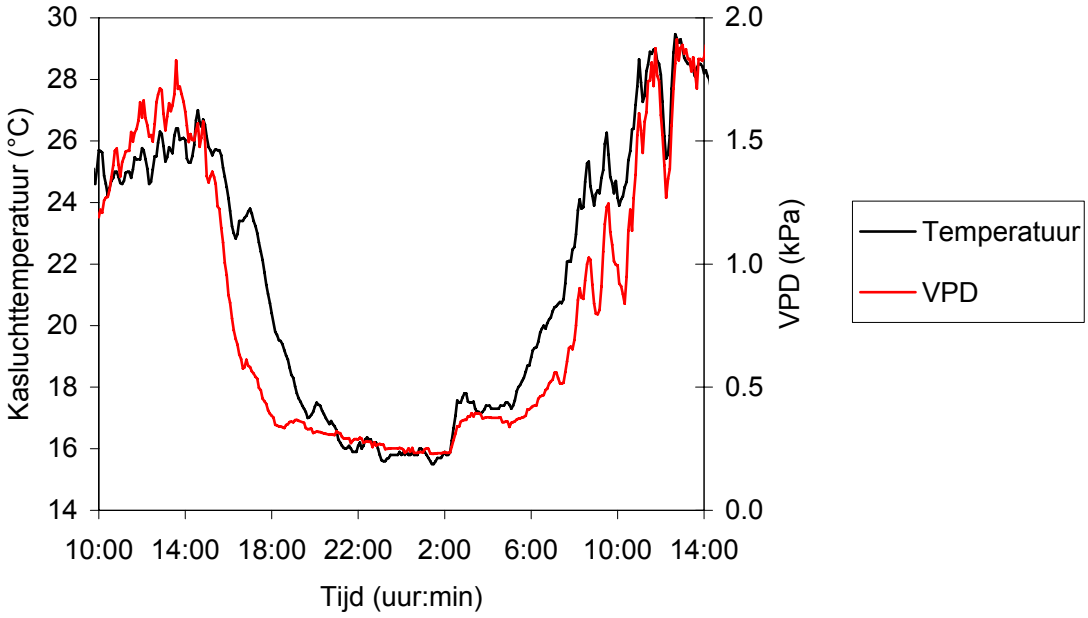
Figuur 5. *Netto fotosynthese van roos 'Grand Prix' op 12 april 2007 bij 150 µmol PAR m^{-2} s^{-1} gedurende de dag (tot zononder).*

's Nachts neemt de fotosynthese van beide planten toe (Figuur 6). Bij de ene plant begint die toename om ca. 20:30 uur, het moment dat de zon onder gaat, bij de andere plant om ca. 2:30 uur. Aan het einde van de nacht/begin van de dag is de fotosynthese van de ene plant (blauwe lijn) hoger dan de middag er voor. De fotosynthese van de andere plant zit aan het begin van de ochtend weer op hetzelfde niveau als de vorige middag. Bij beide planten is een verloop van de fotosynthese gedurende het etmaal te zien, al verschilt het verloop bij beide planten.



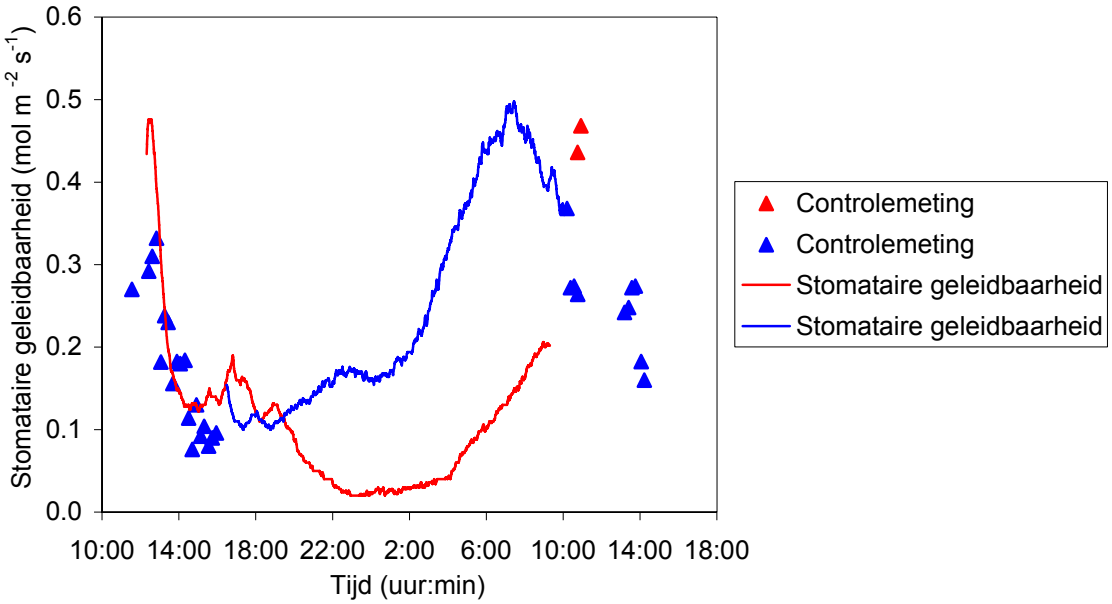
Figuur 6. *Netto fotosynthese van roos 'Grand Prix' op 12 en 13 april 2007 gedurende de dag en nacht bij 150 µmol PAR m^2 s^1.*

Op zowel 12 als 13 april loopt de globale straling op tot ca. 850 W m^{-2}. Op deze dagen loopt de kasluchttemperatuur op tot 26 – 29 °C, en wordt de relatieve luchtvochtigheid in de kas erg laag (Figuur 7). Op zowel 12 als 13 april is de RV tussen circa 11:00 en 14:00 uur 50-55%. De hoge instraling, hoge temperatuur en/of de lage luchtvochtigheid tussen 11:00 en 14:00 uur kunnen redenen zijn voor de afname in de fotosynthese in die periode, zoals te zien is in Figuren 5 en 6.



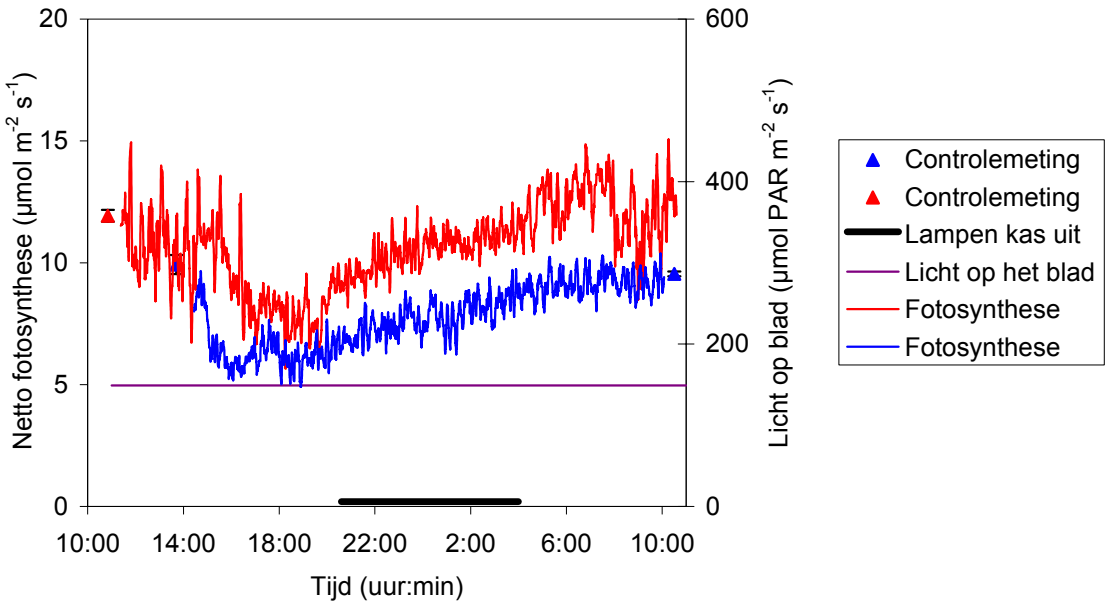
Figuur 7. *Verloop van de temperatuur en VPD van de kaslucht tijdens de teelt van roos 'Grand Prix' op 12 en 13 april 2007.*

Opvallend is verder dat de stomataire geleidbaarheid van een van de twee planten waar aan gemeten werd op 13 en 14 april gedurende de nacht en een deel van de dag erg laag is (Figuur 8). Ondanks het feit dat het stuk blad waaraan de fotosynthese gemeten wordt blootgesteld is aan een lichtintensiteit van 150 µmol PAR m^{-2} s^{-1}, is de stomataire geleidbaarheid maar 0.02 - 0.03 mol m^{-2} s^{-1}. Op dat moment zijn de huidmondjes zo ver dicht, dat de CO_2 opname beperkt wordt. Gebruikelijk is bij dit lichtniveau een stomataire geleidbaarheid van 0.2 - 0.3 mol m^{-2} s^{-1}. Uit Figuren 7 en 8 is af te leiden dat de stomataire geleidbaarheid de VPD redelijk goed volgt.

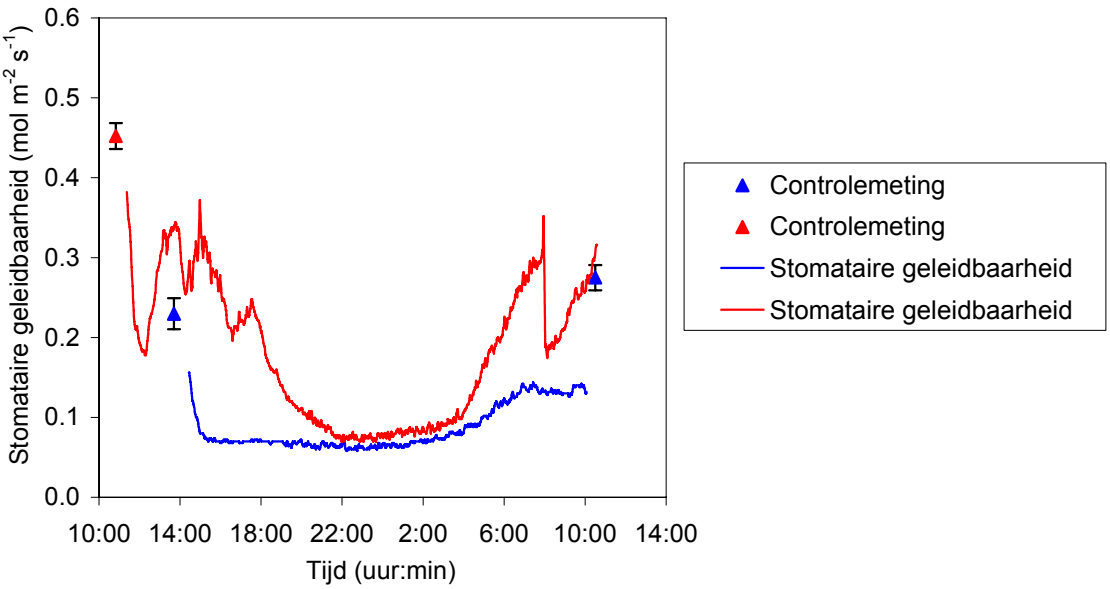


Figuur 8. *Stomataire geleidbaarheid van 2 verschillende bladeren van roos 'Grand Prix' op 12 en 13 april 2007 gedurende de dag en nacht bij 150 µmol PAR m^2 s^{-1}.*

Op 13 april blijkt de fotosynthese ook af te nemen gedurende de middag (Figuur 9). In de loop van de nacht herstelt de fotosynthese zich weer langzaam. De daling van de fotosynthese tussen 11:00 en 14:00 uur valt samen met een hoge instraling, hoge kasluchttemperatuur en een lage relatieve luchtvochtigheid. Vanaf 14:00 uur neemt de straling af van ca. 800 W m^{-2}, de temperatuur neemt af van 28 °C naar 20° en de RV neemt toe van ca. 50% tot ruim 80% om 18:00 uur. Vanaf dat moment neemt de fotosynthese weer toe (Figuur 9).

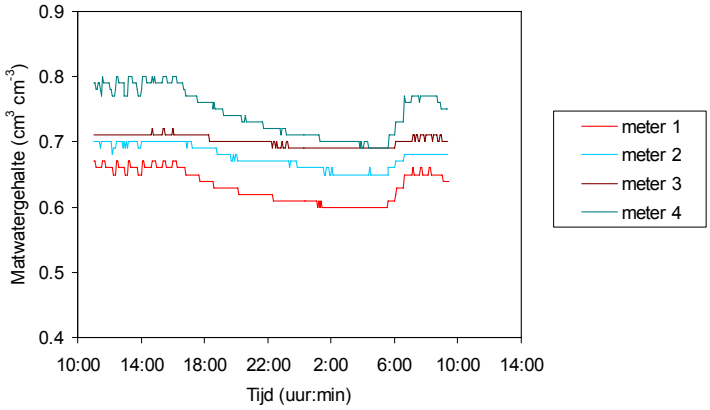


Figuur 9. *Netto fotosynthese van 2 verschillende bladeren van roos 'Grand Prix' op 13 en 14 april 2007 gedurende de dag en nacht bij 150 µmol PAR m^2 s^1.*



Figuur 10. *Stomataire geleidbaarheid van twee verschillende bladeren van roos 'Grand Prix' op 13 en 14 april 2007 gedurende de dag en nacht bij 150 µmol PAR m^2 s^1.*

Ondanks de zonnige en warme dagen was het verloop van het watergehalte van de mat beperkt. Gedurende de nacht nam het watergehalte iets af, om weer toe te nemen op moment dat 's ochtends de eerste watergift plaats vond (Figuur 11).



Figuur 11. Matwatergehaltes op 12 en 13 april gemeten met 4 WET sensoren.

In onderstaande tabel staan de meetresultaten bij de belichtingsstrategie "140 µmol PAR m^{-2} s^{-1} gedurende 24 uur" samengevat.

Meetdag	Lichtsom[1] (mol m^{-2} dag^{-1})	Verloop fotosynthese tot zon onder	Verloop fotosynthese 's nachts	Mogelijk oorzaak verloop fotosynthese
13 februari	17.1	Constant	Toename begin van de nacht	Onbekend
14 februari	12.3	Constant	Toename begin van de nacht	Onbekend
15 februari	23.3	Constant	Toename begin van de nacht	Onbekend
12 april	34.4	Constant	Toename	Herstel na dag met hoge temperaturen, hoge instraling en lage VPD
12 april[2]	34.4	Daling	Toename	Herstel na dag met hoge temperaturen, hoge instraling en lage VPD
13 april	32.7	Constant	Toename	Herstel na dag met hoge temperaturen, hoge instraling en lage VPD
13 april[2]	32.7	Daling	Toename	Herstel na dag met hoge temperaturen, hoge instraling en lage VPD

[1] *De lichtsom betreft PAR straling in de kas, van zowel de zon als de belichting*
[2] *Op 12 en 13 april is met twee fotosynthesemeters gemeten.*

Conclusie

De fotosynthese van deze 'Grand Prix' rozen die 24 uur belicht worden, vertoont een duidelijk verloop gedurende het etmaal ondanks het feit dat de omstandigheden in de meetcuvet constant waren. Onder de omstandigheden zoals die op de meetdagen in de kas geheerst hebben, waren de planten niet in staat op elk moment van de dag even efficiënt met de hoeveelheid aangeboden licht om te gaan. Dit houdt waarschijnlijk verband met de temperatuur en vochtigheid van de kaslucht en daarmee samenhangend de waterstatus van de plant. Een mogelijke andere reden kan de hoge instraling zijn, die zorgt voor een assimilatenverzadiging (feed-back inhibitie) of tijdelijke remming van de

fotosynthese door de hoge instraling (foto-inhibitie). De reden van het verloop in de fotosynthese hoeft niet de belichtingsstrategie te zijn. Er is op de dagen in april dat een verloop van de fotosynthese-efficiëntie gemeten werd, alleen 's nachts enkele uren met 70 µmol m^{-2} s^{-1} belicht.

Bijlage VII.

Strategie: 100 µmol PAR m^{-2} s^{-1}, 20 uur belichten, kleinbloemige rode roos

Gegevens teelt en bedrijf

Ras:	Sacha (kleinbloemige rode roos)
Leeftijd gewas:	7 - 10 jaar
Belichtingsintensiteit:	8000 lux Son-T (ongeveer 100 µmol PAR m^{-2} s^{-1})
Belichtingsduur:	in principe 20 uur (van middernacht tot 20:00 uur)
Lichthinderscherm:	niet aanwezig

Realisatie belichtingsduur en –intensiteit

De belichting is in twee groepen aan- en uitgeschakeld. In onderstaande tabel is te zien hoeveel uren per dag groep 1 (3500 lux) heeft gebrand en hoeveel uren groep 2 (4500 lux) heeft gebrand, en wat de som van de globale straling (buiten) van die dag was.

Datum	Branduren groep 1 (uren)	Branduren groep 2 (uren)[1]	Globale stralingsom (J cm^{-2})
26 februari	20:00	16:50	197
27 februari	20:00	16:50	154
28 februari	17:50	13:50	774
1 maart	15:19	14:10	845
15 maart	13:00	11:00	1324
16 maart	16:00	11:00	815
17 maart	15:40	14:00	968
18 maart	15:30	12:44	1055
19 maart	18:16	13:07	772
20 maart	18:30	13:00	823

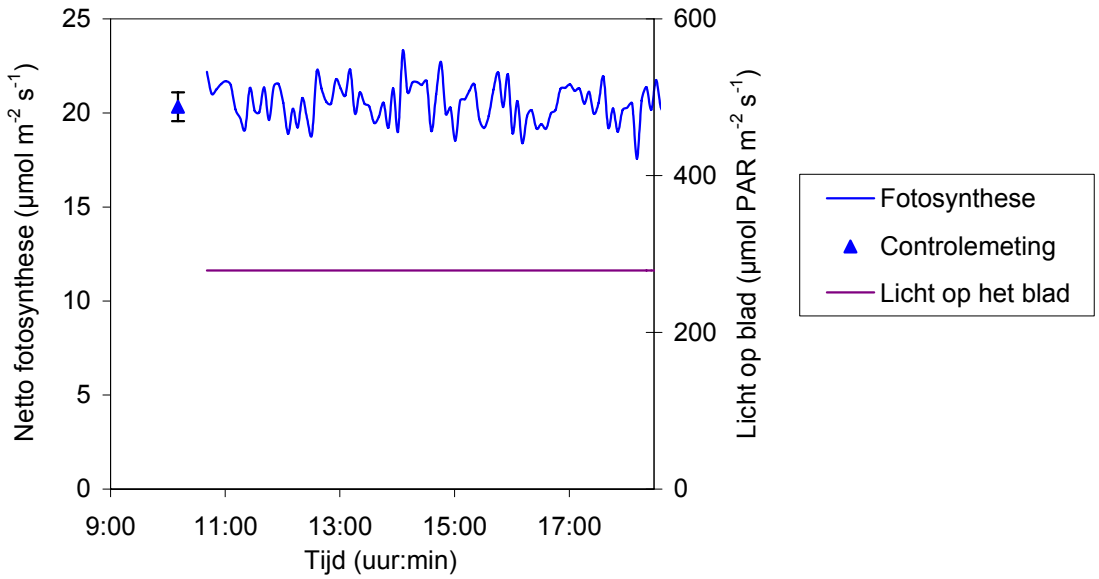
[1] *Belichting niveau 2 is inkoop elektra van het net. Dit was in februari en maart tussen 9:00 en 12:00 erg duur. Daarom hebben de lampen van groep 2 die uren niet gebrand.*

Meetmethode

De fotosynthese is gemeten door op het topblaadje van het bovenste volgroeide blad van een tak een meetcuvet te plaatsen. In de meetcuvet zijn de omstandigheden ingesteld op een temperatuur van 25 °C, CO_2 concentratie van 900 ppm en een RV van 80%. Op 26, 27, 28 februari en 1 maart is gemeten, waarbij de lichtintensiteit in de meetcuvet ‘s nachts op 93 µmol PAR m^{-2} s^{-1} gehouden werd en overdag op 279 µmol PAR m^{-2} s^{-1}. Op 15, 16, 19 en 20 maart werd gemeten bij continu 150 µmol PAR m^{-2} s^{-1} in de meetcuvet.

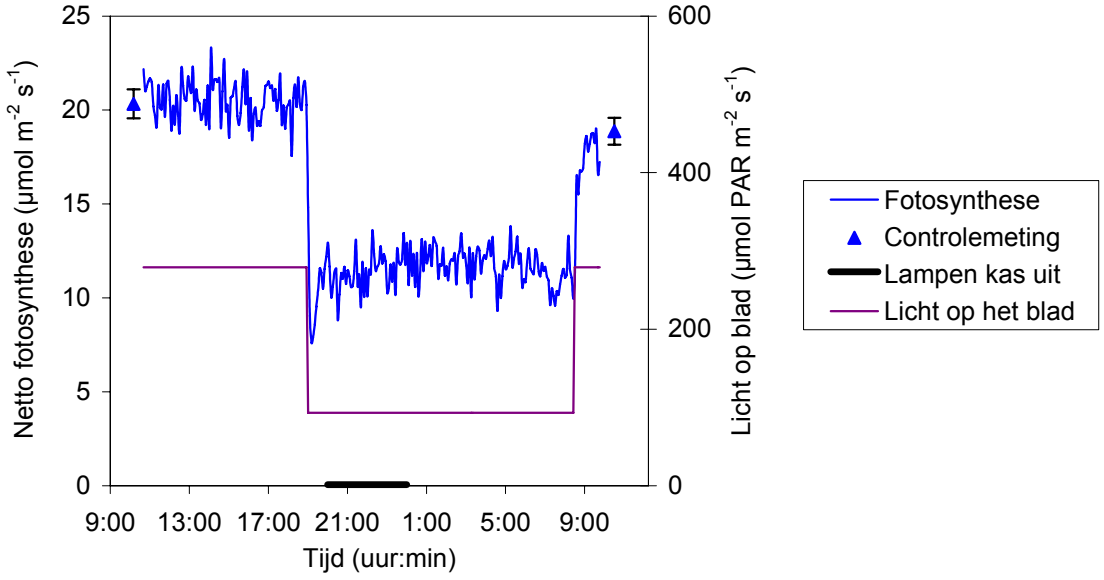
Resultaten

De eerste serie metingen werd uitgevoerd tussen 26 februari en 1 maart. Op al deze dagen is het verloop van de fotosynthese gedurende de dag (tot zononder) redelijk stabiel. In onderstaande figuur zijn de resultaten van 26 februari te zien tot zonsondergang.



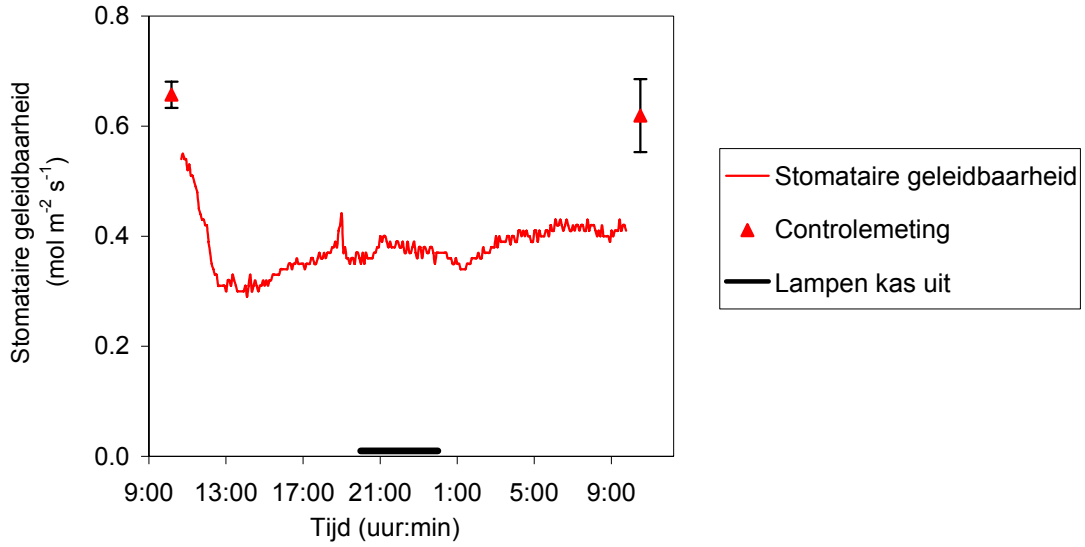
Figuur 1. *Netto fotosynthese van roos 'Sacha' op 26 februari 2007 gedurende de dag (tot zononder) bij 279 µmol PAR m^2 s^1.*

Op deze dag zijn de planten in staat met een vaste hoeveelheid aangeboden licht, een zelfde fotosynthese te realiseren. 's Nachts is de hoeveelheid licht in de bladkamer lager. Het niveau van de fotosynthese is dan ook lager (zie onderstaande figuur), maar wel op een redelijk constant niveau.



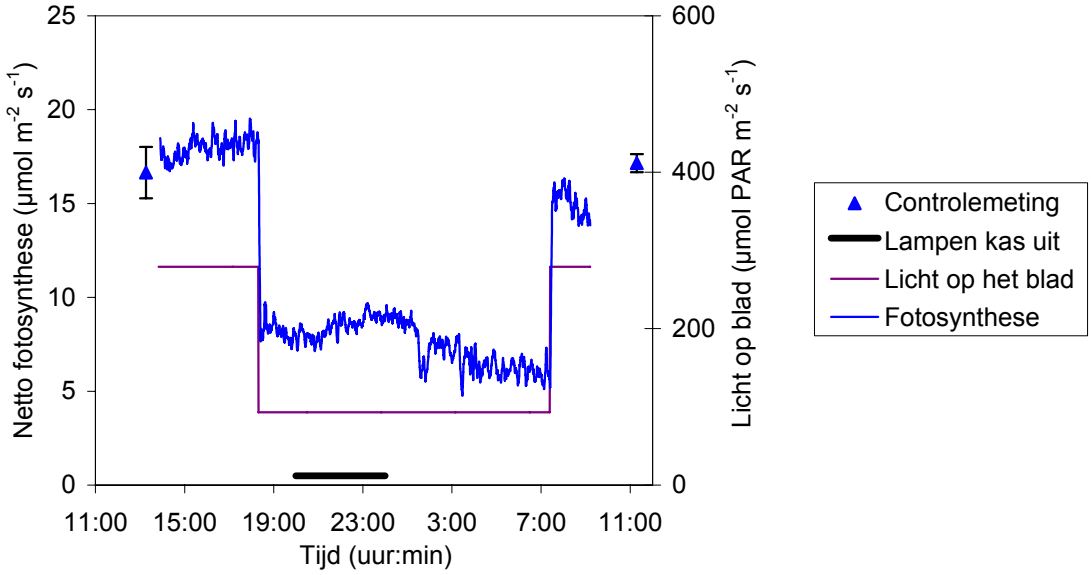
Figuur 2. *Netto fotosynthese van roos 'Sacha' op 26 en 27 februari 2007 gedurende de dag bij 279 µmol PAR m^2 s^1 en gedurende de nacht bij 93 µmol PAR m^2 s^1.*

Ook de stomataire geleidbaarheid, een maat voor de openingstoestand van de huidmondjes, is gedurende de dag en nacht redelijk stabiel.



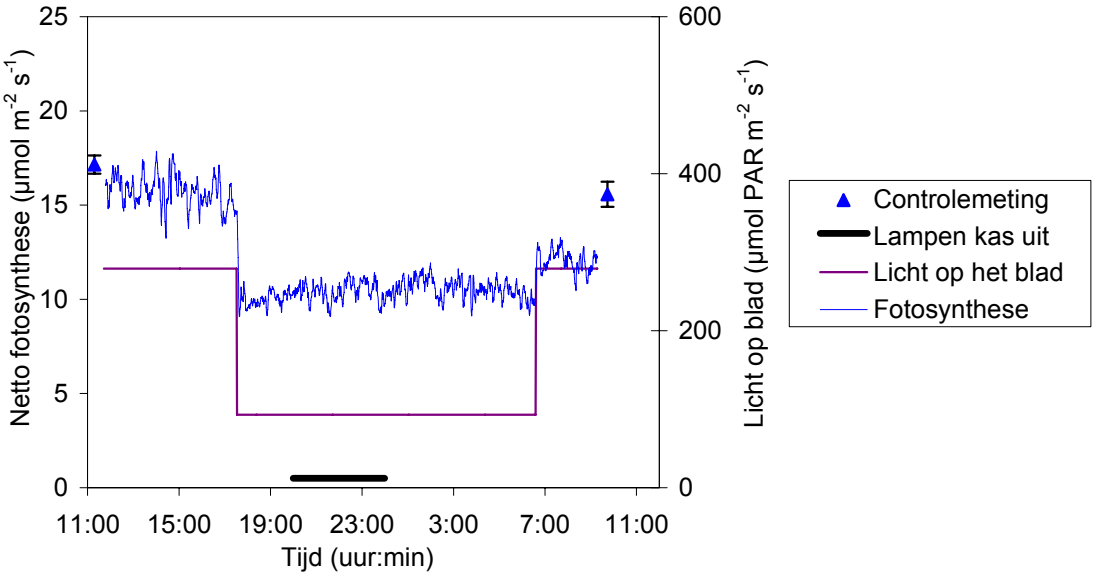
Figuur 3. *Stomataire geleidbaarheid van roos 'Sacha' op 26 en 27 februari 2007 gedurende de dag bij 279 µmol PAR m^2 s^1 en gedurende de nacht bij 93 µmol PAR m^2 s^1.*

Op 27 februari is te zien dat de fotosynthese aan het einde van de dag (tot zononder) enigszins oploopt, en gedurende de nacht enigszins afloopt.



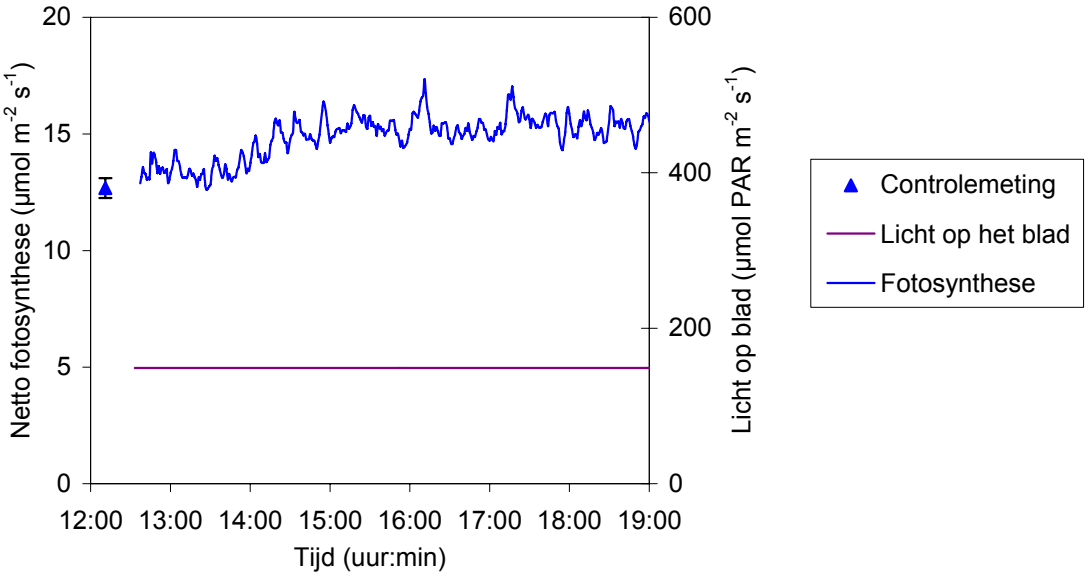
Figuur 4. *Netto fotosynthese van roos 'Sacha' op 27 en 28 februari 2007 gedurende de dag bij 279 µmol PAR m^2 s^1 en gedurende de nacht bij 93 µmol PAR m^2 s^1.*

Op 28 februari/1 maart is de fotosynthese gedurende de dag (tot zononder) en de nacht redelijk constant. Er is geen duidelijke daling of stijging van de fotosynthese gedurende de dag of de nacht zichtbaar.

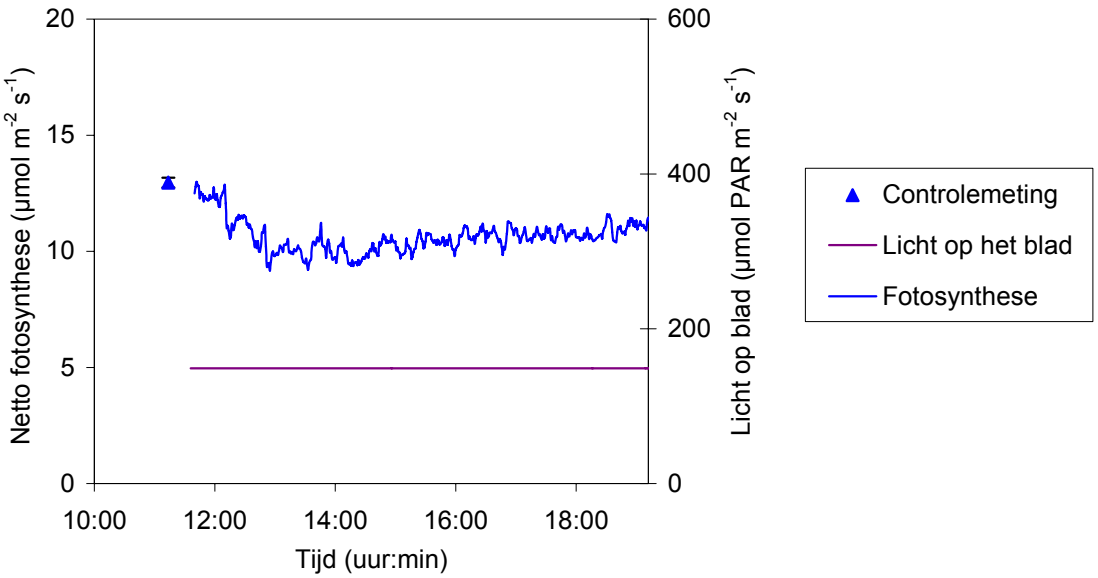


Figuur 5. *Netto fotosynthese van roos 'Sacha' op 28 februari en 1 maart 2007 gedurende de dag bij 279 µmol PAR m^2 s^1 en gedurende de nacht bij 93 µmol PAR m^2 s^1.*

De metingen op 15/16 maart en 19/20 maart zijn gedaan bij een vast lichtniveau in de meetcuvet van 150 µmol PAR m^{-2} s^{-1} gedurende dag en nacht. Op 15 maart is te zien dat de fotosynthese gedurende de dag (tot zononder) toeneemt tussen ca. 13:00 en 17:00 uur en daarna constant is. Op 19 maart neemt de fotosynthese af tot ca. 13:00 uur, en is daarna ook constant.

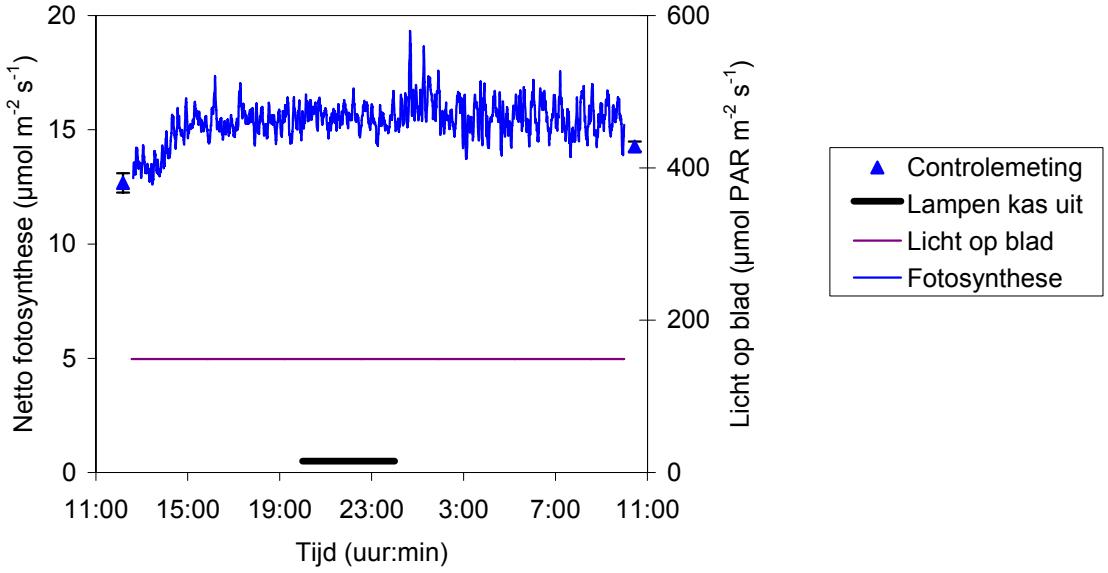


Figuur 6. *Netto fotosynthese van roos 'Sacha' op 15 maart 2007 gedurende de dag (tot zononder) bij 150 µmol PAR m^2 s^1.*



Figuur 7. *Netto fotosynthese van roos 'Sacha' op 19 maart 2007 gedurende de dag (tot zononder) bij 150 µmol PAR m^2 s^1.*

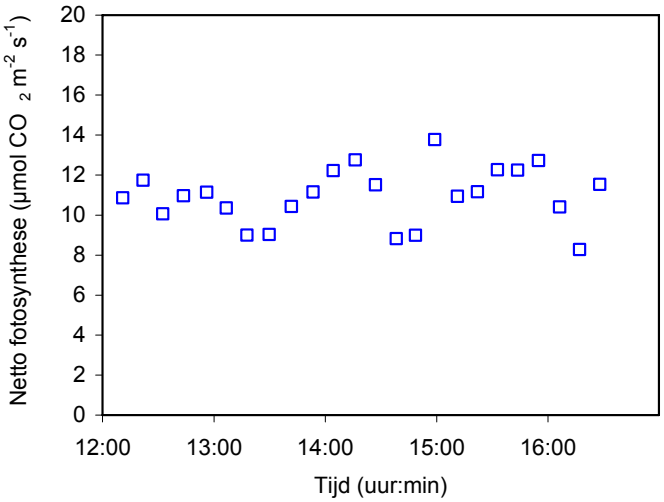
Het verloop van de fotosynthese gedurende de nacht is heel constant, hetgeen aangeeft dat de planten met een vaste hoeveelheid aangeboden licht steeds in staat zijn dezelfde fotosynthese te realiseren.



Figuur 8. *Netto fotosynthese van roos 'Sacha' op 15 en 16 maart 2007 gedurende de dag en nacht bij 150 µmol PAR m^2 s^1.*

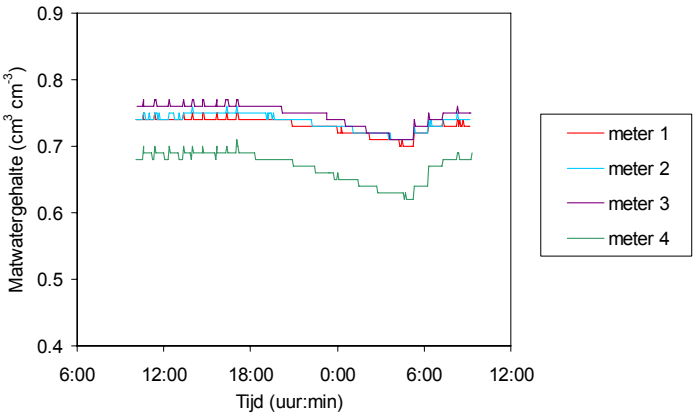
Op 20 maart zijn gedurende de dag kortdurende metingen aan verschillende, vergelijkbare bladeren van verschillende planten gedaan om het verloop van de fotosynthese gedurende de dag op een andere manier in beeld te brengen. Uit deze metingen blijkt dat de fotosynthese gemeten onder dezelfde omstandigheden tussen verschillende planten uiteenloopt van 8 tot 14 µmol m^2 s^1 (Figuur 9). Het patroon dat te zien is in de metingen wordt gedeeltelijk verklaard

door de variatie tussen de verschillende bladeren, en door het feit dat de temperatuur in de meetcuvet tussen 13:00 en 14:00 uur opliep en de relatieve luchtvochtigheid afnam door de hoge instraling.



Figuur 9. *Verloop van de netto fotosynthese gedurende de dag, gemeten met kortdurende metingen aan verschillende bladeren bij 150 µmol PAR m^{-2} s^{-1}.*

Het watergehalte in de mat is tijdens de fotosynthesemetingen continu gemeten met WET sensoren. De resultaten van deze sensoren laten zien dat tijdens de nacht het watergehalte in de mat geleidelijk afneemt. Vanaf 5:00 uur, als er weer water gegeven wordt, neemt het watergehalte weer geleidelijk toe. In onderstaande figuur is het verloop van het matwatergehalte op 28 februari en 1 maart gegeven. Op andere dagen waarop gemeten werd, was het verloop vergelijkbaar.



Figuur 10. *Matwatergehaltes op 28 februari en 1 maart gemeten met 4 WET sensoren.*

In onderstaande tabel staan de meetresultaten bij de belichtingsstrategie “100 µmol PAR m^{-2} s^{-1} gedurende 20 uur” samengevat.

Meetdag	Verloop fotosynthese tot zon onder	Verloop fotosynthese ‘s nachts	Mogelijk oorzaak verloop fotosynthese
26 februari	Constant	Constant	
27 februari	Stijging	Daling	Onbekend
28 februari	Constant	Constant	
15 maart	Constant	Constant	
19 maart	Constant	Constant	

Conclusie

De resultaten van de fotosynthesemetingen in februari en maart geven aan dat de planten in de laatste uren van de dag en gedurende de nacht geen verloop van de fotosynthesesnelheid vertonen. Midden op de dag was er op sommige dagen wel een verloop van de fotosynthese, hetgeen waarschijnlijk te maken heeft met hoge temperaturen en/of een hoge VPD op die momenten. Conclusie hieruit is dat planten onder deze belichtingsstrategie in staat zijn efficiënt met licht om te gaan gedurende de dag. De efficiëntie van de planten wordt niet belemmerd door belichtingsduur of –intensiteit. Te hoge temperaturen of een lage luchtvochtigheid kan wel tijdelijk de fotosynthese verlagen.