

De effecten van assimilatiebelichting op de fotosynthese van paprika

juli 2005

Peter Hendrix
Fabiënne Michielsen

HAS KENNIS
TRANSFER

Productschap  Tuinbouw

PT projectnr: 12199

De effecten van assimilatiebelichting op de fotosynthese in paprika

P. Hendrix
F.F.L.M. Michielsen



In opdracht van:

Productschap  Tuinbouw

PT-projectnr 12199

juli 2005

In opdracht van:



PT-projectnr 12199

juli 2005

Uitvoering:



HAS KennisTransfer

Onder leiding van ing. Peter Scheer

Adres: Onderwijsboulevard 221

5223 DE 's-Hertogenbosch

Tel. (073) 692 36 37

Fax (073) 692 36 40

Email: HASKennisTransfer@hasdb.nl

Auteurs:

P. Hendrix

F.F.L.M. Michielsen

In samenwerking met:



Voorwoord

Dit rapport is tot stand gekomen in opdracht van Productschap Tuinbouw. Het betreft een aantal onderzoeken naar de effecten van assimilatiebelichting op de fotosynthese van paprika. Deze onderzoeken zijn uitgevoerd door twee junioradviseurs van HAS KennisTransfer, namelijk Peter Hendrix en Fabiënne Michielsen, onder leiding van Peter Scheer via HAS KennisTransfer. Hem willen we dan ook als eerste bedanken voor de begeleiding van dit project. Ook zouden we graag Ad Schapendonk van Plant Dynamics B.V. voor zijn inbreng van kennis en hulp willen bedanken. Speciale dank gaat ook uit naar Michel Zuiderwijk van Sweetpoint B.V. voor de hulp bij het uitvoeren van de proeven en het tot beschikking stellen van de Sweetpoint locatie te Honselersdijk, waar een aantal proeven zijn uitgevoerd. Tot slot willen wij graag alle leden van de Begeleidingscommissie Paprika en de leden van de MGL-Kennisclub paprika bedanken.

Inhoudsopgave

Voorwoord	1
Inhoudsopgave	2
Samenvatting	4
Inleiding	5
1 Fotosynthese	6
1.1 Licht en Fotosynthese	6
De fotosynthese-reactie	6
Lichtafhankelijke reacties	7
Lichtonafhankelijke reacties	8
1.2 De huidmondjes-reactie	9
1.3 Indicatieve fotosynthese en fluorescentie metingen	10
Meetresultaten indicatieve fotosynthese metingen	10
Lichtverdeling in het gewas	13
Effecten van mobiel licht	14
Monitoring in de kas	15
2 Invloeden van mobiele belichting	17
2.1 Effecten van dagverlengend belichten	17
Inleiding	17
Materiaal en Methode	18
Resultaat en Discussie	19
2.2 Effecten van verschillende plantbelasting op fotosynthese	28
Inleiding	28
Materiaal en Methode	28
Resultaat en discussie	29
3 Optimaal inzetten van mobiele belichting	33
3.1 Effecten verschillende snelheden van mobiele belichting	33
Inleiding	33
Materiaal en Methode	34
Resultaat en Discussie	34
3.2 Optimale hoogte van mobiele belichting	37
Inleiding	37
Materiaal en Methode	37
Resultaat en discussie	38
4 Extreme proeven	41
4.1 Proef 24 uur belichten	41
Inleiding	41
Materiaal en methode	41
Resultaat en discussie	42
4.2 Destructieve proef	42
Inleiding	42
Materiaal en methode	43
Resultaat en discussie	43

5 De verschillen tussen paprika en roos	44
6 Conclusies en Aanbevelingen	46
Conclusies indicatieve metingen:	46
Conclusies dagverlengend belichten:	46
Conclusies plantbelastingsproef:	46
Conclusies verschillende snelheden	47
Conclusies verschillende hoogtes:	47
Conclusies 24 uur belichten en destructieve proef:	47
7 Referenties	49
Appendix 1 De Calvin-cyclus	50
Appendix 2 Fluorescentie berekening	51
Appendix 3 Locatie Sweetpoint	52
Appendix 4 Locatie Proeftuin HAS Den Bosch	53
Appendix 5 Materiaal	54
LiCor-6400:	54
Plantivity:	54
Growlab monitoring:	57
Mini-Growlab:	57
Appendix 6 Astronomische zon op tijden	58
Appendix 7 Grafieken Mobiele Belichting	58
Appendix 8 Grafieken Extreme Plantbelastingsproef	67
Appendix 9 Grafieken Plantbelastingsproef Praktijk	68

Samenvatting

Dit rapport heeft als belangrijkste onderwerp de fotosynthese van paprika. Om die reden is er in het begin van het verslag extra aandacht besteedt aan dit proces. Fotosynthese kan alleen plaatsvinden wanneer de huidmondjes van de plant openstaan. Voor het openen van huidmondjes in de ochtend zijn er meerdere factoren van belang. Er moet genoeg water en CO₂ aanwezig zijn en er is PAR-licht nodig. Ook houdt de plant zich aan een bepaald dag- en nachtritme. Wanneer de huidmondjes geopend zijn, is voornamelijk de PAR-waarde van invloed op hoe ver de huidmondjes openstaan. Voornamelijk het dag- en nachtritme en de aanwezigheid van PAR is, in normale omstandigheden, van invloed op het sluiten van de huidmondjes. Echter, droogte en andere vormen van stress zorgen ook voor het sluiten van de huidmondjes.

In een paprikagewas worden de bovenste bladeren met een lichtintensiteit vanaf 50 µmol PAR aangezet tot fotosynthese. Oudere bladeren hebben een lager 'lichtcompensatiepunt' en dus een geringere ademhaling. De oudere en lagere bladeren vertonen daardoor iets eerder een positieve netfotosynthese.

De fotosynthese van het getoetste paprikagewas is hoog. Er is een lineaire toename met de lichtintensiteit tot een niveau van 300 µmol PAR. In principe betekent dit dat mobiel licht zonder rendementsverliezen toepasbaar is, waarbij wel de hoeveelheid daglicht in acht moet worden genomen. Uit de metingen blijkt dat mobiel licht zelfs tijdens de nacht kan worden toegepast. Dit wordt veroorzaakt door de relatief hoge donkerademhaling bij paprika. Door in de nacht een lage lichtintensiteit aan te bieden wordt de verademde CO₂ als het ware gerecycled. Deze recycling is onafhankelijk van de huidmondjesweerstand. De huidmondjesweerstand speelt wel een rol bij hogere lichtintensiteiten. In het algemeen was de huidmondjesgeleidbaarheid van het experimentele gewas hoog. Aan het eind van de dag (na 17.00u) neemt de geleidbaarheid echter af. Dit heeft vooral gevolgen als de piekintensiteit van de mobiele belichting erg hoog is (320 µmol PAR), wat in de praktijk niet voorkomt.

Wanneer een paprikagewas dagverlengend (voor zon op) wordt belicht, zijn er grote verschillen tussen semi-vaste en mobiele belichting. Beide zijn in staat het gewas aan te zetten tot fotosynthese, maar de continue semi-vaste belichting van 9000 lux geeft vele malen meer productieverhoging dan de mobiele belichting van 1500 lux. De voordelen van mobiele belichting moeten dan ook niet op het productieverhogende vlak gezocht worden, maar eerder op het gebied van sturing. Wat niet uit dit onderzoek naar voren is gekomen, is een antwoord op de vraag of de plant eerder op de dag stopt met de fotosynthese naarmate de belichting eerder aan gaat. Het zou dus kunnen dat de plant een bepaald aantal uren in staat is aan fotosynthese te doen. In dat geval zou er nauwelijks nog sprake zijn van productieverhoging en zou het sterk af te raden zijn paprika dagverlengend te belichten.

In dit rapport is ook aandacht besteedt aan de effecten van oogsten op de fotosynthese. In tegenstelling tot de verwachting blijkt de fotosynthesecapaciteit nauwelijks beïnvloed te worden door de plantbelasting (een afname van 5% van de fotosynthesecapaciteit na het verwijderen van *alle* vruchten en bloemen). Blijkbaar exporteert de plant de nieuwe hoeveelheid beschikbare assimilaten naar andere 'sinks', we denken hierbij aan wortels. Een alternatieve mogelijkheid is een sterke toename van de respiratie. De afname van de fotosynthesecapaciteit vindt plaats tot een paar uur na het verwijderen van de vruchten. Hierna stijgt de efficiëntie weer tot het oude niveau.

Naarmate de mobiele belichtingsinstallatie sneller beweegt, produceren de planten meer drogestof. Dit is waarschijnlijk toe te schrijven aan het feit dat de plant minder lang in het donker staat en sneller weer op gang komt. Wanneer gekeken wordt naar de optimale hoogte van de mobiele installatie boven het gewas, dan komt het er op neer dat de planten meer licht tot de beschikking hebben naarmate de installatie lager hangt. Dit is echter funest voor de lichtverdeling waardoor de rijen tussen de lampen in niet belicht worden. Dit zou opgelost kunnen worden door meer lampen op te hangen.

Om te weten te komen hoe paprikaplanten reageren op extreme situaties, zoals continu belichten of droogte, zijn ook deze factoren getest. Hieruit kwam naar voren, dat in het geval van continu belichten, de afname van de fotosynthese-efficiëntie gering is. Blijkbaar kunnen paprikaplanten grote hoeveelheden licht verdragen. Er is echter wel sprake van een fotosynthese afname die steeds groter wordt naarmate er langer belicht wordt.

Omdat er eerder vergelijkbaar onderzoek is uitgevoerd in snijrozen, is in dit rapport ook een vergelijking tussen roos en paprika wat betreft fotosynthese opgenomen. Zowel paprika als roos reageert snel op veranderingen in de lichtintensiteit. Roos vertoont tot 250 μmol de efficiëntste fotosynthese, terwijl dit bij paprika tot 300 μmol het geval is. Roos kan langdurig belicht worden (20u per dag), terwijl paprika een sterker dag/nacht ritme heeft, waardoor dagverlengend belichten minder effect heeft. Bij langdurig belichten sluit paprika eerder de huidmondjes dan roos. Bij beide gewassen is het belangrijk om bij het maken van belichtingsplannen niet alleen naar lichtverdeling te kijken, maar ook naar lichtdoordringing.

Inleiding

Licht is de belangrijkste productiefactor in de paprikateelt. Licht zet planten aan tot fotosynthese, waardoor assimilaten beschikbaar komen voor groei/ontwikkeling. Fotosynthese wordt door de lichthoeveelheid gestuurd terwijl groei/ontwikkeling voornamelijk door temperatuur en lichtkwaliteit worden bepaald. Dit project richt zich vooral op de effecten van belichting op de fotosynthese van paprika. Aspecten die met sturing van de morfologie te maken hebben in relatie tot temperatuur en lichtkwaliteit worden in de navolgende rapportage niet in detail behandeld. Voor een goed begrip van de interactie tussen de vraag naar assimilaten en het aanbod ervan is het belangrijk dat bij de uiteindelijke evaluatie van teeltmaatregelen naast lichtintensiteit ook lichtkwaliteit en temperatuur als stuur van de ontwikkeling meegewogen moeten worden.

In dit rapport wordt eerst uitleg gegeven over de fotosynthesereactie op zich, voor verduidelijking naar de rest van het rapport. Ook worden er indicatieve metingen besproken die een goed beeld schetsen van de werking van de fotosynthese in paprika. Pas hierna, in hoofdstuk 2, wordt ingegaan op het eigenlijke onderzoek. In dit hoofdstuk worden de proeven besproken die zijn uitgevoerd om de effecten van dagverlengend belichten weer te geven. Ook wordt in dit hoofdstuk het effect van oogsten op de fotosynthese in de plant besproken. In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op de onderzoeken die zijn uitgevoerd om de effecten van verschillende hoogtes en snelheden van de mobiele belichtingsinstallatie weer te geven. Naast het onderzoek naar de effecten van assimilatiebelichting op de fotosynthese, is er ook onderzoek uitgevoerd naar de effecten van droogte en continue belichting (de hele nacht belichten). Dit onderzoek wordt behandeld in hoofdstuk 4, waarna een hoofdstuk volgt waarin de verschillen tussen paprika en roos wat betreft fotosynthese worden besproken. Afsluitend in hoofdstuk 6 zijn de conclusies en aanbevelingen terug te vinden.

1 Fotosynthese

Alvorens in te gaan op de proeven die uitgevoerd zijn om meer inzicht te krijgen in de reactie van de fotosynthese van paprika op assimilatiebelichting, zullen we eerst ingaan op wat fotosynthese precies inhoudt en welke rol de huidmondjes hierin spelen. In dit hoofdstuk zullen naast de uitleg over het fotosyntheseproces, indicatieve metingen worden weergegeven die inzicht geven in de reactie van de paprika plant op belichting.

1.1 Licht en Fotosynthese

Planten kennen een andere gevoeligheid voor de golflengtes van licht dan de mens. Van het zichtbare licht draagt slechts een gedeelte bij aan de groei (fotosynthese) van planten, namelijk het licht met een golflengte tussen 400 en 700 nm. Dit noemt men wel het PAR-gebied (PAR = Photosynthetic Active Radiation). Bij daglicht ligt circa 45% van de globale straling tussen 400 en 700 nm.

Een lichtbron kan worden beschouwd als een bron die energiedeeltjes uitzendt. Deze deeltjes worden lichtquanten of fotonen genoemd. De energie-inhoud van een foton hangt samen met de golflengte. Het totaal aan uitgezonden fotonen tussen 400 en 700 nm per seconde, wordt PPF (Photosynthetic Photon Flux) genoemd met als eenheid $\mu\text{mol/s}$. PPF is te vergelijken met het begrip lumen, echter dan op basis van plantgevoeligheid. De energie-inhoud van een 400 nm-foton (blauw) is bijvoorbeeld 1,75 maal hoger dan die van een 700 nm-foton (rood), maar voor het fotosyntheseproces zijn beide fotonen gelijkwaardig. Het overschot aan energie van een blauw foton wordt voor het merendeel omgezet in warmte. De snelheid van de fotosynthese wordt bepaald door het aantal fotonen tussen 400 en 700 nm dat door de plant wordt geabsorbeerd en niet door de som van de energie-inhoud van deze fotonen. Daarom is het aantal fotonen tussen 400 en 700 nm dat per seconde op een bepaald vlak valt, aangeduid met de afkorting PPFD (Photosynthetic Photon Flux Density) met als eenheid $\mu\text{mol/m}^2/\text{sec}$, de enige geschikte maat waarin de hoeveelheid licht voor het fotosyntheseproces moet worden uitgedrukt. PPFD is te vergelijken met het begrip lux per vierkante meter, echter dan op basis van de plantgevoeligheid. De PPFD wordt gemeten met een kwantumsensor en wordt uitgedrukt in μmol fotonen per m^2 per seconde ($\mu\text{mol/m}^2/\text{sec}$).

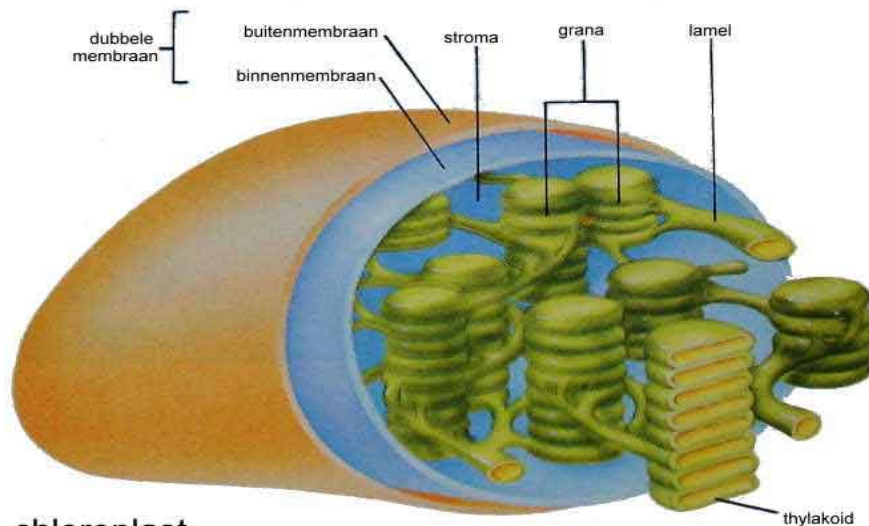
Wetenschappelijk gezien betekent PAR: Photosynthetic Active Radiation. Men heeft het dan over de energie-inhoud van het licht tussen 400 en 700 nm in W/m^2 . Echter in de praktijk wordt de term PAR ook gebruikt voor de PPFD met als eenheid $\mu\text{mol/m}^2/\text{sec}$. Om de leesbaarheid van het verslag ten goede te komen is er voor gekozen in dit verslag te spreken van PAR gemeten in $\mu\text{mol/m}^2/\text{sec}$.

De fotosynthese-reactie

De fotosynthese reactie bestaat uit twee delen; de lichtafhankelijke reactie (foto) en de lichteonafhankelijke reacties (synthese). Tijdens de lichtafhankelijke reacties wordt lichtenergie omgezet in een 'bewaarbare' chemische vorm die op een later tijdstip, als de cel daar behoefte aan heeft, gebruikt kan worden.

Om effectief te zijn, moet licht eerst worden geabsorbeerd door een zogenaamd fotosynthetisch pigment, een stof die zichtbaar licht kan absorberen. Chlorofyl en de daarmee geassocieerde pigmenten liggen in de chloroplast. In figuur 1.1 is een afbeelding van een chloroplast weergegeven. De chloroplast is omgeven door een dubbel membraan met een differentiële permeabiliteit. Het buitenmembraan omsluit een grote ruimte, stroma genoemd. Het binnenmembraan is sterk geplooid. De instulpingen, de thylakoïden, dragen alle fotosynthetische actieve pigmenten. Het membraan van de thylakoïden bezit eigenschappen die verschillen van andere biologische membranen.

We vinden in het membraan namelijk eiwitten die aan de ene kant uitsteken in het inwendige van de grana en aan de andere kant in het stroma. Eiwitten die betrokken zijn bij de overdracht van energie, vertonen overal in de biologie deze transmembrane structuur.

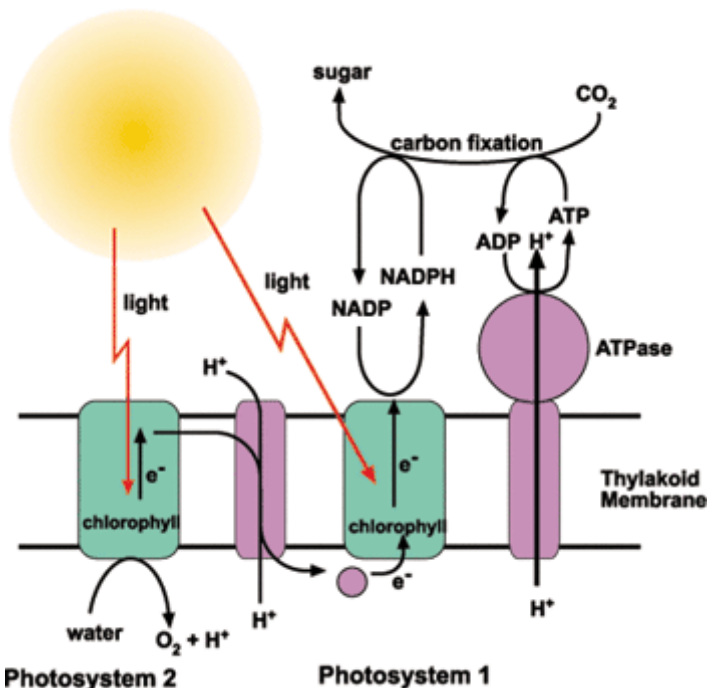


chloroplast
Figuur 1.1 Chloroplast

Alleen in speciale reactiecentra wordt lichtenergie omgezet in een chemische vorm; die centra bevinden zich in de opeengepakte thylakoïden van de grana. Slechts een klein deel van het pigment dat aanwezig is en de chloroplast, ligt in zulke reactiecentra. De overige chlorofylmoleculen, het zogeheten 'antennechlorofyl', kunnen wel lichtenergie absorberen maar zorgen niet voor de omzetting van lichtenergie in chemische energie. Ook andere pigmenten dan chlorofyl dragen de geabsorbeerde lichtenergie over naar de reactiecentra. Door het opvangen en overdragen van lichtenergie vergroten de antenepigmenten het rendement van de chloroplast.

Lichtafhankelijke reacties

De lichtreactie bestaat eigenlijk uit twee samenwerkende deelreacties die samen voldoende energie kunnen verwerken om water te oxideren. Die pigmentsystemen zijn bekend geworden als fotosysteem I en fotosysteem II, zie figuur 1.2



Figuur 1.2: Fotosysteem I en II

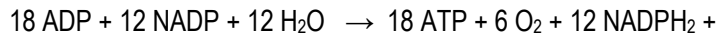
In het fotosysteem II zullen de moleculen die lichtenergie absorberen, overgaan in een energierijke of 'aangeslagen' toestand: met behulp van de geabsorbeerde lichtenergie maken elektronen zich los van de chlorofylmoleculen en worden ze overgedragen op een acceptor. Het elektronentekort van de chlorofylmolecule wordt gecompenseerd door elektronen geleverd door een elektronendonor. Die vult zijn elektronentekort aan met elektronen verkregen uit de splitsing van water. Daardoor ontstaan protonen en zuurstofgas. Door de toevoer van lichtenergie wordt water dus gesplitst. Tijdens deze fotolyse wordt water omgezet in zuurstof, protonen en elektronen. De elektronen worden dan door de acceptor overgedragen naar het fotosysteem I via een reactieketen. In die keten wordt een deel van de energie van de 'aangeslagen' elektronen gebruikt om ATP (Adenosinetriphosphate), te vormen uit ADP (Adenosinediphosphate). Dit is de fotofosforylatie. De vrijgekomen elektronen worden door het fotosysteem I 'gevangen'; de vrijgekomen energie wordt gebruikt om de protonen uit de fotolyse te binden op een drager, het NADP (nicotinamide-adenine-dinucleosidephosphate). Het hier beschreven elektronen transport kan met behulp van fluorescentiemetingen worden gemeten en er wordt verwacht dat dit als goede maat kan fungeren voor de activiteit van het fotosynthese systeem.

Lichtafhankelijke reacties

In deze reacties wordt CO₂ gereduceerd tot een glucose, een suiker molecuul met 6 koolstofatomen. De reacties vinden plaats in het stroma. De synthese van glucose is erg ingewikkeld en heeft plaats in een cyclische reactieketen, de zogenaamde Calvin-cyclus, zie Appendix 1. NADPH₂ brengt de waterstofionen aan, gevormd in de lichtreacties. CO₂ wordt door de cel opgenomen uit haar omgeving. De energie wordt geleverd door ATP (opgebouwd in de lichtreactie). Om één mol glucose te verkrijgen moet de Calvin-cyclus zes maal doorlopen worden. De energie die daarvoor nodig is, wordt geleverd door de hydrolyse van 18 mol ATP. Voor de reductie is 12 mol NADPH nodig. Dit alles wordt geleverd door de lichtreacties.

Men kan de fotosynthese door de volgende globale reacties voorstellen.

Lichtreacties:



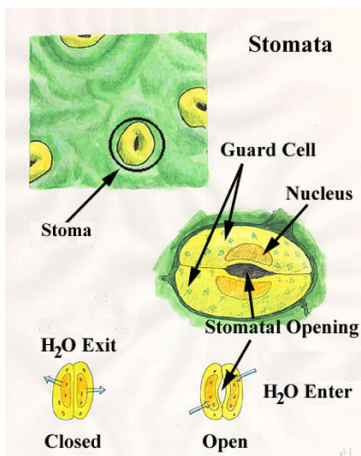
Donkerreacties:



1.2 De huidmondjes-reactie

Een blad kan per dag meer dan zijn massa in water verliezen door transpiratie. De grootte van de transpiratie wordt in eerste instantie bepaald door de openingsgraad van de huidmondjes. De factoren die het openen en sluiten van de huidmondjes veroorzaken en zo de transpiratiegrootte regelen, zijn fysiologische factoren. Als de huidmondjes openstaan, zijn fysische verdampingswetten geldig en zullen dus fysische factoren van belang zijn. Omdat het voor ons voornamelijk van belang is om te kijken wat er voor zorgt dat de huidmondjes opengaan, richten we ons vooral op de fysiologische factoren.

Het openen en sluiten van de huidmondjes wordt geregeld door twee sluitcellen, die de spleet van het huidmondje omringen, zie figuur 1.3. Die sluitcellen verschillen van de andere epidermiscellen door hun inhoud: zij bevatten namelijk bladgroenkorrels. Ook de structuur is afwijkend: ze zijn worstvormig en de wanden die de spleet omringen zijn meestal dikker dan de wanden die tegen de andere epidermiscellen liggen. Als de sluitcellen water opnemen, worden zij vooral uitgerekt in de in de richting van de dunste wanden en de dikkere wand wordt meegetrokken zodat het huidmondje zich opent. Turgescente sluitcellen zorgen voor een open huidmondje, slappe cellen veroorzaken het sluiten van een huidmondje. Het openen en sluiten van de huidmondjes is van zeer groot belang voor de diffusie van gassen uit en in de plant (waterdamp, koolstofdioxide, zuurstofgas). Planten hebben CO₂ nodig om eigen suikers aan te maken tijdens het fotosyntheseproces. Koolstofdioxide diffundeert in de intercellulaire ruimten achter het huidmondje en zo verder naar de fotosynthese-uitvoerende cellen van het bladmoes. Het inwendige bladoppervlak kan 10 tot 30 maal groter zijn dan de buitenoppervlakte van een blad. Daardoor kan er meer CO₂ opgenomen worden en stijgt de fotosynthese-intensiteit. Tegelijkertijd kan er ook veel meer water verdampen via de open huidmondjes. De plant moet dus een evenwicht zoeken tussen de winst (fotosynthese) en het verlies (transpiratie).



Figuur 1.3: Huidmondje

Huidmondjes zijn bij paprika open gedurende de dag en 's nachts gesloten. Daardoor gaat er geen water verloren wanneer het te donker is om aan fotosynthese te doen. Licht doet de fotosynthese starten in de sluitcellen. De osmotische waarde van het celsap stijgt en ze wordt licht hypertoonisch ten opzichte van de buurcellen. De sluitcellen zuigen water aan en worden turgescents. Wanneer de plant genoeg water heeft en het CO₂-gehalte hoog

genoeg is, zorgt PAR-licht (indirect) voor een opening van de huidmondjes. Een tekort aan CO₂ in de intercellulaire ruimten, ontstaan door het starten van de fotosynthese, kan ook de huidmondjes openen. Een hoog CO₂ gehalte kan de huidmondjes laten sluiten. Daarnaast bezitten de sluitcellen een interne klok met een dag/nachtritme. De huidmondjes openen en sluiten zich, zelfs al houdt men de plant in een donkere ruimte. Omgevingsfactoren kunnen leiden tot het sluiten van de huidmondjes. Wanneer de watervoorraad in de plant gedaald is, bijvoorbeeld op warme dagen, verliezen alle plantencellen, dus ook de sluitcellen water. De turgor in de sluitcellen daalt en het huidmondje sluit zich. Bij hoge temperaturen zullen de huidmondjes zich ook sluiten. De intensiteit van de celademhaling neemt toe en de CO₂-concentratie in de intercellulaire ruimten stijgt. Er moet dan minder CO₂ aangevoerd worden van buiten.

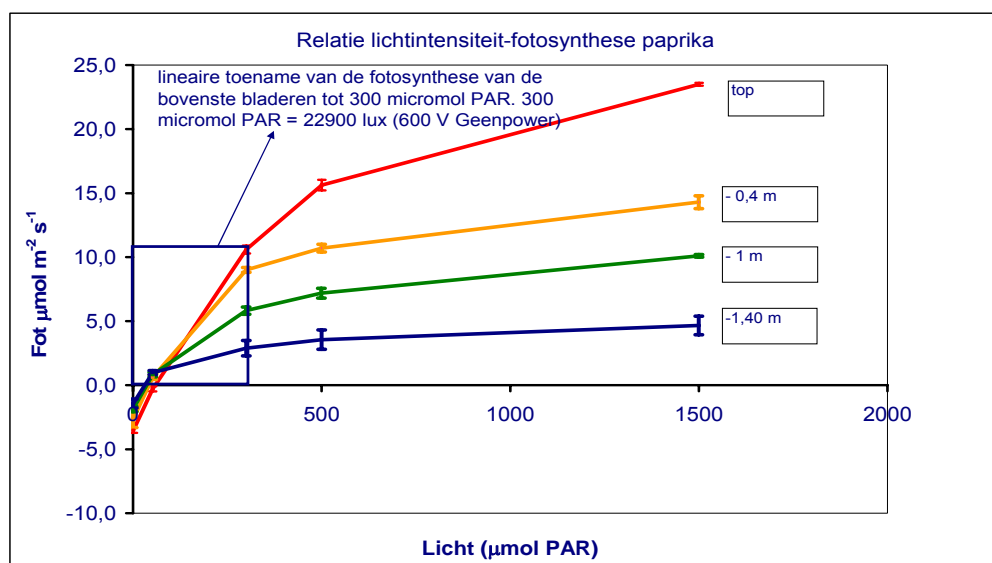
Voor het openen van huidmondjes in de ochtend zijn er dus meerdere factoren van belang. Er moet genoeg water en CO₂ aanwezig zijn, er is PAR nodig en er is sprake van een bepaald dag- en nachtritme. Wanneer de huidmondjes geopend zijn, is voornamelijk de PAR-waarde van invloed op hoe ver de huidmondjes openstaan. Voornamelijk het dag- en nachtritme en de aanwezigheid van PAR is, in normale omstandigheden, van invloed op het sluiten van de huidmondjes. Echter, droogte en andere vormen van stress zorgen ook voor het sluiten van de huidmondjes.

1.3 Indicatieve fotosynthese en fluorescentie metingen

Bij de metingen in de kas werd gebruik gemaakt van Growlab apparatuur voor interfacing van data en opslag. Gedurende de proeven werden met Growlab Plantivity-meters elke 5 minuten waarnemingen gedaan, die vervolgens gebruikt werden om de dagelijkse groei te bereken. Om deze meters te ijken en geschikt te maken voor metingen in paprika, werd gebruik gemaakt van een LiCor-meter. Voor specificatie van de LiCor en van de Growlab Plantivity, zie Appendix 4.

Meetresultaten indicatieve fotosynthese metingen

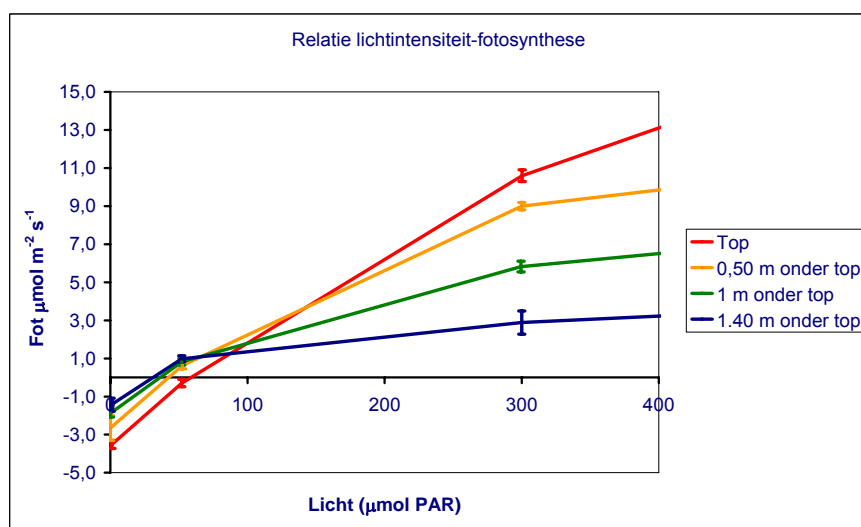
Met de LiCor zijn op verschillende hoogtes in het gewas lichtpulsus gegeven van 50, 300, 500 en 1500 PAR. Op het moment dat de lichtpulsus werd gegeven, werd de fotosynthese-activiteit van het blad gemeten. Op deze manier is de relatie tussen de lichtintensiteit en fotosynthese duidelijk weer te geven. Aan de hand van deze metingen kan bepaald worden hoe efficiënt de plant op verschillende bladetages met PAR-licht omgaat.



Figuur 1.4 Relatie lichtintensiteit-fotosynthese van paprika

In figuur 1.4 is de relatie tussen de lichtintensiteit en de fotosynthese van paprika te zien. Tot 300 µmol PAR stijgen de lijnen het sterkst, wat wil zeggen dat de fotosynthese hier het meest efficiënt is. In de top van het gewas is de fotosynthese het hoogst. De fotosynthese-efficiëntie neemt steeds meer af naarmate er lager in het gewas gemeten wordt. De bladeren in de top van het gewas zijn dus het belangrijkste voor de fotosynthese en produceren dus de meeste assimilaten. 300 µmol PAR komt ongeveer overeen met 22900 lux (600 V Greenpower). Deze lichtsterkte zal in de praktijk niet door toevoeging van een assimilatielamp gehaald worden. Concluderend kan dus gezegd worden dat door belichtingssystemen toegevoegd PAR-licht, dat in de huidige praktijk wordt toegepast, in elk geval optimaal benut wordt. Hierbij moet worden aangetekend dat dit alleen geldt als de daglichtintensiteit samen met de assimilatiebelichting niet hoger wordt dan 300 µmol PAR.

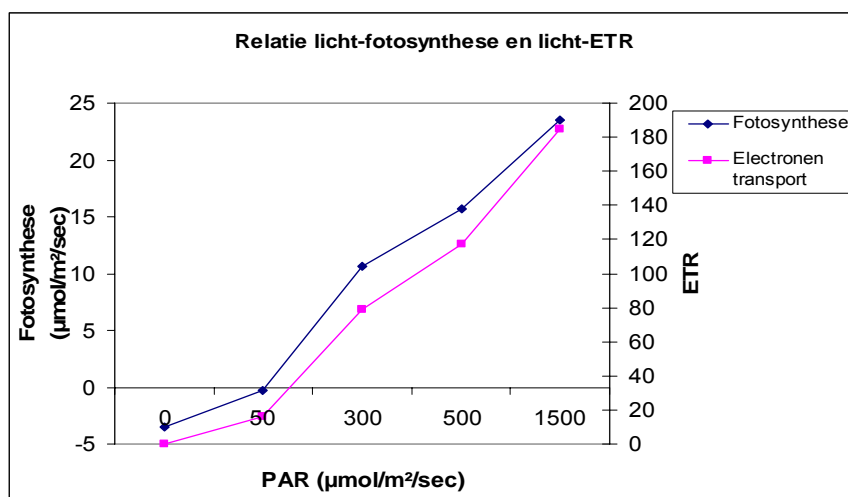
Naast het bepalen van de fotosynthese-efficiëntie bij bepaalde lichtintensiteiten, zijn met de LiCor ook metingen gedaan om het lichtcompensatiepunt op verschillende bladetages te bepalen. Het lichtcompensatiepunt is het punt waarop de plant van dissimilatie (negatieve waarden) overgaat tot assimilatie (positieve waarden).



Figuur 1.5 Relatie lichtintensiteit en fotosynthese in paprika

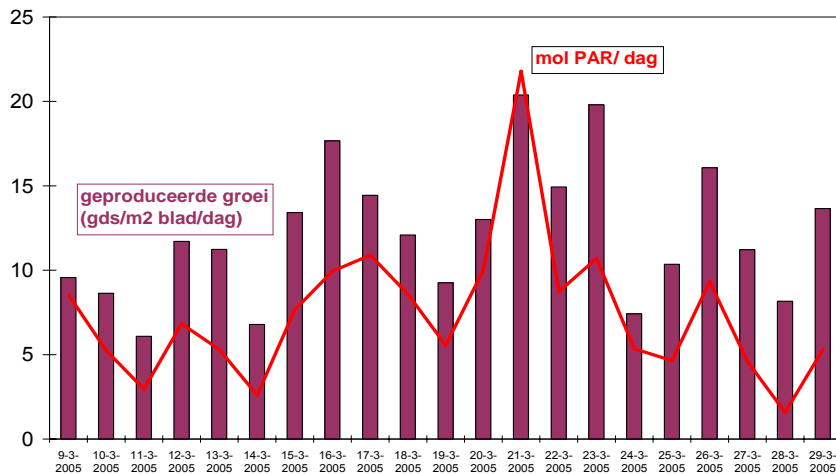
In figuur 1.5 is te zien dat het lichtcompensatiepunt van de bovenste bladeren 50 $\mu\text{mol PAR}$ is (de fotosynthese komt op dit punt boven de nullijn). Dit wil zeggen dat de bovenste bladeren met een lichtintensiteit vanaf 50 $\mu\text{mol PAR}$ aangezet worden tot fotosynthese. Oudere bladeren hebben een lager lichtcompensatie punt en dus een geringere ademhaling. De oudere en lagere bladeren vertonen daardoor iets eerder een positieve netto fotosynthese. In vergelijking met andere gewassen zijn de verschillen tussen de verschillende bladlagen groot. De bladeren die zich 50 cm onder de top bevinden hebben een lichtcompensatiepunt van 45 $\mu\text{mol PAR}$, bij de bladeren 1 meter onder de top en 1,40 meter onder de top ligt dit punt op ongeveer 35 $\mu\text{mol PAR}$. Dat de onderste bladeren minder PAR nodig hebben voor een netto positieve fotosynthese, wil niet zeggen dat deze bladeren meer bijdragen aan het fotosyntheseproces. Wanneer de plant belicht wordt, gaat ongeveer 70 % van het licht naar de bladeren in de top van de plant. Wanneer er dus bijvoorbeeld 100 $\mu\text{mol PAR}$ gegeven wordt, gaat er 70 μmol naar de bovenste bladeren en blijft er maar 30 μmol over voor de lagere bladeren. 70 $\mu\text{mol PAR}$ is ruim voldoende om de bovenste bladeren aan te zetten tot fotosynthese, terwijl 30 $\mu\text{mol PAR}$ nauwelijks genoeg is om een nette positieve bijdrage van de lagere bladeren te realiseren. In de praktijk komt het er dus op neer dat de bovenste bladeren verreweg het meeste bijdragen aan de netto fotosynthese van het gewas, waarna de lagere etages, van hoog naar laag, volgen.

De LiCor is niet alleen gebruikt voor de fotosynthese metingen, maar ook om de Plantivity-meters te ijken die later voor de proeven werden gebruikt. In plaats van de fotosynthese te meten, meet de Plantivity het elektronentransport dat in de plant plaats vindt. Met de LiCor worden zowel fotosynthese als elektronentransport (afgeleid van de fluorescentie) gelijktijdig gemeten. Daardoor kan een afgeleide berekend worden die het elektronentransport omzet in fotosynthese. Een kanttekening Het nadeel hiervan is dat elektronentransport ook plaatsvindt tijdens fotorespiratie, het omgekeerde van fotosynthese waarbij drogestof wordt afgebroken. De Plantivity kan hierin geen onderscheid maken. Voor deze omstandigheden moeten nog correcties uitgevoerd worden. In figuur 1.6 zijn de metingen weergegeven die de relatie tussen fotosynthese en het elektronentransport laten zien.



Figuur 1.6 Relatie tussen licht en fotosynthese en de relatie licht en elektronen transport

In figuur 1.6 is de overeenkomst tussen de gemeten fotosynthese en het elektronentransport weergegeven. Deze gegevens zijn bepaald door middel van fluorescentiemetingen. Het verschil tussen de lijnen wordt veroorzaakt door de ademhaling van de plant. Aan de hand van dit verschil is de afgeleide berekend waarmee de Plantivity werd ingesteld. Voor deze berekening, zie Appendix 2.

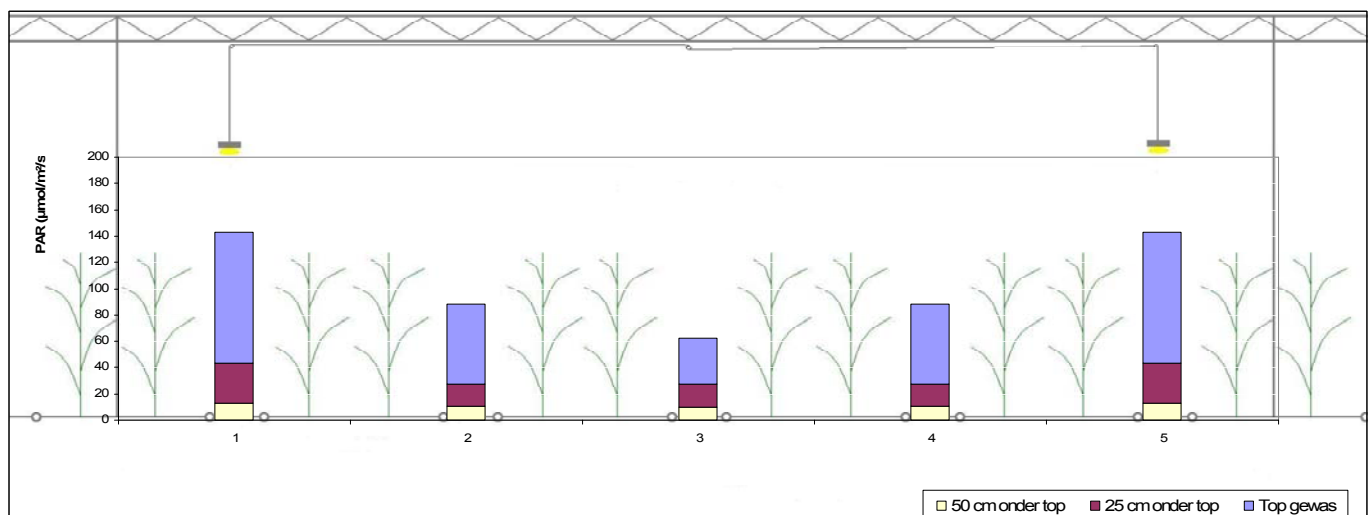


Figuur 1.7 Relatie geproduceerde groei en mol PAR per dag

Wanneer de dagelijkse groei, berekend met een eenvoudig groeimodel, als functie van de geïntegreerde lichtsommen wordt uitgezet blijkt duidelijk dat de lichtsom de belangrijkste factor is die in deze proef het groeieresultaat bepaalde. Met een toename van de dagelijkse lichtsom neemt de groei, berekend op basis van de fluorescentie data vrijwel lineair toe. Hier dient wel bij aangetekend te worden dat de straling in de meetperiode relatief laag was. De afwijkingen ten opzichte van PAR worden dus veroorzaakt door andere factoren dan licht.

Lichtverdeling in het gewas

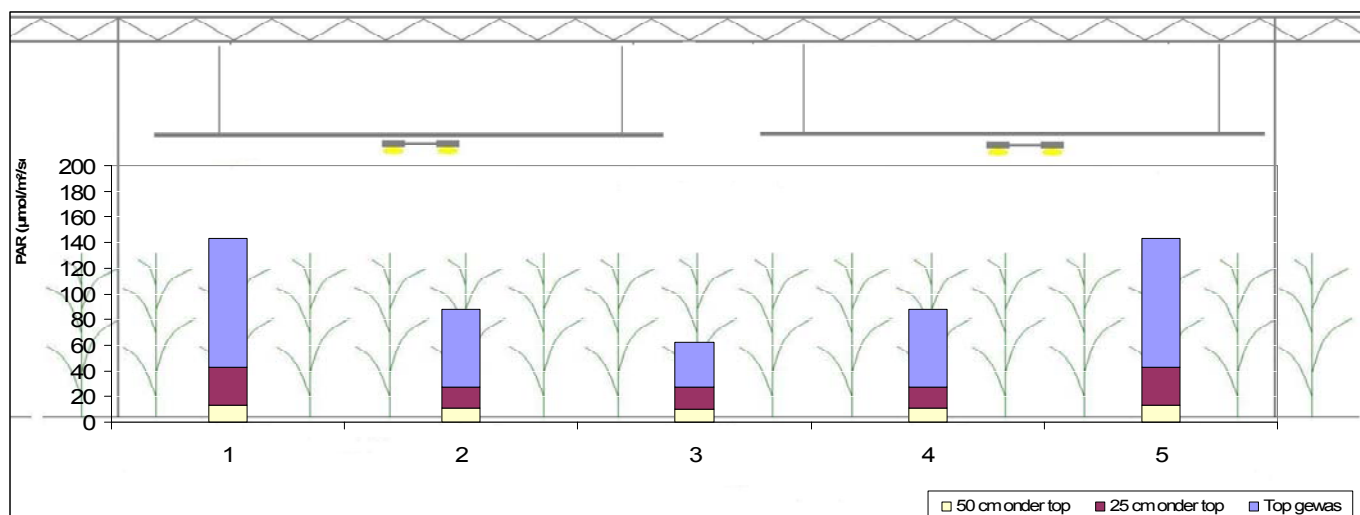
Om een indruk te krijgen van de lichtverdeling bij lange slag mobiele belichting zijn enkele grafische weergaven gemaakt. In de onderstaande figuren is zichtbaar gemaakt hoe de lichtverdeling tussen de rijen onderling is, maar ook hoe de lichtverdeling in de rij is.



Figuur 1.8 Kapdoorsnede, lichtverdeling onderlinge rijen

In de rijen direct onder de lampen wordt het meeste licht door het gewas geabsorbeerd. Lager dan 50 centimeter vanaf de top gemeten is er steeds minder groei-licht beschikbaar. Ondanks de verschillen in beschikbaar groei-licht is er op plantfysiologisch gebied (aantal bladeren, grootte van de bladeren, gewas lengte en lengte van de

internodiën) geen visueel verschil. De rijen die zich tussen twee lampen bevinden zijn gelijk aan de rijen onder de lamp. Uit waarnemingen gedaan door Sweetpoint BV zijn op gebied van oogstgegevens (geplukte Kg vruchten per rij) geen verschillen aangetroffen tussen de rijen.

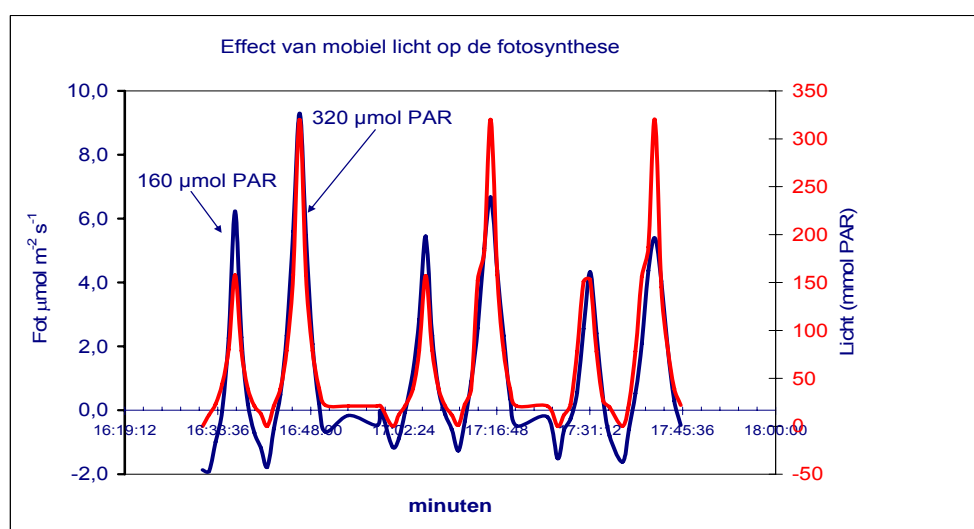


Figuur 1.9 Zijaanzicht, lichtverdeling in de rij

Bij de lichtverdeling in de rij is zichtbaar gemaakt hoe het groeilicht tussen twee lampen verdeeld is. De beide lampen bewegen synchroon op en neer over de rails, dit betekent dat deze lichtverdeling een heen en weer gaande beweging maakt over het gewas.

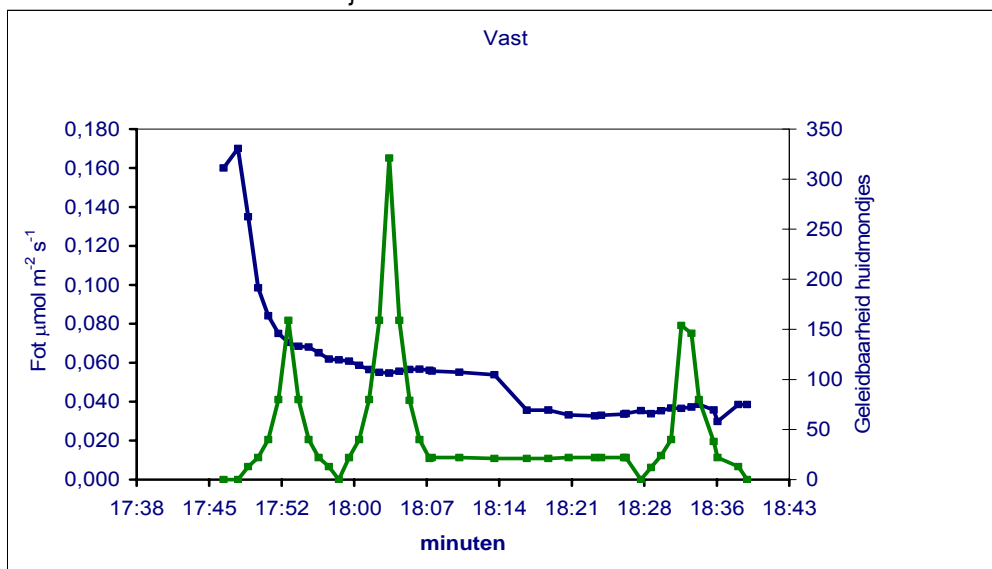
Effecten van mobiel licht

Om de effecten te bekijken die mobiel licht op de fotosynthese van de plant heeft, zijn er met de LiCor drie lichtpulsseries gegeven. In deze series is er eerst een puls van 160 $\mu\text{mol PAR}$ gegeven, gevolgd door een tweede puls van 320 $\mu\text{mol PAR}$.



Figuur 1.10 Effect van mobiel licht op de fotosynthese van paprika. PAR = rode lijn, fotosynthese = blauwe lijn

In figuur 1.10 is te zien dat bij een regelmatige lamppassage de fotosynthese exact de lijn van de variërende lichtintensiteit volgt. Uit de figuur is ook af te lezen dat lichtintensiteiten tussen 160 en 320 $\mu\text{mol PAR}$ verzadigend worden naarmate er meer lichtpulsjes gegeven worden. Deze lichtpulsseries zijn gegeven aan het eind van de dag (na 17.00u). In figuur 1.8 is te zien dat de huidmondjes op deze dag om 17.45u dicht gingen. Dat de plant minder efficiënt met het licht omgaat naarmate er meer lichtpulsjes worden gegeven, heeft dus in dit geval niets met het sluiten van de huidmondjes te maken.

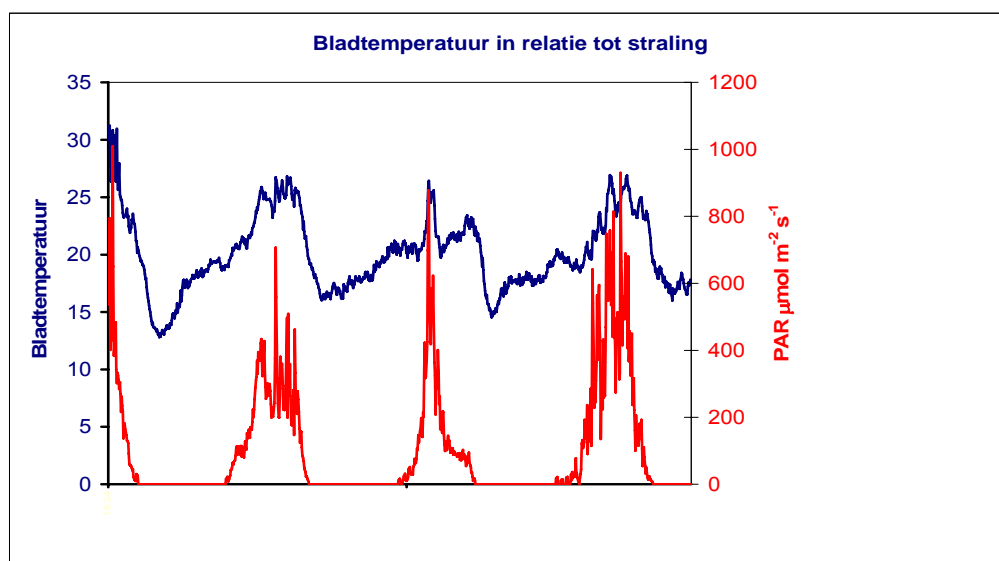


Figuur 1.11 Geleidbaarheid huidmondjes en fotosynthese

Aan het eind van de dag sluiten de huidmondjes (blauwe lijn). Als gevolg daarvan heeft de tweede lichtpulsserie van 320 $\mu\text{mol PAR}$ een geringer effect op de fotosynthese dan in de vorige figuur. Wanneer echter een derde lichtpuls wordt gegeven met een intensiteit van 160 $\mu\text{mol PAR}$ blijkt de fotosynthese ongeveer gelijk aan de fotosynthese tijdens de eerste piek. Concluderend kan gezegd worden dat bij die lichtintensiteit de huidmondjesgeleidbaarheid nog niet limiterend is voor het fotosynthese proces. Bij een PAR van 320 is dit wel al het geval, maar een instraling van deze hoogte is rond dit tijdstip erg ongebruikelijk.

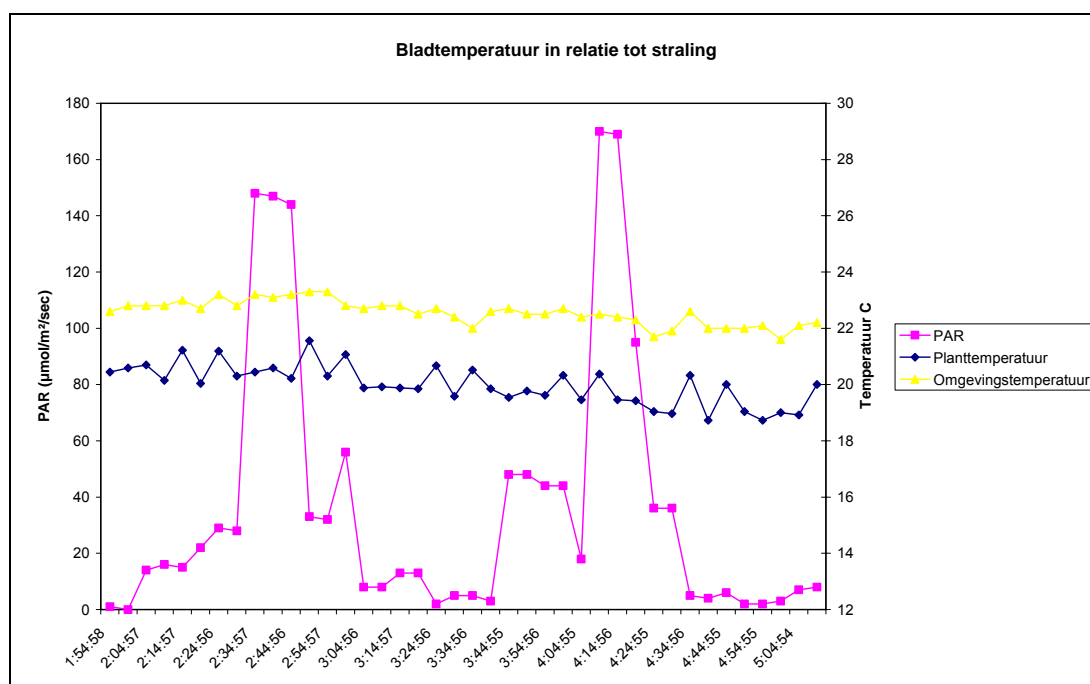
Monitoring in de kas

Tijdens het uitvoeren van de indicatieve metingen zijn diverse data verzameld. Daarbij is onder andere gekeken naar de relatie van planttemperatuur tot straling.



Figuur 1.12 Bladtemperatuur in relatie tot straling (dagverloop)

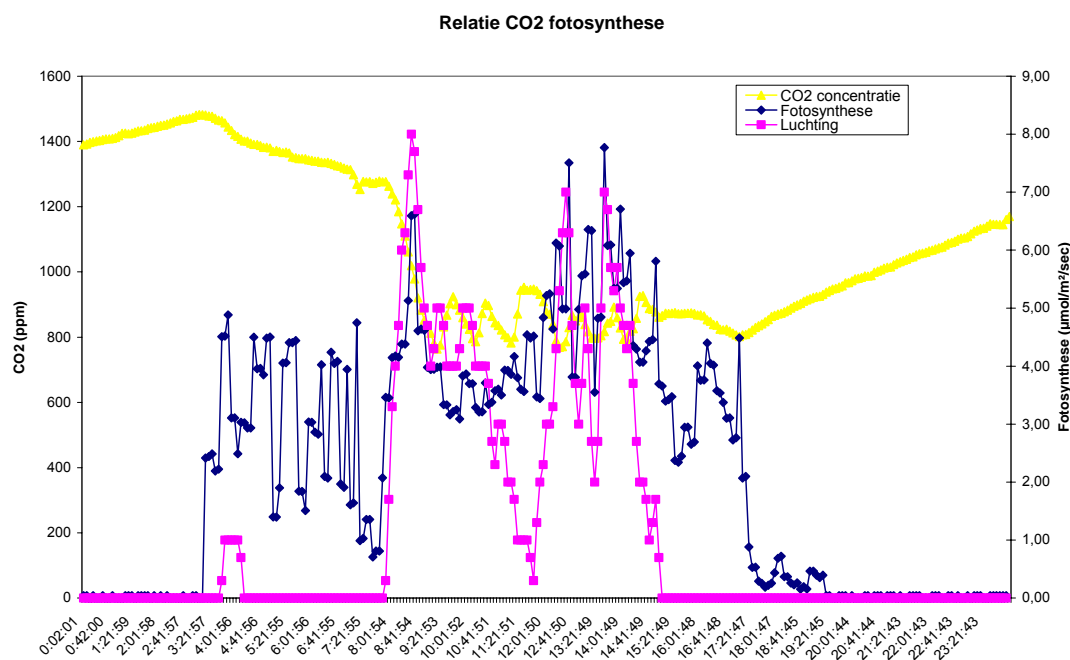
Figuur 1.12 is tot stand gekomen uit meetgegevens verzameld in begin april. De spreiding van de bladtemperatuur is in deze tijd van het jaar erg gelijkmatig vanwege de lage natuurlijke achtergrondstraling. Toch is goed te zien dat stralingspieken boven 300 $\mu\text{mol PAR}$ een zeer groot effect hebben op de bladtemperatuur. Een toename met 4-5 $^{\circ}\text{C}$ is in een dergelijke situatie geen uitzondering. In Figuur 1.13 wordt het effect van deze stijging in bladtemperatuur op de fotosynthese weergegeven.



Figuur 1.13 Bladtemperatuur in relatie tot straling (lampassages)

In Figuur 1.13 is het verloop van de omgevingstemperatuur en planttemperatuur weergegeven tijdens twee lampassages van een mobiele belichtingsinstallatie. Tijdens en na de twee korte lichtpieken van ieder 10 minuten is geen reactie van de planttemperatuur zichtbaar. Ook bij toepassing van verschillende snelheden is geen beïnvloeding van de planttemperatuur zichtbaar.

Als onderdeel van de indicatieve proeven is gekeken naar de invloeden van CO₂ concentratie in de kas op de gemeten fotosynthese.



Figuur 1.14 Relatie CO₂-fotosynthese

In figuur 1.14 is zichtbaar dat de CO₂ concentratie gedurende de nacht oploopt. Vanaf het moment dat de (semi-vaste) belichtingsinstallatie ingeschakeld wordt (03.00u.) neemt de concentratie geleidelijk af. Niet de volledige afname van de CO₂ concentratie is toe te schrijven aan het fotosyntheseproces. Om 04.00u worden kort de luchtramen geopend waarbij CO₂ afgelucht wordt. Om 07.00u wordt de belichtingsinstallatie uitgeschakeld en wordt er opnieuw gelucht. De CO₂ concentratie daalt hierdoor sterk. Door toevoeging van CO₂ stabiliseert het niveau zich tussen de 800 en 900 ppm. Deze concentratie is hoog genoeg om er voor te zorgen dat het fotosynthese proces optimaal kan verlopen. Tijdens alle proeven die uitgevoerd zijn bij Sweetpoint en in de proeftuin van de HAS Den Bosch is het zelfde CO₂ verloop gemeten. Hieruit mag geconcludeerd worden dat CO₂ in geen geval de beperkende factor is geweest ten behoeve van het fotosynthese proces. De CO₂ concentratie zal daarom verder niet behandeld worden in dit onderzoek.

2 Invloeden van mobiele belichting

2.1 Effecten van dagverlengend belichten

Inleiding

Hoewel menig paprikateler met een belichte teelt de belichting al aanzet voordat de zon op is, is niet bewezen dat dit extra licht effectief is voor de fotosynthese van de plant. In dit hoofdstuk worden de proeven beschreven die gedaan zijn om de fotosyntheseactiviteit te meten van planten die voor zon op belicht werden. Er zijn metingen gedaan in gewas dat mobiel belicht werd en in gewas met een semi-vaste belichting. Uit een in 2004 uitgevoerde

literatuurstudie blijkt dat er een continue belichting nodig is van minstens een half uur met een minimale belichtingssterkte van 4000 lux om een plant aan te zetten tot fotosynthese. Er werd dus verwacht dat de proeven die in het gewas met mobiele belichting zijn uitgevoerd, een resultaat zouden laten zien waarin de planten geen fotosyntheseactiviteit vertonen voor zon op. Van het gewas onder semi-vaste belichting werd verwacht dat er wel fotosyntheseactiviteit plaatsvindt voor zon op, maar dat deze activiteit gedurende de middag zou inzakken.

Materiaal en Methode

Er wordt een onderverdeling gemaakt in de effecten van dagverlengend belichten op mobiele en semi-vaste belichtingsinstallaties. In beide gevallen is er gekeken naar de fotosyntheseactiviteit van de plant bij belichten voor zon opkomt. De proef met de mobiele installatie is uitgevoerd bij Sweetpoint, locatie Vijverberglaan¹ (1500 lux). De proef met de semi-vaste installatie is uitgevoerd bij Sweetpoint, locatie Middel Broekweg² (9000 lux).

Om het effect van dagverlengend belichten op de fotosynthese te kunnen bepalen voor beide systemen is als uitgangspunt het astronomische zon op tijdstip³ genomen. Gekozen is om bij de mobiele installatie tot maximaal twee uur voor zon op te starten en bij de semi-vaste installatie tot maximaal 3 uur voor zon op te starten.

Voor de proef met de mobiele belichting en voor de proef met de semi-vaste belichting is er gekozen om te werken met de Growlab⁴ in combinatie met de Plantivity meter⁵. Deze keuze is gemaakt omdat de proeven dan makkelijk op afstand met de Growlab te volgen zijn. Ook zijn aan de Growlab een aantal andere meters gekoppeld waarmee de omgevingsfactoren gevolgd worden. De geregistreerde omgevingsfactoren zijn gebruikt als er onverklaarbare afwijkende metingen waren met de fotosynthesemeter. De Growlab inclusief de overige meters wordt ook wel Growlab monitoring apparatuur genoemd. Voor de proef met de mobiele belichting worden de volgende aanvullende meters gebruikt; de bladtemperatuurmeter, matvochtigheidsmeter, omgevingstemperatuurmeter, buistemperatuurmeter en de externe PAR-lichtmeter. Tijdens de proeven in de kas met de semi-vaste belichting zijn de matvochtigheidsmeter en de buistemperatuurmeter niet gebruikt, omdat de kabels van beide meters te kort waren.

Bij beide proeven is er voor gekozen om in de top van het gewas te meten. Deze keuze is gemaakt omdat in de bovenste lagen bladeren 70%⁶ van het beschikbare licht onderschept wordt. Voorgaande geldt voor de Plantivity en de bladtemperatuurmeter, de externe PAR-lichtmeter bevindt zich boven het gewas, de omgevingstemperatuurmeter is tussen het gewas in de schaduw geplaatst. De buistemperatuur- en matvochtigheidsmeter zijn aan de voet van het gewas geplaatst.

De metingen met de Growlab zijn verricht met een frequentie van vijf minuten. Op deze wijze ontstaan er voldoende meetmomenten waarop conclusies gebaseerd kunnen worden. Bij een hogere frequentie zou het geheue-

¹ Zie Appendix 3 Locatie Sweetpoint

² Zie Appendix 3 Locatie Sweetpoint

³ Zie Appendix 6 Astronomische zon op tijden

⁴ Zie Appendix 5 Materiaal

⁵ Zie Appendix 5 Materiaal

⁶ Bewering gedaan door Ad Schapendonk

gen van de Growlab sneller vol raken omdat er per etmaal dan meer gegevens opgeslagen worden. Een lagere frequentie is overdag niet gewenst omdat er dan te weinig meetmomenten zijn.

Korte opsomming van de gebruikte apparatuur voor de mobiele en semi-vaste belichtingsproef:

Growlab monitoring apparatuur

Growlab Plantivity

Priva Intégro klimaatcomputer

Mobiele belichting locatie Vijverberglaan

De proef is gestart op 9 april 2005 en is afgerond op 24 april 2005. In dit traject van 15 dagen is continue gemeten aan het gewas. Op laatste dag van elke deelproef is een nieuw blad in de Plantivity gedaan. Dit is gedaan omdat de fotosynthese van een blad verandert naarmate het blad ouder wordt. Ook hebben de lichtpulsen die de Plantivity uitzend op het blad een licht destructief effect. Uit ervaringen met de Plantivity tijdens de indicatieve proeven kan aangegeven worden dat als er langer dan een week aan een blad van een paprikaplant gemeten wordt er zich afwijkingen vormen in vorm van gele vlekken op het blad. Het is bij het wisselen van een blad tijdens de proeven wel van belang geweest dat er een vergelijkbaar representatief blad gekozen werd van dezelfde plant.

De proef bestaat uit het volgende traject:

- 1: Controle, 3 dagen meten bij huidige instellingen van de belichting (belichting aan als de zon op komt)
- 2: 3 dagen achter elkaar belichting aan 2 uur voor zon op
- 3: 3 dagen achter elkaar belichting aan 1,5 uur voor zon op
- 4: 3 dagen achter elkaar belichting aan 1 uur voor zon op
- 5: 3 dagen achter elkaar belichting aan 0,5 uur voor zon op

Semi-vaste belichting locatie Middel Broekweg

De proef is gestart op 25 april en zou lopen tot 5 maart. Door vertraging is de proef beëindigd op 8 maart, drie dagen later dan gepland. Bij deze proef is om de drie dagen het blad in de Plantivity verwisseld.

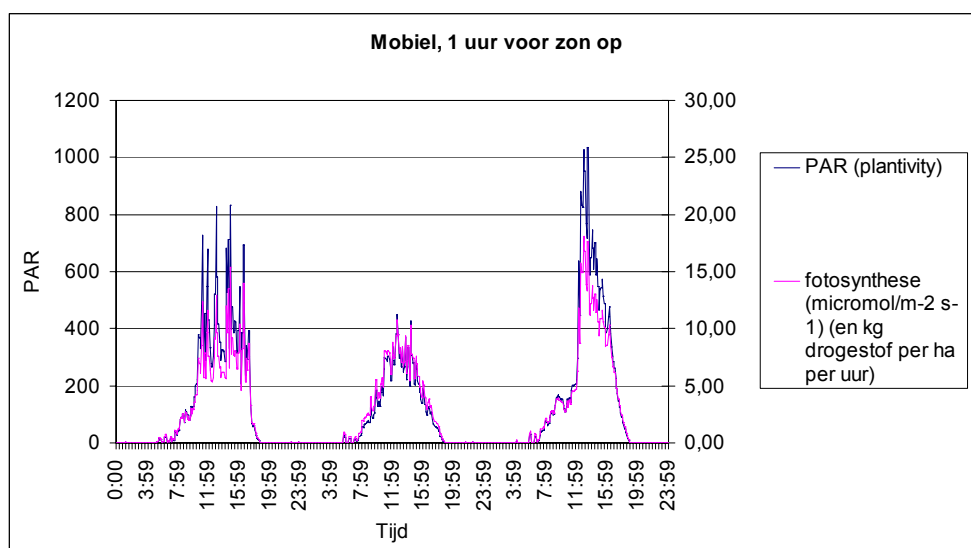
De proef bestaat uit het volgende traject:

- 1: Controle, 3 dagen meten bij huidige instellingen van de belichting (belichting aan om 03:00u)
- 2: 3 dagen achter elkaar belichting aan om 3 uur voor zon op
- 3: 3 dagen achter elkaar belichting aan om 2 uur voor zon op
- 4: 3 dagen achter elkaar belichting aan om 1 uur voor zon op
- 5: 3 dagen meten in een onbelicht gewas

Resultaat en Discussie

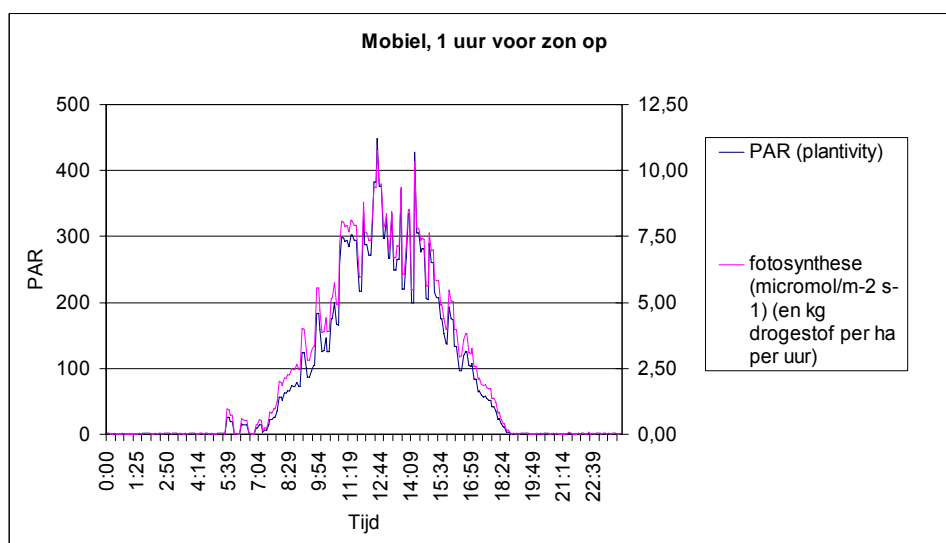
Mobiele belichting

De metingen zijn gestart in het gewas met mobiele belichting. In figuur 2.1 is het verloop van de fotosynthese en de PAR te zien van een van de proeven.



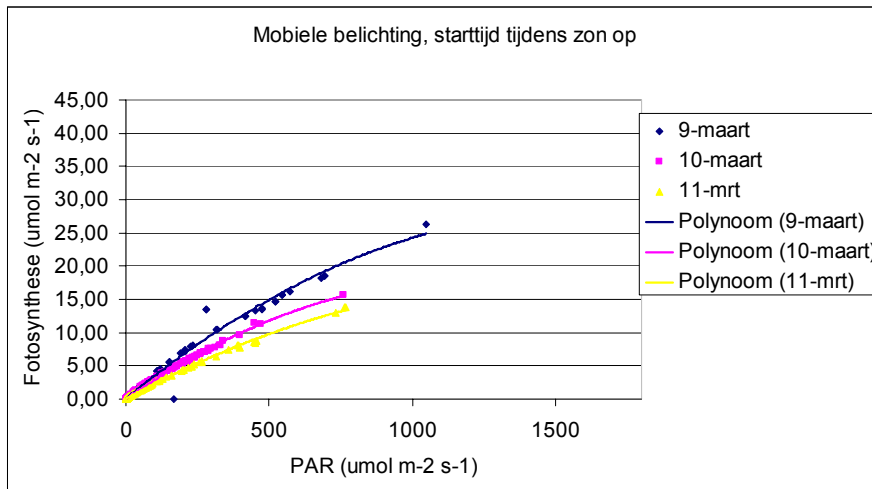
Figuur 2.1 De fotosynthese van paprika met mobiele belichting die ingezet is 1 uur voor zon op

In figuur 2.1 is te zien dat de fotosynthese vrijwel gelijk stijgt en daalt naarmate het aantal micromollen PAR-licht stijgt of daalt. Dit was in alle proeven nagenoeg hetzelfde. De grafieken van deze proeven zijn terug te vinden in Appendix 7. In figuur 2.2 is een uitvergroting gemaakt van een gedeelte van figuur 2.1 (dag twee van de metingen) om het verband tussen PAR en fotosynthese iets duidelijker weer te geven.



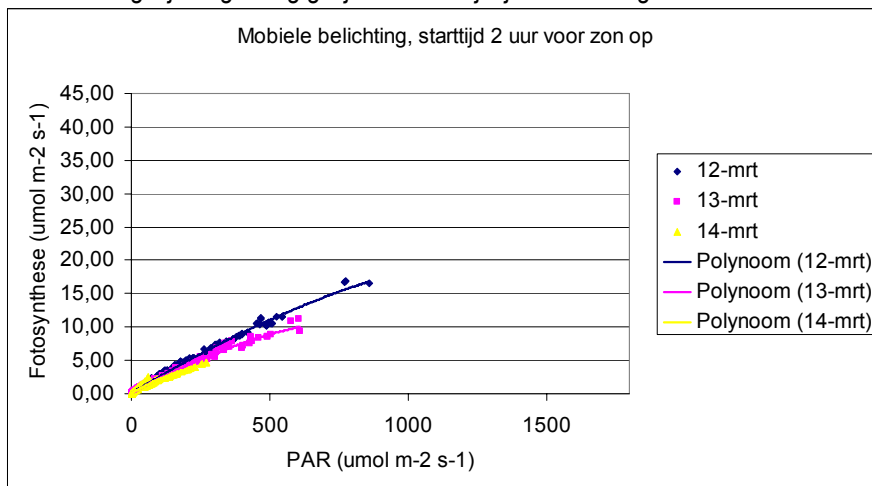
Figuur 2.2 Dag 2 mobiele belichting aangezet 1 uur voor zon op, uitvergroet

In figuur 2.2 is te zien dat de lijn van de fotosynthese de lijn van de PAR volgt. Zodra de PAR stijgt, stijgt ook de fotosynthese en dit geldt ook wanneer de PAR daalt. Dit is ook het geval bij de grafieken van de andere proeven. Ook hier volgt de lijn van de fotosynthese vrijwel gelijk de lijn van de PAR. Voor deze grafieken, zie Appendix 7. Omdat er gewerkt wordt met twee verschillende assen, mogen de ruimten tussen de twee lijnen niet in deze figuur vergeleken worden. Het snijpunt van de twee lijnen ligt bij een andere asverdeling bijvoorbeeld op een ander punt. Het is echter wel zo dat bij bepaalde PAR-waarden de fotosynthese minder sterk reageert. In figuur 2.3 t/m 2.6 zijn de relaties tussen PAR en de fotosynthese van de verschillende proeven weergegeven. Wat in alle grafieken overeenkomt, is dat alle polynomen afbuigen naarmate de PAR-waarden hoger worden. Dit wil zeggen dat de plant minder efficiënt met licht omgaat naarmate de PAR-waarden hoger worden.



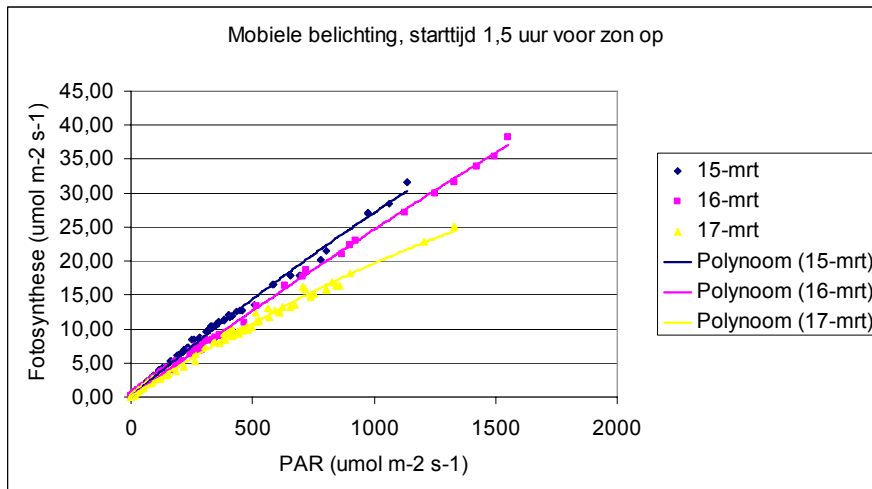
Figuur 2.3 Spreidingsgrafieken proef mobiele belichting met starttijd gelijk met zon op

In figuur 2.3 is te zien dat de plant de eerste dag van de proef het meest efficiënt met licht omgaat. De tweede en de derde dag zijn nagenoeg gelijk. Waarschijnlijk is de daling in efficiëntie toe te schrijven aan bladveroudering.



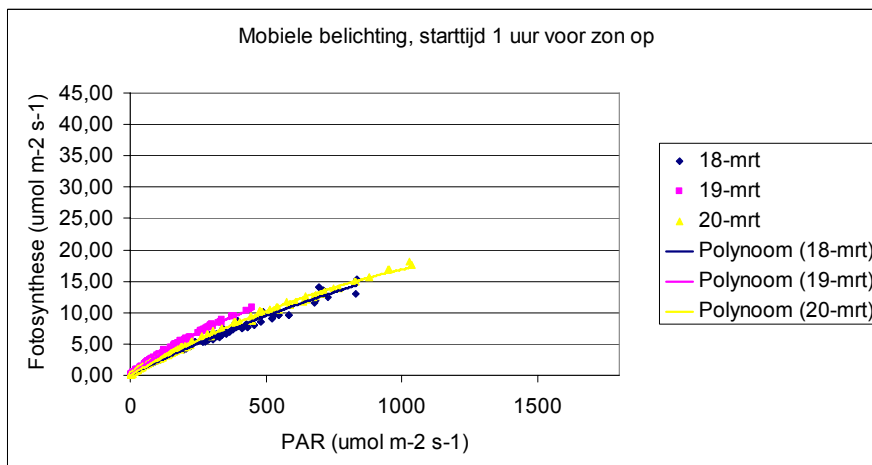
Figuur 2.4 Spreidingsgrafieken proef mobiele belichting met starttijd gelijk met zon op

In figuur 2.4 zijn wat kortere polynomen te zien. Dit komt doordat de dagen waarop gemeten is, minder zonnig waren. Hierdoor zijn er minder hoge PAR-waarden gemeten. Wat ook in deze grafiek te zien is, is dat de hellingshoek van de curven kleiner is dan in figuur 2.3. Dit wil zeggen dat de plant tijdens deze proef minder efficiënt met het PAR licht is omgegaan. Het zou kunnen dat de fotosynthese efficiëntie afneemt als de planten meer uren licht per dag krijgen (de planten kregen in de tweede proef 2 uur eerder belicht). Wanneer gekeken wordt naar figuur 2.5 lijkt dit echter niet het geval te zijn aangezien de planten tijdens deze proef juist iets efficiënter met het licht omgaan dan tijdens de proef die is weergegeven in figuur 2.3.



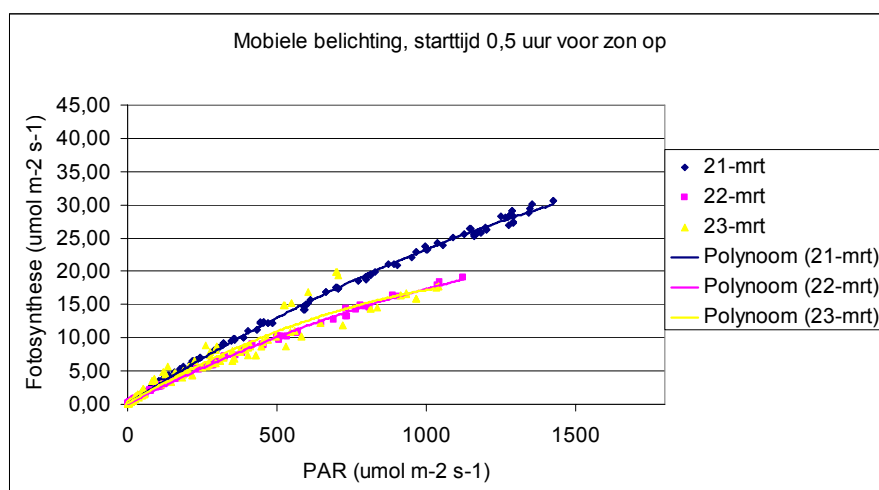
Figuur 2.5 Spreidingsgrafieken proef mobiele belichting met starttijd 1,5 uur voor zon op

Wat ook opmerkelijk is aan figuur 2.5 is dat de lijnen vrijwel niet afbuigen, maar erg recht lopen. Dit duidt erop dat de planten uit deze proef erg efficiënt met het licht zijn omgegaan.



Figuur 2.6 Spreidingsgrafieken proef mobiele belichting met starttijd 1 uur voor zon op

Wat uit grafiek 2.6 naar voren komt, is erg opmerkelijk te noemen. Uit deze resultaten blijkt namelijk dat de planten de tweede dag van de proef het efficiëntst met licht omgaan. Hierna volgt de derde dag en de eerste dag van de proeven is de efficiëntie het laagst. Dit in tegenstelling tot alle andere proeven. Ook gaan de planten uit deze proef het minst efficiënt met het licht om ten opzichte van de andere proeven.



Figuur 2.7 Spreidingsgrafieken proef mobiele belichting met starttijd 0,5 uur voor zon op

In figuur 2.7 zijn de polynomen van de spreidingen weergegeven die horen bij de proef met de starttijd van de belichting van een half uur voor zon op. In deze grafiek is weer een hoge efficiëntie te zien. Deze grafiek komt ook erg overeen met figuur 2.3.

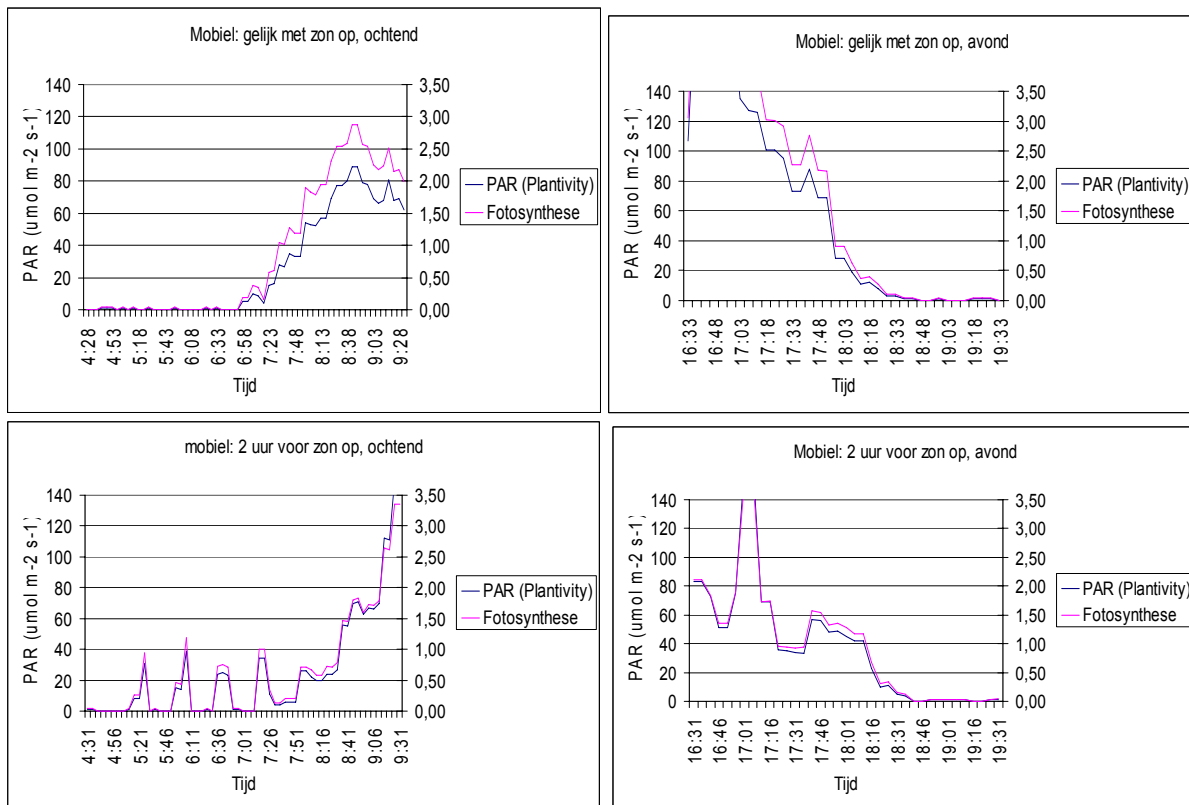
Wanneer gekeken wordt naar de verschillende dagen van belichten bij elke proef, loopt de efficiëntie op de volgende manier op:

Dag 1	Dag 2	Dag 3
Minst efficiënt		
1 uur voor zon op	2 uur voor zon op	2 uur voor zon op
2 uur voor zon op	0,5 uur voor zon op	1 uur voor zon op en tegelijk
0,5 uur voor zon op	1,5 uur, 1 uur en tegelijk	1 uur voor zon op en tegelijk
1,5 uur voor zon op	1,5 uur, 1 uur en tegelijk	0,5 uur en 1,5 uur voor zon op
Tegelijk met zon op	1,5 uur, 1 uur en tegelijk	0,5 uur en 1,5 uur voor zon op
Meest efficiënt		

Tabel 2.1 Fotosynthese efficiëntie per proef van dagverlengend belichten

In tabel 2.1 is te zien dat wanneer de belichting 2 uur voor zon op gestart wordt, de fotosynthese het minst efficiënt verloopt. Wanneer deze 1,5 uur voor zon op wordt opgestart, is deze het meest efficiënt.

Wat verder naar voor kwam uit deze proeven, is dat de lijn van de fotosynthese ook voor zon op en in de late middag nog steeds de lijn van de PAR volgt. Dit is het logische gevolg van het feit dat de ademhaling van het blad bij paprika erg hoog is. De fotosynthese kan daardoor gebruik maken van de CO₂ die vrijkomt bij de ademhalingsprocessen. Omdat de Plantivity deze opname meet via het elektronentransport is duidelijk te zien dat dit positieve effect van het recyclen van CO₂ dus ook bij een lage huidmondjes geleidbaarheid doorgaat. Bij lichtintensiteiten tot 50 micromol PAR kan de plant dus profiteren van het licht ook al zijn de huidmondjes nog dicht. Bij hoge lichtintensiteiten neemt daarnaast de fotorespiratie toe. De Plantivity meet echter alleen de reactie, en er kan daardoor bij hogere lichtintensiteiten een overschatting van de fotosynthese plaatsvinden wanneer de huidmondjes sluiten.

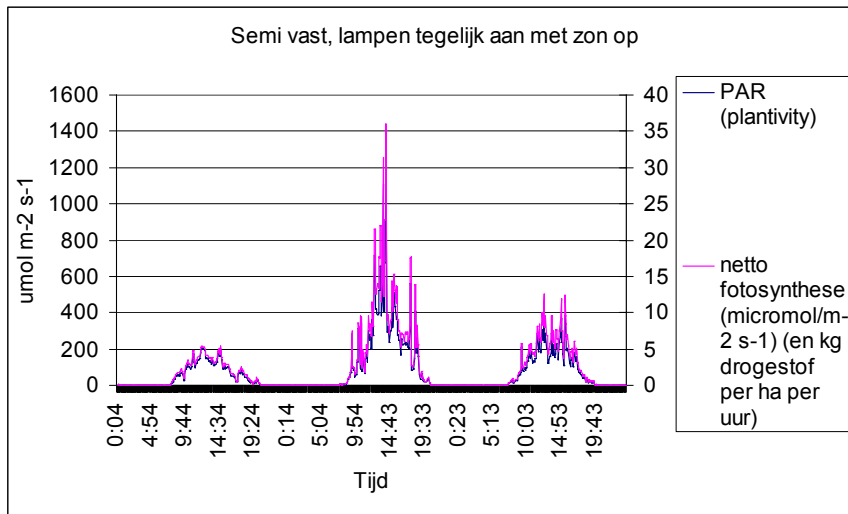


Figuur 2.8 t/m 2.11 Ochtend en avond van proeven mobiele belichting starttijd tijdens zon op en 2 uur voor zon op.

In figuur 2.8 en 2.10 zijn de ochtenden te zien van de proef waarbij de belichting aanging tijdens zon op en de proef waarbij dat 2 uur voor zon op gebeurde. De eerste vier pieken die in figuur 2.10 te zien zijn, zijn de tijden waarop de lamp overkomt terwijl het nog donker is. De PAR (en de fotosynthese!) zakken hierdoor na het passeren van de lamp weer naar nul. In figuur 2.8 is dit niet te zien omdat de lampen toen nog niet aan waren. In figuur 2.9 en 2.11 zijn de avonden weergegeven van beide proeven. Duidelijk is dat in geen van beide proeven de fotosynthese eerder inzakt. Integendeel, zolang er PAR-licht blijft, blijft er een reactie plaats vinden.

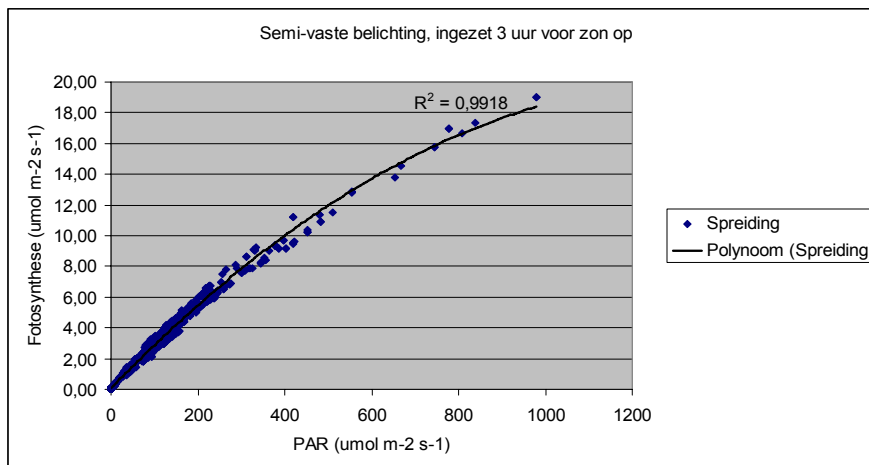
Semi-vaste belichting

In de semi-vaste belichting zijn de resultaten nagenoeg hetzelfde. Ook hier loopt de lijn van de fotosynthese zo goed als gelijk op met de lijn van de PAR. In figuur 2.8 en in Appendix 8 komt dit duidelijk naar voren.



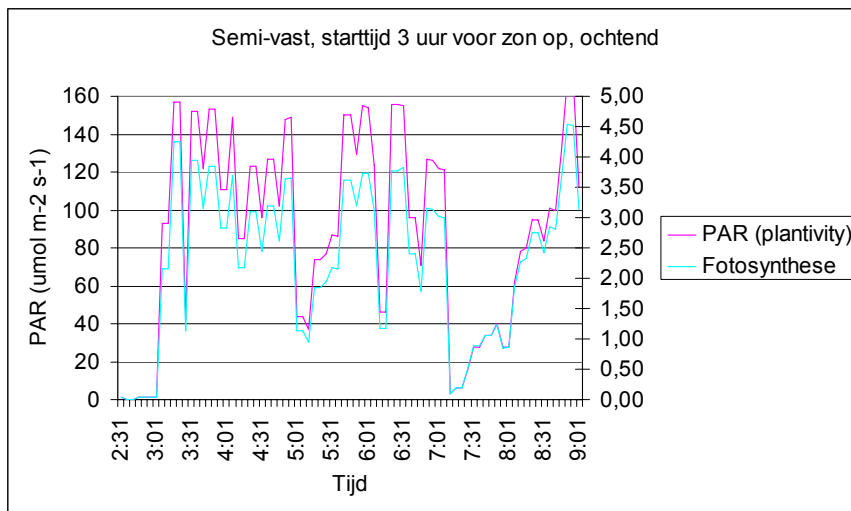
Figuur 2.8 De fotosynthese van paprika met semi-vaste belichting die ingezet is tegelijk met zon op

Ook bij de semi-vaste belichting laat de polynoom van de spreiding zien dat er een duidelijk verband is tussen de PAR en de Fotosynthese. Ook hier buigt de polynoom af naarmate de PAR-waarden hoger worden wat weer wil zeggen dat de fotosynthese dan iets minder efficiënt wordt. Dit is te zien in figuur 2.9.



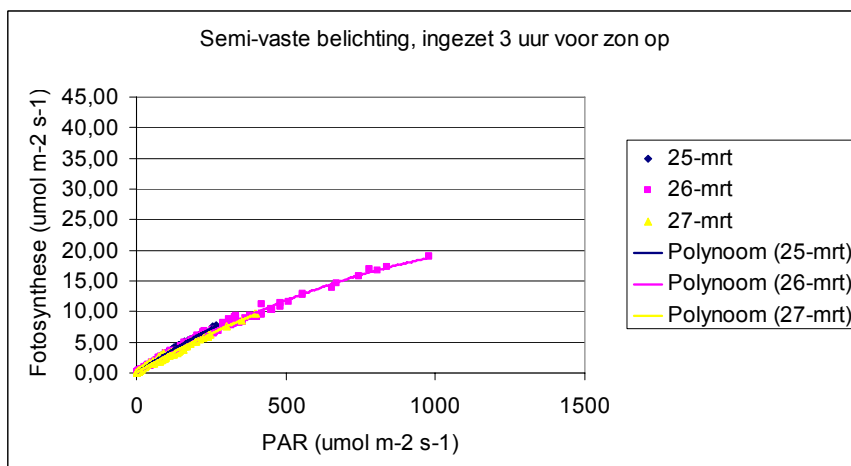
Figuur 2.9 Spreiding waarden semi-vaste belichting met starttijd 3 uur voor zon op

In figuur 2.10 is te zien dat ook wanneer de lampen van de semi-vaste belichting al 3 uur voor zon op worden aangezet, de fotosynthese de lijn van de PAR meteen volgt.

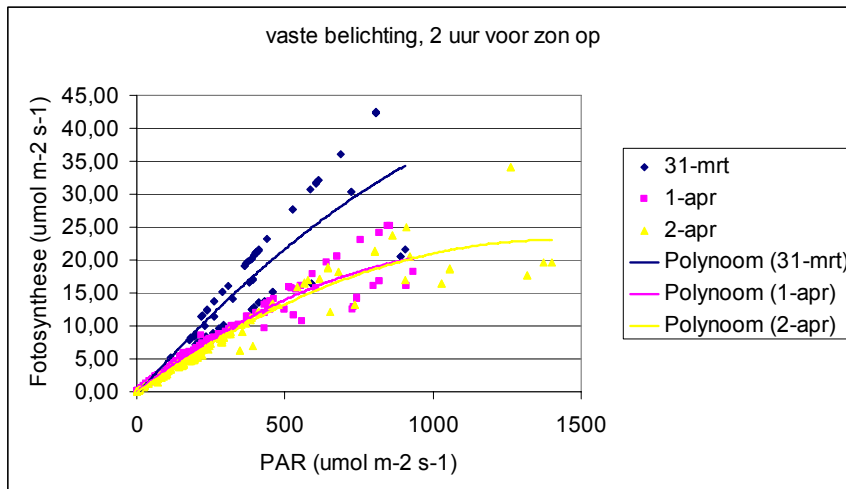


Figuur 2.10 ochtend van de proef belichting aan 3 uur voor zon op bij semi-vaste belichting

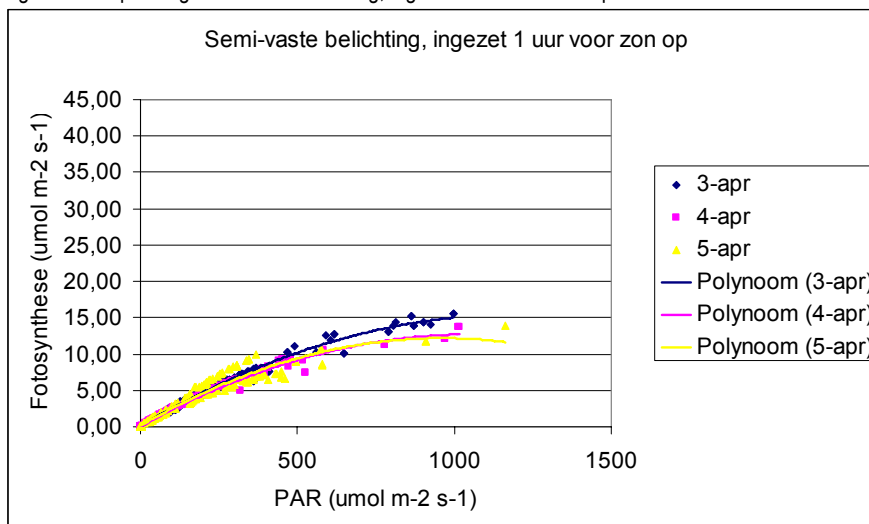
Ook van de semi-vaste belichting hebben we per proef en per dag een spreidingsgrafiek gemaakt. Zie figuur 2.11 t/m 2.13.



Figuur 2.11 Spreiding semi-vaste belichting, ingezet 3 uur voor zon op



Figuur 2.12 Spreiding semi-vaste belichting, ingezet 2 uur voor zon op



Figuur 2.13 Spreiding semi-vaste belichting, ingezet 1 uur voor zon op

Wat opvalt in de drie spreidingsgrafieken, is de eerste dag van de metingen de fotosynthese het efficiëntst verloopt en de derde dag het minst efficiënt. Dit is in het geval van de mobiele belichting ook het geval. Daarnaast valt op dat de proef waarin de belichting 2 uur voor zon op werd gestart, het meest efficiënt was in het fotosynthese proces. Wat vooral erg opvallend is, is dat alle afwijkende punten (de meetpunten ver onder de polynoom) allemaal gemeten zijn tussen 12.00u en 15.00u 's middags. Wanneer paprika in de nacht belicht wordt met een semi-vaste installatie, heeft deze dus een terugval in de fotosynthese-efficiëntie midden op de dag. Dit was in het gewas dat belicht werd met mobiele belichting niet het geval.

Gewasfotosynthese bij dagverlengend belichten

Om inzicht te krijgen in de toegevoegde waarde van de belichting te krijgen is de gewasfotosynthese berekend. Uit de gegevens van de Plantivity is de toename van de drogestof in $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{seconde}$ afgeleid. Dit is omgerekend naar toename in drogestof tijdens de uitgevoerde proeven. Vervolgens is alleen de gemiddelde toegevoegde waarde van de belichting bepaald tijdens het dagverlengende traject van iedere deelproef. Dit resulteerde in de volgende gegevens:

Mobiele belichting

Toename drogestof:		
2 uur voor zon op:	1755 $\mu\text{mol per m}^2$ (4 lamppassages)	438,75 $\mu\text{mol per m}^2$ per passage
1,5 uur voor zon op:	1517 $\mu\text{mol per m}^2$ (3 lamppassages)	505,67 $\mu\text{mol per m}^2$ per passage
1 uur voor zon op:	1343 $\mu\text{mol per m}^2$ (2 lamppassages)	671,50 $\mu\text{mol per m}^2$ per passage
0,5 uur voor zon op:	577 $\mu\text{mol per m}^2$ (1 lamppassage)	577 $\mu\text{mol per m}^2$ per passage

Naarmate de belichting later aangaat, gaat de plant efficiënter met het licht om.

Semi-vaste belichting

Toename drogestof 3 uur voor zon op:	95022 $\mu\text{mol/m}^2$	31674 $\mu\text{mol per m}^2$ per uur
Toename drogestof 2 uur voor zon op:	74573 $\mu\text{mol/m}^2$	37286,5 $\mu\text{mol per m}^2$ per uur
Toename drogestof 1 uur voor zon op:	30626 $\mu\text{mol/m}^2$	30626 $\mu\text{mol per m}^2$ per uur

Er is geen direct verband tussen de efficiëntie in fotosynthese en het aantal uren belichten voor zon op.

2.2 Effecten van verschillende plantbelasting op fotosynthese

Inleiding

Vanuit de praktijk ontstond de vraag of het oogsten van vruchten van een paprikagewas de fotosynthese zou beïnvloeden. Telers verwachten dat na het plukken van een zwaar zetsel de fotosynthese nadelig beïnvloed zou worden. Deze verwachting is gebaseerd op een voorgaande literatuurstudie waarin aangegeven wordt dat de sink-source verhouding de fotosynthese zou beïnvloeden. Vanuit die probleemstelling is op aanvraag van Productschap Tuinbouw de plantbelastingsproef opgezet door HAS KennisTransfer.

Materiaal en Methode

In deze proef is gekeken wat de effecten zijn van het oogsten van de vruchten van een plant op de fotosynthese. Er is een week gemeten op een plant met een hoge plantbelasting (klaar om van geoogst te worden en met een goede vruchtzetting). Hierna zijn alle vruchten en bloemen (alle 'sinks') verwijderd om een extreme situatie te creëren. Vervolgens is er weer een week gemeten. Hierna is een zelfde proef herhaald waarin de praktijksituatie nagebootst is. In deze tweede proef zijn alleen de volgroeide vruchten verwijderd.

Extreme situatie:

6 dagen meten op een plant met hoge belasting, op de zevende dag alle vruchten en bloemen weghalen en het blad in de Plantivity wisselen, daarna weer 6 dagen meten.

Praktijksituatie:

6 dagen meten op een plant met hoge belasting, op de zevende dag alle rijpe vruchten weghalen en het blad in de Plantivity wisselen, daarna weer 6 dagen meten.

Er gekozen om te werken met de Growlab⁷ in combinatie met de Plantivity meter⁸. Deze keuze is gemaakt omdat de proeven dan op afstand te volgen zijn.

Na 6 dagen meten aan een blad is het blad in de Plantivity vervangen. Dit is gedaan omdat de fotosynthese van een blad verandert naarmate het blad ouder wordt. Ook hebben de lichtpulsjes die de Plantivity uitzendt op het blad een licht destructief effect. Uit ervaringen met de Plantivity tijdens de indicatieve proeven blijkt dat als er langer dan een week aan een blad van een paprikaplant gemeten wordt er zich afwijkingen voordoen in vorm van gele vlekken op het blad. Het is bij het wisselen van een blad tijdens een proef wel van belang dat er een vergelijkbaar representatief blad gekozen wordt van dezelfde plant.

De metingen met de Growlab zijn verricht met een frequentie van vijf minuten. Op deze wijze ontstaan er voldoende meetmomenten.

Korte opsomming van de gebruikte apparatuur voor de mobiele en semi-vaste belichtingsproef:

Growlab monitoring apparatuur
Growlab Plantivity
Priva Intégro

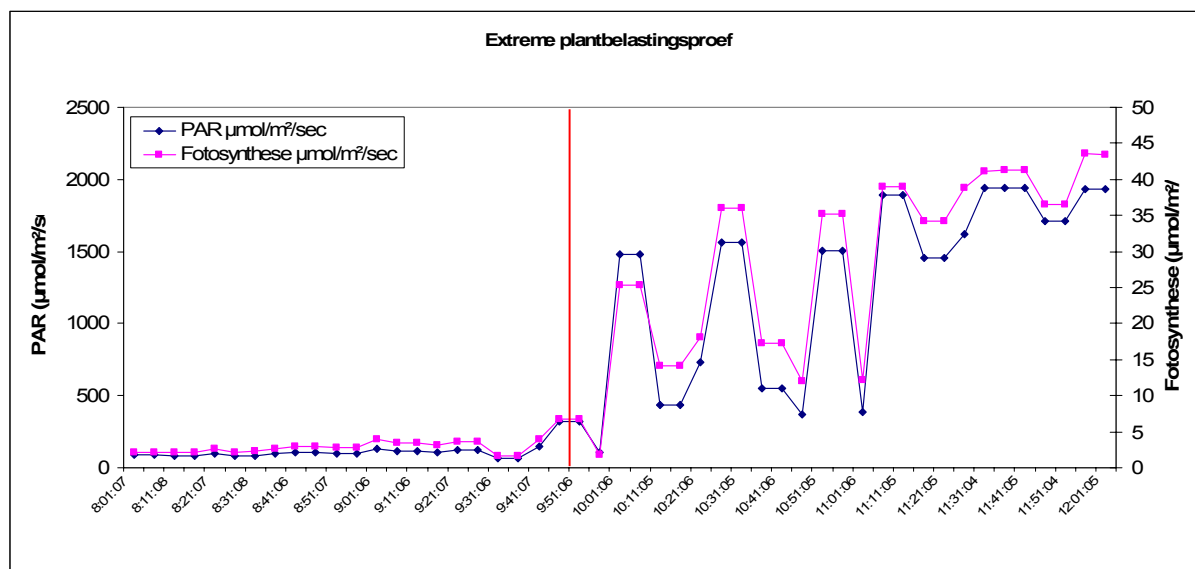
Resultaat en discussie

Extreme situatie

De eerst uitgevoerde plantbelastingsdeelproef, was de nabootsing van de extreme situatie waarbij alle vruchten en bloemen (=sinks) verwijderd zijn. In figuur 2.14 is het dagverloop van de PAR-licht en de fotosynthese grafisch weergegeven. De verticale lijn geeft het moment aan waarop alle sinks zijn verwijderd.

⁷ Zie Appendix 5 Materiaal

⁸ Zie Appendix 5 Materiaal

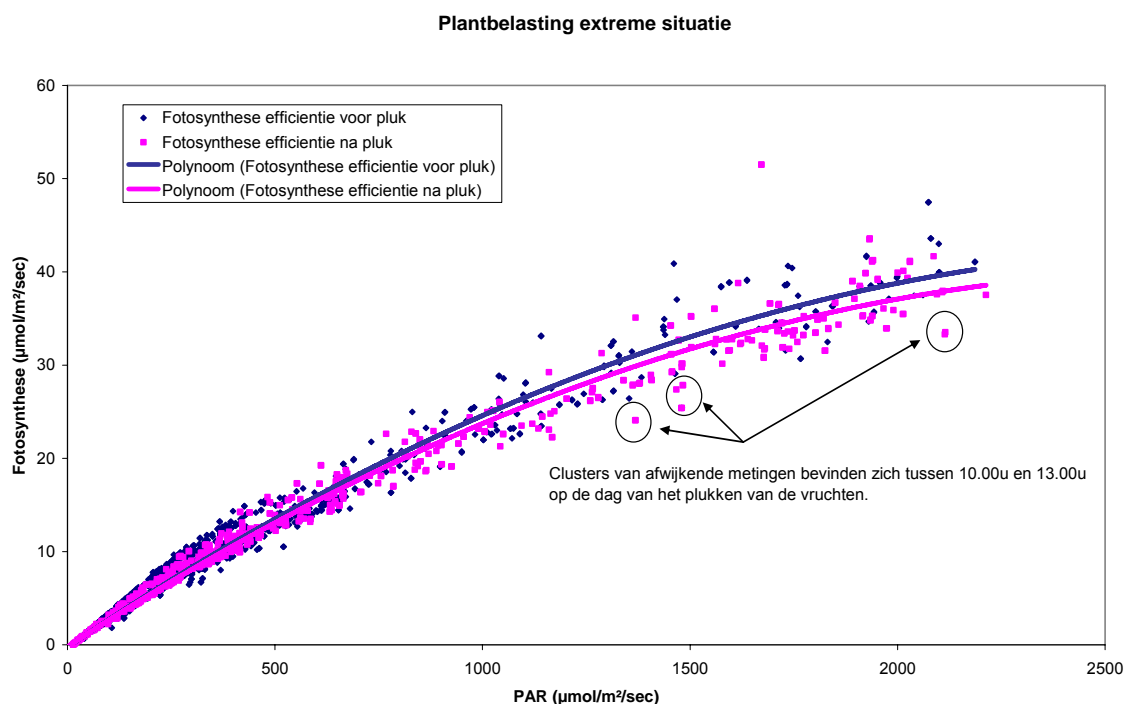


Figuur 2.14: Plantbelastingsproef dagverloop

De vruchten zijn om 09.55u in de ochtend geoogst, 10 minuten na het verwijderen van de sinks (vruchten) brak de zon door en gingen de PAR waarden flink omhoog. Tijdens de eerste instralingpiek lijkt de fotosynthese iets achter te blijven. De berekende fotosynthese efficiëntie⁹ bij de eerste piek om 10.11u is: $19 \cdot 10^{-3}$ µmol fotosynthese per µmol PAR. Tijdens de tweede piek om 10.31u is de berekende efficiëntie $21 \cdot 10^{-3}$ µmol fotosynthese per µmol PAR. Het verschil tussen beide pieken lijkt grafisch gezien groot maar als men naar efficiëntie kijkt dan is het verschil klein. Ook is de afwijking in efficiëntie niet terug te vinden in de opeenvolgende metingen.

Vervolgens is een spreiding gemaakt van de relatie tussen PAR en het fotosynthese van de week voor het verwijderen van de sinks en de week na het verwijderen van de sinks. Deze spreiding is grafisch weergegeven in figuur 2.15. Er wordt gebruik gemaakt van spreidingsgrafieken omdat hier eenvoudig de efficiëntie van de fotosynthese uit afgelezen kan worden.

⁹ Berekende fotosynthese efficiëntie: Fotosynthese in µmol gedeeld door beschikbare PAR in µmol



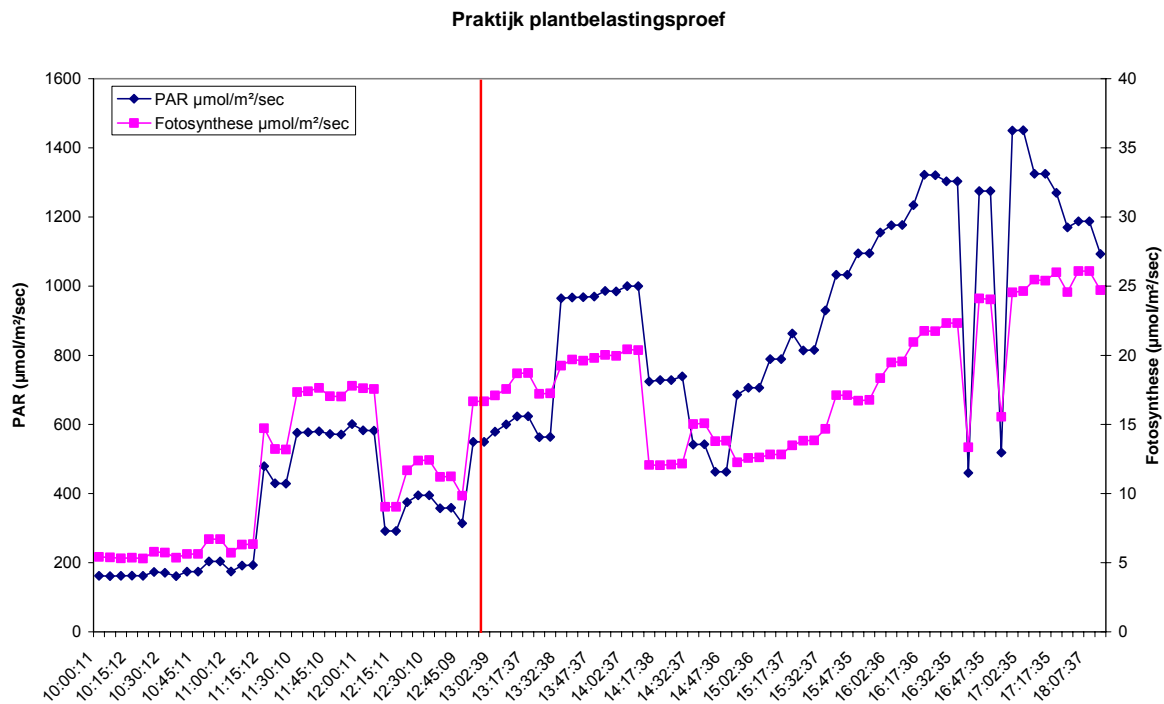
Figuur 2.15: Plantbelasting extreme situatie

De blauwe lijn (polynoom¹⁰) geeft de efficiëntie van de fotosynthese weer van de week voor het verwijderen van de sinks, de paarse lijn geeft de efficiëntie van de week na het verwijderen weer. In de figuur is duidelijk zichtbaar dat de efficiëntie gedurende de week voor het verwijderen van de sinks hoger was. In procenten uitgedrukt nam de efficiëntie van de fotosynthese met 4% af. De omcirkelde clusters met meetpunten bevinden zich tussen 10.00u en 13.00u op de dag van het verwijderen van de sinks. De overige meetpunten geregistreerd tussen 10.00u en 13.00u bevinden zich allemaal aan de onderkant van de paarse lijn. Hieruit kan afgeleid worden dat de plant tijdens de eerste 3 uren na het verwijderen van de sinks een verlaagde fotosynthese efficiëntie heeft. In de loop van de dag herstelt de fotosynthese efficiëntie weer.

Praktijk situatie

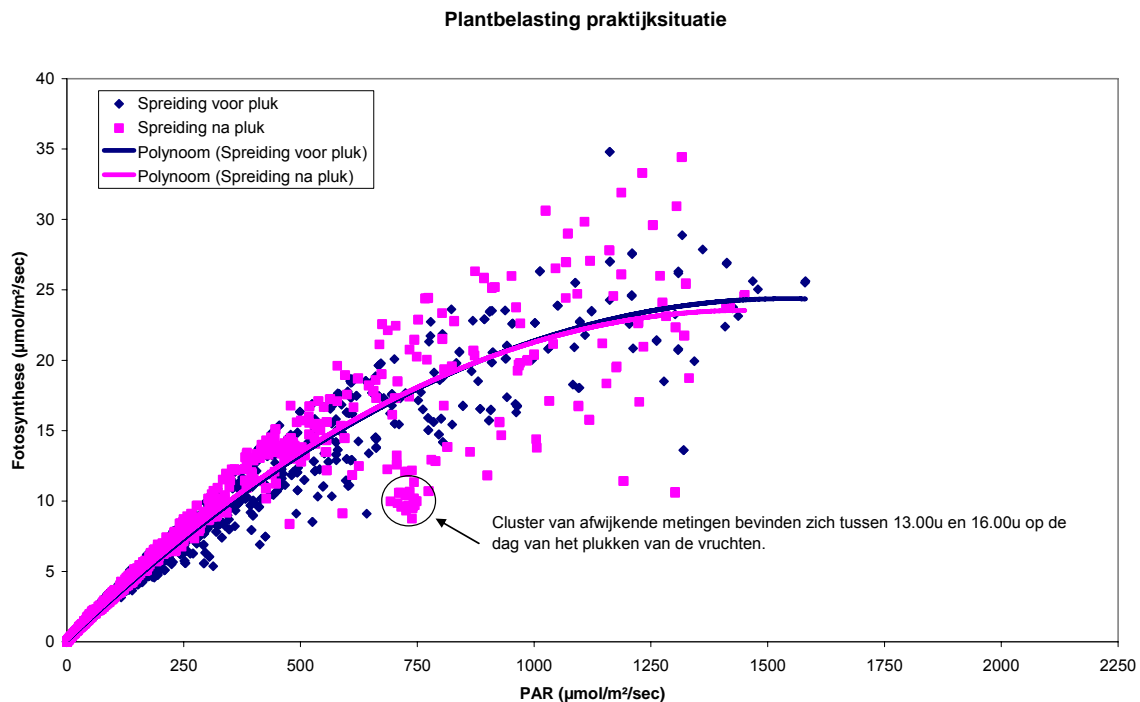
De tweede plantbelastingsdeelproef, was de nabootsing van de praktijk situatie waarbij alleen de volgroeide vruchten (=sinks) verwijderd zijn. In figuur 2.16 is het dagverloop van de PAR-licht en de fotosynthese grafisch weergegeven. De verticale lijn geeft het moment aan waarop alle sinks zijn verwijderd.

¹⁰ Polynoom: trendlijn van de verschillende meetpunten



Figuur 2.16: Dagverloop PAR en fotosynthese praktijk situatie

De vruchten zijn om 12.55u in de middag geoogst, 30 minuten na het verwijderen van de sinks brak de zon door en gingen de PAR waarden flink omhoog. Tijdens deze instralingpiek blijft de fotosynthese achter. De berekende fotosynthese efficiëntie (fotosynthese in μmol gedeeld door beschikbare PAR in μmol) bij de piek om 13.30u is: $20 \cdot 10^{-3}$ μmol fotosynthese per μmol PAR. Tijdens een voorgaande piek om 12.00u is de berekende efficiëntie $31 \cdot 10^{-3}$ μmol fotosynthese per μmol PAR. Het verschil tussen beide pieken is grafisch gezien duidelijk zichtbaar. Ook het verschil in de berekende efficiëntie is aanzienlijk. De afname in efficiëntie herstelde zich na 18.00u, op de navolgende meetdagen is geen afname in efficiëntie meer waargenomen.



Figuur 2.17: Plantbelasting praktijk situatie

De blauwe lijn geeft de efficiëntie van de fotosynthese weer van de week voor het verwijderen van de sinks, de paarse lijn geeft de efficiëntie van de week na het verwijderen weer. In de figuur is zichtbaar dat de efficiëntie gedurende de week voor het verwijderen van de sinks, in het bijzonder bij de hogere lichtintensiteiten, hoger was. In procenten uitgedrukt nam de efficiëntie van de fotosynthese met 2% af. De totale afname van de efficiëntie is kleiner dan bij de extreme plantbelastingsproef. De omcirkelde cluster met meetpunten bevindt zich tussen 13.00u en 18.00u op de dag van het verwijderen van de sinks. Hieruit kan afgeleid worden dat de plant tijdens de eerste 5 uren na het verwijderen van de sinks een verlaagde fotosynthese efficiëntie heeft. In de loop van de dag bij een afname van de lichtintensiteit herstelt de fotosynthese efficiëntie weer.

3 Optimaal inzetten van mobiele belichting

3.1 Effecten verschillende snelheden van mobiele belichting

Inleiding

In dit hoofdstuk worden de effecten van verschillende beweegsnelheden besproken. Hiervoor zijn metingen gedaan naar fotosynthese en plantactiviteit bij verschillende snelheden van de mobiele belichting. De snelheid van de installatie die in de praktijk gehanteerd wordt varieert van 27 tot 32 meter per uur. Er is niet bekend waarop deze snelheid is gebaseerd. Tijdens de proef is een uitgangssnelheid van 30 meter per uur gehanteerd.

Materiaal en Methode

De proef 'optimale snelheid van mobiele belichting' is de eerste proef die uitgevoerd is op de proeftuin van de HAS Den Bosch. Ook is op deze locatie voor het eerst gebruik gemaakt van de Mini-Growlab¹¹ gekoppeld aan twee Plantivity's. Aanvullende gegevens zijn met behulp van de Priva Intégro klimaatcomputer verzameld. De Plantivity's zullen onder twee verschillende lampen gezet worden. Wel is er in acht genomen dat vergelijkbare bladeren gebruikt zijn tijdens de proef. Een Plantivity heeft continu gemeten onder mobiele belichting met een snelheid van 30 meter per uur als referentiepunt. Met de installatie boven de tweede Plantivity meter zijn de snelheden gevarieerd.

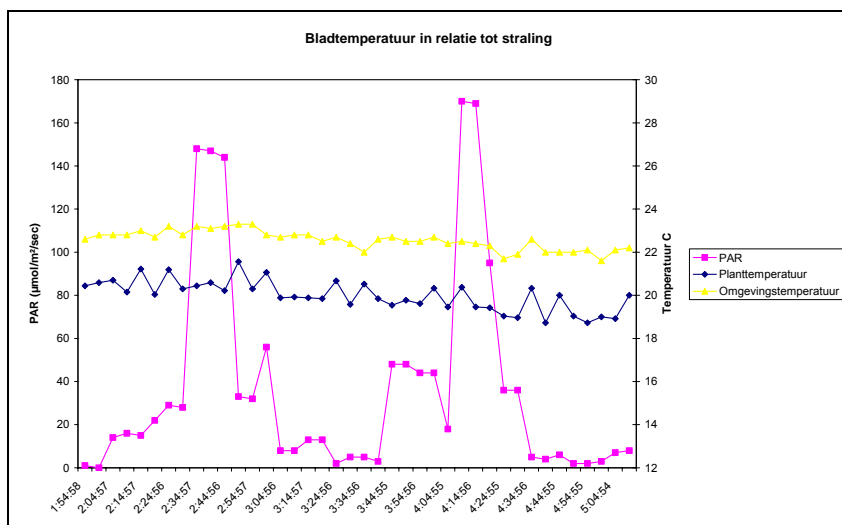
	Plantivity 1	Plantivity 2
1	1 dag meten, snelheid van 50 meter per uur	Controle, snelheid van 30 meter per uur
2	1 dag meten, snelheid van 40 meter per uur	Controle, snelheid van 30 meter per uur
3	1 dag meten, snelheid van 30 meter per uur (controle)	Controle, snelheid van 30 meter per uur
4	1 dag meten, snelheid van 20 meter per uur	Controle, snelheid van 30 meter per uur
5	1 dag meten, snelheid van 10 meter per uur	Controle, snelheid van 30 meter per uur

Door het volgen van de fotosynthese en de bladtemperatuur bij de verschillende snelheden, en de verschillen tussen de twee Plantivity's, is er bepaald wat de optimale frequentie is van de lamppassages. Hieruit is de optimale snelheid van de installatie afgeleid.

Resultaat en Discussie

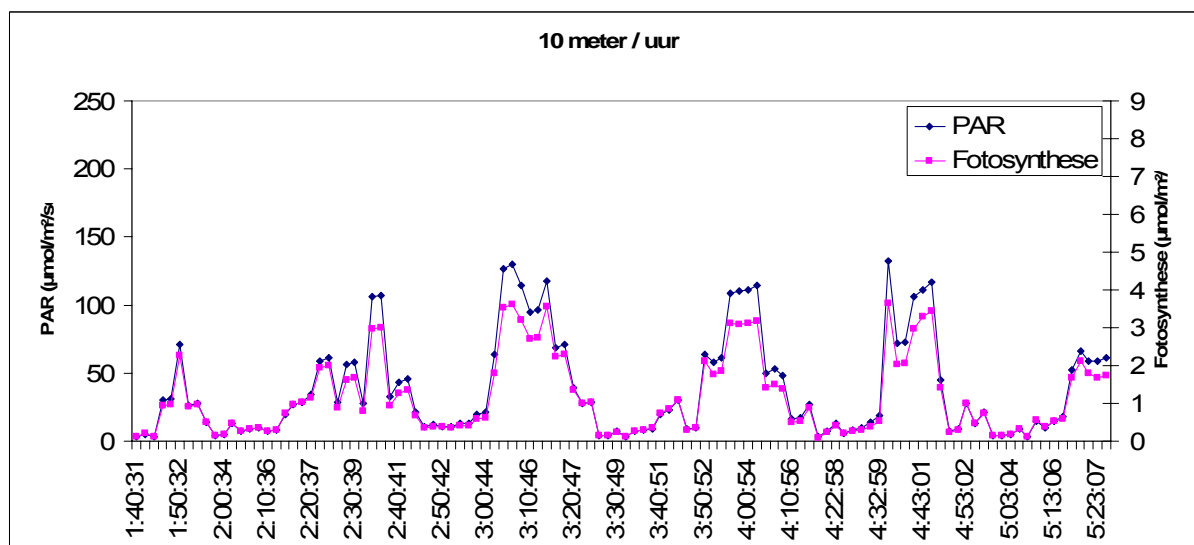
Tijdens de proef waarbij de verschillende beweegsnelheden tegen elkaar uitgezet zijn is de plant met een aantal meters gevolgd. De gebruikte meters zijn de planttemperatuurmeter en de Plantivity. Met de planttemperatuurmeter is gekeken of er invloeden zijn geweest op de planttemperatuur tijdens de lamppassages bij verschillende snelheden. In figuur 3.1 is een voorbeeld van een van deze grafieken weergegeven. Al deze tabellen laten hetzelfde beeld zien, namelijk dat een korte stralingspiek, veroorzaakt door een lamppassage van het mobiele systeem, geen invloed heeft op de planttemperatuur. Zodra echter afgeweken wordt van de standaard hoogte van 1,2 meter boven de top van het gewas wordt wel een reactie gezien, dit wordt verder toegelicht in paragraaf 3.2 De verschillende hoogtes bij mobiele belichting. Er kan dus geconcludeerd worden dat een lamppassage met een stralingspiek van maximaal 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$ PAR bij een tijdsduur van maximaal 10 minuten geen meetbare afwijking geeft wat betreft de planttemperatuur.

¹¹ Zie Appendix 5 Materiaal

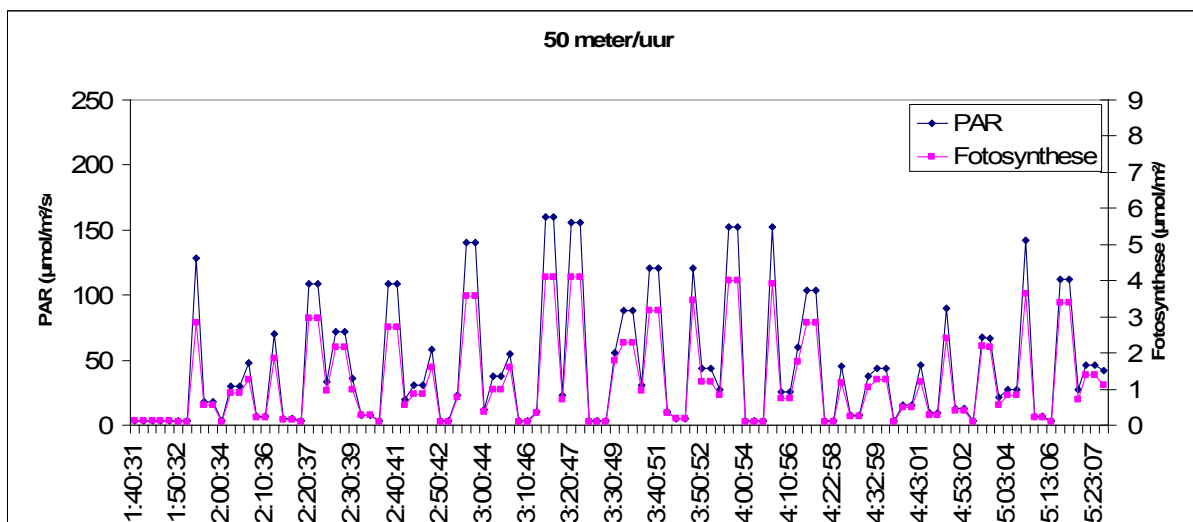


Figuur 3.1 Bladtemperatuur in relatie tot straling

Met behulp van de Plantivity zijn de effecten van de verschillende snelheden op de fotosynthese tegen elkaar uitgezet. Er is gekeken naar de snelheden 10, 20, 30, 40 en 50 meter per uur. In Figuur 3.2 en 3.3 zijn respectievelijk de snelheden 10 en 50 meter per uur weergegeven. In beide figuren is de fotosynthese tegen de PAR uitgezet.



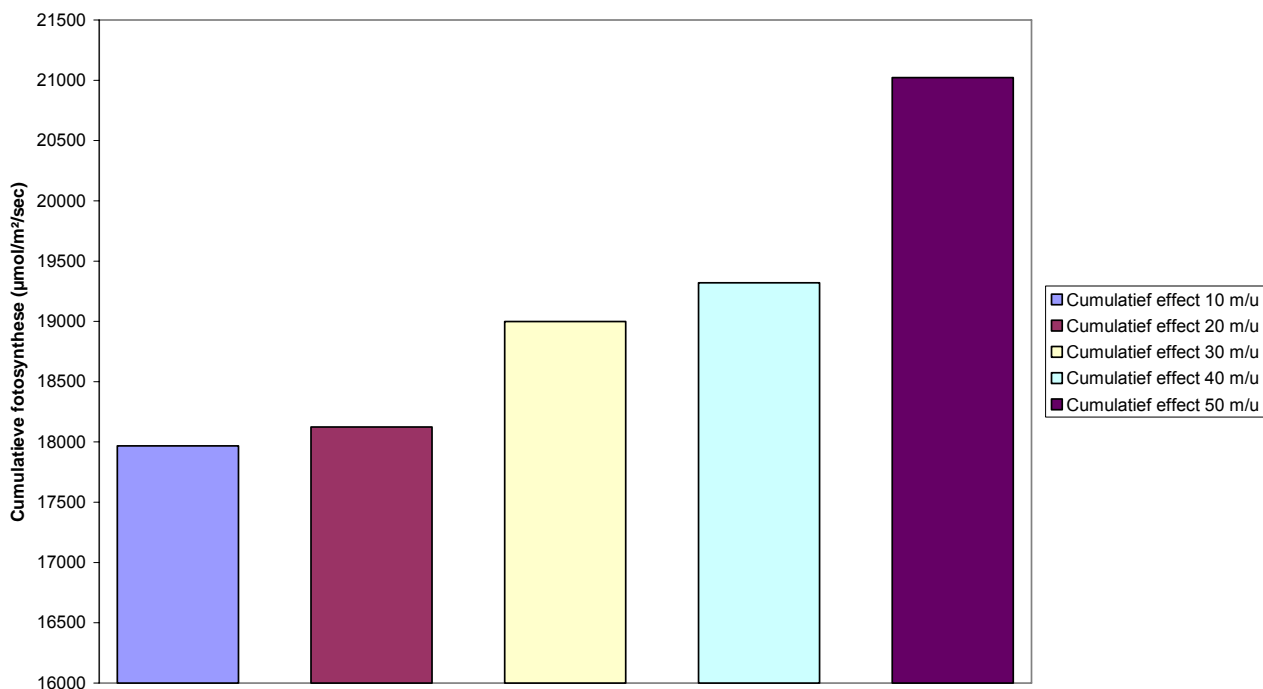
Figuur 3.2 Beweegsnelheid mobiele installatie 10 meter per uur



Figuur 3.3 Beweegsnelheid mobiele installatie 50 meter per uur

Het is in beide figuren duidelijk zichtbaar dat de fotosynthese direct reageert op het beschikbare PAR licht. Naarmate de lampen langzamer lopen, zijn de pieken in de fotosyntheseactiviteit breder. De grafieken van de overige snelheden laten dit ook minder zien naarmate de snelheid oploopt. Omdat aan de grafische weergave geen duidelijke conclusie verbonden kan worden wat de totale drogestofproductie betreft, is het cumulatieve effect van de lamp passages bepaald. Door de berekende fotosynthese gedurende 4 uur belichten in de nacht, bij verschillende snelheden, tegen elkaar uit te zetten is wel een duidelijker beeld gekregen van het cumulatieve effect van de verschillende snelheden. In figuur 3.4 zijn de verschillen weergegeven.

Proef verschillende snelheden



Figuur 3.4 Cumulatieve verschillen tussen beweegsnelheden

De cumulatieve verschillen tussen de onderlinge snelheden lijken grafisch gezien groot, het verschil is echter vrij klein als men naar de waarden kijkt. Procentueel uitgedrukt, er van uitgaand dat 50 meter per uur 100% is, krijgt men de volgende vergelijking:

Snelheid	Effect
50 meter per uur	100%
40 meter per uur	93%
30 meter per uur	91%
20 meter per uur	89%
10 meter per uur	87%

Tabel 3.1 Effect verschillende snelheden

Ondanks dat de cumulatieve verschillen niet zeer groot zijn kan er wel een duidelijke conclusie getrokken worden. Er is een duidelijke stijgende lijn zichtbaar wat betreft het effect van de verschillende snelheden. Er wordt verwacht dat de verschillen veroorzaakt worden door de licht-donker reactie van de plant op de passerende lampen. Bij hogere snelheden, en dus frequenter terug keren van de lamp, lijkt de plant actiever te blijven. Of toepassing van hogere snelheden dan de standaard 30 meter per uur plantfysiologische afwijkingen tot gevolg hebben is bij deze proef niet onderzocht.

3.2 Optimale hoogte van mobiele belichting

Inleiding

In de praktijk wordt een standaard afstand van 1,20m. tot de top van het gewas gehanteerd. Deze afstand is gebaseerd op een goede lichtverdeling van de assimilatielampen als deze een rijenafstand van 6,40m. hebben. In deze proef zal vanuit het oogpunt van optimale fotosynthese in het gewas de hoogte tot de top benaderd worden.

Materiaal en Methode

Met behulp van de LiCor is de relatie tussen lichtintensiteit en fotosynthese op verschillende bladetages bij paprika bepaald. Hieruit is vastgesteld wat de fotosynthese efficiëntie van de verschillende bladetages is. Door middel van PAR-lichtmetingen onder een mobiele en semi-vaste belichtingsinstallatie zijn twee profielen opgesteld. Uit deze profielen is waargenomen hoeveel PAR-licht de verschillende bladeren ontvangen onder de desbetreffende belichtingsinstallatie.

Tijdens de fotosynthese metingen is opnieuw gebruik gemaakt van de Mini-Growlab gekoppeld aan twee Plantivity's. Aanvullende gegevens zijn met behulp van de Priva Intégro klimaatcomputer verzameld. De twee Plantivity's zijn op verschillende hoogtes in het gewas ingezet. Dit is gedaan om een beeld te krijgen van de veranderingen in licht doordringing bij de verschillende hoogtes van de mobiele installatie.

Ook is er gebruik gemaakt van een PPF-meter. Deze meter meet de hoeveelheid lichtfotonen in het PAR-gebied. Met behulp van deze meter is de lichtverdeling over de top van het gewas en 50 cm. onder de top van het gewas in beeld gebracht.

De optimale hoogte van de installatie boven het paprikagewas is benaderd door middel van het meten van de fotosynthese en plantactiviteit bij verschillende hoogtes van de installatie. De afstand van het gewas tot de installatie is in de praktijk 1,20m.

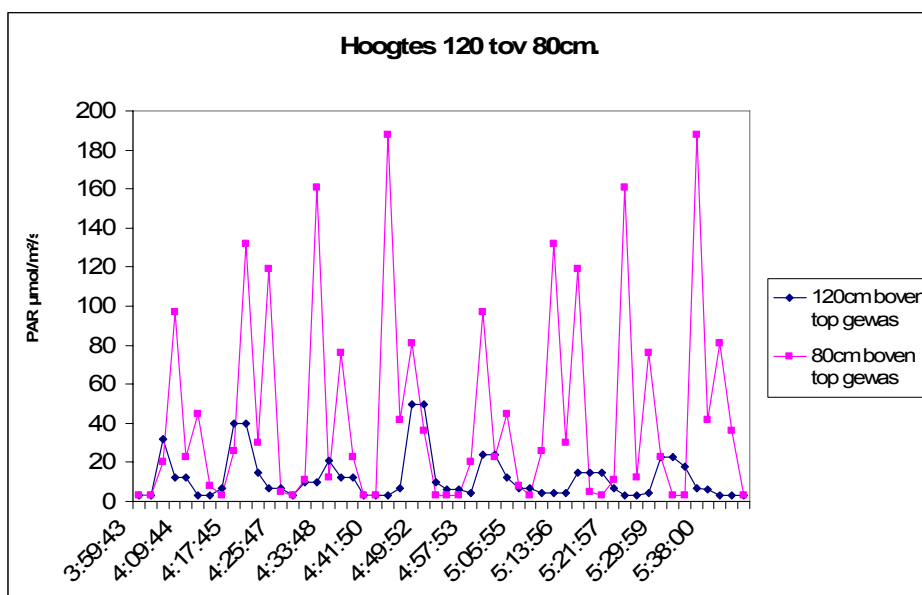
	Plantivity 1	Plantivity 2
1 dag meten, installatie 80 cm boven het gewas	Top gewas	20 cm onder de top
1 dag meten, installatie 100 cm boven het gewas	Top gewas	20 cm onder de top
1 dag meten, installatie 120 cm boven het gewas	Top gewas	20 cm onder de top
1 dag meten, installatie 140 cm boven het gewas	Top gewas	20 cm onder de top
1 dag meten, installatie 160 cm boven het gewas	Top gewas	20 cm onder de top

Tabel 3.3 Proefopzet verschillende hoogtes

Door het meten van de fotosynthese en het beschikbare PAR-licht bij bladeren op verschillende hoogtes in het gewas en bij verschillende afstanden van de lamp tot de top van het gewas is vastgesteld wat de juiste hoogte is van de installatie. Omdat de hoogte van de installatie bepaalt hoe de lichtverdeling over de top van het gewas is dient hier rekening mee gehouden te worden. Huidige installaties worden standaard op een afstand van 1,20m van de top van het gewas geplaatst.

Resultaat en discussie

Bij de analyse van de optimale hoogte is voornamelijk gekeken naar de lichtverdeling in het gewas. De metingen zijn uitgevoerd met de interne PAR-sensor van de Plantivity. In onderstaande figuur 3.5 is het PAR verloop gedurende de nacht zichtbaar gemaakt.



Figuur 3.5: Verschillende hoogtes 120 tov 80cm.

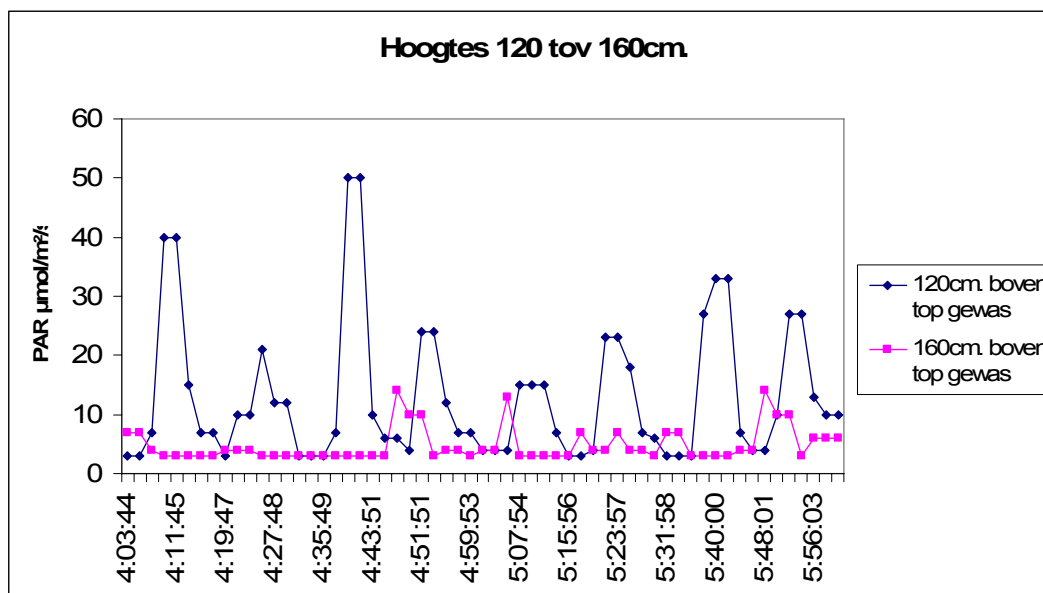
In figuur 3.5 is duidelijk het grote verschil zichtbaar in de hoogte van de pieken die veroorzaakt worden door de lamp passages. De metingen zijn verricht in de gewasrij onder de lamp. Hoe de verdeling van de onderlinge hoogtes is over alle rijen is visueel gemaakt in de figuren 3.7 tot en met 3.9. De pieken, veroorzaakt door de installatie

op 80 cm hoogte boven het gewas bereiken waarden tot 180 μmol PAR. In tegenstelling tot de hoogte van 120 cm boven het gewas waarbij de maximale piek maar 50 μmol PAR bedraagt.

Wanneer er in figuur 3.6 gekeken wordt naar de verschillen die veroorzaakt worden door de installatie van 120cm naar 160cm boven de kop van het gewas te verplaatsen kan men zien dat de pieken duidelijk afnemen. Bij 160cm boven de kop van het gewas zijn er onduidelijk pieken zichtbaar. Naast elkaar hangende lampen beïnvloeden de lichtverdeling wel zodanig dat er bijna continu een lage straling voor de plant beschikbaar is. Deze continue straling bedraagt ongeveer 10 μmol PAR, en is te laag om de plant aan te zetten tot fotosynthese.

Er bleek geen verschil te zijn op het gebied van fotosynthese-efficiëntie bij verschillende hoogtes. Het verschil tussen de pieken van 180 μmol PAR bij 80cm boven gewas, 50 μmol PAR bij 120cm boven gewas en 15 μmol PAR bij 160 cm boven gewas is niet zodanig groot dat er verschillen veroorzaakt zijn in efficiëntie. Hierbij moet wel als kanttekening geplaatst worden dat de proeven niet lang genoeg duurden om hier harde conclusies over te trekken.

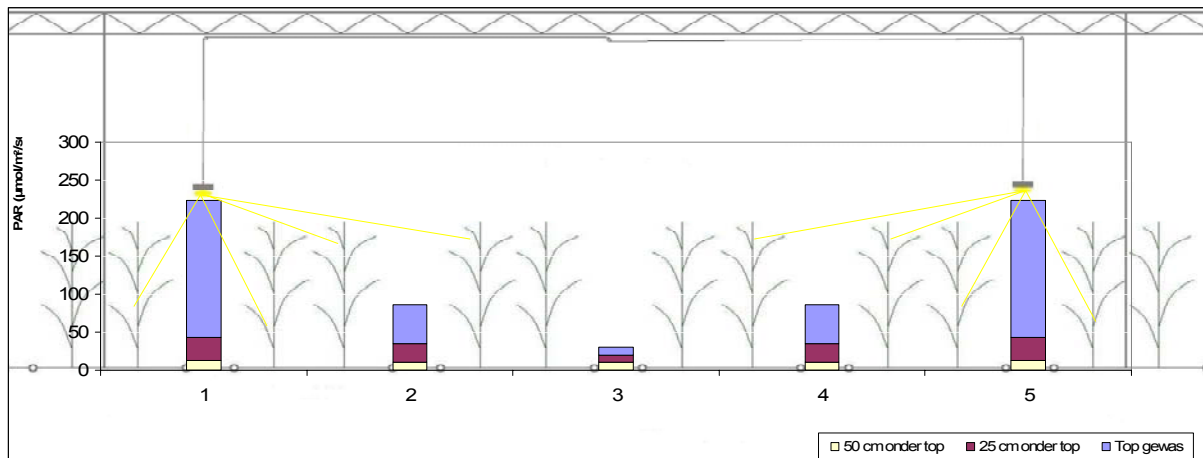
Bij de verschillende hoogtes variërend van 80 tot 160cm boven de kop van het gewas is geen aanwijsbaar verschil gezien wat betreft de beïnvloeding van de planttemperatuur door de lamppassages.



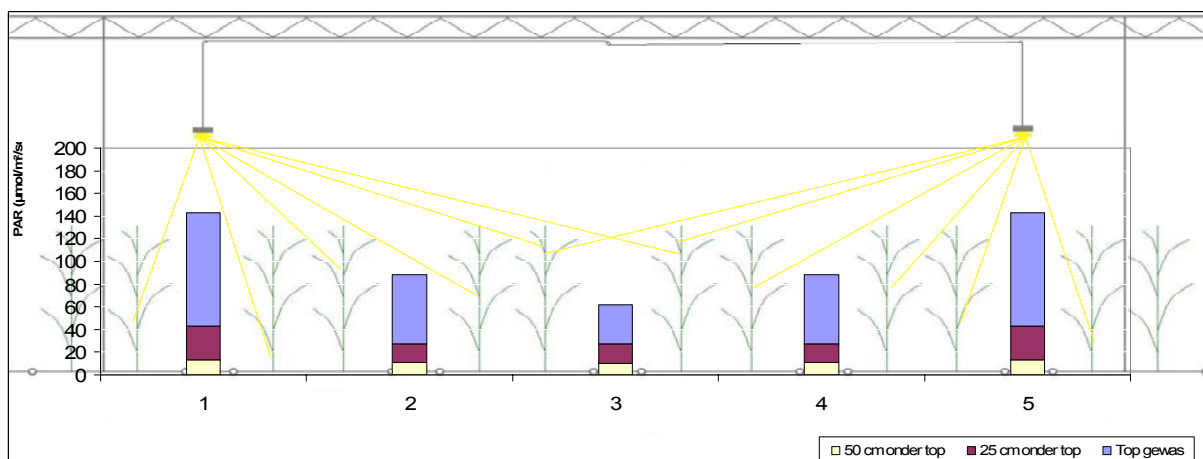
Figuur 3.6: Verschillende hoogtes 120 tov 160 cm.

Met behulp van een aparte PAR meter is de lichtverdeling in het gewas gemeten bij verschillende hoogtes. Van de verzamelde gegevens zijn grafische weergaven gemaakt, deze weergaven bevinden zich in figuren 3.7 t/m 3.9.

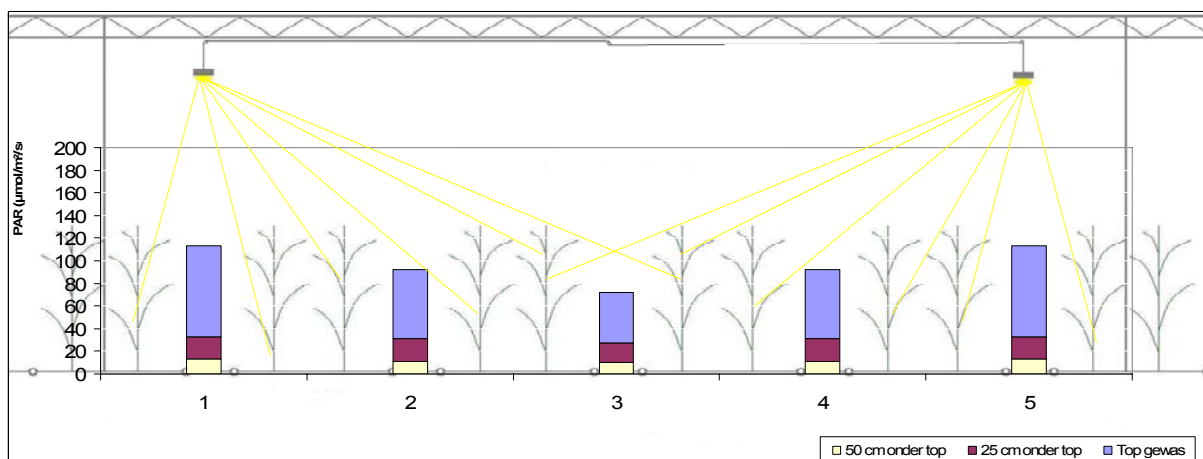
De effecten van assimilatiebelichting op de fotosynthese van paprika



Figuur 3.7: Grafische weergave 80 cm boven top gewas.



Figuur 3.8: Grafische weergave 120cm. boven top gewas.



Figuur 3.9: Grafische weergave 160 cm boven top gewas.

Uit bovenstaande figuren blijkt dat de lichtverdeling in het geval van de installatie 80 cm boven de top van het gewas het minst optimaal is. 120 cm boven de top van het gewas lijkt grafisch gezien de tweede optie, 160 cm boven de top van het gewas lijkt de beste lichtverdeling te geven. Bij 160 cm boven de top van het gewas is de lichtverdeling ook het meest optimaal maar de lichtdoordringing in het gewas is beduidend lager dan bij 120cm

boven de top van het gewas. De lagere lichtdoordringing resulteert in meer gewasreflectie waardoor de som van het ontvangen PAR-licht lager is dan bij 120cm tot de top van het gewas. Als de lichtsommen bepaald worden voor alle rijen die zich onder en tussen twee lamprijen bevinden (weergegeven met de kolommen 1 tot en met 5 in de figuren 3.7, 3.8 en 3.9) dan kan geconcludeerd worden dat de totale som ontvangen PAR-licht bij de afstand 120cm tot de top van het gewas het grootste is.

4 Extreme proeven

4.1 Proef 24 uur belichten

Inleiding

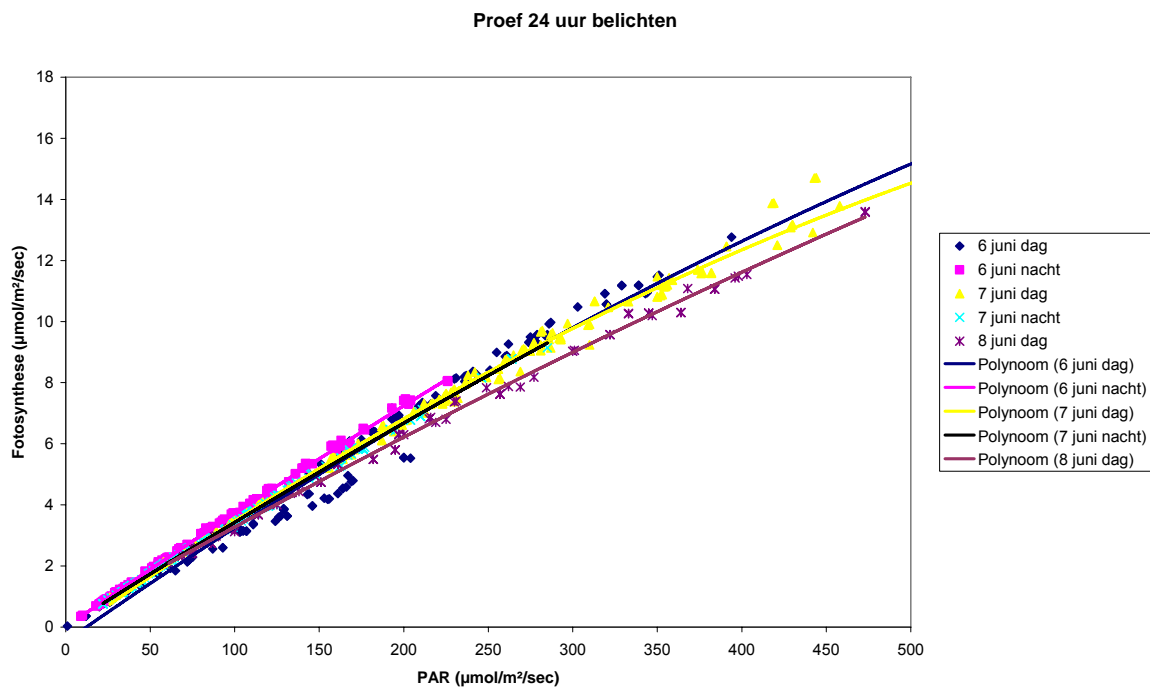
Om de invloeden van 24-uurs belichting op de fotosynthese van de paprika in beeld te brengen is een korte proef opgezet. Er wordt uitsluitend gekeken naar de invloed van langdurig belichten op de fotosynthese en niet op plantfysiologische afwijkingen.

Materiaal en methode

De proef is opgezet in de proeftuin van de HAS Den Bosch. Er is gemeten aan een jong en sterk groeiend gewas dat tot een hoge lichtintensiteit efficiënt fotosynthese kan plegen. Tijdens de proef zijn de planten continu belicht met een stilstaande lamp met een capaciteit van 9000 lux.

Tijdens de metingen is gebruik gemaakt van de Growlab monitoring apparatuur. Gedurende de tijd dat de proef plaats heeft gevonden zijn in de afdeling constant dezelfde ingestelde waarde voor alle controleerbare factoren gehanteerd (CO₂, druppelbeurten, temperatuur en de belichtingsintensiteit gedurende de nacht).

Resultaat en discussie



Figuur 4.1 Spreiding 24 uur belichten paprika

In figuur 4.1 is de spreiding van de fotosynthese ten opzichte van het PAR weergegeven. De lijnen die hieruit afgeleid zijn geven de gemiddelde lijn weer van de meetmomenten. Als men kijkt naar de efficiëntie gedurende de dag dan is het duidelijk zichtbaar dat tijdens de eerste dag van de proef de hoogste efficiëntie gemeten is. Daarop volgt de tweede dag, en als laatste de derde meetdag. Als men kijkt naar het verloop van de efficiëntie gedurende de nachten dat ziet men dat de in eerste nacht de hoogste efficiëntie plaats vindt. De tweede nacht heeft een lagere efficiëntie maar doordat er geen meetpunten zijn bij hogere instralingen zoals gedurende de dag, zijn de verschillen gering. De afname van de efficiëntie is gering. Verwacht wordt wel dat deze trend zich voort zet als er nog langer continue belicht zou worden. Tevens is uit voorgaande onderzoeken gebleken dat 24 uur belichten bij paprika plantfysiologische afwijkingen oplevert. Ook wat de fotosynthese betreft is er een duidelijke negatieve trend zichtbaar bij continue belichting in het paprika gewas.

4.2 Destructieve proef

Inleiding

Tijdens het werken met de Growlab Plantivity werd de ervaring opgedaan dat de meters in stress situaties van de plant verkeerde fotosynthesewaarden weergaven. Deze afwijking wordt veroorzaakt doordat de verhouding fotosynthese/fotorespiratie verandert. De Plantivity geeft een betrouwbaar beeld van de fotosynthese gedurende de tijd dat de plant optimaal kan groeien. Dat wil zeggen dat licht, CO₂, water en temperatuur in de juiste hoeveelheden aanwezig moeten zijn. Echter als er zich een stress situatie voordoet in de plant dan wijkt de meter af. Door middel van deze destructieve proef is deze afwijking benaderd.

Er is een sterk vermoeden dat de Plantivity meting aan het eind van elke dag ook een afwijkend beeld geeft wat betreft de fotosynthese. Tijdens proeven bij Sweetpoint BV zijn metingen verzameld met de Plantivity, gedurende dagen met hoge temperaturen en instraling geeft de Plantivity een bijna onverminderde fotosynthese efficiëntie weer. Uit waarnemingen aan het gewas komt echter een ander beeld naar voren. Vanaf 15.00u 's middags, bij een kasttemperatuur van 30 graden Celsius en een instraling van $>900 \mu\text{mol PAR}$ geeft het gewas een ander beeld. De bladstand van het gewas verandert, de bladeren nemen een gekantelde positie in van 45 tot 90 graden en bladeren in de top van het gewas gaan slap hangen door afname van de turgor. Verwacht wordt dat in deze situatie de verhouding fotosynthese/fotorespiratie in het gewas veranderd.

Materiaal en methode

De proef is opgezet in de proeftuin van de HAS Den Bosch. Er is een sterk groeiende jonge plant van de steenwolmat afgehaald en het steenwol kluitje is uitgeknepen zodat er weinig tot geen vocht meer beschikbaar was voor de plant. Vervolgens is de plant ingeklemd in een statief (zie figuur x.1). Tijdens de proef is de plant continu belicht met een stilstaande lamp met een capaciteit van 9000 lux. Tijdens de metingen is gebruik gemaakt van de Growlab Plantivity gekoppeld aan de Mini-Growlab. Gedurende de tijd dat de proef plaats heeft gevonden zijn in de afdeling constant dezelfde ingestelde waarden voor alle controleerbare factoren gehanteerd (CO_2 , temperatuur en de belichtingsintensiteit gedurende de nacht). De proef heeft in zijn geheel 3 dagen in beslag genomen.



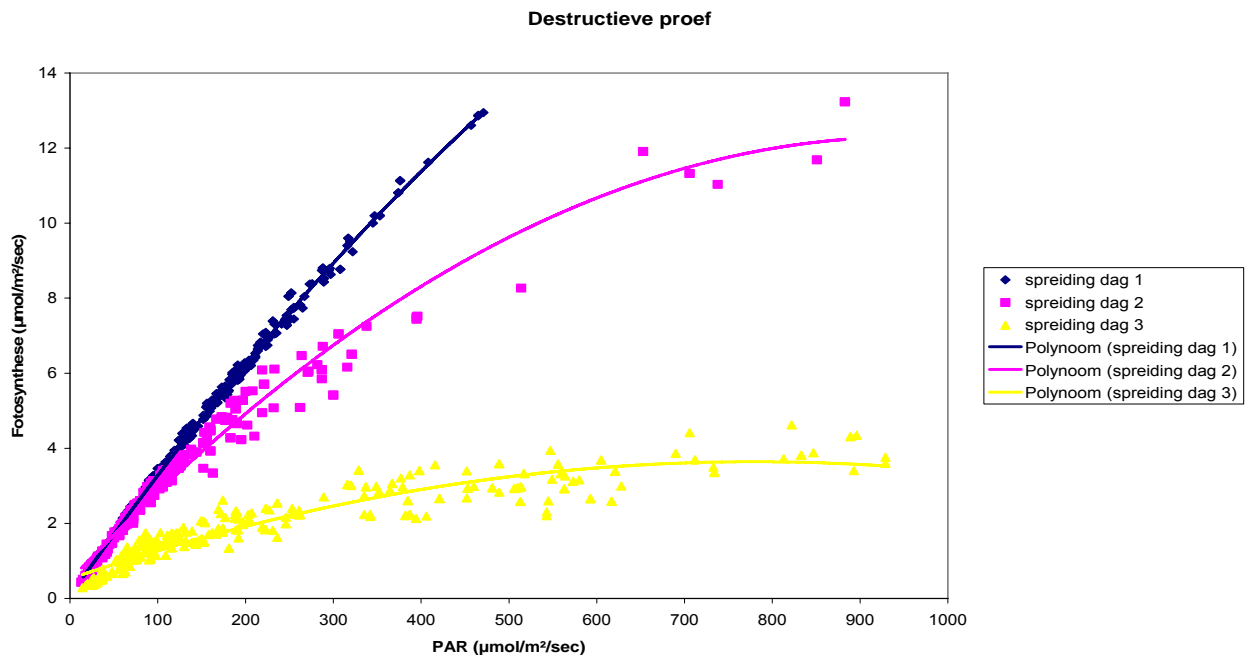
Figuur 4.2 Destructieve proef

Resultaat en discussie

Direct na het inzetten van de proef vertoonde de plant de eerste verschijnselen van droogte stress, doordat er geen water beschikbaar was voor de plant veranderde de bladstand van de onderste bladeren en de jonge topbladeren gingen slap hangen. Gedurende het eerste etmaal kon er echter uit de metingen van de Plantivity geen grote reactie afgeleid worden. In figuur x.2 is met de blauwe lijn de fotosynthese efficiëntie weergegeven van deze eerste dag. De lijn is vrij steil en vergelijkbaar met de fotosynthese efficiëntie van planten die geen droogte stress hadden. Er wordt aangenomen dat gedurende deze dag de verhouding fotosynthese – fotorespiratie al verschoven is naar een groter aandeel fotorespiratie.

Tijdens de tweede meetdag komt uit de metingen met de Plantivity al beter naar voren dat de fotosynthese efficiëntie afneemt. Deze afname is echter niet reëel omdat de plant al ernstige gebreken begon te vertonen. Wel dient opgemerkt te worden dat enkele bloemen zich verder ontwikkeld hadden. Dit is echter een natuurlijke reactie van de plant in een stress situatie. Verwacht wordt dat het gewas aan het eind van de dag al geen fotosynthese meer gepleegd heeft.

Tijdens de derde meetdag is met behulp van de gele lijn duidelijk te zien dat de Plantivity voor bijna alle lichtintensiteiten dezelfde fotosynthesewaarden weergeeft. Verwacht wordt dat deze waarde het deel fotorespiratie weergeeft dat de Plantivity teveel meet tijdens stress situaties. Er moet wel in acht genomen worden dat deze hoeveelheid fotorespiratie alleen representatief is voor deze unieke plant en niet vertaalbaar is naar andere planten.



Figuur 4.3 Destructieve proef

De mate van plantstress kan met de Plantivity worden onderzocht met aanvullende analyses. Dit valt buiten de scope van de studie maar is in de toekomst wel relevant om een juiste bepaling te maken van de reactie van plantstress op elektronentransport.

5 De verschillen tussen paprika en roos

Tijdens het uitvoeren van het onderzoek is gebleken dat de discussie of mobiel licht bij roos en paprika rendabel zou zijn, de gemoederen blijft bezighouden. Uit het paprika onderzoek blijkt dat een productie voorspelling met behulp van de Plantivity minder eenvoudig is als bij roos. Uit het paprika onderzoek blijkt echter wel dat het toegevoegde licht, net als bij roos, tot hoge instralingen efficiënt gebruikt wordt om fotosynthese te plegen. De lage lichtintensiteiten die mobiele belichting bij paprika toevoegt worden voor 100% benut voor de fotosynthese.

Roos en paprika onderscheiden zich van veel andere gewassen door een hoge assimilatiesnelheid. Voor de roos geldt dat; mits de temperatuur niet boven de 28-30 graden komt, de assimilatie van de bladeren erg hoog blijft. Bij paprika ligt deze grens lager, bij een continue instraling van boven de 300 µmol PAR en een bij planttemperatuur hoger dan 24 graden Celsius, neemt de fotosynthese efficiëntie¹² duidelijk af.

¹² Verwijzing naar stuk maximale belichting paprika Indicatieve proeven

Rozen die 24 uur worden belicht blijven fotosynthetisch actief, anders is dit bij paprika waarbij een geleidelijke afname in fotosynthese efficiëntie zichtbaar is als deze 24 uur belicht worden¹³. Bij roos blijven de huidmondjes continue ver open staan, ook als periode met hoge lichtintensiteit worden afgewisseld met donkere perioden. Paprika reageert ook verrassend snel op veranderende lichtintensiteiten en afwisselingen met donkere perioden. De fotosynthese efficiëntie van paprika reageert niet nadelig op de licht-donker reactie van de plant¹⁴. Door de hoge ademhaling van paprika kan de plant ook bij gesloten huidmondjes profiteren van lichtintensiteiten tot 50 $\mu\text{mol PAR}$.

Door de hoge assimilatiesnelheid kunnen roos en paprika beter dan andere gewassen volop profiteren van snelle wisselingen in de lichtintensiteit. Roos kan tot een lichtintensiteit (totaal daglicht + assimilatiebelichting) van 200 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ (=16400 lux SON) efficiënt met het licht omgaan. Voor sommige topbladeren bleef de efficiëntie zelfs evenredig tot 250 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ (=20500 lux SON). Paprika kan tot een lichtintensiteit (totaal daglicht + assimilatiebelichting) van 300 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ (=22900 lux SON) efficiënt fotosynthese plegen.

Uiteraard zullen er verschillen zijn tussen de verschillende cultivars bij roos en paprika, maar een eerste schatting laat zien dat de fotosynthese met een optimale efficiëntie, voor roos opereert tot 200 $\mu\text{mol PAR}$ (inclusief daglicht), en voor paprika fotosynthese pleegt tot 250 $\mu\text{mol PAR}$ (inclusief daglicht). Door de hoge waarde van de lichtintensiteit die nog optimaal benut kan worden, kunnen de lampen in een roos –en paprikagewas relatief dicht op het gewas gepositioneerd worden. Het voordeel van een dergelijke maatregel, is de hogere adsorptie van het assimilatielicht door het gewas. Ook is uit proeven met verschillende hoogtes van mobiele installaties gebleken dat er nauwelijks invloed is op de planttemperatuur tijdens de lamp passages.

Er zijn twee structurele verschillen tussen paprika en roos. Het eerste verschil is dat door opgedane ervaring met de Plantivity in roos en paprika kan vastgesteld worden dat de verhouding fotosynthese-fotorespiratie bij roos constanter is als bij paprika. Dit heeft als gevolg dat bij metingen in een paprika gewas aan het eind van een dag met hoge instraling, en tijdens stress situaties, de Plantivity een afwijking in de berekende fotosynthese waarde geeft. Het tweede verschil is dat bij langdurig belichten met een hoge intensiteit de huidmondjes van paprika gedeeltelijk sluiten en dat de efficiëntie geleidelijk afneemt. Bij roos is dit niet het geval, het beïnvloed het vaasleven van roos echter wel nadelig.

Omdat bij roos onderzocht is wat het effect op de fotosynthese is van aanvullend belichten met een korte slag mobiele belichting bovenop een vaste installatie. En bij paprika voornamelijk is gekeken naar de invloeden van lange en korte slag mobiele belichting op de fotosynthese, kunnen geen vergelijking gemaakt worden wat betreft het rendement van beide installaties.

Beide bij roos en paprika verdient het de aanbeveling om bij nieuw te maken belichtingsplannen, zeker in het geval de mobiele belichting gemonteerd wordt, niet alleen te kijken naar de lichtverdeling over de top van het gewas maar ook de te verwachten karakteristieke licht absorptie eigenschappen van een gewas mee te wegen. Mobiel licht biedt dus het voordeel van een betere lichtbenutting in samenhang met gewasstructuur, maar is ook moeilijker te optimaliseren dan een hoog gepositioneerde vaste homogene verlichting.

¹³ Verwijzing naar stuk 24 uur belichten in paprika

¹⁴ Verwijzing naar 3.1 verschillende snelheden van mobiele belichting

6 Conclusies en Aanbevelingen

Conclusies indicatieve metingen:

- PAR-licht, gegeven door assimilatiebelichting, wordt in het meest efficiënte deel van de fotosynthese door de plant gebruikt;
- De bladeren in de top vangen 70% van het licht. Hierdoor worden deze bladeren het eerst aangezet tot fotosynthese, terwijl het lichtcompensatiepunt van deze bladeren het hoogst ligt. Dit punt ligt namelijk op 50 $\mu\text{mol PAR}$, dat van bladeren 50 cm onder de top al op 45. Hoe lager in het gewas, des te lager het lichtcompensatiepunt;
- Licht is de belangrijkste factor die de groei van het gewas bepaalt;
- Op het eind van de dag lopen de huidmondjes wel dicht, maar laten nog genoeg CO_2 over voor fotosynthese, zolang er niet meer dan 160 $\mu\text{mol PAR}$ gegeven wordt;
- CO_2 en planttemperatuur hebben alleen effect op de fotosynthese wanneer er een tekort is aan een van deze twee. Wanneer deze in voldoende mate aanwezig zijn, heeft toe- of afname geen effect op de fotosynthese.

Advies: Het inzetten van assimilatiebelichting (vast, korte of lange slag mobiel) kan tot een vermogen van 300 $\mu\text{mol/m}^2/\text{sec PAR}$ efficiënt ingezet worden. Het licht dat door een mobiele installatie wordt toegevoegd wordt bijzonder efficiënt gebruikt door de plant. De toegevoegde hoeveelheid assimilaten door een mobiele installatie is echter wel laag. Het voordeel zal dus behaald moeten worden met het beïnvloeden van andere plantprocessen dan fotosynthese.

Conclusies dagverlengend belichten:

- Wanneer een paprikaplant belicht wordt, gaat deze met het kunstmatige licht even efficiënt om als met natuurlijk licht;
- De paprika reageert meteen op licht, de fotosynthese start onmiddellijk;
- Wanneer de PAR stijgt tot waarden boven de 300 $\mu\text{mol PAR}$, wordt het fotosyntheseproces minder efficiënt;
- De paprika gaat in het geval van dagverlengend mobiel belichten het efficiëntst met licht om als de belichting 1,5 uur voor zon op gestart wordt;
- De paprika gaat in het geval van dagverlengend semi-vast belichten het efficiëntst met licht om als de belichting 2 uur voor zon op gestart wordt;
- In het geval van semi-vast dagverlengend belichten, krijgt de plant tussen 12.00u en 15.00u 's middags een terugval in de efficiëntie, wat in het geval van dagverlengend mobiel belichten niet het geval was.

Advies: Het 1,5 uur starten voor zon op met de mobiele installatie geeft de beste response wat betreft de fotosynthese efficiëntie gedurende de dag. Belichten met een korte slag mobiele belichting (9000 lux) is ook efficiënt wat de fotosynthese betreft, hiervoor kan geadviseerd worden om 2 uur voor zon op te starten met belichten. Wat betreft het uitschakelen van de belichting kan gekeken worden naar de maximale instraling (globale straling + assimilatie belichting), zodra dit langdurig (>1 uur) boven de 300 $\mu\text{mol/m}^2/\text{sec PAR}$ komt kan de installatie uitgeschakeld worden.

Conclusies plantbelastingsproef:

- Praktijkgerichte proef: 30 minuten na het oogsten is de eerste reactie op de veranderde plantbelasting zichtbaar. Tijdens een hoge instralingpiek blijft de fotosynthese efficiëntie achter. Als gekeken wordt

naar de totale afwijking van de berekende fotosynthese efficiëntie bij de week voor, en de week na het plukken van de vruchten is er een verschil in efficiëntie van 2%;

- Tijdens de extreme proef is 10 minuten na het oogsten de eerste reactie op de veranderde plantbelasting zichtbaar. Tijdens een hoge instralingpiek blijft de fotosynthese efficiëntie achter. Als gekeken wordt naar de totale afwijking van de berekende fotosynthese efficiëntie bij de week voor en de week na het plukken van de vruchten is er een verschil in efficiëntie van 4%;
- Beide proeven geven een geringe afwijking in de fotosynthese efficiëntie aan, deze afname herstelt zich na 7 dagen. In beide gevallen kan het advies gegeven worden geen maatregelen te treffen wat betreft de controleerbare groeifactoren voor de plant. Uit de proef blijkt wel dat hoe later de vruchten geoogst worden hoe langer de plant nodig heeft om zich te herstellen.

Advies: Uit de resultaten van de plantbelastingsproef kan vastgesteld worden dat men het beste in de ochtend kan oogsten. Oogsten van een plant die een lagere turgor heeft resulteert in een langere herstelperiode waarin de fotosynthese efficiëntie aantoonbaar lager is. De verschillen in efficiëntie zijn echter zo klein dat er geen aanpassingen gedaan hoeven te worden wat betreft de klimaatinstellingen.

Conclusies verschillende snelheden

- Ondanks dat de cumulatieve verschillen niet zeer groot zijn kan er wel een duidelijke conclusie getrokken worden. Er is een duidelijke stijgende lijn zichtbaar wat betreft het effect van de verschillende snelheden. Er wordt verwacht dat de verschillen veroorzaakt worden door de licht-donker reactie van de plant op de passerende lampen;
- Bij hogere snelheden, en dus frequenter terug keren van de lamp, lijkt de plant actiever te blijven. Of toepassing van hogere of lagere snelheden dan de standaard 30 meter per uur plantfysiologische afwijkingen tot gevolg hebben is bij deze proef niet onderzocht.

Advies: Toepassen van een hogere snelheid dan 30 meter per uur kan op basis van de fotosynthese metingen aangeraden worden. De plant kan snel genoeg reageren op de snel passerende lamp. Doordat de lamp sneller terugkeert boven de kop van het gewas blijft het gewas actiever wat resulteert in een betere fotosynthese efficiëntie.

Conclusies verschillende hoogtes:

- Wat de efficiëntie van de fotosynthese betreft zijn er geen aantoonbare afwijkingen;
- 160cm boven top gewas geeft de beste lichtverdeling maar de slechtste lichtdoordringing;
- 120cm boven top gewas geeft de beste verhouding tussen lichtdoordringing en lichtverdeling;
- 80cm boven top gewas geeft de beste lichtdoordringing en de slechtste lichtverdeling.

Advies: Tijdens de teelt dient regelmatig de afstand van de kop van het gewas tot de lampen gecontroleerd te worden. De afstand van gewas tot de lampen is cruciaal voor de lichtverdeling. Het toepassen van een geringere afstand tot de kop van het gewas resulteert in een slechtere lichtverdeling over de kop van het gewas en een betere lichtdoordringing in het gewas. Hiermee kan vastgesteld worden dat de afstand van 120cm tot de kop van het gewas de beste gemiddelde oplossing geeft.

Conclusies 24 uur belichten en destructieve proef:

- Tijdens langdurig belichten van paprika neemt de fotosynthese efficiëntie geleidelijk af;

- De afname van fotosynthese efficiëntie is kleiner als verwacht, de trend zet zich echter continu door waardoor na enkele dagen
- Plantivity meet tijdens plant stress situaties een aandeel fotorespiratie wat weergegeven wordt als fotosynthese. De software wordt hiervoor inmiddels aangepast.

Advies: Langdurig dagverlengend belichten bij paprika wordt afgeraden. Uit fotosynthese metingen blijkt dat het beste in de ochtend aanvullend een tot twee uur belicht kan worden. Hiermee wordt de plant genoeg geactiveerd voor het moment dat de zon op komt en worden er niet zoveel assimilaten toegevoegd dat de plant bij hogere lichtintensiteiten niet meer met het licht uit de voeten kan. De Plantivity is een uitstekend instrument om op lange termijn de toename in droge stof te benaderen. Voor het vaststellen van de fotosynthese over een korte tijdsduur (<1 uur) geeft de Plantivity een matig betrouwbaar resultaat.

Advies voor vervolgonderzoek

Om meer duidelijkheid te verkrijgen over hoe de plant de assimilaten inzet, lijkt het ons verstandig verder onderzoek uit te voeren naar de verdeling van assimilaten binnen de plant. Uit dit onderzoek zal dan moeten blijken wanneer de plant het meest efficiënt de fotosyntheseproducten gebruikt.

7 Referenties

Asperges, M., Desfossés, F., Hendrickx, R., Pinceel, L., Rappé, G., Stieperaere, H., Vanhecke, L., Strydonck, M. van, 2002. Planten en andere niet-dierlijke organismen. Uitgeverij van In, Wommelgem.

Berg, L.R., 1997. Introductory Botany, Plants, People, and the Environment. St. Petersburg Junior College. Hartcourt College Publishers.

Devlin, R.M., 1966. Plant physiology. Reinhold books in the biological sciences, New York.

Haalstra, S.R. 1989. Chlorofylfluorescentie, achtergronden en gebruiksmogelijkheden. Stichting voor plantenveredeling, Wageningen. Rapport nr. 637

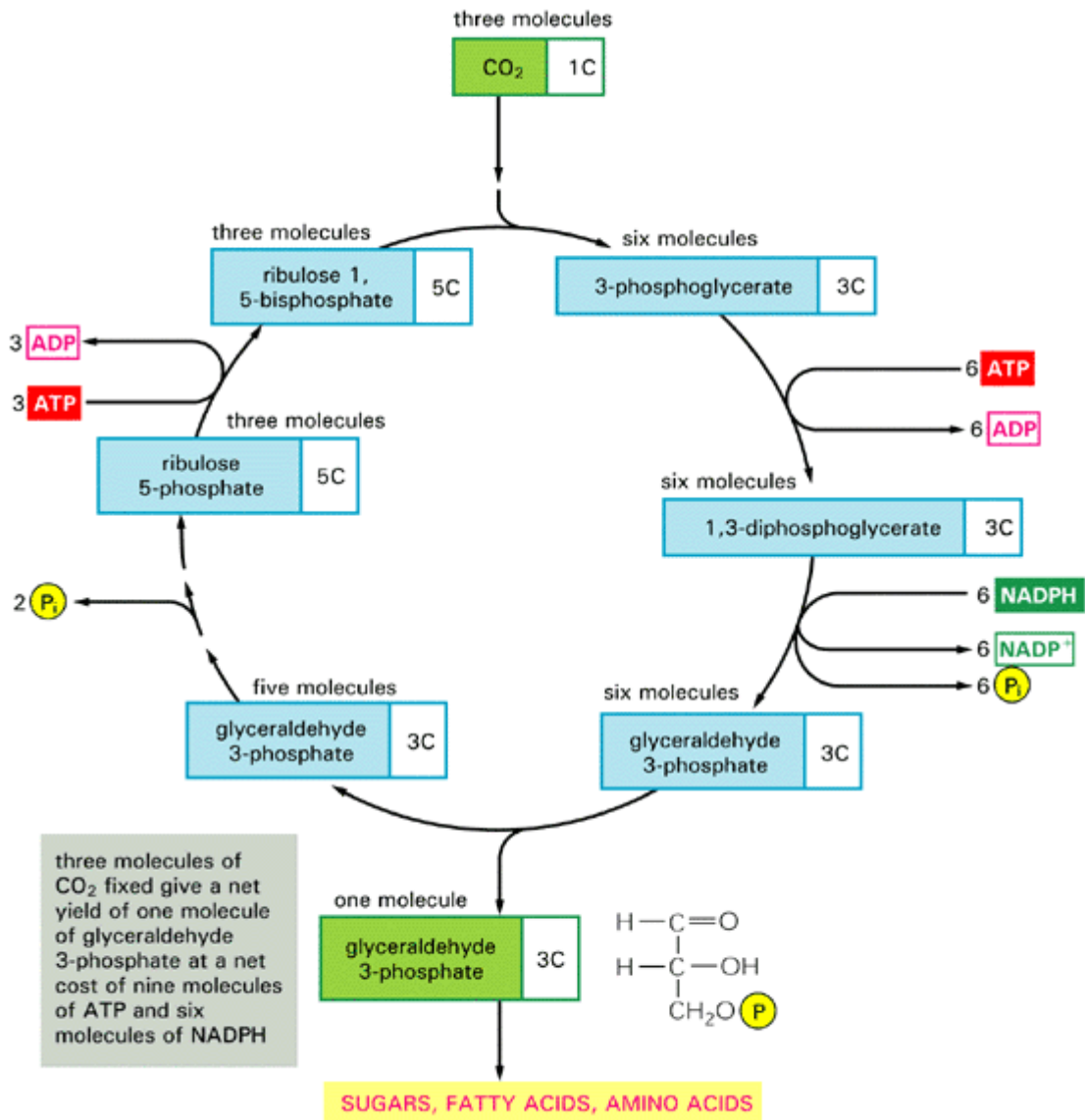
Kolk, J.P. van der, en Broek, E. van den, 2004. De effecten van mobiel groeilicht op paprika en peper. HAS KennisTransfer.

Lack, A.J. and Evans, D.E. , 2001. Plant Biology. School of Biological and Molecular Sciences, Oxford Brookes University, Oxford, UK.

Ridge, I, 2002. Plants. Oxford University Press

Schapendonk, A.H.C.M, 2005. Korte-slag belichting bij roos. Productschap Tuinbouw, PT-projectnr 12029.

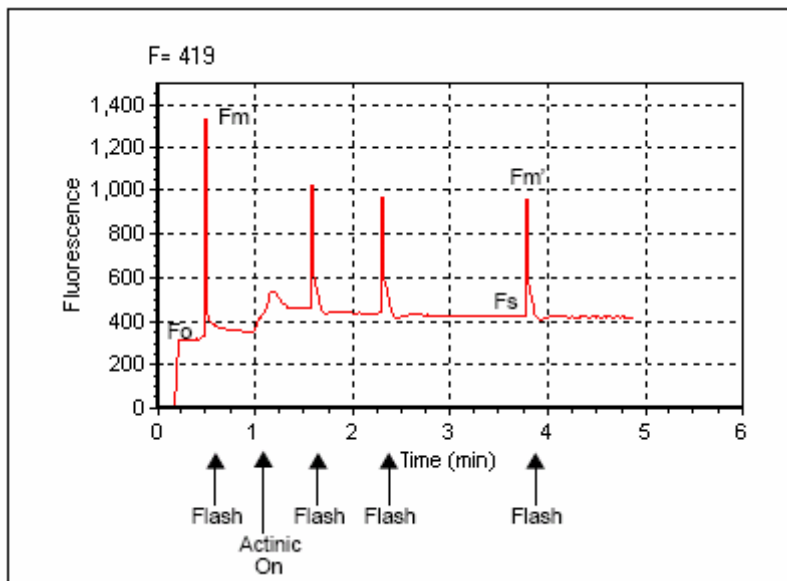
Appendix 1 De Calvin-cyclus



Appendix 2 Fluorescentie berekening

De fluorescentie methode is gebaseerd op berekeningen van de lichtbenutting efficiëntie.

Deze wordt berekend uit verhoudingsgetallen tussen de minimale fluorescentie (F_o) en de maximale fluorescentie (F_m) van het chlorofyl in de reactie centra van de fotosynthese.



In het donker is de efficiëntie maximaal omdat alle reactiecentra in het donker "leeg" zijn. De efficiëntie waarmee de reactiecentra door licht "gevuld" kunnen worden is dan maximaal en de fluorescentie minimaal. Door een intense lichtflits af te vuren op het blad worden alle reactiecentra "gevuld" en is de efficiëntie van het licht minimaal geworden. Onder die omstandigheden is de fluorescentie juist maximaal. De maximale efficiëntie van de fotosynthese wordt bepaald door de verhouding tussen de minimale en maximale waarden gegeven in de vergelijking:

$$P_{dark} = \frac{F_m - F_o}{F_m} = \frac{F_v}{F_m}$$

In het licht neemt de efficiëntie van de fotosynthese af met toenemende lichtintensiteit. Door op soortgelijke manier als voor een donkere situatie de verhouding tussen de minimale fluorescentie en de maximale fluorescentie te bepalen kan de efficiëntie van de fotosynthese bij elke lichtintensiteit berekend worden:

$$P_{light} = \frac{F_m' - F_s}{F_m'} = \frac{\Delta F}{F_m'} = \Phi_{PSII}$$

Vervolgens kan de berekende efficiëntie vertaald worden naar het aantal elektronen dat in de bladgroenkorrels door het licht wordt geactiveerd en als een soort acculader gaat functioneren om de energie op te slaan voor de aanmaak van suikers uit CO_2 .

De vergelijking voor de berekening van het elektronentransport is:

$$ETR = \left(\frac{F_m' - F_s}{F_m'} \right) f I \alpha_{leaf} f$$

I = de lichtintensiteit, f = gewas specifieke ijk factor, α = de absorptie coëfficiënt van het blad (0,90) bij Paprika).

De specifieke ijk factor is soms ook afhankelijk van bepaalde omgevingsfactoren.

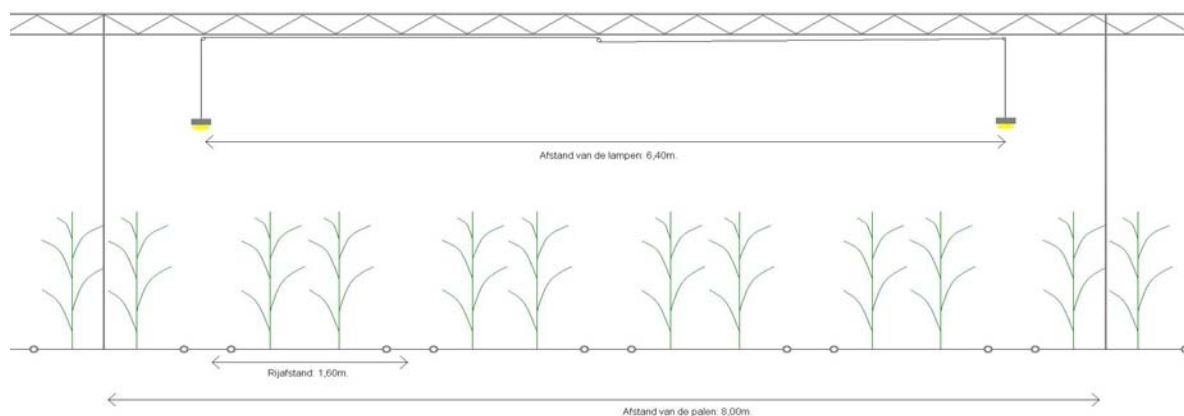
In deze studie zijn nog een aantal nieuwe afgeleide functies en methodes gebruikt. Hiervan bevinden de meeste zich nog in een onderzoeksfase en de bruikbaarheid zal in praktijkstudies verder onderzocht moeten worden.

Appendix 3 Locatie Sweetpoint

Tijdens het uitvoeren van het onderzoek zijn er op drie locaties metingen verricht. De eerste proeven hebben plaatsgevonden in twee kassen van Sweetpoint te Honselersdijk, een kas met mobiele belichting (locatie Vijverberglaan) en een kas met semi-vaste belichting (locatie Middel Broekweg). Ook zijn er metingen verricht op de proeftuin van de HAS in Den Bosch (Appendix 3 en 4).

Sweetpoint Honselersdijk locatie Vijverberglaan:

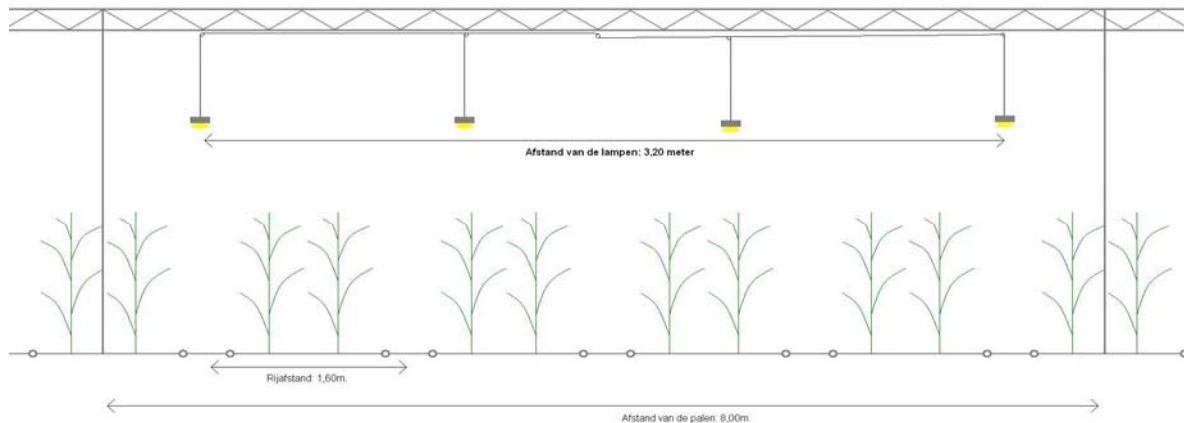
Ras: Ramiro, plantdatum: 10 november 2004, substraat: Steenwol, Leaf Area Index: 3 m² blad per m² kasoppervlak. Lange slag mobiele belichting met een traject van 13 meter. Geïnstalleerd vermogen 1500 lux mobiele belichting, MGL-systems armatuur met per armatuur twee 230 Volt 600 Watt Osram gas ontladingslampen.



Figuur 1: Kapdoorsnede kas Sweetpoint locatie Vijverberglaan

Sweetpoint Honselersdijk locatie Middel Broekweg:

Ras: Ramiro, plantdatum: 1 augustus 2004, substraat: Steenwol, Leaf Area Index: 6 m² blad per m² kasoppervlak. Korte slag mobiele installatie met een traject van 5 meter. Geïnstalleerd vermogen 9000 lux semi-vaste belichting, MGL-systems armatuur met per armatuur twee 320 Volt 600 Watt Osram gas ontladingslampen.



Figuur 2: Kapdoorsnede Sweetpoint locatie Middel Broekweg

Appendix 4 Locatie Proeftuin HAS Den Bosch

Proefkassen HAS Den Bosch:

Op deze locatie kunnen zowel mobiele als vaste belichtingsinstallatie gesimuleerd worden. Voor de vaste installatie kan een maximum van 6000 lux gerealiseerd worden en voor mobiel afhankelijk van de snelheid en de lengte van het traject van 6000 tot 1500 lux.

Ras: Ferrari

Substraat: Steenwol met gangbaar druppelbemestingsstelsel

MGL-systems armatuur met per armatuur twee 320 Volt 600 Watt Osram gas ontladingslampen.

Schermdoek is aanwezig, en CO₂ dosering is mogelijk.

Afmetingen: lengte 12 meter, breedte 6,40 meter, poothoogte 3,50 meter.

In de afdeling bevinden zich 8 rijen van 11 meter lengte, per rij staan 40 planten, totaal 320 planten, waarvan 280 planten van het ras Ferrari en 40 planten van diverse rassen.

Tijdens de proeven zal er het standaard temperatuurregime toegepast worden dat op de proeftuin gebruikt wordt.





Appendix 5 Materiaal

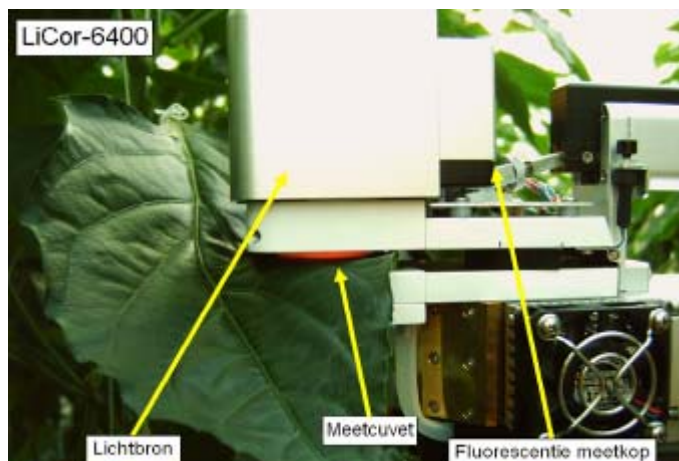
LiCor-6400:

De LiCor is een plantmeter die een afgesloten meetcuvet heeft. In de meetcuvet kan een blad ingeklemd worden zodat een microklimaat wordt gecreëerd. De LiCor wast eerst de lucht schoon, CO₂ en vocht worden verwijderd. Van de schone lucht wordt de benodigde temperatuur bepaald en vervolgens wordt de CO₂ en het vocht nauwkeurig door het apparaat toegevoegd. Ook bepaald de LiCor hoeveel groeilicht het blad krijgt. Nadat de bekende samenstelling van de lucht over het blad is geweest wordt temperatuur, CO₂ en vochtgehalte weer gemeten. Uit de verschillen van deze waarden kan de reactie van de fotosynthese bepaald worden. Ook is de LiCor uitgerust met een fluorescentiemeter, in dit geval is deze gebruikt voor het ijken van de Plantivity fluorescentiemeter zodat deze een betrouwbare weergave kan geven van de fotosynthese. Door de koppeling van diverse fluorescentiebeelden in de meetcuvet met de gemeten fotosynthese waarden kan een profiel opgesteld worden voor de Plantivitymeter zodat uit de fluorescentie nauwkeurig de fotosynthese afgeleid kan worden.

Plantivity:

De Plantivity is gebaseerd op bestaande fluorescentiemeters, maar dan geleverd met

ingebouwde PAR-lichtmeter en bijbehorende software. Het is vooral de ontwikkeling van betere software toepassingen die deze fluorescentiemeter interessant maakt. De vertaalslag van fluorescentiebeelden naar de bijbehorende drogestof productie is hiervan de belangrijkste ontwikkeling.



De Plantivity wordt in dit onderzoek veel gebruikt omdat het de eerste meter is die in de praktijk toepasbaar is voor de weergave van de actuele fotosynthese van een plant. De bijgeleverde software schat aan de hand van de fluorescentiebeelden de bruto fotosynthese.

De Plantivity geeft als output de volgende gegevens met bijbehorende waardenrange
PAR-licht in $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ bladoppervlak/seconde, 0-10000
 F_0 , basisfluorescentie, 0-10000
 F_m , verzadigingsfluorescentie, 0-10000

Uit de F_0 en de F_m berekent de Growlab software de Yield. De gebruikte formule hiervoor is:

$$(F_m - F_0) / F_m = \text{Yield}$$

Om vervolgens hieruit de fotosynthese te berekenen wordt de volgende formule gebruikt:

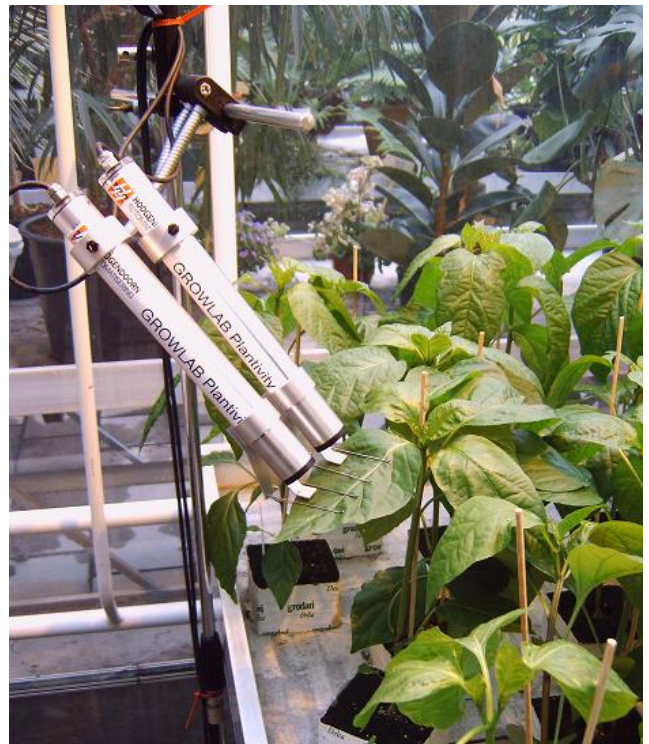
$$(\text{PAR} * \text{Yield} * 0,5 * 0,8) * 0,25 * 1 / 1,92 = \text{fotosynthese in } \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$$

De PAR en de Yield zijn bepaald aan de hand van de metingen met de Plantivity, de rest van de formule is gebaseerd op metingen met de LiCor in het paprikagewas.

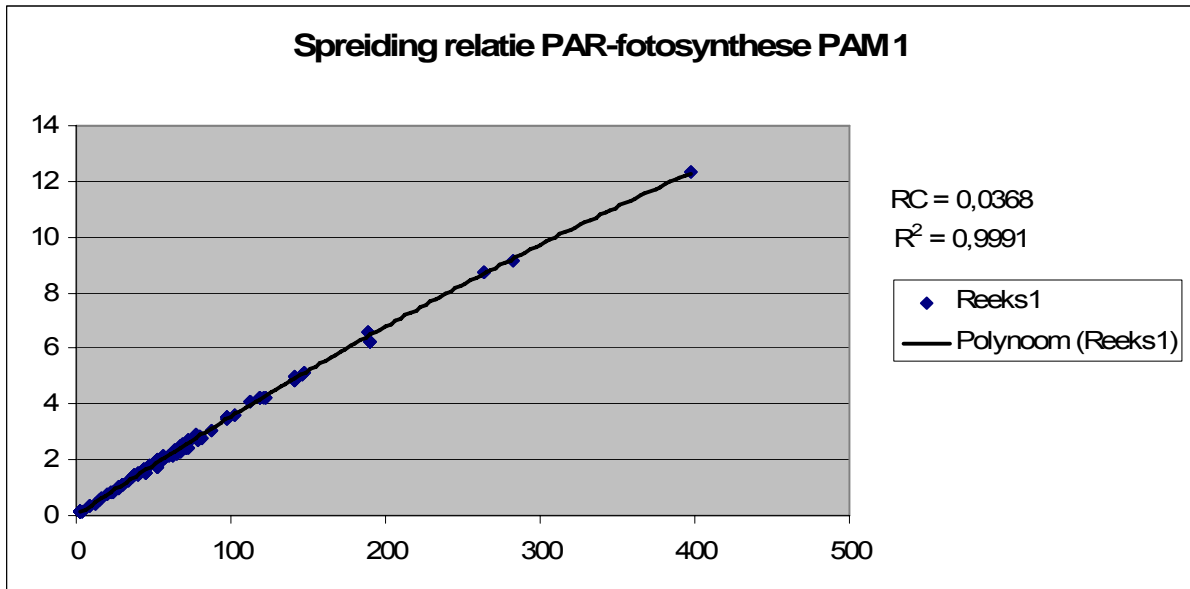
Vergelijk Plantivity's proeftuin HAS Den Bosch

Omdat tijdens het onderzoek de metingen van de twee Plantivity's onderling met elkaar vergeleken zijn is een korte proef opgesteld om de betrouwbaarheid output gegevens te controleren. In de proef is bekeken of de beide meters dezelfde waarden aangeven indien zij op hetzelfde blad staan opgesteld en dezelfde hoeveelheid licht ontvangen.

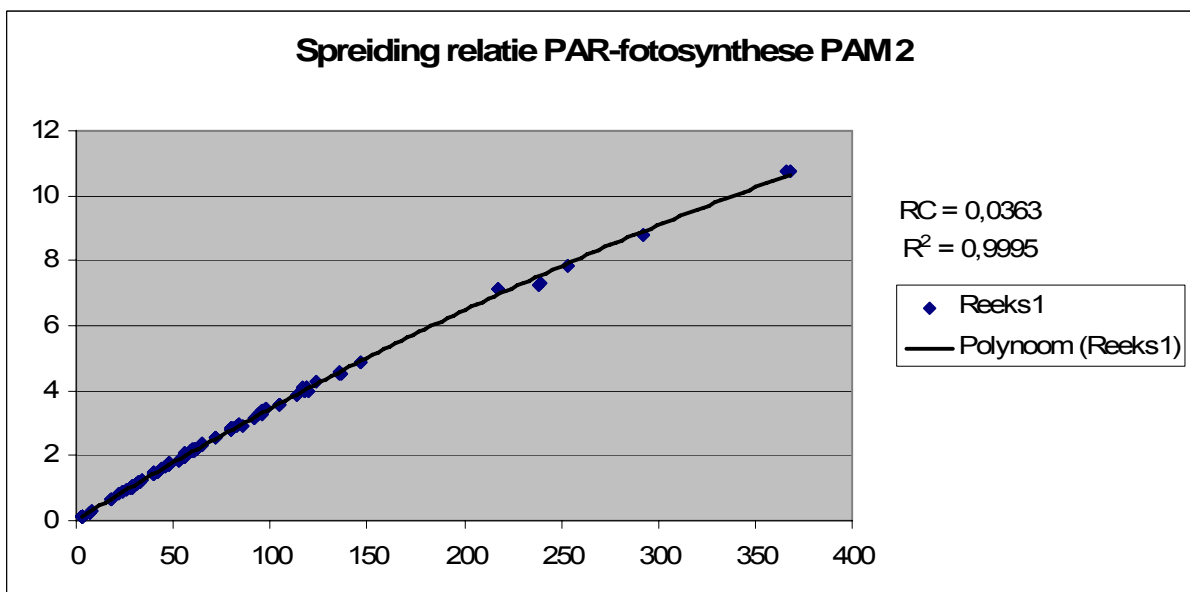
De beide meters hebben gedurende een traject van 3 dagen continu gemeten aan een blad. Nadat de gegevens opgehaald zijn uit de Mini-Growlab met behulp van een computer, zijn de gegevens in MS Excel ingevoegd. Met behulp van MS Excel zijn van de metingen twee spreidingstabellen gemaakt van de relatie tussen beschikbaar PAR-licht en de gemeten fotosynthese.



Grafieken



Spreidingsgrafiek 1: Relatie PAR-fotosynthese Plantivity 1



Spreidingsgrafiek 2: Relatie PAR-fotosynthese Plantivity 2

Beide lijnen zijn apart weergegeven omdat ze in een grafiek exact op elkaar lagen. Uit de R² kan afgeleid worden dat alle metingen zeer dicht bij de trendlijn liggen. De afwijking hierin tussen de twee Plantivitymeters is verwaarloosbaar. Hiermee is vastgesteld dat de gegevens die worden verzameld met beide Plantivity's met elkaar vergeleken mogen worden. Er hoeft ook geen rekening gehouden te worden met een afwijking tussen beide meters.

Growlab monitoring:

De Growlab is een instrument waaraan diverse meetapparatuur gekoppeld kan worden. De Growlab logt de data van de aangesloten meetapparatuur en deze kan van afstand uitgelezen worden via het gsm-netwerk. Er wordt met een computer ingebeld op de gsm ontvanger die in de Growlab ingebouwd zit en de data kan door bijbehorende software worden uitgelezen. Afhankelijk van de frequentie van de metingen kan de Growlab tot een week lang meten voordat het geheugen vol is en uitgelezen dient te worden.

De onderstaande meters zijn aangesloten op de Growlab die tijdens het onderzoek gebruikt zijn:

- infrarood bladtemperatuurmeter
- omgevingstemperatuurmeter
- buistemperatuurmeter
- PAR-lichtmeter
- matvochtigheidsmeter
- Plantivity fluorescentiemeter met ingebouwde interne PAR-lichtmeter



Tijdens praktijkproeven is de Growlab meerdere malen bij Sweetpoint BV te Honselersdijk ingezet. De gelogde gegevens zijn door Plant Dynamics opgehaald en in MS Excel formaat aangeleverd.

Mini-Growlab:

De Mini-Growlab zoals die door Hoogendoorn geleverd is kan aan maximaal twee Plantivity fluorescentiemeters gekoppeld worden. Tijdens de proeven op de proeftuin is dit ook het geval. De Mini-Growlab logt de gegevens van de twee meters in zijn ingebouwde geheugen. Afhankelijk van de frequentie van de metingen kan de Mini-Growlab van 1 etmaal tot een week de meetgegevens opslaan. Deze gegevens kunnen via een netwerkkabel uitgelezen worden naar een computer waarop de Growlab software geïnstalleerd is. Ook kan de Mini-Growlab continu aan een computer met Growlab software gekoppeld worden zodat deze fungeert als datalogger. Dit heeft als voordeel dat het geheugen van de Mini-Growlab niet vol kan raken en er gegevens verloren gaan. De geregistreerde gegevens kunnen uit de Growlab software in MS Excel overgebracht worden zodat de gegevens makkelijk op een andere computer bewerkt kunnen worden.



Appendix 6 Astronomische zon op tijden

Postadres: Postbus 201, 3720 AE De Bilt
 Klimatologische Dienst, Telefoon 030-220 68 50, Telefax 030-220 46 14, Internet: <http://www.knmi.nl/voorlfd>
KNMI

ZON 2005

TUDEN VAN OPKOMST EN ONDERGANG OP 52°00' NB EN 5°00' OL

dag	JANUARI		FEBRUARI		MAART		APRIL		MEI		JUNI		JULI		AUGUSTUS		SEPTEMBER		OKTOBER		NOVEMBER		DECEMBER	
	op	onder	op	onder	op	onder	op	onder	op	onder	op	onder	op	onder	op	onder	op	onder	op	onder	op	onder	op	onder
1	8:48	16:39	8:20	17:28	7:26	18:20	7:15	20:14	6:10	21:05	5:26	21:50	5:24	22:03	6:02	21:30	6:52	20:27	7:41	19:17	7:35	17:12	8:26	16:32
2	8:48	16:40	8:18	17:30	7:24	18:22	7:13	20:16	6:08	21:07	5:25	21:51	5:25	22:03	6:03	21:28	6:53	20:25	7:43	19:15	7:37	17:10	8:27	16:32
3	8:48	16:42	8:17	17:32	7:21	18:23	7:10	20:17	6:07	21:08	5:24	21:52	5:26	22:02	6:05	21:26	6:55	20:23	7:44	19:13	7:39	17:08	8:28	16:31
4	8:48	16:43	8:15	17:34	7:19	18:25	7:08	20:19	6:05	21:10	5:24	21:53	5:27	22:02	6:06	21:25	6:57	20:20	7:46	19:11	7:40	17:06	8:30	16:30
5	8:47	16:44	8:13	17:35	7:17	18:27	7:06	20:21	6:03	21:12	5:23	21:54	5:27	22:01	6:08	21:23	6:58	20:18	7:48	19:08	7:42	17:04	8:31	16:30
6	8:47	16:45	8:12	17:37	7:15	18:29	7:03	20:22	6:01	21:13	5:22	21:55	5:28	22:01	6:10	21:21	7:00	20:16	7:49	19:06	7:44	17:03	8:32	16:30
7	8:46	16:47	8:10	17:39	7:12	18:30	7:01	20:24	5:59	21:15	5:22	21:56	5:29	22:00	6:11	21:19	7:01	20:13	7:51	19:04	7:46	17:01	8:34	16:29
8	8:46	16:48	8:08	17:41	7:10	18:32	6:59	20:26	5:58	21:16	5:21	21:57	5:30	21:59	6:13	21:17	7:03	20:11	7:53	19:01	7:48	16:59	8:35	16:29
9	8:45	16:49	8:06	17:43	7:08	18:34	6:57	20:28	5:56	21:18	5:21	21:58	5:31	21:59	6:14	21:16	7:05	20:09	7:54	18:59	7:49	16:58	8:36	16:29
10	8:45	16:51	8:04	17:45	7:06	18:36	6:54	20:29	5:54	21:20	5:21	21:59	5:32	21:58	6:16	21:14	7:06	20:06	7:56	18:57	7:51	16:56	8:37	16:29
11	8:44	16:52	8:03	17:47	7:03	18:38	6:52	20:31	5:53	21:21	5:20	21:59	5:33	21:57	6:18	21:12	7:08	20:02	7:58	18:55	7:53	16:55	8:38	16:28
12	8:44	16:54	8:01	17:49	7:01	18:39	6:50	20:33	5:51	21:23	5:20	22:00	5:34	21:56	6:19	21:10	7:10	20:02	8:00	18:53	7:55	16:53	8:39	16:28
13	8:43	16:55	7:59	17:50	6:59	18:41	6:48	20:34	5:49	21:24	5:20	22:01	5:36	21:55	6:21	21:08	7:11	19:59	8:01	18:50	7:56	16:52	8:40	16:28
14	8:42	16:57	7:57	17:52	6:57	18:43	6:46	20:36	5:48	21:26	5:19	22:02	5:37	21:54	6:22	21:06	7:13	19:57	8:03	18:48	7:58	16:50	8:41	16:28
15	8:41	16:58	7:55	17:54	6:54	18:45	6:43	20:38	5:46	21:28	5:19	22:02	5:38	21:53	6:24	21:04	7:15	19:55	8:05	18:46	8:00	16:49	8:42	16:28
16	8:40	17:00	7:53	17:56	6:52	18:46	6:41	20:39	5:45	21:29	5:19	22:02	5:39	21:52	6:26	21:02	7:16	19:52	8:06	18:44	8:02	16:47	8:43	16:29
17	8:39	17:02	7:51	17:58	6:50	18:48	6:39	20:41	5:43	21:31	5:19	22:03	5:40	21:51	6:27	21:00	7:18	19:50	8:08	18:42	8:03	16:46	8:43	16:29
18	8:38	17:03	7:49	18:00	6:47	18:50	6:37	20:43	5:42	21:32	5:19	22:03	5:42	21:50	6:29	20:58	7:19	19:48	8:10	18:40	8:05	16:45	8:44	16:29
19	8:37	17:05	7:47	18:02	6:45	18:52	6:35	20:45	5:40	21:34	5:19	22:03	5:43	21:49	6:31	20:56	7:21	19:45	8:12	18:37	8:07	16:44	8:45	16:30
20	8:36	17:07	7:45	18:03	6:43	18:53	6:33	20:46	5:39	21:35	5:20	22:04	5:44	21:48	6:32	20:53	7:23	19:43	8:13	18:35	8:08	16:42	8:45	16:30
21	8:35	17:08	7:43	18:05	6:40	18:55	6:31	20:48	5:38	21:36	5:20	22:04	5:46	21:46	6:34	20:51	7:24	19:41	8:15	18:33	8:10	16:41	8:46	16:30
22	8:34	17:10	7:41	18:07	6:38	18:57	6:28	20:50	5:36	21:38	5:20	22:04	5:47	21:45	6:35	20:49	7:26	19:38	8:17	18:31	8:12	16:40	8:46	16:31
23	8:33	17:12	7:39	18:09	6:36	18:58	6:26	20:51	5:35	21:39	5:20	22:04	5:48	21:44	6:37	20:47	7:28	19:36	8:19	18:29	8:13	16:39	8:47	16:32
24	8:31	17:13	7:37	18:11	6:33	19:00	6:24	20:53	5:34	21:41	5:21	22:04	5:50	21:42	6:39	20:45	7:29	19:34	8:21	18:27	8:15	16:38	8:47	16:32
25	8:30	17:15	7:34	18:14	6:31	19:02	6:22	20:55	5:33	21:42	5:21	22:04	5:51	21:41	6:40	20:43	7:31	19:31	8:22	18:25	8:17	16:37	8:48	16:33
26	8:29	17:17	7:32	18:16	6:29	19:04	6:20	20:56	5:32	21:43	5:21	22:04	5:53	21:39	6:42	20:40	7:33	19:29	8:24	18:23	8:18	16:36	8:48	16:34
27	8:27	17:19	7:30	18:16	6:26	19:06	6:18	20:58	5:31	21:44	5:22	22:04	5:54	21:38	6:44	20:38	7:34	19:27	8:26	18:21	8:20	16:35	8:48	16:34
28	8:26	17:21	7:28	18:18	6:24	19:07	6:16	21:00	5:30	21:46	5:22	22:04	5:56	21:36	6:45	20:36	7:36	19:24	8:28	18:19	8:21	16:34	8:48	16:35
29	8:24	17:22			6:22	19:09	6:14	21:02	5:29	21:47	5:23	22:04	5:57	21:35	6:47	20:34	7:38	19:22	8:30	18:17	8:23	16:34	8:48	16:36
30	8:23	17:24			6:20	19:10	6:12	21:03	5:28	21:48	5:24	22:03	5:59	21:33	6:48	20:32	7:39	19:20	8:31	18:15	8:24	16:33	8:48	16:37
31	8:21	17:26			6:17	19:12	6:10	21:05	5:27	21:49	5:24	22:03	6:00	21:31	6:50	20:29			8:33	18:13		8:48	16:38	31

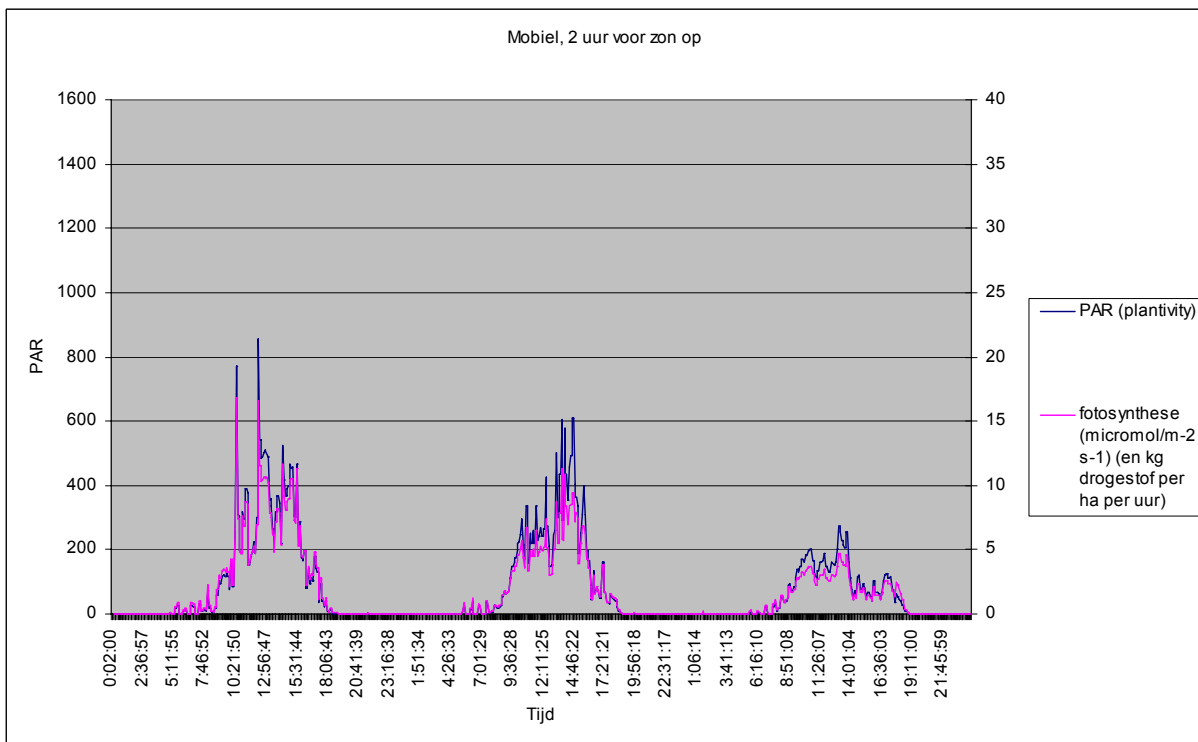
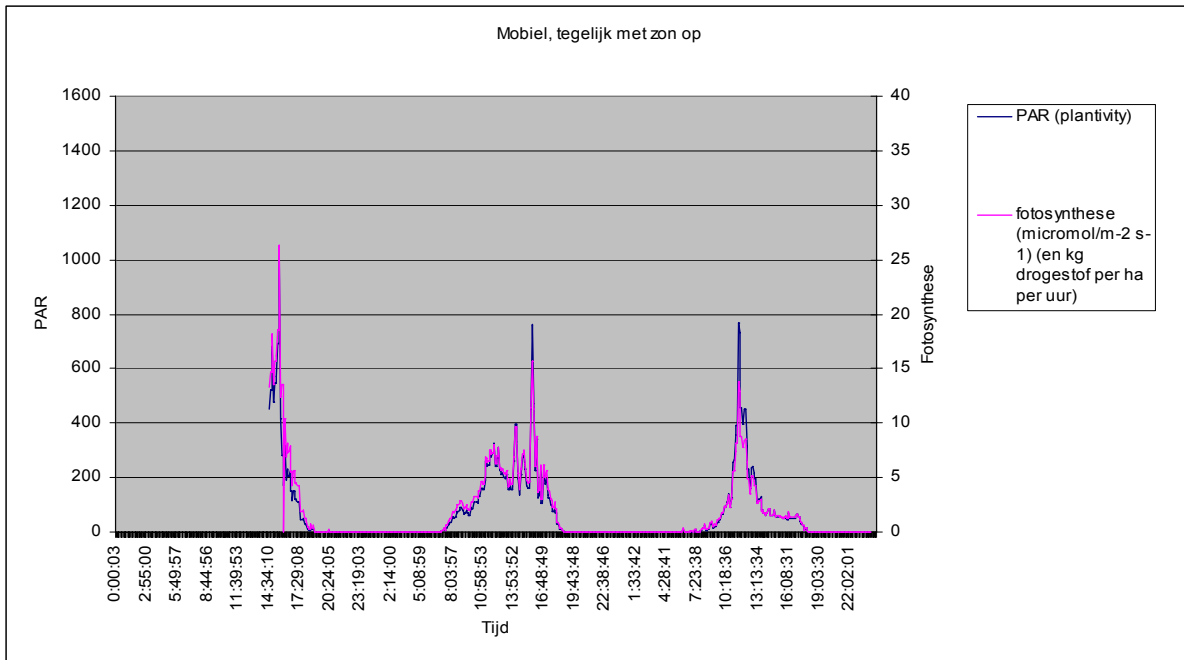
zaterdag 1 januari tot en met zaterdag 26 maart Midden-Europese Tijd
 zondag 27 maart tot en met zaterdag 29 oktober Midden-Europese Zomer tijd
 zondag 30 oktober tot en met zaterdag 31 december Midden-Europese Tijd

begin van de lente: 20 maart 13:33 uur MET
 begin van de zomer: 21 juni 8:46 uur MEZT
 begin van de herfst: 23 september 0:23 uur MEZT
 begin van de winter: 21 december 19:35 uur MET

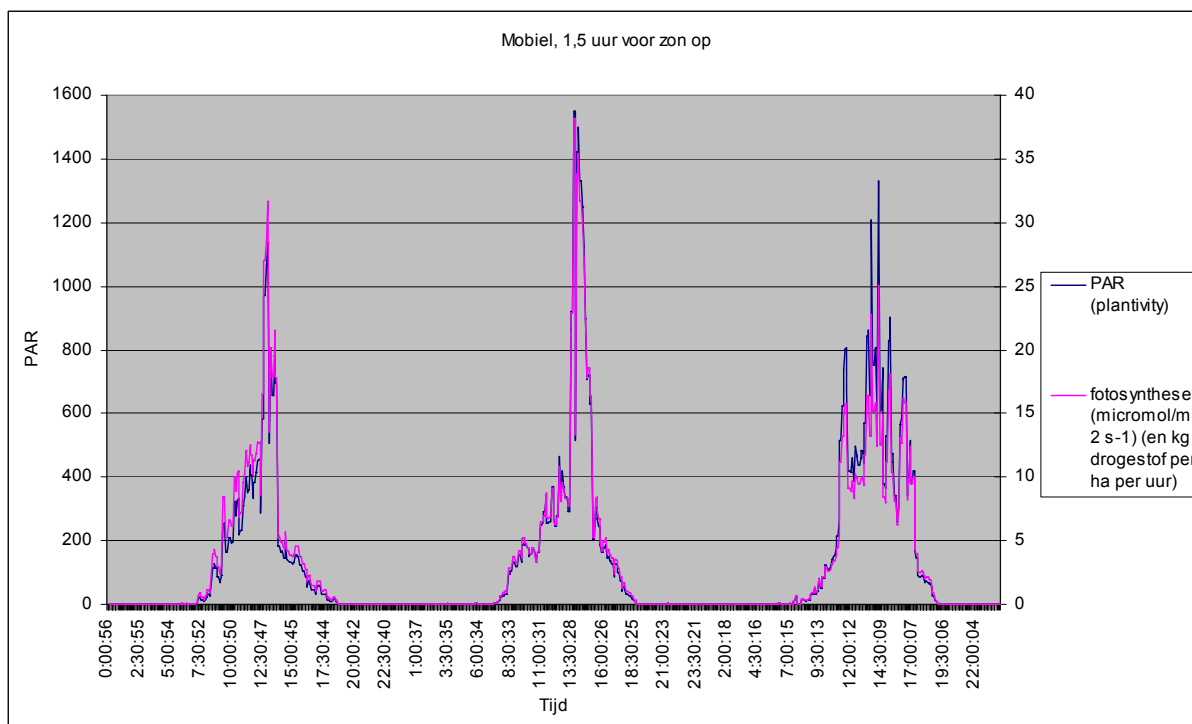
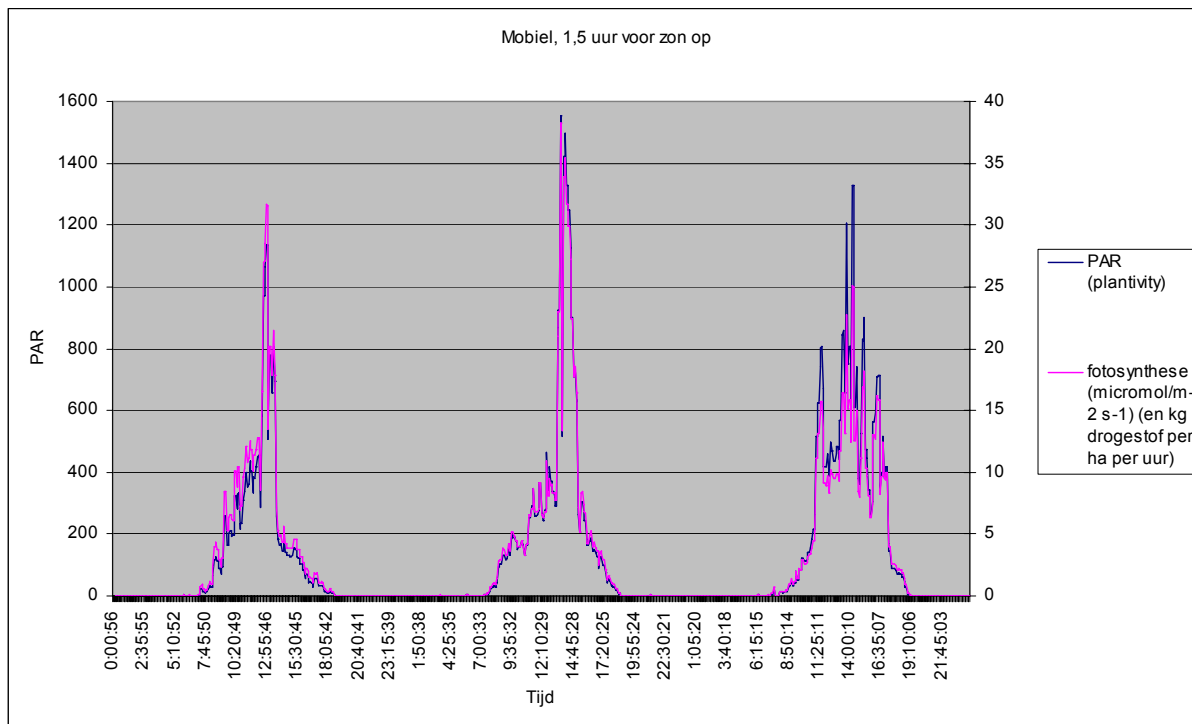
KNMI, Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Appendix 7 Grafieken Mobile Belichting

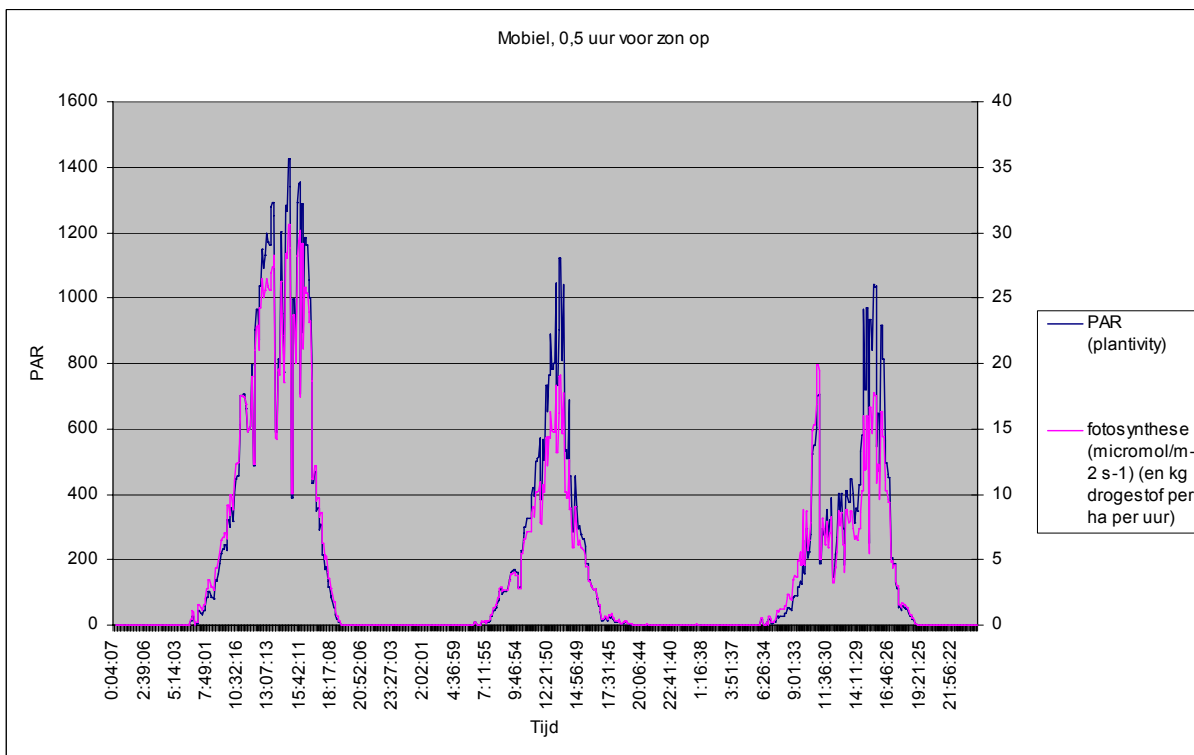
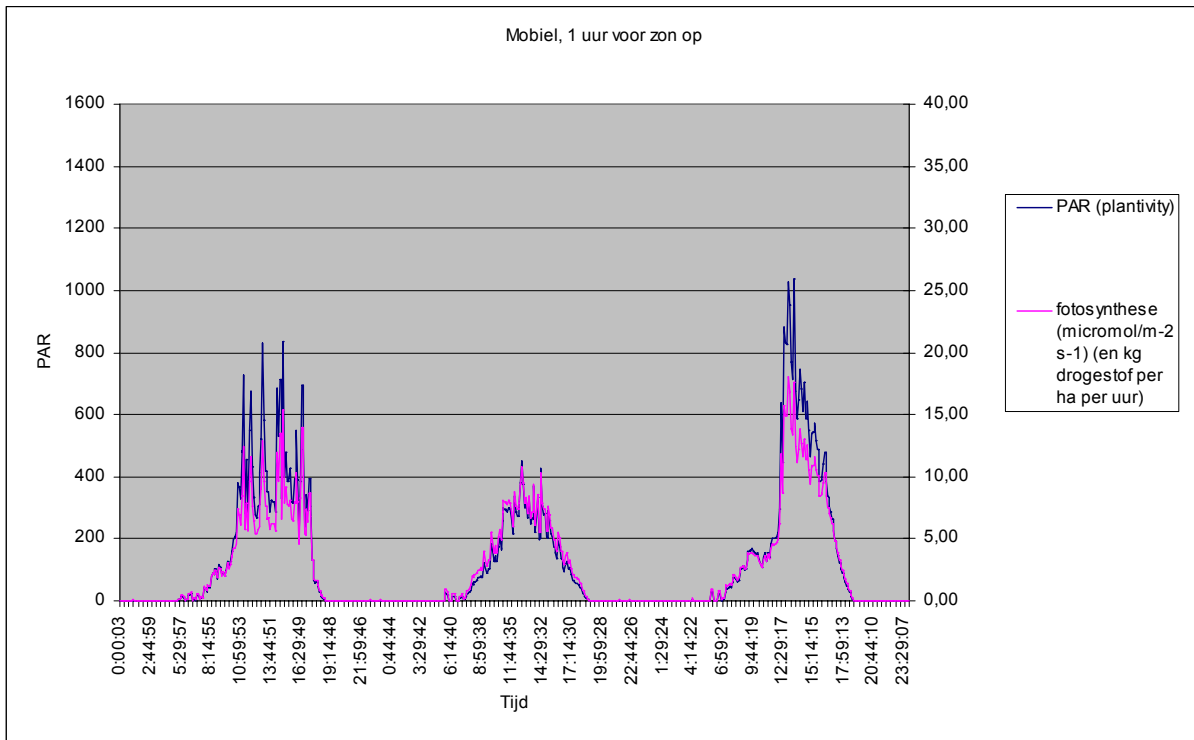
De effecten van assimilatiebelichting op de fotosynthese van paprika



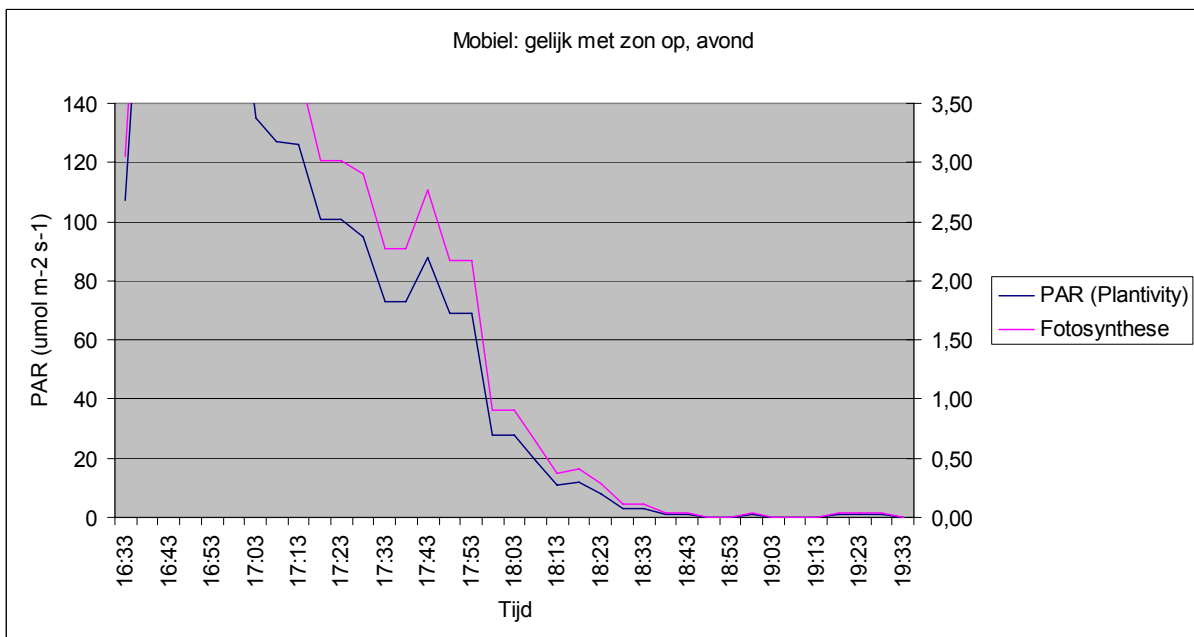
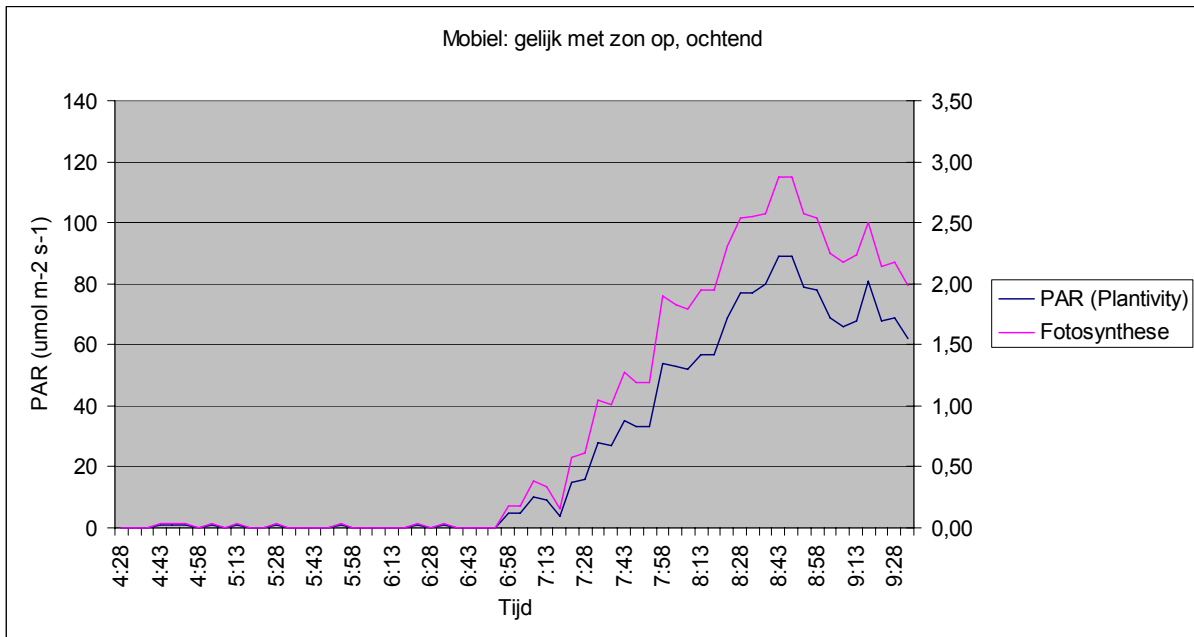
De effecten van assimilatiebelichting op de fotosynthese van paprika

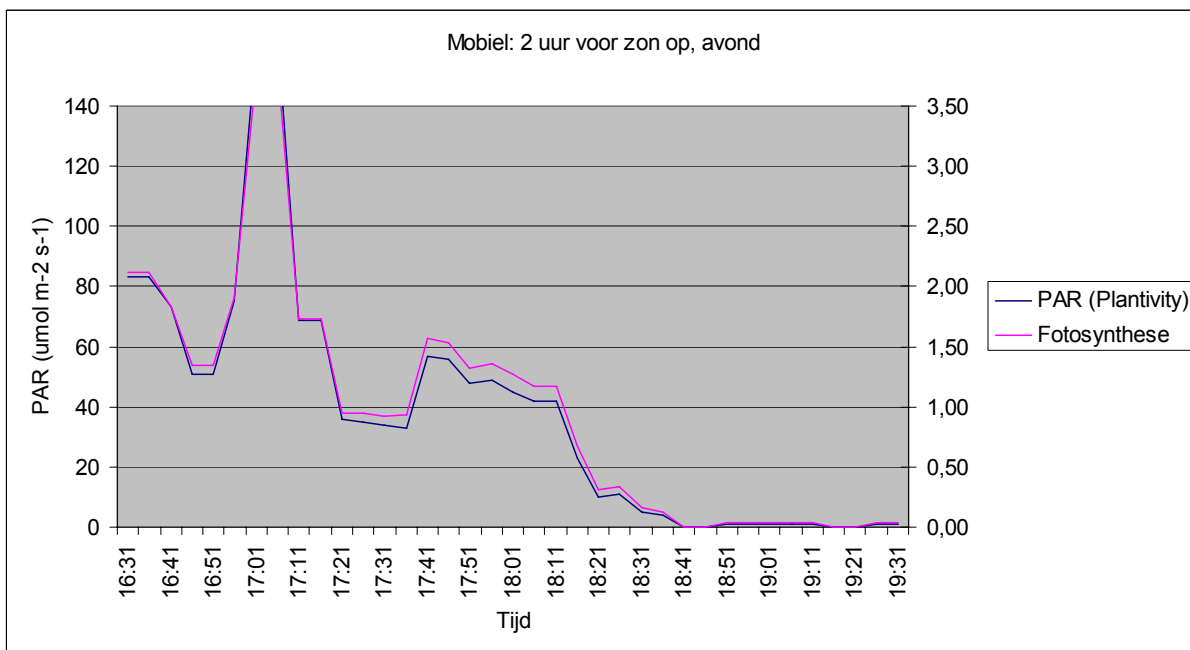
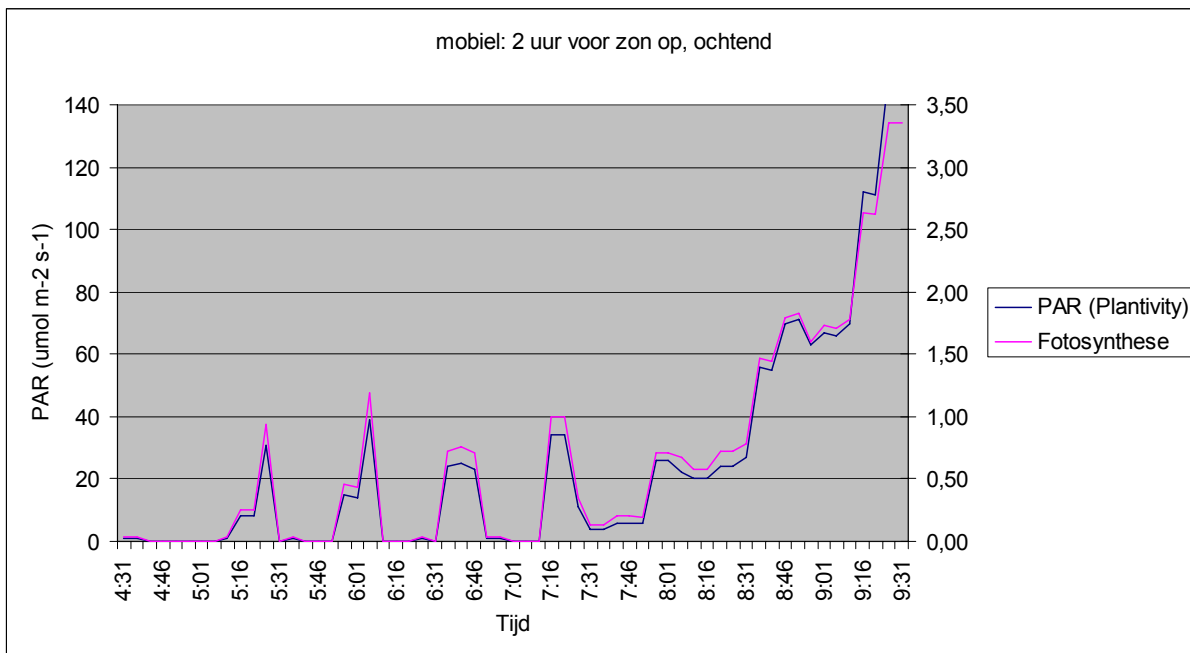


De effecten van assimilatiebelichting op de fotosynthese van paprika

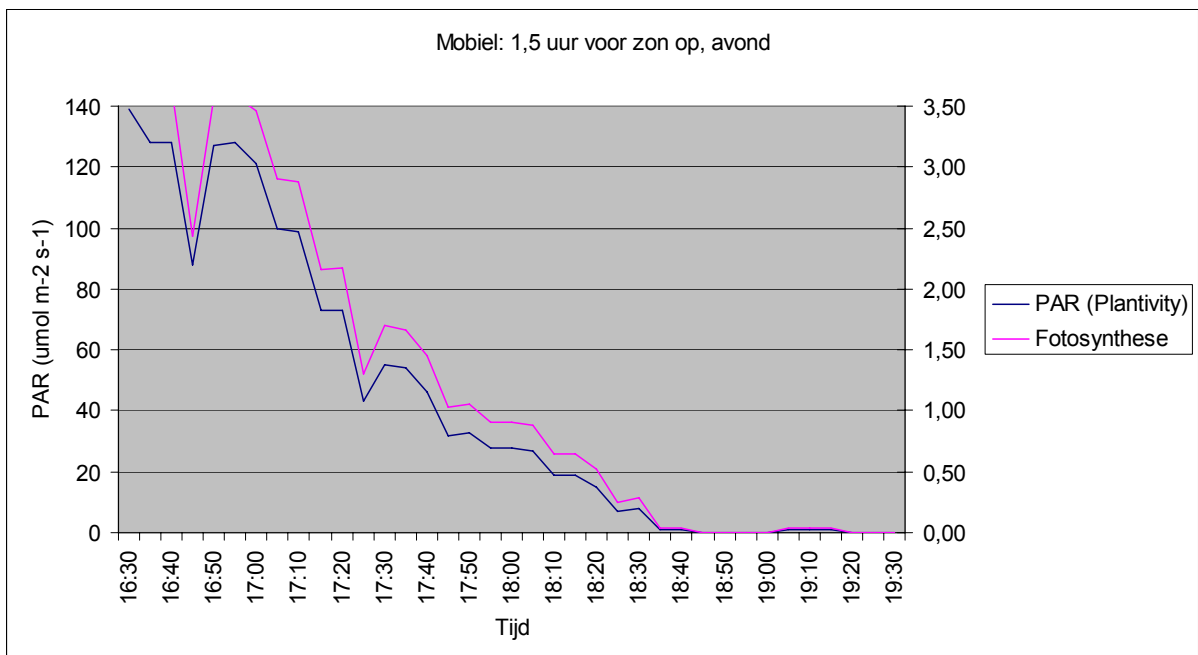
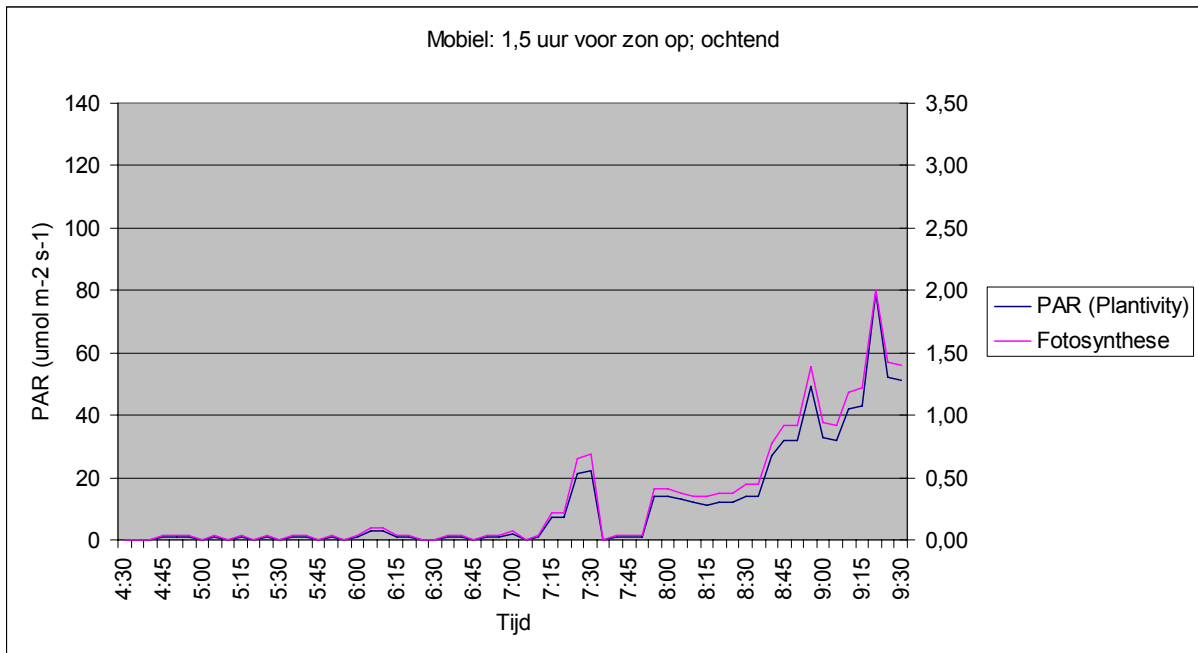


De effecten van assimilatiebelichting op de fotosynthese van paprika

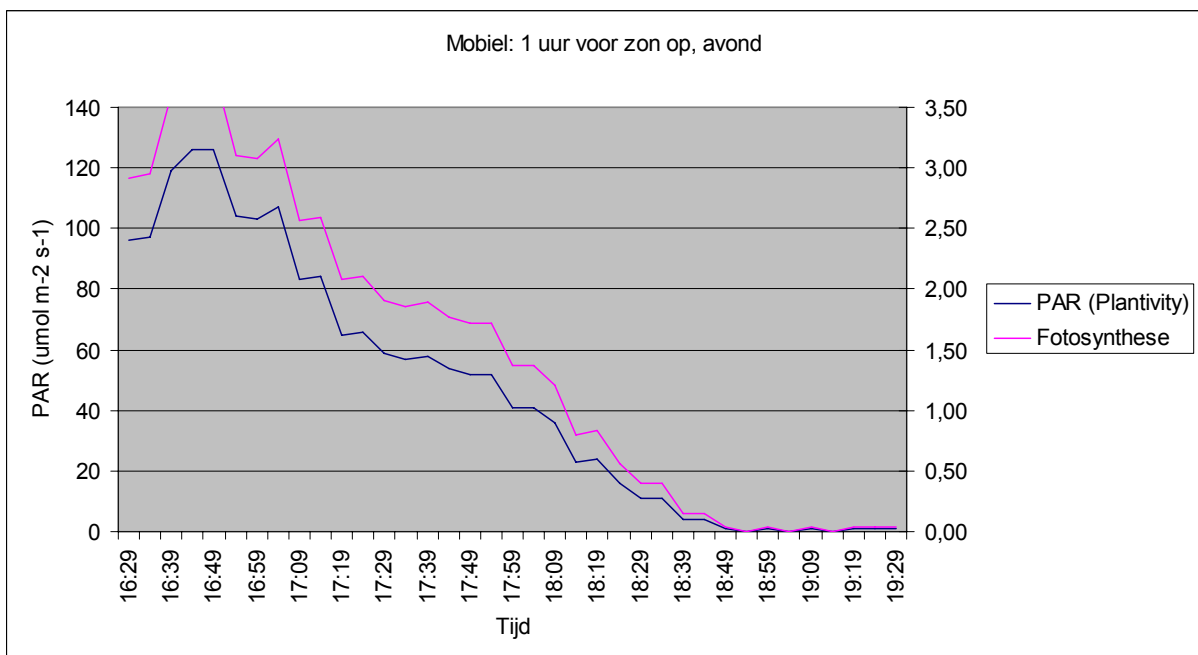
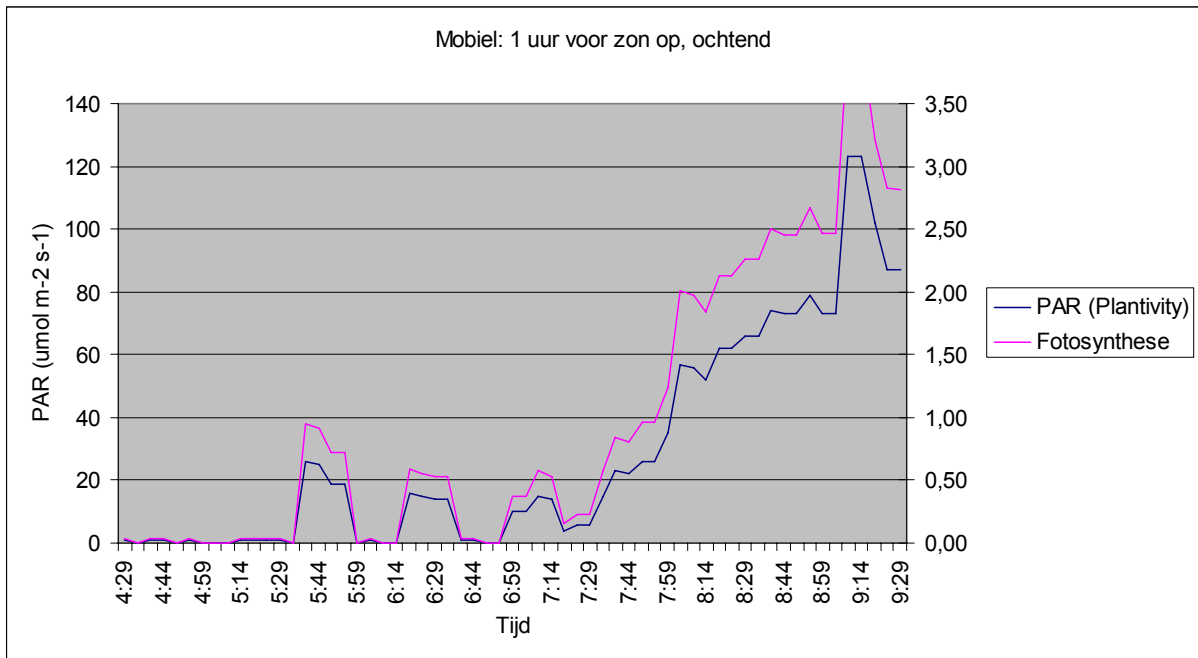


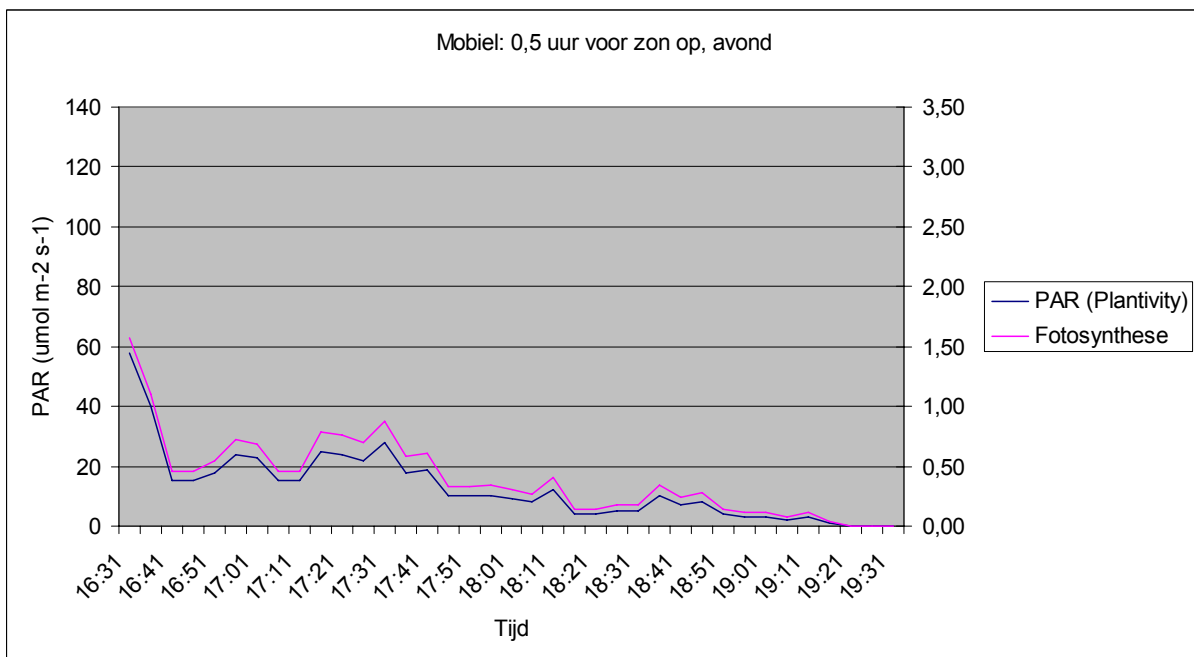
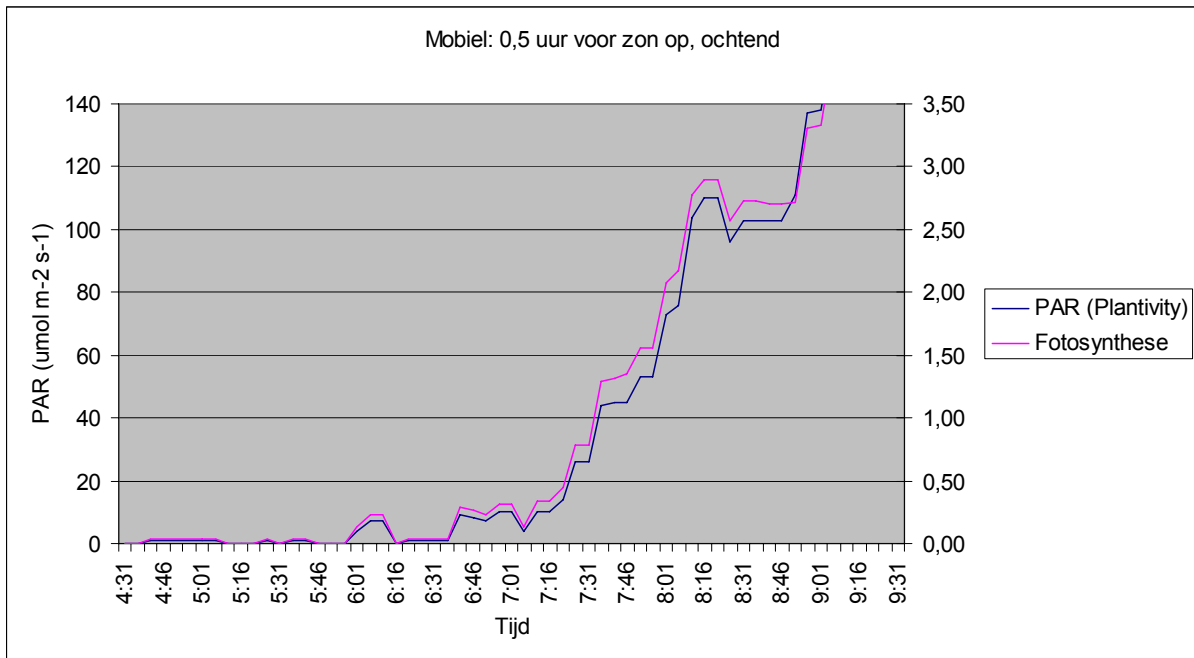


De effecten van assimilatiebelichting op de fotosynthese van paprika

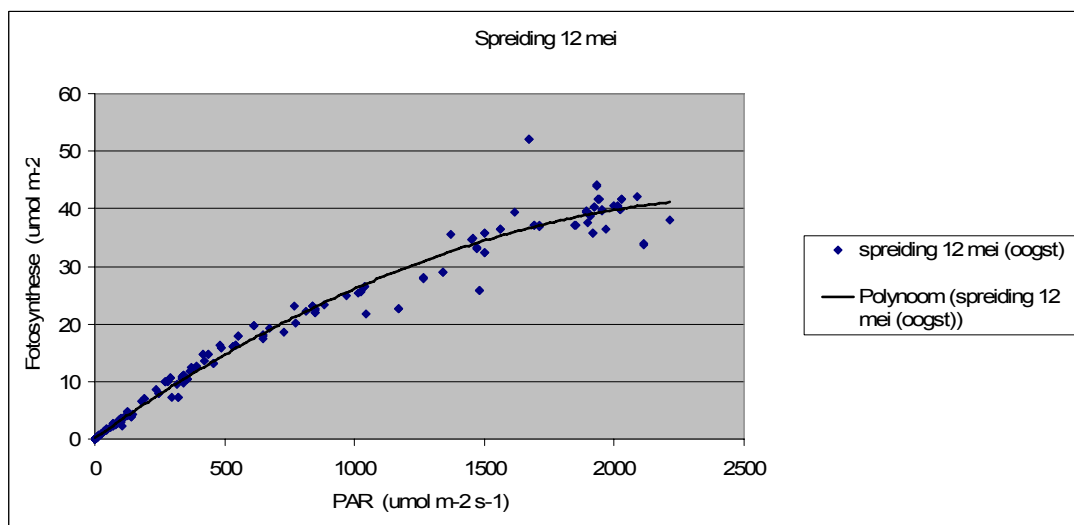
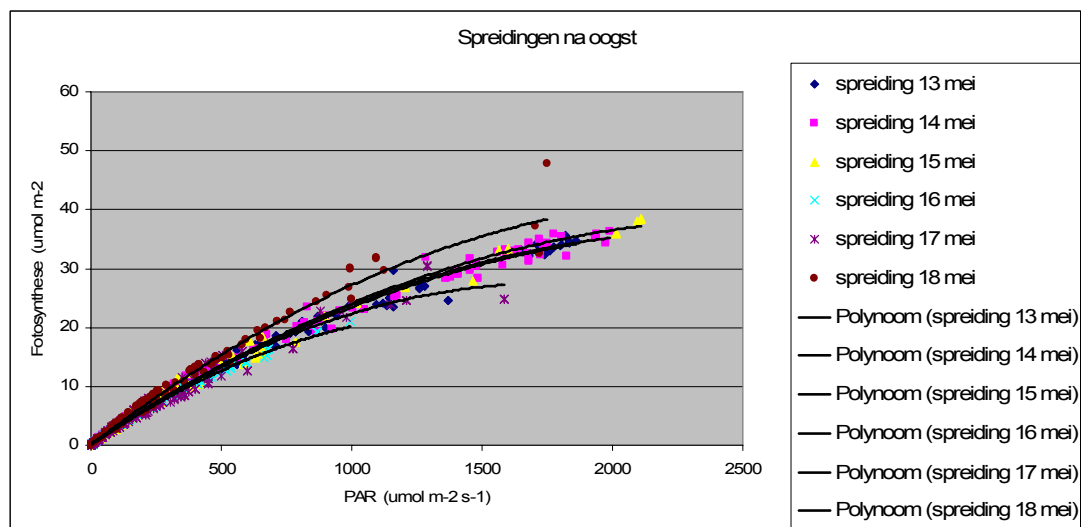
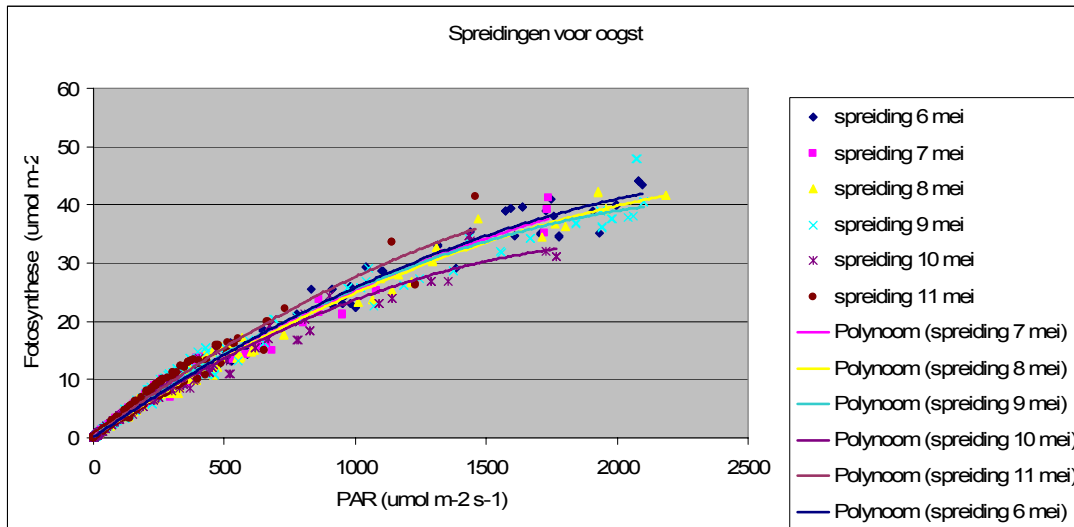


De effecten van assimilatiebelichting op de fotosynthese van paprika



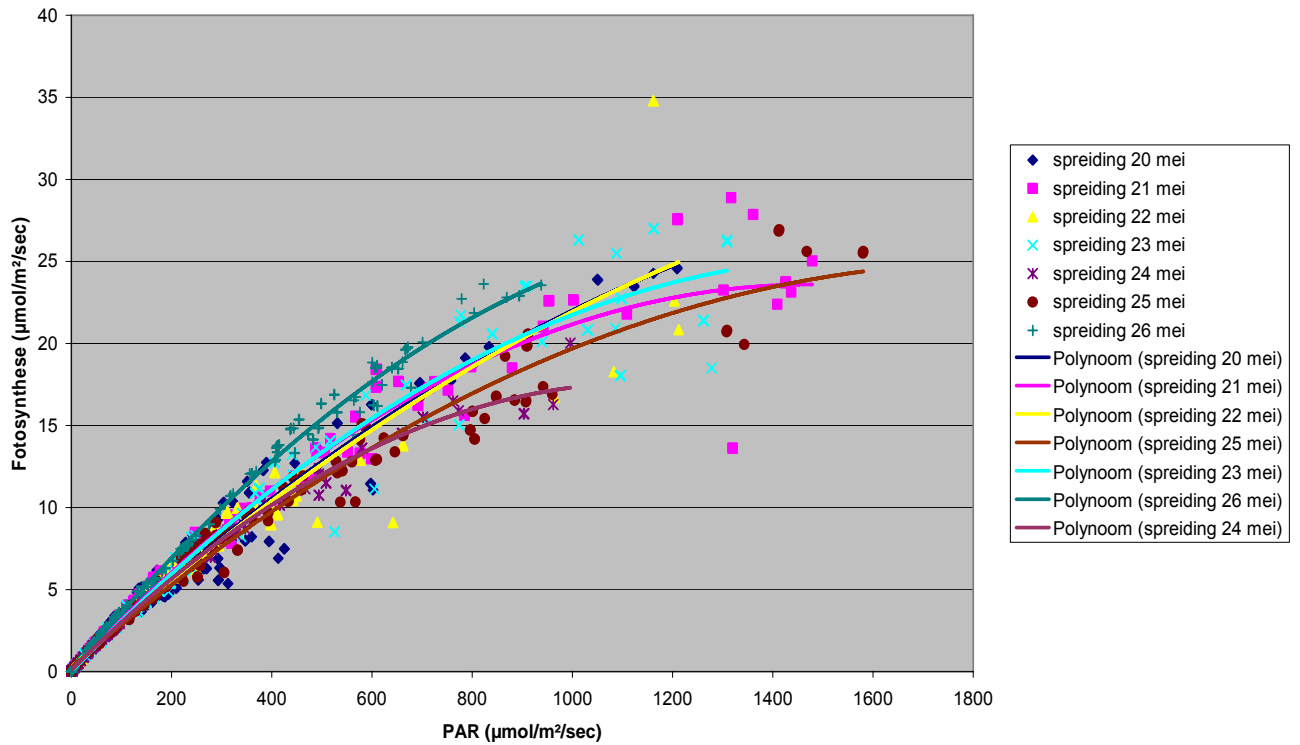


Appendix 8 Grafieken Extreme Plantbelastingsproef



Appendix 9 Grafieken Plantbelastingsproef Praktijk

Spreiding voor oogst



Spreiding na oogst

