



Effecten van diffuus licht bij potplanten

Resultaten van een teeltexperiment

Silke Hemming, Filip van Noort, Jochen Hemming & Tom Dueck





Effecten van diffuus licht bij potplanten

Resultaten van een teeltexperiment

Silke Hemming, Filip van Noort, Jochen Hemming & Tom Dueck

© 2007 Wageningen, Wageningen UR Glastuinbouw

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

Wageningen UR Glastuinbouw

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

Inhoudsopgave

	pagina
Samenvatting	1
1. Inleiding	3
2. Materialen en Methoden	7
2.1 Onderzoekskassen	7
2.2 Kasdekmaterialen	7
2.3 Teeltsysteem	9
2.4 Kasklimaat en gewastemperatuur	9
2.5 Lichtintensiteit en lichtverdeling in het gewas	10
2.6 Fotosynthese en SPAD	10
2.7 Gewasmorfologie	12
2.8 Bladstand	12
2.8.1 Beeldopnameapparatuur – 2d-opnames	13
2.8.2 Beeldopnameapparatuur – 3d-scan	14
2.8.3 Semi-automatische analyse van bladkenmerken	15
3. Resultaten en discussie	17
3.1 Kasklimaat en gewastemperatuur	17
3.2 Lichtintensiteit en horizontale lichtverdeling	19
3.3 Fotosynthese en SPAD	23
3.3.1 SPAD (chlorofyl) bepalingen	23
3.3.2 Actuele fotosynthese	23
3.3.3 Lichtresponscurven	24
3.4 Gewasmorfologie	26
3.5 Bladstand	29
3.5.1 2d-Opnames	29
3.5.2 3d-Scan	32
4. Conclusies	35
5. Aanbevelingen	37
6. Literatuur	39
Bijlage I. Definitie gebruikte beeldanalyseparameters	1 p.
Bijlage II. Genstat programma om lichtresponscurven te fitten	2 pp.

Samenvatting

In het kader van het programma 'Kas als Energiebron' is een aantal transitiepaden gedefinieerd, waaronder het transitiepad 'licht'. Hierin is de wens uitgesproken om optimaal gebruik te kunnen maken van het natuurlijke licht in Nederlandse kassen. Tegen deze achtergrond is in opdracht van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) en het Productschap Tuinbouw (PT) door Wageningen UR Glastuinbouw een onderzoek verricht naar de mogelijkheden van productieverhoging door de relatieve hoeveelheid diffuus licht in de kas te verhogen.

Het effect van diffuus licht op vier verschillende potplanten gewassen, Chrysant, Kalanchoë, Schefflera en Ficus, is in een semi-praktijkexperiment in het najaar en de winter 2006 onderzocht. In het experiment werd een helder kasdek-materiaal vergeleken met een diffuus kasdek-materiaal. Hiervoor werden op het proefbedrijf van Wageningen UR Glastuinbouw vier kasafdelingen ingericht. Een heldere en een diffuse folie werden op het glas van elk twee bestaande kasafdelingen geplakt. Als lichtverstrooiend materiaal is gekozen voor F-Clean diffuus van Asahi Glass Europe BV, omdat het materiaal een hoge lichttransmissie en een hoge lichtverstrooiing vertoont. Als vergelijkingsmateriaal is gekozen voor F-Clean in een heldere uitvoering welke een ongeveer vergelijkbare lichttransmissie heeft, tenminste voor direct invallend licht. De twee foliematerialen werden gelamineerd met een optisch heldere lijm met een zeer hoge transparantie en vervolgens van buiten op de ruiten van de bestaande kasafdelingen geplakt.

In het experiment werd vastgesteld dat het gebruik van een diffuus kasdek-materiaal de horizontale lichtverdeling in het gewas verbetert. Het lichtniveau in de kas was heel uniform. Het hier gebruikte diffuse kasdek-materiaal veroorzaakte echter ook een lichtverlies van minimaal 4%. De gewastemperatuur was bij Kalanchoë tijdens de meetperiode nauwelijks veranderd onder het diffuse kasdek-materiaal ten opzichte van de gewastemperatuur onder het heldere kasdek-materiaal. Ook in de loop van de dag was er geen verschil in gewastemperatuur te constateren, terwijl bij Chrysant de gewastemperatuur onder een helder kasdek-materiaal hoger lag. Blijkbaar zorgden de succulente bladeren van Kalanchoë voor kleinere verschillen in gewastemperatuur.

Er is geen verschil vastgesteld tussen de lichtresponsecurven van Chrysant en Schefflera, welke opgegroeid waren onder diffuus licht of meer direct licht. Bij verschillende lichtniveaus was er geen onderscheid in de netto-fotosynthese. Dat betekent dat de fotosynthesecapaciteit per bladoppervlak niet efficiënter was als gevolg van diffuus licht. Wel vermoeden wij een efficiënter gebruik van het licht per bladlaag of plant als gevolg van een betere horizontale lichtverdeling en een optimalere bladtemperatuur. De actuele fotosynthese lijkt tendentieel hoger te zijn onder diffuus licht. Het zou kunnen dat door een optimalere afstemming van factoren, zoals licht en interne bladtemperatuur, enzymatische processen effectiever kunnen verlopen. Alleen meer fundamenteel onderzoek kan hierover uitsluitsel geven.

Diffuus licht heeft een positieve invloed op de groei van Chrysant. Planten waren zwaarder, hadden meer bladeren en een grotere bladmassa. Diffuus licht verhoogde de relatieve groeisnelheid. Ook bij Schefflera is de groeisnelheid in tendentie verhoogd als gevolg van diffuus licht. Kalanchoë en Ficus vertoonden aan het begin van de teelt een hoge groeisnelheid. Tegen het einde van het experiment was het voordeel van diffuus licht verdwenen. Het drooggewicht van de bladeren was onder het heldere dek-materiaal dan significant hoger. Blijkbaar werkte het lagere lichtniveau onder het diffuse kasdek vanaf half november vertragend op de groei, zodat het positieve effect van diffuus licht niet meer zichtbaar werd, het netto-effect was negatief.

Met behulp van kamera opnames werd de bladstand van de planten onderzocht om vast te stellen of deze als gevolg van diffuus licht veranderd. 2d en 3d-opnames van planten waren geschikt om de bladstand vast te stellen. Oriëntatie (O), lengte/breedteverhouding (L) en verhouding oppervlak convex hull/oppervlak object (C) waren de meest geschikte parameters. Er kon echter geen verschil in bladstand worden gemeten als gevolg van diffuus licht bij de hier onderzochte gewassen.

De versnelde groei is niet het gevolg van een efficiëntere fotosynthese per bladoppervlak of een veranderde bladstand. Wel vermoeden wij een efficiënter gebruik van het licht per bladlaag of plant als gevolg van een betere

horizontale lichtverdeling en een optimalere bladtemperatuur. Het zou kunnen dat door een optimalere afstemming van deze factoren enzymatische processen effectiever kunnen verlopen. Alleen meer fundamenteel onderzoek kan hierover uitsluitsel geven.

De hier gevonden resultaten bij de vier verschillende potplanten gewassen komen grotendeels overeen met eerdere resultaten bij komkommer (Hemming *et al.*, 2007). Een verhoogde fotosynthesesnelheid van de bladeren onder diffuus licht kon ook worden vastgesteld aan de middelste bladeren van komkommer. De middelste bladeren van komkommer vertoonden in metingen een hogere lichtonderschepping en een lagere bladtemperatuur bij hoge stralingsintensiteiten, waardoor vermoedelijk, net als bij de hier beproefde potplanten, de fotosynthese toenam. Anders als bij komkommer, welke door diffuus licht een meer generatieve groei lieten zien, werd het positieve effect op de potplanten veroorzaakt door een hogere vegetatieve groeisnelheid. Bij Kalanchoë was de generatieve groei, de bloei als gevolg van diffuus licht vertraagd. Dit was waarschijnlijk het gevolg van het lagere lichtniveau onder het diffuse kasdek, en niet het effect van de lichtverstrooiing.

Diffuus licht en daarmee diffuse kasdekmaterialen hebben in het algemeen een positieve invloed op de productie van verschillende potplanten, zeker tijdens de stralingsrijke periodes. In het hier doorgevoerde experiment in de vroege najaars- en wintermaanden kon duidelijk een negatief effect worden vastgesteld van het iets lager lichtniveau onder het diffuse kasdek materiaal. Was het effect van de lichtverstrooiing tot ongeveer half november positief, keerde dit vanaf dit tijdstip om. De lagere lichtdoorlatendheid van het diffuse kasdek materiaal werkte negatief op de groeisnelheid van Kalanchoë en Ficus. Bij Chrysant werd dit effect niet zichtbaar, omdat het experiment met Chrysant dan al was afgesloten.

Wij kunnen concluderen dat als het lichtverlies in de wintermaanden te hoog wordt, is een diffuus kasdek met een lagere lichttransmissie niet meer aan te bevelen. Het is daarom wenselijk om diffuse kasdekmaterialen te ontwikkelen welke een hoge lichtverstrooiing hebben gecombineerd met een hoge lichttransmissie. Concreet betekent dit dat materialen worden gezocht met een lichtverstrooiing van minimaal 50%, zoals hier gerealiseerd in het onderzoek met gelijktijdig een lichtdoorlatendheid van minimaal 90% bij loodrecht en 82% bij diffuus invallend licht. De lichtdoorlatendheid mag niet verder teruglopen, omdat anders de winst van een diffuus kasdek materiaal verloren gaat, vooral in de winterperiode waar de hoeveelheid licht dat de kas binnenkomt vaak de beperkende factor is.

In de wintermaanden is een lichtverstrooiend kasdek materiaal toch minder belangrijk, omdat het natuurlijke licht als gevolg van bewolking toch grotendeels diffuus is, het is echter ook niet schadelijk als de lichtdoorlatendheid maar hoog genoeg is. De meeste voordelen zijn met een diffuus kasdek materiaal in de voorjaars-, zomer- en najaarsmaanden te halen, wanneer het natuurlijke licht vaak direct is en wanneer er een te hoge directe instraling onwenselijk is voor gewassen.

Tuinders moeten opletten bij keuze van huidige materialen, de meeste materialen vertonen op dit moment een te hoog lichtverlies of een te geringe lichtverstrooiing, ze kunnen beter wachten totdat er een optimaal materiaal is.

In onze experimentele periode, start begin september, kon geen verbrandingsschade aan de gewassen als gevolg van direct licht onder het heldere kasdek materiaal worden vastgesteld. Er kon in ons experiment niet worden vastgesteld of diffuus licht eventueel minder verbrandingsschade zal veroorzaken. Dit is wel te verwachten in de nog stralingsrijkere zomermaanden.

Samenvattend kan worden gesteld dat door het licht diffuus te maken het natuurlijke licht beter wordt benut en de groeisnelheid van de vier hier onderzochte potplanten wordt verhoogd, wat voor de energie-efficiënte in Nederlandse kassen voordelig is. Diffuus licht kan worden bereikt door gebruik te maken van een diffuus kasdek materiaal, mits dit materiaal geen lichtverlies veroorzaakt.

1. Inleiding

In het kader van het programma 'Kas als Energiebron' is een aantal transitiepaden gedefinieerd, waaronder het transitiepad 'licht'. Hierin is de wens uitgesproken om optimaal gebruik te kunnen maken van het natuurlijke licht in Nederlandse kassen. Tegen deze achtergrond is in opdracht van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) en het Productschap Tuinbouw (PT) door Wageningen UR Glastuinbouw een onderzoek verricht naar de mogelijkheden van productieverhoging door de relatieve hoeveelheid diffuus licht in de kas te verhogen.

Het zo veel mogelijk gebruik maken van natuurlijk licht zal energie sparen. Eén aspect rondom het gebruik maken van natuurlijk licht dat op dit moment wordt onderzocht is 'diffuus licht'. Hiervoor is een kas in Naaldwijk uitgerust met twee afdelingen met diffuus licht en twee afdelingen met direct licht, waarin experimenteel onderzoek rondom diffuus licht plaats kan vinden.

In kassen wordt het binnenvallende zonlicht niet regelmatig verdeeld. Hoogopgaande gewassen, zoals tomaat en paprika, hebben veel bladmassa. De verticale lichtverdeling in deze gewassen is niet optimaal. De bovenste bladeren onderscheppen veel licht, dat meer dan gebruikt kan worden voor fotosynthese en veel minder licht dringt in de middelste en onderste lagen van het gewas, zodat deze bladeren nauwelijks bijdragen aan de fotosynthese en groei. Door het diffuus maken van het licht in de kas kan de verticale lichtverdeling worden veranderd. Dit is al in modelstudies en experimenten aangetoond (Hemming *et al.*, 2005; Hemming *et al.*, 2007). Diffuus licht heeft een positief effect op de opbrengst van hoog opgaande gewassen, zoals komkommer, als gevolg van een betere lichtbenutting.

Naast de verticale lichtverdeling in de kas is ook de horizontale lichtverdeling belangrijk voor een gelijkmatige groei. In de planten opkweek en bij lage gewassen is de lichtverdeling in de kas, vooral op stralingsrijke dagen met veel direct licht, niet optimaal. Direct zonlicht geeft namelijk slagschaduw die door de kasconstructie en aanwezige installaties worden veroorzaakt. Sommige planten krijgen dan veel instraling en laten sneller stress- en verbrandingschade zien. Andere planten staan vaker in de schaduw en ontvangen veel minder licht, ze vertonen daardoor een slechte groei en blijven in hun ontwikkeling achter. Voor een gezond en uniform gewas is een regelmatige lichtverdeling essentieel. Tuinders gebruiken soms een scherm om direct licht weg te vangen met als resultaat lichtverlies en een ander kasklimaat. Er liggen kansen om een diffuus kasdek materiaal te gebruiken.

Kasdekmaterialen en schaduwschermen kunnen worden gebruikt om in de kas binnenkomende zonnestraling diffuus te maken door een verschillende breking van de invallende lichtstralen. Deze materialen zijn in staat om het licht te verstrooien. Voor het menselijke oog lijken deze materialen minder doorzichtig (Figuur 3), dat hoeft voor de planten echter niet het geval te zijn. Vroeger werd veelal gehamerd glas als kasdek materiaal gebruikt. Dit glas zorgde voor meer diffuse straling in de kas. Omdat dit glas veel schade gaf door breuk als gevolg van hagel is het nauwelijks nog in de tuinbouw te vinden. Nieuwbouwkassen worden gedekt met glad en doorzichtig floatglas. Hierdoor ontvangen de planten vooral in de zomermaanden veel direct licht. De laatste tijd ontstaat meer en meer de vraag naar diffuus makende kasdek- en schermmaterialen. Het lichtverstrooiende vermogen en de lichtdoorlatendheid van verschillende materialen bij lichtinval onder verschillende invalshoeken zijn belangrijke eigenschappen bij de beoordeling van diffuse kasdek- en schermmaterialen. De eigenschappen van al bekende materialen is inmiddels door Wageningen UR Glastuinbouw onderzocht (Hemming *et al.*, 2005). Het voor de Nederlandse tuinbouw optimale materiaal moet echter nog worden ontwikkeld. Hiervoor zijn de technische mogelijkheden aanwezig, toeleveranciers hebben innovaties op het gebied van diffuse materialen inmiddels opgepakt.

In een eerder onderzoek zijn de potenties van het gebruik van meer diffuus en minder direct licht in de Nederlandse kastuinbouw onderzocht (Hemming *et al.*, 2005). Er is in kaart gebracht welke eisen te stellen zijn aan een lichtverstrooiend kasdek- of schermmateriaal. De lichtdoordringing in verschillende gewassen tijdens verschillende groeistadia onder verschillende seizoenen is met behulp van plantengroeimodellen geanalyseerd.

In de voorliggende studie worden de potenties van het gebruik van meer diffuus en minder direct licht in de Nederlandse kasuinbouw verder onderzocht. Er zal onderzoek gedaan worden naar het effect van diffuus licht bijlage gewassen en in minder stralingsrijke periodes van het jaar. Het onderzoek moet antwoord geven op de volgende onderzoeksvragen:

- Hoe verandert de horizontale lichtverdeling als gevolg van een diffuus kasdekmetaal?
- Veranderen klimaatparameters zoals luchtvochtigheid, kasluchttemperatuur, gewastemperatuur, raamstand of CO₂-concentratie, en wat zijn de gevolgen hiervan voor de energie-efficiëntie?
- Wat is het effect op de lichtbenutting en de lichtopname van het gewas? (Kan het gewas diffuus licht beter opnemen dan direct licht?)
- Wat is het effect op de gewasmorfologie: bladoppervlak, bladstand?

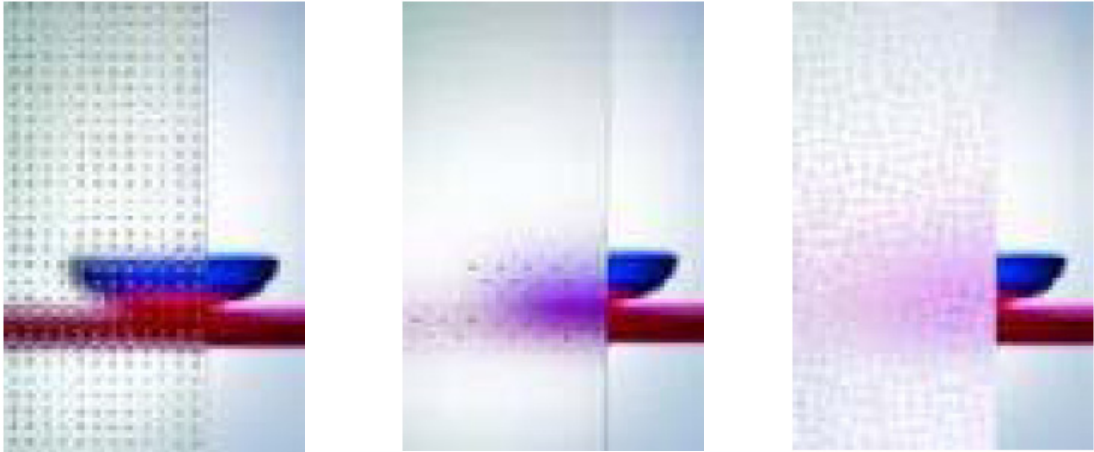
In de voorliggende studie zijn de onderzoeksresultaten van het effect van diffuus licht op lage gewassen weergegeven. Het onderzoek werd uitgevoerd met een viertal potplanten, Chrysant, Kalanchoë, Ficus en Schefflera, tijdens de herfst en winter 2006.



Figuur 1. Verticale lichtverdeling in gewassen mogelijk verbeterd door diffuus licht, meer licht onderin het gewas en meer bijdrage van onderste bladlagen aan fotosynthese?



Figuur 2. Horizontale lichtverdeling in gewassen mogelijk verbeterd door diffuus licht, minder slagschaduw en uniformer gewas?

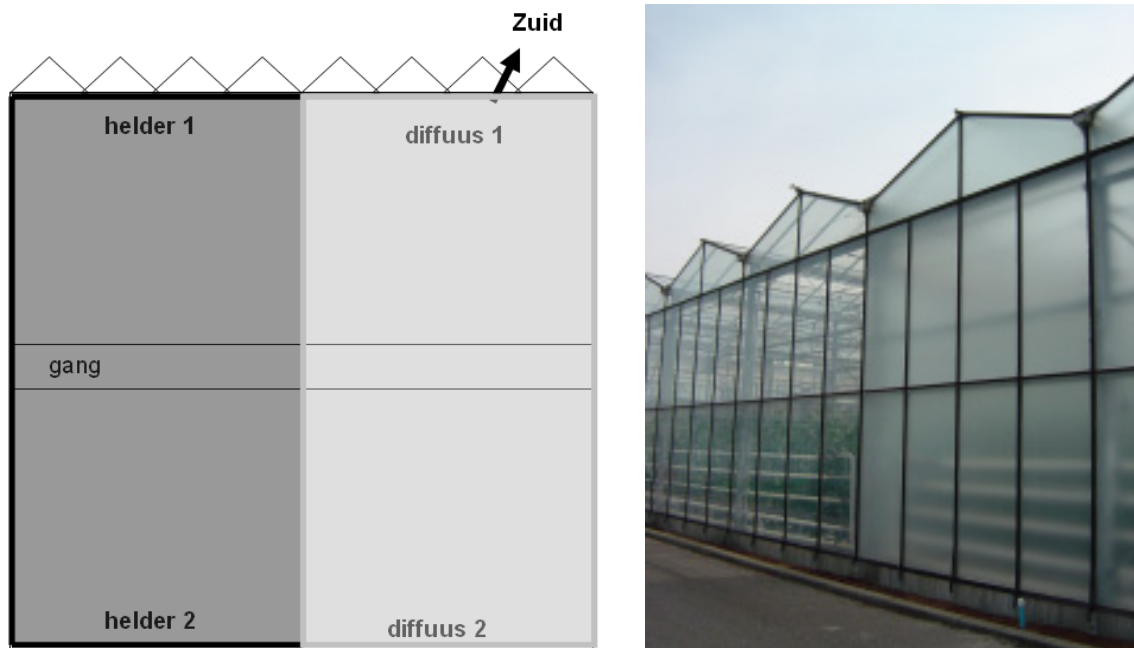


Figuur 3. Nieuwe transparante materialen zijn in staat om direct licht om te zetten in diffuus licht, lichtverstrooiing van deze materialen kan verschillend zijn (links 15%, midden 50%, rechts 80%) bij een vergelijkbare lichtdoorlatendheid.

2. Materialen en Methoden

2.1 Onderzoekskassen

Op het proefbedrijf van PPO Glas is op de locatie Naaldwijk een experiment met verschillende potplanten uitgevoerd. Er werd gebruik gemaakt van vier gelijke kasafdelingen van elk 150 m². De kassen hebben een nokoriëntatie in richting Zuid/Zuid-Oost naar Noord/Noord-West en liggen in een blok met een gangpad in het midden (Figuur 4). Er zijn twee behandelingen aangebracht, twee afdelingen met een diffuus kasdek materiaal en twee afdelingen met een helder kasdek materiaal. De twee herhalingen liggen elk aan de zuidkant en aan de noordkant. De afdelingen zijn volledig van elkaar gescheiden. Het klimaat van elke afdeling kan apart worden geregeld.



Figuur 4. Onderzoekskassen en experimentele set-up.

2.2 Kasdekmaterialen

In het experiment werd een helder kasdek materiaal vergeleken met een diffuus kasdek materiaal. Hiervoor werd een heldere en een diffuse folie op het glas van de bestaande kasafdelingen geplakt. Dit heeft tot gevolg dat de totale lichttransmissie in de proef lager was dan in de praktijksituatie. Omdat het echter gaat om een vergelijking van twee behandelingen kunnen wél de nodige conclusies worden getrokken.

Als lichtverstrooiend materiaal is gekozen voor F-Clean diffuus van Asahi Glass Europe BV, omdat het materiaal een hoge lichttransmissie en een hoge lichtverstrooiing vertoont. Als vergelijkingsmateriaal is gekozen voor F-Clean in een heldere uitvoering welke een ongeveer vergelijkbare lichttransmissie heeft, tenminste voor direct invallend licht. De twee foliematerialen werden gelamineerd met een optisch heldere lijm met een zeer hoge transparantie en vervolgens van buiten op de ruiten van de bestaande kasafdelingen geplakt.

Zowel de gevels als ook het dak van de twee diffuse afdelingen inclusief het dak van de tussen liggende gang werden beplakt met de diffuse folie. Ook de scheidingswand tussen de diffuse en de heldere afdelingen werden beplakt met de diffuse folie, dit om te voorkomen dat in de ochtenduren direct licht op het proefveld kon komen.

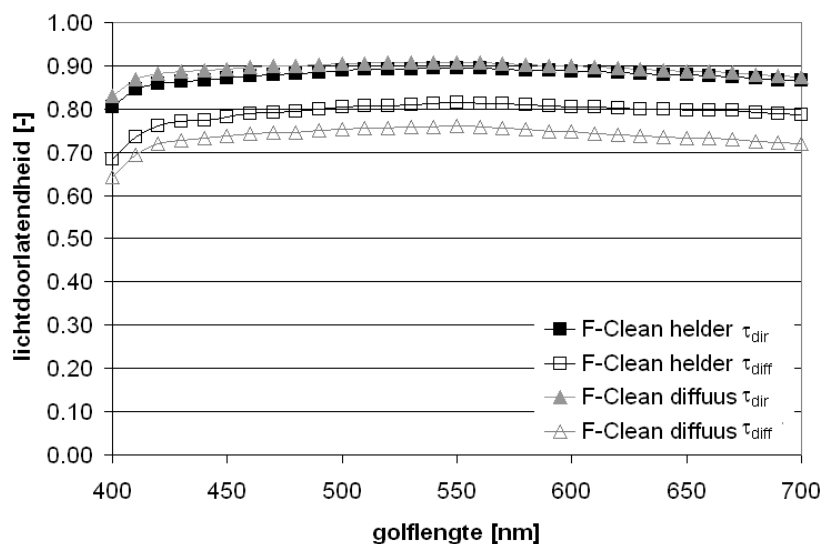
In de heldere afdelingen werden alle buitenliggende gevels en het dak inclusief het dak van de tussen liggende gang beplakt met de heldere folie. Om te voorkomen dat diffuus licht op het proefveld in de heldere afdelingen valt, ligt het proefveld zo ver mogelijk af van de scheidingswand van de twee behandelingen.

De materiaalcombinatie glas met F-Clean diffuus heeft, gemeten volgens NEN 2675, een PAR transmissie voor loodrecht opvallend licht van 89.5% en een PAR transmissie voor diffuus invallend licht van 74.1%. Daarentegen heeft de combinatie glas met F-Clean helder een PAR transmissie voor loodrecht opvallend licht van 88.0% en van 79.5% voor diffuus invallend licht. Deze waarden laten zien dat het diffuse materiaal bij loodrecht opvallend licht een iets hogere lichtdoorlatendheid heeft, maar vooral voor diffuus invallend licht meer dan 5% in lichttransmissie achteruit gaat. Het spectrum van de twee materiaalcombinaties voor direct en diffuus opvallend licht wordt weergegeven in Figuur 6.

De lichtverstrooiing (Haze) van het diffuse materiaal was 51.9%.



Figuur 5. Helder en diffuus kasdek materiaal op onderzoekskassen.



Figuur 6. PAR transmissie bij directe, loodrechte lichtinval en bij diffuse lichtinval op twee combinaties van kasdekmaterialen: Glas met een heldere folie (F-Clean helder) en glas met een diffuse folie (F-Clean diffuus).

2.3 Teeltsysteem

Als modelgewassen voor het onderzoek werden een viertal potplanten gekozen: Potchrysant 'Danielson', Kalanchoë 'Kerinci', Ficus benjamina 'exotica' en Schefflera 'compacta'. Het onderzoek is uitgevoerd tijdens de herfst- en wintermaanden 2006, om ook effecten tijdens periodes met minder instraling mee te kunnen nemen. De planten werden opgepot (Schefflera, Ficus van weefselkweek) of gestekt (Kalanchoë, Potchrysant) in een 13 cm pot op woensdag 30 augustus in een eb/vloed substraat flush fine van TrefEgo. De Potchrysanten zijn na het steken 10 dagen afgedekt met folie om goed te wortelen, bij Kalanchoë is dit niet nodig. De daglengte van de kortedagplanten Kalanchoë en Potchrysant wordt niet verkort met zwarte schermen, maar er wordt gebruik gemaakt van de natuurlijke korte dag. Schefflera en Ficus zijn bemest met een vegetatief winter schema N-P-K 9-2-4, met een EC van 1.7 en pH van 5.6. De Potchrysant en Kalanchoë zijn bemest met een generatief schema NPK 4-2-4, met een EC-gift 2.0 en pH van 5.6. Er is gestart met 50 planten per m² en eindafstand is 20 planten per m² (Figuur 7).

Tijdens het oppotten van de Schefflera stekken werd er wortelrot geconstateerd, toen de planten voor de eerste water nodig hadden is de wortelrot bestreden met het middel ridomil-gold om uitval en ongelijkheid tegen te gaan. Op 13 september (14 dagen na steken) zijn de Potchrysanten getopt. Half oktober zijn een drietal bestrijdingen uitgevoerd tegen witte vlieg en trips. Geen van de gewassen is geremd.



Figuur 7. Teeltsysteem en gewasgroei (op 4 oktober, ca. 4 weken na teeltstart).

2.4 Kasklimaat en gewastemperatuur

In de vier kasafdelingen werden de volgende klimaatgegevens bijgehouden:

- Temperatuur droge bol [°C]
- Temperatuur natte bol [°C], relatieve luchtvochtigheid [%]
- CO₂-concentratie [ppm]
- Raamstand [%]
- Globale straling [W/m²]
- PAR licht [μmol/m²/s]
- Gewastemperatuur [°C]

Metingen werden in alle vier kasafdelingen continue uitgevoerd en de gemiddelde gegevens om de 15 minuten opgeslagen. De gewastemperatuur werd over een periode van 20 oktober tot 20 november 2006 in Chrysant en Kalanchoë gemeten in de diffuse en de heldere afdeling aan de Noordkant met behulp van vier IR-camera's van Growlab Hogendoorn. Data werden om de 5 minuten opgeslagen.

2.5 Lichtintensiteit en lichtverdeling in het gewas

Om het verloop van de stralingsintensiteit in de vier kasafdelingen bij te houden werden de stralingsgegevens boven het gewas op traliehoogte gemeten met behulp van PAR Lite sensoren en solarimeters CM10 van Kipp & Zonen BV. De stralingsdata werden elke 20 seconden opgeslagen met behulp van een datalogger Datataker 600. Ook de stralingsgegevens buiten werden bijgehouden. Er werd een PAR Lite sensor op de nok van de onderzoekskassen geïnstalleerd, verder werd er gebruik gemaakt van de data van de solarimeter van de centrale weertoren van het proefstation Naaldwijk. Gemeten werden binnen en buiten:

- Globale straling [W/m^2]
- PAR licht [$\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$]

Om de lichtverdeling in het gewas te analyseren werden op verschillende momenten (vlak voor de destructieve oogsten) en op verschillende tijden over de dag metingen van de lichtverdeling in gewas uitgevoerd. Metingen werden uitgevoerd met behulp van het sunscan systeem van Delta-T Ltd. (Figuur 8). Metingen werden gedaan op:

- verschillende plaatsen in de kas
- bewolkte en heldere dagen
- verschillende tijdstippen op een dag



Figuur 8. Meting lichtverdeling in het gewas.

2.6 Fotosynthese en SPAD

Actuele fotosynthese

Er werden fotosynthese metingen uitgevoerd: de actuele fotosynthese en lichtrespons curven. Fotosynthese werd gemeten met een draagbare fotosynthesemeter (LCPro+, ADC, Hoddesdon, Verenigd Koninkrijk) met een bladkamer van 6.25 cm^2 . De metingen werden uitgevoerd op volgroeide bladeren, welke niet beschaduwd werden door bovenliggende bladeren. In de bladkamer stroomt lucht met een constante snelheid langs het blad. Uit het verschil van de hoeveelheid CO_2 van de ingaande en uitgaande lucht wordt de netto fotosynthese berekend. De condities in de bladkamer werden ingesteld. Er werd iedere keer aan een andere plant gemeten. Na elke meting werd de apparatuur verplaatst naar een andere kasafdeling, zodat de fotosynthesecapaciteit gedurende een dag in kaart gebracht werd in elke kasafdeling.

De actuele fotosynthese is afhankelijk van de heersende klimaatcondities en is variabel gedurende de dag vooral als het lichtniveau varieert. Met een externe lichtbron werden lichtrespons curven gemaakt door de fotosynthese te meten bij toenemende lichtintensiteit en bij vaste klimaatcondities in de bladkamer (Figuur 9). De CO₂ concentratie in de bladkamer was 700 ppm, de temperatuur was 21°C, en de relatieve luchtvochtigheid van de uitgaande lucht was circa 85%.



Figuur 9. Metingen van de fotosynthese met de Licor.

Lichtresponscurven

In november 2006 zijn lichtresponscurven gemeten bij de gewassen Chrysant, Kalanchoë, Ficus en Schefflera opgegroeid onder diffuus of direct licht. In beide behandelingen zijn 3 tot 4 lichtresponscurven per soort gemeten met de LCPro+ met een lichtbron erboven.

Alle gemeten lichtresponscurven zijn individueel gefit met een nonrectangular hyperbool. Dit is een curve die door 4 parameters wordt bepaald:

- $A_{\max}$: maximale netto fotosynthese (AMAX)
- R_d : donkerrespiratie (netto fotosynthese in het donker) (RD)
- ε : efficiëntie, helling van de curve bij lage lichtintensiteit (EFF)
- Θ : buiging van de curve (THETA)

Beschrijving van de methode in het rapport 'luchtcirculatie' (De Gelder *et al.*, 2006)

(Let op: de formules zijn niet exact gelijk, omdat in de genstat formule gerekend wordt met de netto fotosynthese (die is namelijk gemeten) en in onderstaande formule is de bruto fotosynthese geformuleerd.)
Iedere curve is apart gefit met een 'non-rectangular' hyperbool:

$$Ass = \left(\varepsilon R + (A_{\max} - R_d) - \sqrt{((\varepsilon R + A_{\max} - R_d)^2 - 4\Theta \varepsilon R (A_{\max} - R_d))} \right) / (2\Theta) \quad (1)$$

waarin:

- Ass : bruto CO₂-assimilatiesnelheid ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
- $A_{\max}$: maximale bruto CO₂-assimilatiesnelheid bij (zeer) hoge lichtintensiteit ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
- R_d : donkerademhaling, mitochondrische respiratie ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
- ε : initiële lichtbenuttingssnelheid ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1} / [\mu\text{mol PAR m}^{-2} \text{s}^{-1}]$)

Θ : parameter die de buiging van de curve beschrijft

R : fotosynthetisch actieve straling (PAR, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

$A_{\max}$ is de maximale A_{ss} bij zeer hoge lichtintensiteit, of de asymptotische waarde van A_{ss} . Niet in alle gevallen werd dit hoge lichtniveau gehaald, zodat de hoogst gemeten waarde van A_{ss} soms lager was dan $(A_{\max} - R_d)$.

Om te beoordelen of twee curven gelijk aan elkaar zijn of van elkaar verschillen, is geanalyseerd of de parameters aan elkaar gelijk zijn ($A_{\max}$, R_d , ε , en Θ). Als er een significant verschil bestaat tussen de waarden van een of meer van de parameters, zijn de curven niet gelijk aan elkaar.

Het genstatprogramma dat hiervoor is gebruikt staat in Bijlage II.

```
!E      (fit = (EFF*VPAR+ (AMAX-RD) - SQRT((EFF*VPAR+AMAX-RD)**2 -
      4*THETA*EFF*VPAR*(AMAX-RD))) / (2*THETA) +RD
```

Per curve zijn de bovengenoemde 4 parameters geschat. Vervolgens wordt getoetst of de parameters verschillend zijn voor direct licht vergeleken met diffuus licht. Een curve is anders als tenminste 1 parameter verschilt. Er is getoetst voor alle gewassen samen (de behandeling is dan direct_diffuus) en per gewas soort (de behandeling is dan soort/direct_diffuus).

SPAD

De hoeveelheid chlorofyl in het blad werd geschat door de lichttransmissie te meten door het blad met een SPAD 50 meter (Minolta). Aan elk blad werd het gemiddelde van 6 metingen gebruikt.

2.7 Gewasmorfologie

Om veranderingen in de gewasmorfologie als gevolg van diffuus licht te onderzoeken zijn op verschillende tijdstippen planten destructief geoogst. Oogstdata waren aan het begin van het experiment (week 36), in week 41 en in week 48 (voor Chrysant in week 45).

Bij de destructieve oogst werden 10 planten per behandeling geanalyseerd. De volgende parameters werden op alle oogstdata geanalyseerd:

- Lengte van de plant [cm]
- Aantal bladeren per bladlaag per plant [-]
- Versgewicht bladeren en stengel apart per plant [g]
- Drooggewicht bladeren en stengel apart per plant [g]
- Drogestofgehalte bladeren en stengel apart per plant [%]
- Bladoppervlak per plant [m²]
- LAI per plant (leaf area index) [-]
- SLA per plant (specific leaf area) [g m⁻²]
- Aantal zij scheuten per plant [-]
- Versgewicht en drooggewicht van bloemknoppen en open bloemen bij Kalanchoë en Potchrysant
- Aantal open bloemen en knoppen bij Potchrysant (maat voor bloeipotentie)
- Aantal open bloemen bij Kalanchoë ten behoeve van bloeisnelheid

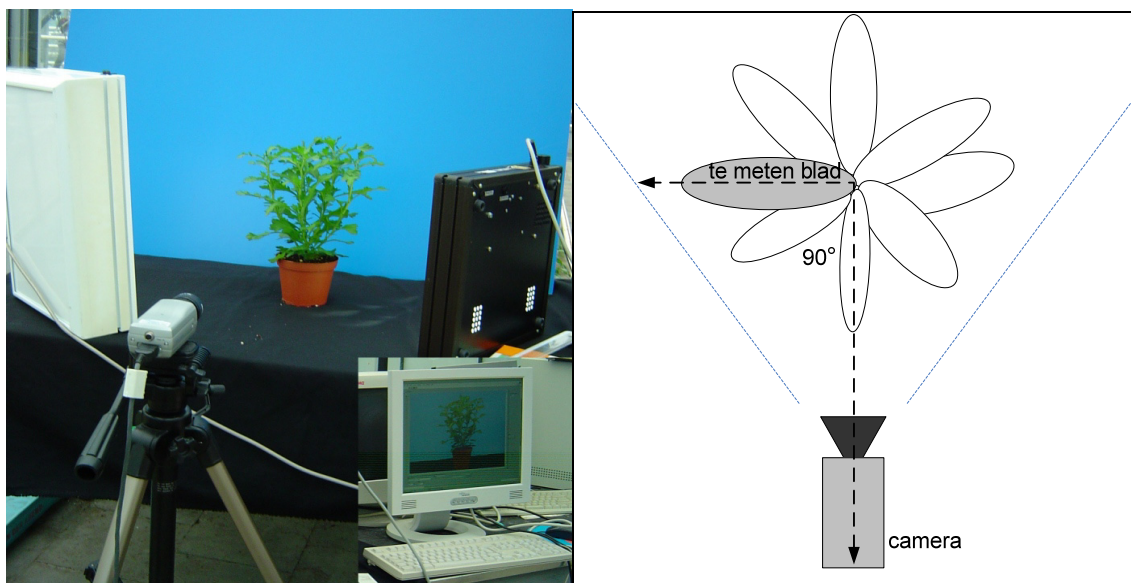
2.8 Bladstand

Met behulp van beeldanalyse en 3d-scans werd de bladstand van de vier gewassen onder een helder en een diffuus kasdek materiaal onderzocht. De eerste analysedag was in week 41 (12-10-2006) en de tweede analysedag in week 47 (27-11-2006). De 3d-scans zijn doorgevoerd op 28-11-2006.

2.8.1 Beeldopnameapparatuur – 2d-opnames

Als beeldanalyse systeem is de National Instruments IMAQ bibliotheek in combinatie met LabView 8.0 gebruikt. Voor maken van opnames van planten is een IEEE1394 kleuren camera met 8.5 mm lens (Sony DFWX700) gebruikt. De beelden zijn op de proeflocatie met een resolutie van 1024x768 pixels opgenomen en opgeslagen en later semi-geautomatiseerd geanalyseerd (zie hieronder).

Voor de opnames zijn de potplanten voor een egaal blauwe achtergrond geplaatst om storingen door de achtergrond te minimaliseren. Als additionele en egale verlichting naast het natuurlijke licht in de kassen zijn er voor de planten 2 lichtbronnen met diffuus licht geplaatst. De afstand camera - plant was 80 cm. Figuur 10 toont een foto van de meetopstelling. Zoals in Figuur 10 weergegeven werd de pot met de plant voor de camera zo georiënteerd dat het te meten blad in een hoek van 90° ten opzichte van de camera stond. Dit om foutieve metingen te voorkomen door geometrische en perspectief vertekeningen.



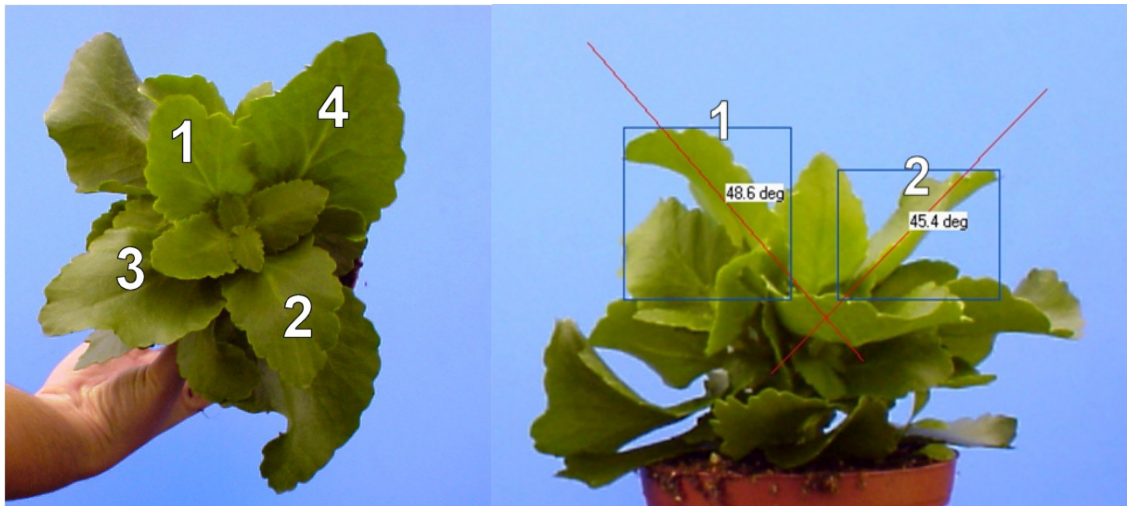
Figuur 10. Bepaling van de bladstand met behulp van 2d-opnames. Meetopstelling en schema positie van het te meten blad ten opzichte van de camera (bovenaanzicht).

Bij Potchrysant zijn per afdeling 10 planten geanalyseerd. Per plant zijn er, beginnend van bovenaf 5 bladeren opgenomen. Er zijn alleen volwassen bladeren geanalyseerd (met en lengte groter 5 cm). Er zijn alleen bladeren aan de buitenkant van de plant gemeten, dit in verband met de dichtheid van de plant die het onmogelijk maakte de bladstand van binnen liggende bladeren te meten.

Bij Kalanchoë zijn per afdeling 5 planten geanalyseerd. Per plant zijn er 4 bladeren gemeten, beginnend met de jongste bladeren, welke langer dan 5 cm waren (Figuur 11).

Bij Schefflera zijn per afdeling en meetdag 10 planten geanalyseerd. Per plant zijn er, beginnend met de jongste volwassen bladeren (bladeren langer dan 12 cm), 5 bladeren gemeten.

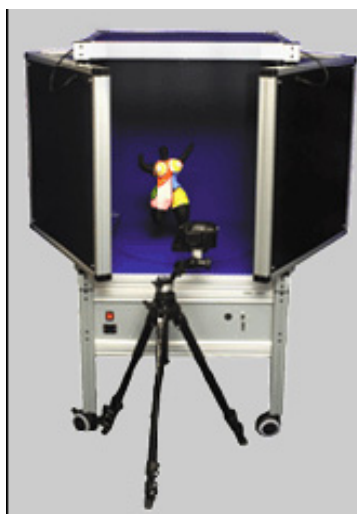
Bij Ficus zijn er per afdeling 10 planten geanalyseerd. Per plant zijn er, beginnend van bovenaf, 5 bladeren opgenomen. Er zijn alleen bladeren geanalyseerd met en lengte groter 7 cm (volwassen bladeren).



Figuur 11. Voorbeeld geanalyseerde bladeren (genummerd, links) en resultaat van 2 bladeren (rechts) bij Kalanchoë.

2.8.2 Beeldopnameapparatuur – 3d-scan

Voor het maken van de 3d-Scans is een 3d-ScanTable met ScanStation van Scanbull 3d-solutions (<http://www.scanbull.net>) gebruikt (Figuur 12). Deze opstelling automatiseert het maken van virtuele 3d-modellen uit realen objecten. De scanner werkt volgens het 'volumetric intersection' principe (Martin en Aggarwal, 1983 en Chien en Aggarwal, 1986). Voor een scan wordt het object op een draaitafel geplaatst. Met een digitale fotocamera wordt er een serie opnames van de het object uit verschillende kijkhoeken opgenomen (bijv. rotatie van de draaitafel per 15 graden). Door gebruik van camerabeelden voor de modellering wordt de textuur en kleurinformatie een integraal onderdeel van het 3d-model. Het model kan als puntenwolk, wireframe en mapped texture worden weergegeven. Het kan met diverse 3d-viewern worden bekeken (draaien, zoomen, etc.) en tevens in diverse standaard formaten worden geëxporteerd (VRML, 3ds, STL, DXF, OBJ) zodat het ook met bijv. een internet browser plugin op ieder gangbare PC te bekijken is. Het model kan ook in 3d-softwarepakketten, zoals AutoCAD, worden ingelezen zodat aan het model exacte metingen van bijv. afstanden kunnen worden doorgevoerd.



Figuur 12. 3d-Scanware ScanTable en ScanStation.

2.8.3 Semi-automatische analyse van bladkenmerken

Voor het bepalen van bladkenmerken wordt per beeld volgende procedure doorlopen:

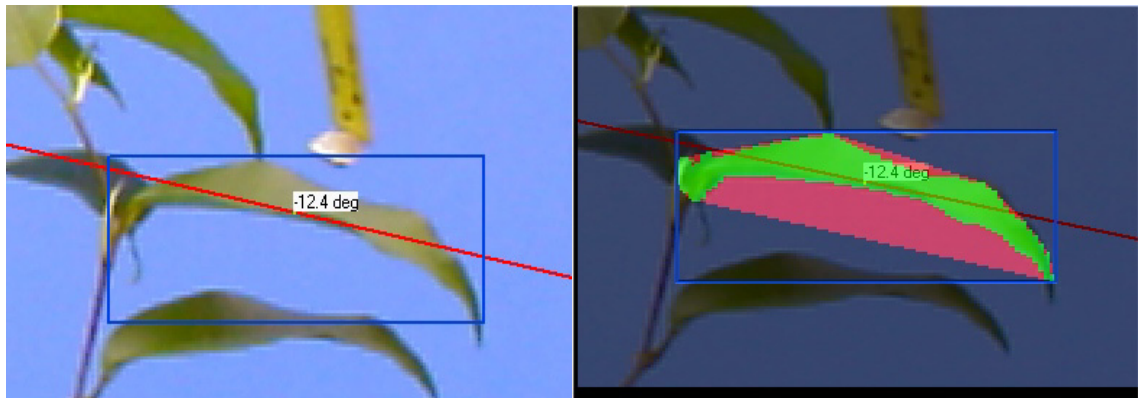
1. Beeld inlezen en weergeven.
2. Met de computer muis grof de regio met het te analyseren blad selecteren.
3. In de zo geselecteerde regio wordt vervolgens automatisch d.m.v. een vooraf ingestelde drempelwaarde het grootste groene object (het blad dus) gesegmenteerd. In Figuur 13 is zo een object in het groen weergegeven.
4. Van dit object wordt een aantal parameters (zie voor een omschrijving van alle beeldanalyseparameters de bijlage) berekend, zoals:
 - a. Convex hull (Figuur 14 rood object);
 - b. Oriëntatie (O);
 - c. Lengte/breedteverhouding (L);
 - d. Verhouding oppervlak convex hull/oppervlak object (C).
5. De berekende waarden worden opgeslagen en kunnen vervolgens verder (statistisch) geanalyseerd worden.

Voor de bladeren van Potchrysan, Kalanchoë en Ficus wordt de oriëntatie (O) bepaald.

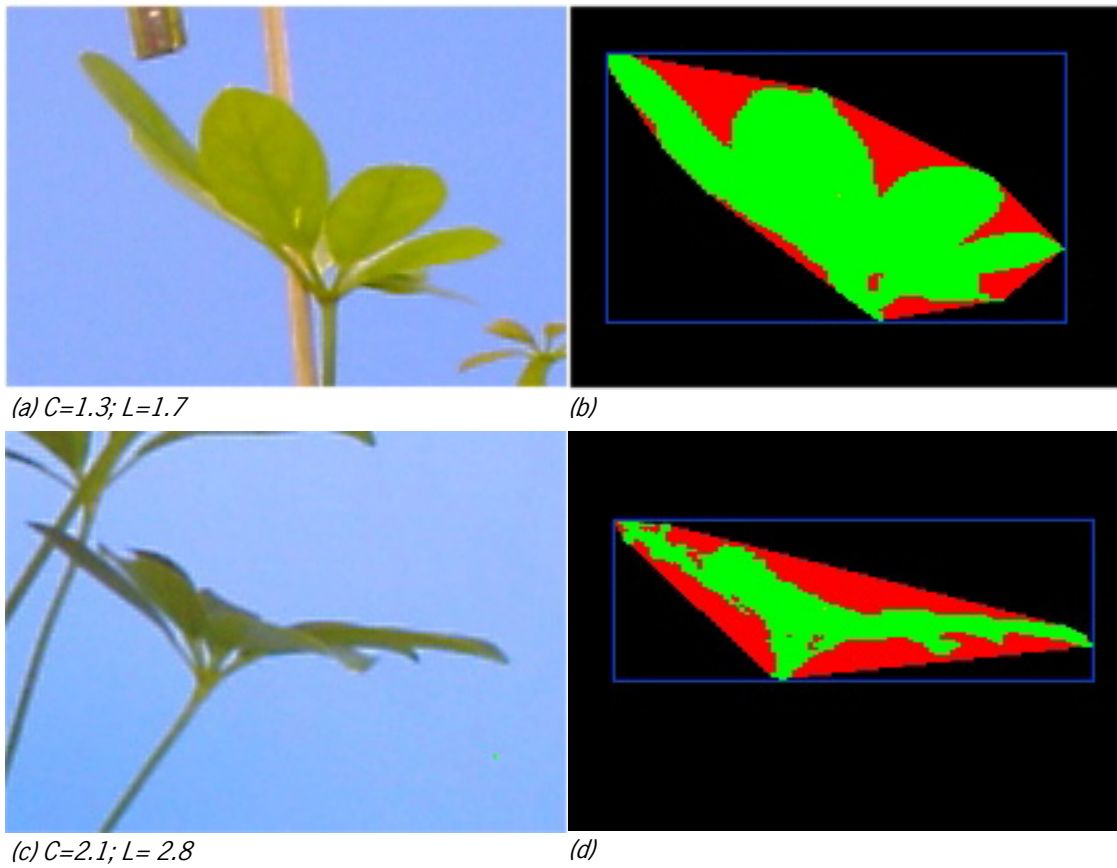
Voor Potchrysan en Kalanchoë additioneel de lengte/breedteverhouding (L) en verhouding oppervlak convex hull/oppervlak object (C).) De verhouding oppervlak convex hull/oppervlak blad (C) kan worden gezien als een maat voor de doorbuiging en/of de compactheid van het blad. Hoe kleiner deze parameter hoe compacter en rechter de vorm van het blad.

Voor Schefflera is de parameter oriëntatie voor het samengestelde blad niet bruikbaar. Hier kan de bladstand beter worden benaderd door de parameter lengte/breedteverhouding (L). Hoe groter deze parameter hoe vlakker (horizontaler) de bladstand. Figuur 14 toont voorbeelden van een meer oprecht blad (a en b) en een meer horizontaal blad (c en d).

In de bijlage zijn de gebruikte beeldanalyse parameters in formules beschreven.



Figuur 13. Analyse hellingshoek blad ten opzichte van de horizontale. Hier het resultaat van de oriëntatie van een ficusblad (12.4 graden).



Figuur 14. Analyse convex hull van een blad. Hier het resultaat van de oriëntatie van een Schefflera blad, meer oprecht (a, b) en meer horizontaal (c,d).

3. Resultaten en discussie

3.1 Kasklimaat en gewastemperatuur

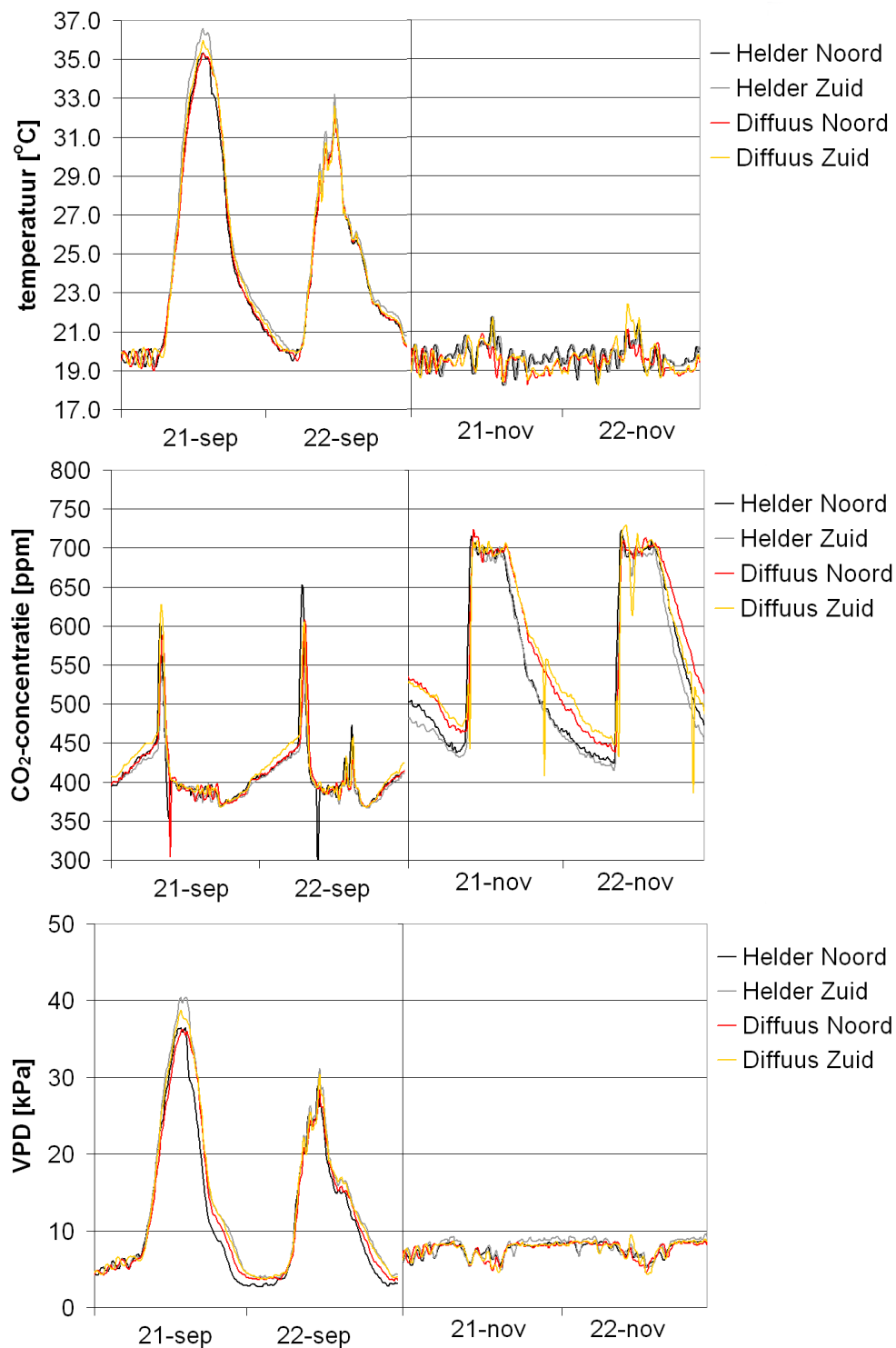
Het kasklimaat tijdens het experiment was gekarakteriseerd door de gegevens in Tabel 1. Er was geen verschil in kasluchttemperatuur, vochtgehalte van de lucht of CO₂-concentratie tussen de twee afdelingen met een helder kasdek materiaal vergeleken met de twee afdelingen met een diffuus kasdek materiaal. Wel waren er lichte verschillen tussen de Noord en de Zuid afdelingen zodat gemiddeld de Diffuus Noord afdeling 0.3°C kouder was dan de Helder Zuid afdeling tijdens de daguren. Dit verschil ontstaat vooral op stralingsrijke momenten (Figuur 15, boven links). Tijdens de nacht of tijdens stralingsarme dagen waren er geen verschillen in luchttemperatuur.

Het vochtdeficit was in de heldere afdelingen gemiddeld 0.2 kPa hoger. Ook dit was vooral tijdens stralingsrijke dagen of momenten te zien (Figuur 15, onder links).

De CO₂-concentratie was iets hoger in de diffuse afdelingen (Tabel 1). Op stralingsrijke dagen liep de CO₂-concentratie in alle afdelingen naar een korte piek in de ochtend al snel terug naar 400-500 ppm als gevolg van het openen van de luchtramen (Figuur 15, midden links). Op stralingsarme dagen en met vrijwel gesloten ramen zijn gemiddelde waarden van 700 ppm overdag haalbaar (Figuur 15, midden rechts). In de vroege avond en nachturen is op deze dagen de CO₂-concentratie in de diffuse afdelingen altijd hoger (Figuur 15, midden rechts).

Tabel 1. Samenvatting kasklimaat tijdens het experiment.

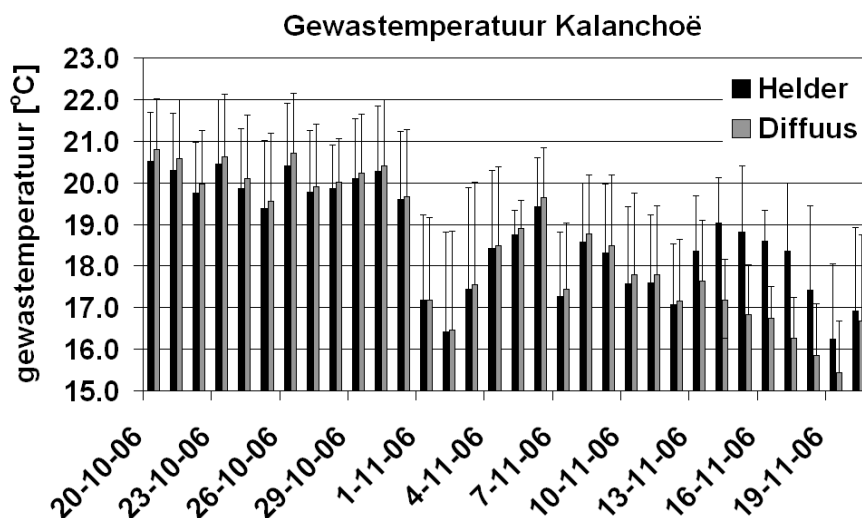
	Luchttemperatuur [°C]		
	Dag	Nacht	Totaal
Noord	21.8	19.5	20.7
Zuid	22.0	19.5	20.8
Totaal Helder	21.9	19.5	
Noord	21.7	19.5	20.6
Zuid	21.8	19.4	20.6
Totaal Diffuus	21.8	19.5	
CO ₂ -concentratie [ppm]			
	Dag	Nacht	Totaal
Noord	557	489	523
Zuid	538	472	505
Totaal Helder	547	481	
Noord	557	511	534
Zuid	564	515	540
Totaal Diffuus	560	513	
VPD [kPa]			
	Dag	Nacht	Totaal
Noord	8.9	5.6	7.3
Zuid	9.6	6.0	7.8
Totaal Helder	9.2	5.8	
Noord	8.7	5.5	7.1
Zuid	9.4	6.0	7.7
Totaal Diffuus	9.0	5.8	



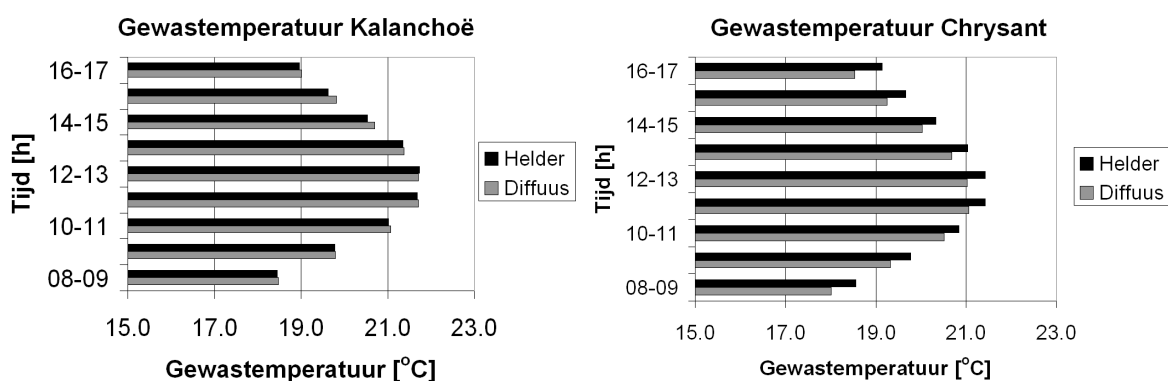
Figuur 15. Kasklimaat (kasluchttemperatuur, vocht en CO₂-concentratie) op twee typische stralingsrijke herfst-dagen en op twee typische stralingsarme winterdagen in alle afdelingen tijdens het experiment.

De gewastemperatuur werd in twee gewassen, namelijk Chrysant en Kalanchoë, tijdens de periode van 20 oktober tot 20 november gemeten. De gewastemperatuur van Kalanchoë veranderde tijdens de meetperiode nauwelijks als gevolg van diffuus licht. Vrijwel de hele meetperiode lang was er geen verschil in gewastemperatuur onder het heldere kasdek materiaal ten opzichte van het diffuse kasdek materiaal (Figuur 16). Ook in de loop van de dag is er geen verschil in gewastemperatuur te constateren (Figuur 17 boven), terwijl bij Chrysant de gewastemperatuur

onder een helder kasdek materiaal iets hoger lijkt te liggen (Figuur 17 onder). Blijkbaar zorgen de succulente bladeren van Kalanchoë voor kleinere verschillen in gewastemperatuur.



Figuur 16. Gemiddelde gewastemperatuur in de loop van de teeltperiode bij Kalanchoë onder een helder en een diffuus kasdek materiaal.



Figuur 17 Verloop van de gemiddelde gewastemperatuur tijdens de daguren bij Kalanchoë en Chrysant onder een helder en een diffuus kasdek materiaal.

3.2 Lichtintensiteit en horizontale lichtverdeling

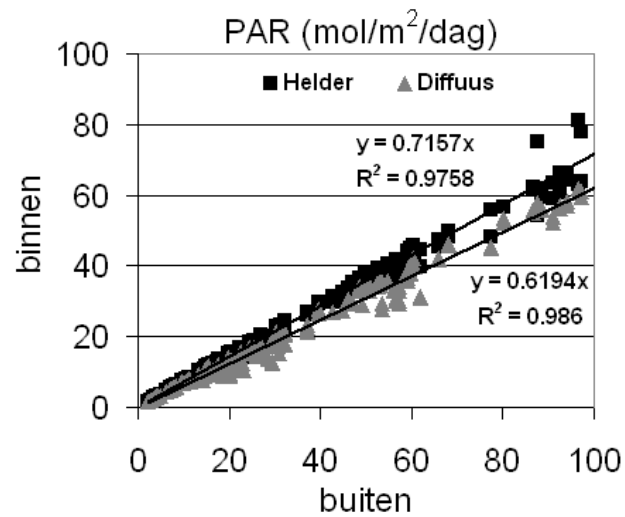
Het Nederlandse klimaat wordt gekarakteriseerd door een globale straling van rond 3650 MJ/m² per jaar (Breuer en Van de Braak, 1989; Velds *et al.*, 1992). De stralingssom in de zomermaanden is ongeveer tien keer zo hoog als in de wintermaanden. De hoeveelheid directe straling is 1080 MJ/m² jaarrond. In de wintermaanden (oktober t/m maart) is gemiddeld 20% van de straling directe straling, in de zomermaanden (april t/m september) is dit gemiddeld 40%. De hoeveelheid directe straling tijdens de wintermaanden is maar 5.5% van de totale stralingssom jaarrond, in de zomermaanden is dit 24.1%. Het verloop van directe en diffuse straling jaarrond wordt in Tabel 2 weergegeven. Deze getallen laten zien dat in de wintermaanden het licht al van nature hoofdzakelijk diffuus is en dat meeste effecten van een lichtverstrooiend of diffuus kasdek materiaal vooral in de voorjaars- zomer en najaarsmaanden verwacht kunnen worden.

Tabel 2. Zonnestraling gemiddeld in Nederland.

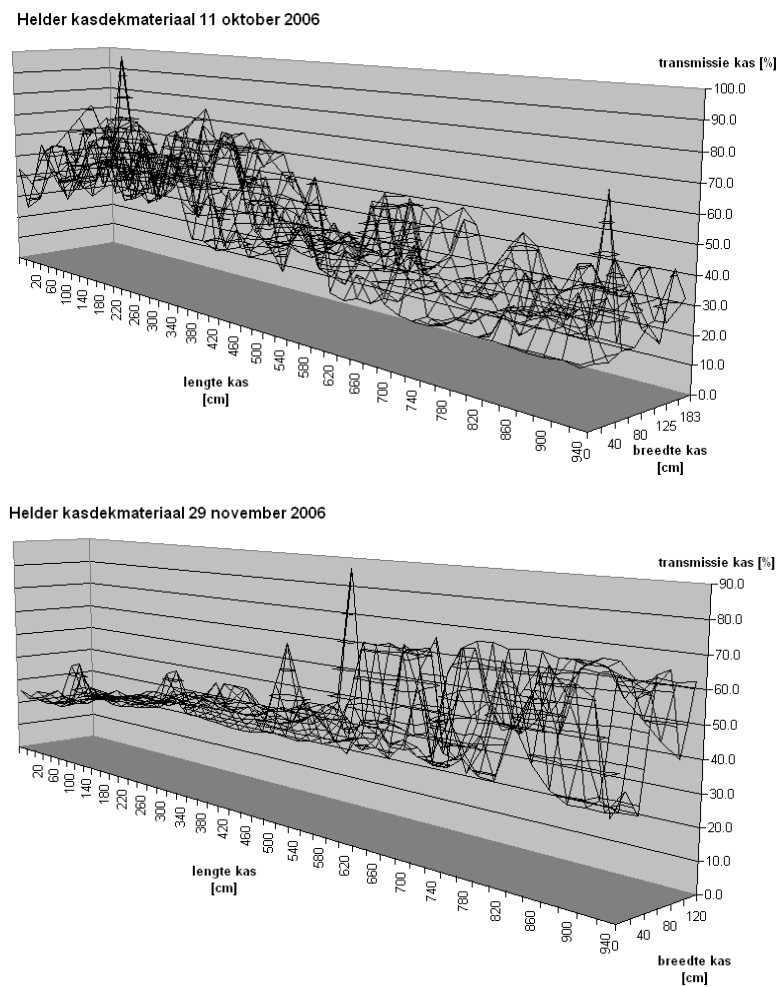
Maand	Globale straling			Direct aandeel	Diffuus aandeel
	Totaal (MJ/m ²)	Direct (MJ/m ²)	Diffuus (MJ/m ²)	(%)	(%)
Januari	63	13	50	20.5	79.5
Februari	105	16	89	15.0	85.0
Maart	315	95	220	30.2	69.8
April	299	42	258	13.9	86.1
Mei	568	162	406	28.6	71.4
Juni	552	159	393	28.8	71.2
Juli	597	245	353	41.0	59.1
August	502	148	354	29.5	70.5
September	342	124	218	36.2	63.8
Oktober	164	38	126	23.1	76.9
November	90	26	64	28.9	71.0
December	54	14	40	26.6	73.4
Totaal	3650	1081	2569		
Winter	789	202	588	5.5	16.1
Zomer	2861	880	1981	24.1	54.3

De stralingsgegevens (globale straling en PAR) zijn tijdens het experiment zowel buiten de kas op de locatie Naaldwijk als ook binnen in de vier verschillende kasafdelingen continue gemeten. De PAR straling tijdens de experimentele periode is weergegeven in Figuur 18. Hierin is te zien dat de lichttransmissie net als in het eerder doorgevoerde komkommer experiment (Hemming *et al.*, 2007) in de diffuse afdelingen minder is dan in de heldere afdelingen.

Onder een diffuus kasdek materiaal wordt het licht ook anders verdeeld in de kas. Slagschaduw door constructiedelen van de kas treden nauwelijks op, het lichtniveau in de kas is gelijk op elk punt (Figuur 20). Daarentegen is de lichtverdeling in de afdelingen met het heldere kasdek materiaal op dagen met veel direct licht heel onregelmatig (Figuur 21). Op sommige plekken ontvangen de bladeren zo relatief gezien meer licht, op veel plekken minder.

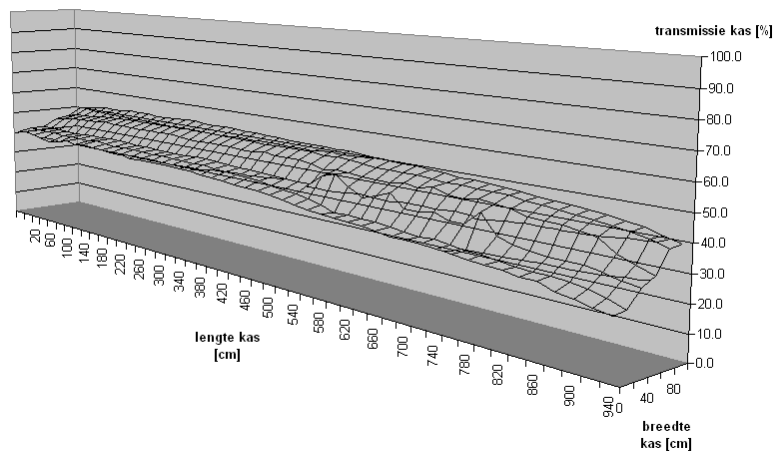


Figuur 18. PAR straling binnen en buiten de verschillende kasafdelingen gedekt met een helder of diffuus kasdek materiaal aan de Noord- en de Zuidkant tijdens het experiment.

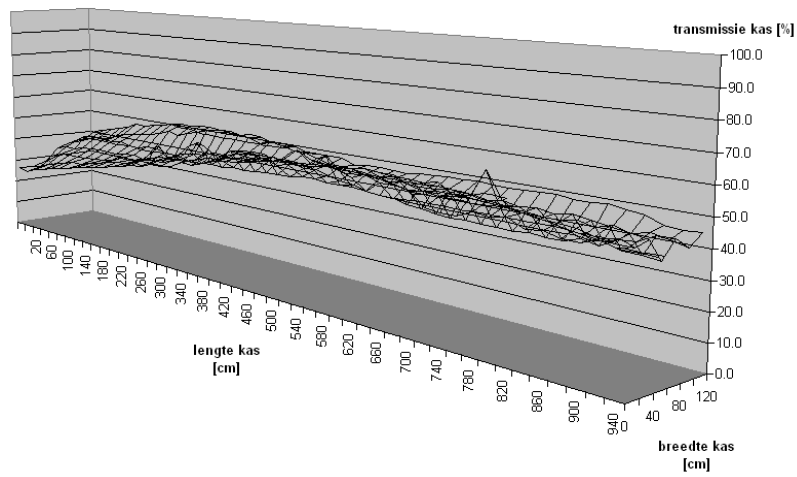


Figuur 19. Lichtverdeling net boven het gewas in de heldere afdelingen op 11 oktober en 29 november.

Diffuus kasdek materiaal 11 oktober 2006



Diffuus kasdek materiaal 29 november 2006



Figuur 20. Lichtverdeling net boven het gewas in de diffuse afdelingen op 11 oktober en 29 november.



Figuur 21. Horizontale lichtverdeling in het gewas in de heldere en diffuse afdelingen.

3.3 Fotosynthese en SPAD

3.3.1 SPAD (chlorofyl) bepalingen

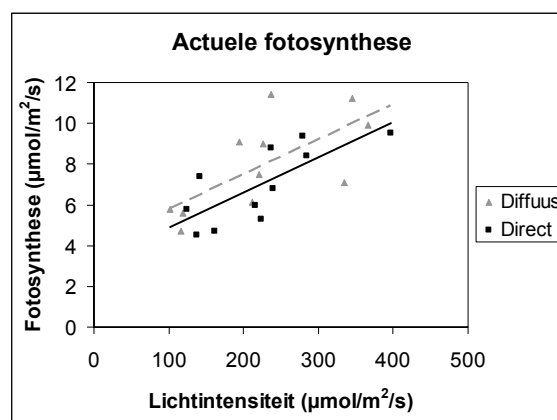
Voor de bepaling van de effecten van directe en diffuse straling op de verdeling van het chlorofyl zijn in week 41 SPAD-metingen uitgevoerd (Tabel 3). Ficus en Schefflera hebben de hoogste SPAD waarden, d.w.z. dat de van deze gewassen, Ficus en Schefflera hebben het meeste chlorofyl. De gehalten aan chlorofyl ontwikkeld in bladeren in direct licht lijken over het algemeen hoger te zijn dan bij diffuus licht. Het grootste verschil tussen behandeling is dan ook bij de twee gewassen met het hoogste chlorofyl gehalte. Echter, in het algemeen zijn de verschillen in SPAD niet groot.

Tabel 3. SPAD metingen van verschillende potplantengewassen opgegroeid onder direct of diffuus licht (week 41).

Gewas	SPAD waarde [N m^{-2}]	
	Diffuus	Direct
Chrysant	35.7	37.0
Ficus	52.8	57.2
Kalanchoë	45.5	44.9
Schefflera	51.8	59.9

3.3.2 Actuele fotosynthese

De actuele fotosynthese werd gemeten bij alle vier gewassen gedurende twee dagen op verschillende tijden van de dag. Omdat de fotosynthese sterk afhankelijk is van de lichtintensiteit zijn de meting uitgezet in Figuur 22 tegen de actuele lichtomstandigheden. Ondanks de variatie tussen planten en soorten lijkt de actuele fotosynthese onder invloed van diffuus licht iets hoger te zijn dan bij direct licht. Er lijkt een positieve invloed te zijn van diffuus licht op de fotosynthese, mogelijk veroorzaakt door een iets lagere lucht en blad temperatuur, waardoor de omzetting van CO_2 in suikers gemakkelijker loopt. Ook de gelijkmatigere horizontale lichtverdeling speelt hierbij mogelijk een rol. Vergelijkbare resultaten konden ook worden gevonden in de middelste bladeren van komkommer, welke opgegroeid waren onder diffuus licht, in een eerder experiment (Hemming *et al.*, 2007). Deze bladeren vertoonden in metingen een hogere lichtonderschepping en een lagere bladtemperatuur bij hoge stralingsintensiteiten, waardoor vermoedelijk, net als bij de hier beproefde potplanten, de fotosynthese toenam.



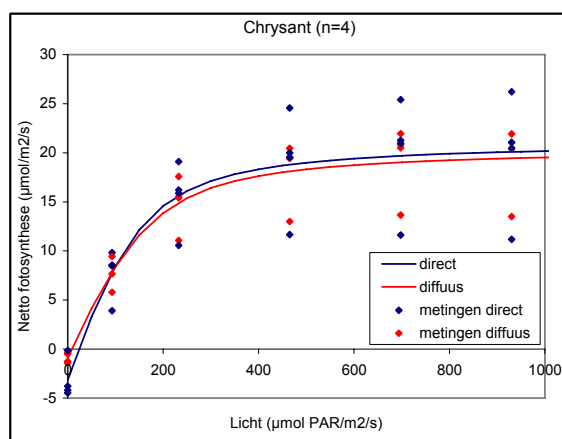
Figuur 22 Actuele fotosynthese ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) bij verschillende potplanten gewassen in de kas in relatie tot de lichtintensiteit bij diffuus en direct licht.

3.3.3 Lichtresponscurven

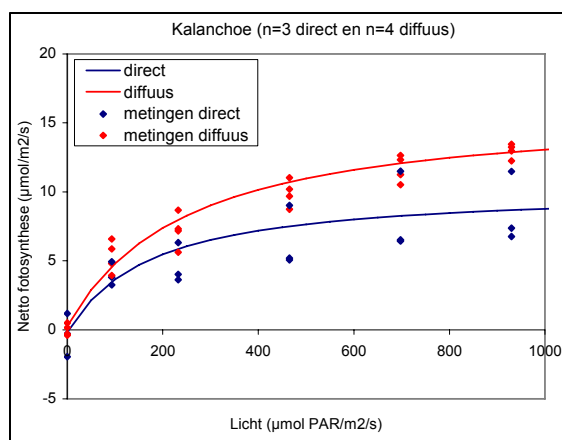
Lichtresponscurven werden bepaald van alle vier potplanten gewassen. Bij **Chrysant** zien de gemeten lichtresponscurven goed uit (Figuur 23). Er treedt verzadiging op bij hoge lichtintensiteiten en de huidmondjes staan voldoende open tijdens de metingen, de stomataire geleidbaarheid was groter dan $0.1 \text{ mol/m}^2/\text{s}$. De 4^e curve die gemeten is bij direct en bij diffuus licht is lager dan de andere 3 gemeten curven. Bij deze 4^e curve was de damspanning in de bladkamer verlaagd, waardoor de relatieve luchtvochtigheid in de bladkamer wat lager was. De huidmondjes stonden echter voldoende open zodat er geen reden is om deze 2 afwijkende curven weg te laten. En omdat deze aanpassing van condities in de bladkamer was gedaan bij beide behandelingen, wordt deze 4^e meting gewoon meegenomen. Alle 4 curven gemeten bij diffuus en direct licht konden gefit worden.

De geschatte parameters (maximale netto fotosynthese A_{max} , donkerrespiratie R_d , fotosynthese efficiëntie ε en de buiging van de curve Θ) verschilden niet tussen de curven gefit voor direct en diffuus licht.

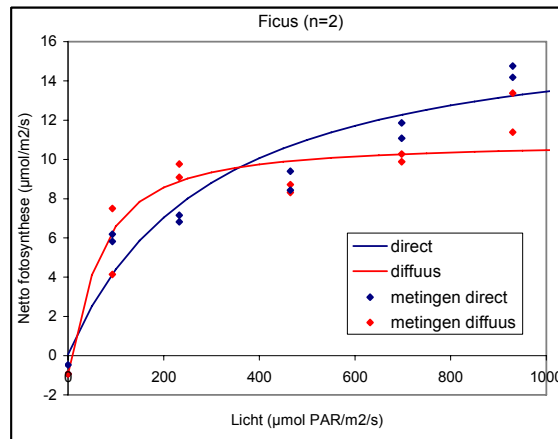
Figuur 24 geeft de lichtresponscurven van **Kalanchoë** weer. De curven laten geen mooie verzadiging zien bij hoge lichtintensiteiten. Bij 3 curven was de stomataire geleidbaarheid lager dan $0.1 \text{ mol/m}^2/\text{s}$ en kon beperkend geweest zijn voor de fotosynthese. *Er is dus niet onder goede condities gemeten.* Er is wel geprobeerd de curven te fitten. Als curven gefit werden, werd Θ op 0 geschat en kon er geen figuur gemaakt worden. Θ moest als voorwaarde krijgen dat deze minstens 0.1 bedraagt. Uiteindelijk zijn er dus 3 curven bij direct licht en 4 bij diffuus licht gefit. Al lijkt de netto fotosynthese A_{max} bij Kalanchoë hoger te zijn bij diffuus dan bij direct licht, geen van de geschatte parameters inclusief A_{max} verschilden tussen direct en diffuus licht.



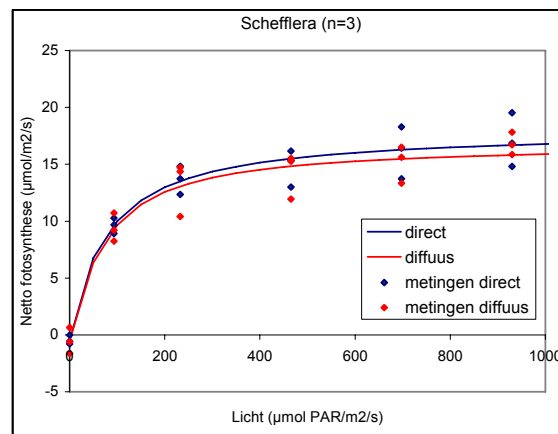
Figuur 23. Lichtresponscurven gemeten bij Chrysant onder een diffuus en een helder kasdek materiaal.



Figuur 24. Lichtresponscurven gemeten bij Kalanchoë onder een diffuus en een helder kasdek materiaal.



Figuur 25. Lichtresponscurven gemeten bij *Ficus* onder een diffuus en een helder kasdek materiaal.



Figuur 26. Lichtresponscurven gemeten bij *Schefflera* onder een diffuus en een helder kasdek materiaal.

Bij **Ficus** zijn 3 curven gemeten bij direct licht en bij diffuus licht (Figuur 25). *Metingen zijn niet onder goede condities uitgevoerd.* Bij de helft van de lichtniveaus bij iedere curve was de stomataire geleidbaarheid lager dan $0.1 \text{ mol/m}^2/\text{s}$ en daarmee mogelijk beperkend voor fotosynthese. Curven bereiken ook vaak geen verzadiging. Bij het fitten van dan de curven moest Θ minstens 0.1 bedragen om de data te kunnen fitten. Er zijn tenslotte 2 curven bij direct licht en 2 bij diffuus licht gefit.

De lichtresponscurven van **Schefflera** zijn weergegeven in Figuur 26. Er zijn 3 curven gemeten bij direct licht en bij diffuus licht. Bij direct 1 en diffuus 1 was de stomataire geleidbaarheid aan de lage kant (wel iets hoger dan $0.1 \text{ mol/m}^2/\text{s}$). Er is wel overal verzadiging gemeten. Alle curven zijn gefit waarbij Θ wel 0.1 als minimale waarde moest krijgen (zonder deze voorwaarde werd Θ op 0 geschat en kon geen curve gemaakt worden). De geschatte parameters van curven gefit voor diffuus en direct licht verschilden niet van elkaar.

Tabel 4. Gemiddelden van de geschatte parameters voor de lichtresponscurven van vier verschillende potplanten gewassen ($n=3-4$).

Gewas	Behandeling	Parameter			
		A_{max}	R_d	ϵ	Θ
Chrysant	Direct	21.16	-3.14	0.14	0.79
	Diffuus	20.48	-0.89	0.11	0.80
Kalanchoë	Direct	10.23	-0.17	0.06	0.10
	Diffuus	16.07	0.28	0.06	0.10
Ficus*	Direct	17.21	0.06	0.06	0.10
	Diffuus	10.96	-0.93	0.13	0.54
Schefflera	Direct	18.05	-0.45	0.23	0.10
	Diffuus	16.87	-0.50	0.20	0.34

* Niet goed gefit; A_{max} veel te hoog, omdat er geen verzadiging werd gemeten.

Samenvattend, met een statistische analyse is getoetst of de geschatte parameters van de lichtresponscurven (A_{max} , R_d , ϵ en Θ) significant verschillend zijn bij de vier potplanten gewassen Chrysant, Kalanchoë, Ficus en Schefflera als gevolg van direct of diffuus licht (Tabel 4). Hiervoor is een algemene ANOVA (no blocking) gebruikt. Als alle soorten bij elkaar worden genomen is de kans dat er een verschil is tussen de parameters als gevolg van meer direct licht of meer diffuus licht is < 5% voor alle parameters A_{max} , R_d , ϵ en Θ . Als dit getoetst wordt per gewas is het resultaat vergelijkbaar. De kans dat er een verschil is tussen de parameters A_{max} , R_d , ϵ en Θ als gevolg van meer direct licht of meer diffuus licht is < 5%.

Bij Chrysant en Schefflera zijn goede lichtresponscurven gemeten in kassen bij direct en diffuus licht.

Bij Ficus en Kalanchoë zijn de metingen niet allemaal onder de goede condities uitgevoerd. De stomataire geleidbaarheid was niet bij alle lichtniveaus voldoende hoog om niet beperkend te zijn voor fotosynthese. De lichtresponscurven worden dus beïnvloed door huidmondjesopening en vertonen niet altijd een verzadiging.

Van de 28 gemeten lichtresponscurven zijn er 25 gefit met een nonrectangular hyperbool met 4 parameters. De geschatte parameters voor iedere curve zijn getoetst of ze verschillend waren voor direct of diffuus licht (ANOVA). Er zijn geen verschillen gevonden tussen de parameters.

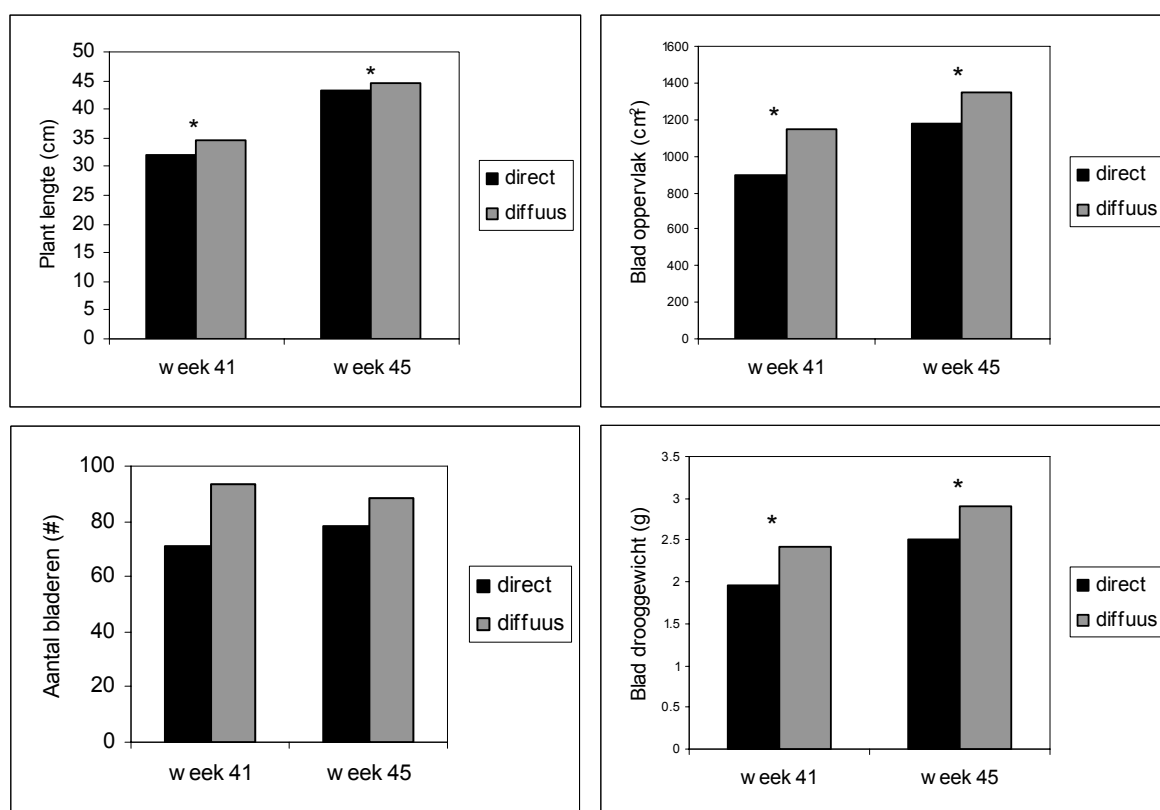
De lichtresponscurven gemeten bij planten die opgekweekt zijn bij direct licht en bij diffuus licht zijn niet significant verschillend.

3.4 Gewasmorfologie

Een aantal gewasmorfologische parameters werd onderzocht tijdens de groei van vier verschillende potplanten gewassen onder een diffuus en een helder kasdek materiaal. Bij **Chrysant** werd een merendeel van de morfologische parameters significant vergroot onder invloed van diffuus licht (Tabel 5 en Figuur 27). De planten werden langer, hadden meer bladeren met een groter bladoppervlak en er werden meer bloemen geproduceerd. Verder heeft diffuus licht geleid tot een hogere relatieve groeisnelheid (RGR). De invloed van diffuus licht veranderde niet in de tijd, d.w.z. na week 41 en na week 45 waren deze parameters over het algemeen niet veranderd. Het specifieke bladoppervlak veranderde niet significant, wat betekent dat de blad dikte niet door de lichtbehandeling werd beïnvloed. Diffuus licht heeft een positieve invloed op de groei en ontwikkeling van Chrysant.

Tabel 5. Plant groei parameters van Chrysant onder invloed van diffuus en direct licht. Significante verschillen tussen de lichtbehandelingen worden aangegeven ($P < 0.05$, $n=10$), ns betekent geen significant verschil, * parameter niet getoetst, - parameter niet bepaald.

Parameter	Week 41			Week 45		
	Direct licht	Diffuus licht	Significantie	Direct licht	Diffuus licht	Significantie
Plant lengte (cm)	32.15	34.75	$P < 0.05$	43.20	44.45	$P < 0.05$
Aantal takken (-)	4.50	5.50	$P < 0.05$	4.90	4.85	ns
Aantal bladeren (-)	71.0	93.2	$P < 0.05$	78.2	88.7	$P < 0.05$
Bladoppervlak (cm ²)	900	1148	$P < 0.05$	1175	1347	$P < 0.05$
Blad drooggewicht (g)	1.96	2.42	$P < 0.05$	2.53	2.93	$P < 0.05$
Stam drooggewicht (g)	1.39	1.78	$P < 0.05$	4.31	5.00	$P < 0.05$
SLA (m ² g ⁻¹)	-	-	-	0.047	0.046	ns
RGR (gemiddeld g g ⁻¹ wk ⁻¹)*	0.56	0.70	*	0.94	1.06	*
Aantal bloemen (-)	-	-	-	27.4	30.7	$P < 0.05$
Bloem drooggewicht (g)	-	-	-	2.56	2.65	ns



Figuur 27. De invloed van diffuus en direct licht op plantlengte, aantal bladeren, bladoppervlak en blad drooggewicht van Chrysant in week 41 en 45. * geeft een significant verschil aan ($P < 0.05$, $n=10$).

Tabel 6. Plant groei parameters van *Schefflera* onder invloed van diffuus en direct licht. Significante verschillen tussen de lichtbehandelingen worden aangegeven ($P < 0.05$, $n = 10$), ns betekent geen significant verschil, * parameter niet getoetst, - parameter niet bepaald.

Parameter	Week 41			Week 48		
	Direct licht	Diffuus licht	Significantie	Direct licht	Diffuus licht	Significantie
Plant lengte (cm)	24.2	25.4	ns	57.2	60.5	ns
Aantal bladeren (-)	8.45	8.65	ns	16.0	16.6	ns
Bladoppervlak (cm ²)	682	759	ns	1983	2058	ns
Blad drooggewicht (g)	5.34	6.21	ns	13.86	14.91	ns
Stam drooggewicht (g)	8.81	8.06	ns	3.36	3.69	ns
SLA (m ² g ⁻¹)	-	-	-	0.016	0.017	ns
RGR (gemiddeld g g ⁻¹ wk ⁻¹)*	1.04	1.17	*	1.01	1.10	*

Tabel 7. Plant groei parameters van *Kalanchoë* onder invloed van diffuus en direct licht. Significante verschillen tussen de lichtbehandelingen worden aangegeven ($P < 0.05$, $n = 10$), ns betekent geen significant verschil, * parameter niet getoetst, - parameter niet bepaald.

Parameter	Week 41			Week 48		
	Direct licht	Diffuus licht	Significantie	Direct licht	Diffuus licht	Significantie
Plant lengte (cm)	16.45	16.35	ns	28.2	28.25	ns
Aantal spruiten (-)	8.60	9.55	$P < 0.05$	13.40	13.85	ns
Aantal bladeren (-)	41.8	45.0	ns	-	-	-
Bladoppervlak (cm ²)	742	903	$P < 0.10$	187 [†]	178 [†]	ns
Blad drooggewicht (g)	2.63	2.85	$P < 0.07$	0.852 [†]	0.771 [†]	$P < 0.05$
SLA (m ² g ⁻¹)	-	-	-	0.022	0.023	ns
Stam drooggewicht (g)	0.465	0.592	$P < 0.05$	-	-	-
Plant drogestof (g)	-	-	-	9.31	9.47	ns
RGR (gemiddeld g g ⁻¹ wk ⁻¹)	0.52	0.57	*	0.70	0.71	*
Bloem drooggewicht (g)	-	-	-	0.51	0.45	ns

[†] Metingen aan de 3 jongste volgroeide bladeren.

Tabel 8. Bloei van *Kalanchoë* onder invloed van diffuus en meer direct licht in week 51.

Behandeling	Aantal bloemen	Geschatte tijdverschillen in bloei
Helder Noord	0.0	9 dagen later
Helder Zuid	5.9	snelst in bloei
Diffuus Noord	0.2	6 dagen later
Diffuus Zuid	3.3	3 dagen later

Ook bij **Schefflera** werden alle parameters gestimuleerd onder invloed van diffuus licht, al waren de verschillen niet statistisch significant van elkaar (Tabel 6). De tendens is echter duidelijk en de relatief kleine verschillen in plant morfologische eigenschappen hebben geleid tot een hogere groeisnelheid. Hier lijkt diffuus licht een positieve invloed te hebben op Schefflera.

Kalanchoë geeft aanvankelijk een vergelijkbaar beeld van de morfologische eigenschappen als Schefflera.

Aanvankelijk (week 41) waren de plant lengte, het bladoppervlak en het drooggewicht van stam en bladeren hoger bij diffuus licht. Bij een aantal parameters waren de verschillen binnen de significantie van $P < 0.10$. Ook Kalanchoë vertoonde een hogere groeisnelheid. Na nog eens 8 weken was het voordeel van diffuus licht verdwenen. Het drooggewicht van de bladeren was onder het heldere dekmateriaal zelfs hoger (Tabel 7). Blijkbaar werkte het lagere lichtniveau onder het diffuse kasdek sterker vertragend op de groei dan het positieve effect van diffuus licht, zodat het netto-effect niet meer positief was. Of anders gezegd, als het lichtverlies in de wintermaanden te hoog wordt, is een diffuus kasdek met een lage lichttransmissie niet meer aan te bevelen.

In Tabel 8 is de bloei van Kalanchoë aan het einde van de prof (week 51) weergegeven. Onder het diffuse kasdek-materiaal is de bloei 3 tot 6 dagen later dan onder het heldere kasdek, waarschijnlijk veroorzaakt door een lagere lichtintensiteit. Er is verder een duidelijk verschil te zien tussen de Noord- en de Zuid afdelingen bij beide behandelingen. Iets lagere temperaturen (zie Tabel 1) in de Noord afdelingen zorgden voor een relatief vertraagde bloei.

Ook de groei van **Ficus** onder diffuus licht laat een afwijkend beeld t.o.v. Chrysant en Schefflera zijn. In week 41 was de plant lengte, het bladoppervlak en de bladbiomassa groter als gevolg van diffuus licht dan bij direct licht. Echter, in week 48 was dit omgedraaid, met deze parameters groter onder direct dan onder diffuus licht. Hier is nog duidelijker dan bij Kalanchoë een tijdseffect te zien. Ook Ficus reageert eerst positief op diffuus licht en later negatief op het lagere lichtniveau.

*Tabel 9. Plant groei parameters van Ficus onder invloed van diffuus en direct licht. Significante verschillen tussen de lichtbehandelingen worden aangegeven ($P < 0.05$, $n=10$), ns betekent geen significant verschil, * parameter niet getoetst, - parameter niet bepaald.*

Parameter	Week 41			Week 48		
	Direct licht	Diffuus licht	Significantie	Direct licht	Diffuus licht	Significantie
Plant lengte (cm)	39.2	41.1	$P < 0.05$	64.1	63.0	ns
Aantal spruiten (-)	9.25	9.95	$P < 0.06$	12.8	13.0	ns
Aantal bladeren (-)	31.5	34.0	ns	68.8	65.2	ns
Bladoppervlak (cm ²)	496	532	$P < 0.07$	1340	1247	$P < 0.09$
Blad drooggewicht (g)	2.02	2.11	ns	5.66	5.06	$P < 0.05$
Stam drooggewicht (g)	0.93	0.92	ns	3.38	3.21	ns
RGR (gemiddeld g g ⁻¹ wk ⁻¹)	0.49	0.51	*	0.65	0.59	*
SLA (m ² g ⁻¹)	-	-	-	0.024	0.025	ns

3.5 Bladstand

3.5.1 2d-Opnames

Met behulp van kamera opnames werd de bladstand van de verschillende potplanten gewassen onderzocht. Voor **Potchrysant** is de oriëntatie (O) de parameter die het best de bladstand beschrijft (Tabel 10). In week 41 wijkt de gemiddelde oriëntatie van de bladeren maar licht af van het horizontaal (3.7 graden). Tussen de twee lichtbehandelingen is er geen significant verschil in bladoriëntatie. De standaarddeviatie (stddev) is hoog en ook de verschillen in de herhaling zijn groot (bijv. Diffuus Noord = -4.87 en Diffuus Zuid = 11.84). De verhouding oppervlak convex hull/

oppervlak object (C) is bij de behandelingen met direct licht kleiner, de bladeren zijn hier dus compacter met minder inkervingen.

Bij **Kalanchoë** staan de bladeren bij de diffuus licht afdelingen gemiddeld 4.28 graden rechter (parameter oriëntatie) dan bij de direct licht afdelingen. Ook bij Kalanchoë zijn voor de parameter oriëntatie de stddev waardes met 10.65 tot 21.88 te hoog om significante verschillen in oriëntatie te kunnen bevestigen (Tabel 12).

In week 47 was het bij de meeste planten niet meer mogelijk de bladstand uit de 2d-opnames te bepalen omdat de planten te dicht en complex waren geworden. Er is wel geconstateerd, dat de bladstand (parameter O) gemiddeld in de order grootte van 30 tot 35 graden lag, wat dus ca. 10 graden oprechter (verticaler) is dan de gemiddelde stand van de bladeren in week 41.

Voor **Schefflera** wordt, zoals boven beschreven, de parameter lengte/breedteverhouding voor een beschrijving van de bladstand gebruikt. Er is geen significant verschil in bladstand te meten, ook niet in week 43 (Tabel 11).

Ficusbladeren zijn in week 41 in het algemeen naar beneden georiënteerd. Door de hoge stddev waardes is er geen statistisch verschil te constateren tussen de twee behandelingen. Hetzelfde beeld is te vinden in week 47 (Tabel 13).

Samenvattend kan worden gesteld dat er de 2d-beeldanalyse een bruikbare methode is om de bladstand van planten te meten. Er kon echter geen verschil in bladstanden als gevolg van diffuus licht worden vastgesteld bij de hier onderzochte gewassen.

*Tabel 10. Bladstandparameters **Potchrysant** in week 41. Oriëntatie (O), lengte/breedteverhouding (L), en verhouding oppervlak convex hull/oppervlak object (C).*

	Gemiddelde			Stddev		
	O	C	L	O	C	L
Helder Noord	2.95	1.67	3.24	16.04	0.44	1.46
Helder Zuid	4.95	1.78	2.88	14.20	0.36	0.86
Helder totaal	3.95	1.72	3.06	15.11	0.40	1.21
Diffuus Noord	-4.87	2.01	2.81	17.42	0.53	1.07
Diffuus Zuid	11.84	2.00	2.54	15.05	0.49	0.96
Diffuus totaal	3.49	2.00	2.67	18.24	0.50	1.02

Tabel 11. Bladstandparameters *Schefflera* in week 41 en 47. Oriëntatie (O), lengte/breedteverhouding (L), en verhouding oppervlak convex hull/oppervlak object (C).

Week 41	Gemiddelde			Stddev		
	O	C	L	O	C	L
Helder Noord	-0.94	1.72	2.46	16.38	0.35	0.63
Helder Zuid	-0.41	1.63	2.61	11.03	0.22	0.62
Helder totaal	-0.67	1.67	2.54	13.92	0.30	0.63
Diffuus Noord	6.16	1.70	2.37	19.65	0.38	0.75
Diffuus Zuid	-1.72	1.67	2.34	11.72	0.28	0.50
Diffuus totaal	2.22	1.69	2.35	16.54	0.33	0.63
Week 47	Gemiddelde			Stddev		
	O	C	L	O	C	L
Helder Noord	0.45	1.98	2.85	11.63	0.66	0.91
Helder Zuid	-5.63	1.92	2.69	12.90	0.37	0.87
Helder totaal	-2.59	1.95	2.77	12.27	0.52	0.89
Diffuus Noord	-1.54	1.96	2.57	16.37	0.33	0.89
Diffuus Zuid	-4.12	1.83	2.75	12.86	0.30	1.05
Diffuus totaal	-2.83	1.90	2.66	14.61	0.32	0.97

Tabel 12. Bladstandparameters *Kalanchoë* in week 41. Oriëntatie (O), lengte/breedteverhouding (L), en verhouding oppervlak convex hull/oppervlak object (C).

	Gemiddelde			Stddev		
	O	C	L	O	C	L
Helder Noord	21.37	1.42	1.80	21.88	0.29	0.67
Helder Zuid	26.37	1.31	1.94	10.65	0.17	0.54
Helder totaal	23.87	1.36	1.87	17.17	0.24	0.60
Diffuus Noord	32.73	1.24	1.72	17.15	0.17	0.87
Diffuus Zuid	23.56	1.32	1.91	19.66	0.23	0.86
Diffuus totaal	28.15	1.28	1.81	18.79	0.20	0.86

Tabel 13. Bladstandparameters *Ficus* in week 41 en 47, oriëntatie (O).

Week 41	Gemiddelde	Stddev
Helder Noord	-17.34	13.59
Helder Zuid	-23.11	16.33
Helder totaal	-20.23	15.22
Diffuus Noord	-16.24	12.85
Diffuus Zuid	-17.32	15.42
Diffuus totaal	-16.78	14.14
Week 47	Gemiddelde	Stddev
Helder Noord	-11.32	16.71
Helder Zuid	-13.55	14.86
Helder totaal	-12.44	15.77
Diffuus Noord	-13.85	16.08
Diffuus Zuid	-14.66	14.85
Diffuus totaal	-14.26	15.40

3.5.2 3d-Scan

Doel van de 3d-scans was om te evalueren of een dergelijke methode geschikt is om contactloos driedimensionale metingen aan planten door te kunnen voeren om hiermee bijvoorbeeld de bladstand te kunnen bepalen. Figuur 30 t/m Figuur 32 geven de doorgevoerde 3d-scans weer. Met de hier gebruikte apparatuur was goed te werken (incl. camera kalibratie, positionering van het object, colour keying, etc.). Het scannen en modeleren vraagde per plant gemiddeld ca. 30 minuten tijd.

Eigen aan de gebruikte 'volumetric intersection' methode is, dat deze methode niet in staat is om concave (holronde) objecten af te kunnen beelden. Dit heeft tot gevolg dat bijv. concaaf gebogen bladeren niet correct gemodelleerd kunnen worden. Ook bij hele dichte en complexe objecten (zoals bij de Kalanchoë) komt de modellering in de problemen en loopt ook de benodigde rekentijd voor het model hard op. Verder wordt bij de modelering per 2d-object-opname iets uit een virtuele 'gevulde' 3d-kubus onherroepelijk weggesneden. Bij kleine fouten in de systeem kalibratie heeft dit tot gevolg dat fijne dunne objecten uit het model 'verdwijnen'. Dit is dan ook bij de doorgevoerde scans geconstateerd. Zoals in Figuur 31 (*Ficus*) te zien is, zijn de bladstelen niet afgebeeld of zijn zelfs delen van bladeren weggekapt (bij *Schefflera*, Figuur 32).

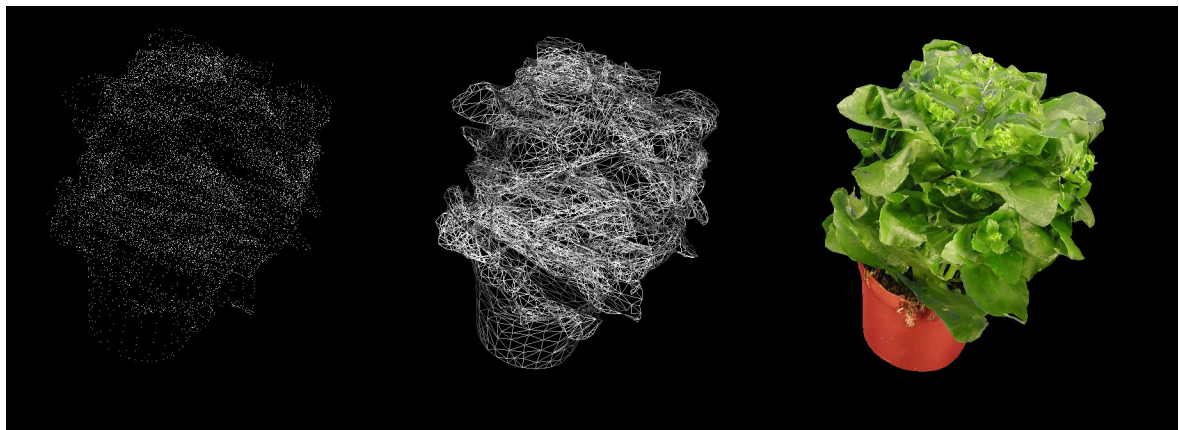
Het grote voordeel van een 3d-model tegenover een 2d-foto is diens vrije roteerbaarheid op de computer. De plant kan achteraf 'offline' van alle kanten worden bekeken. Omdat het hele systeem in 'real world' gekalibreerd is kan zelfs aan de plant worden gemeten. Met behulp van speciale modules zal het zo zelfs mogelijk zijn om bijv. de lichtonderschepping van een plant of 3d-vormparameters te berekenen. Om in dit project de bladstand te bepalen is de 3d-methode te complex en koste te veel tijd.



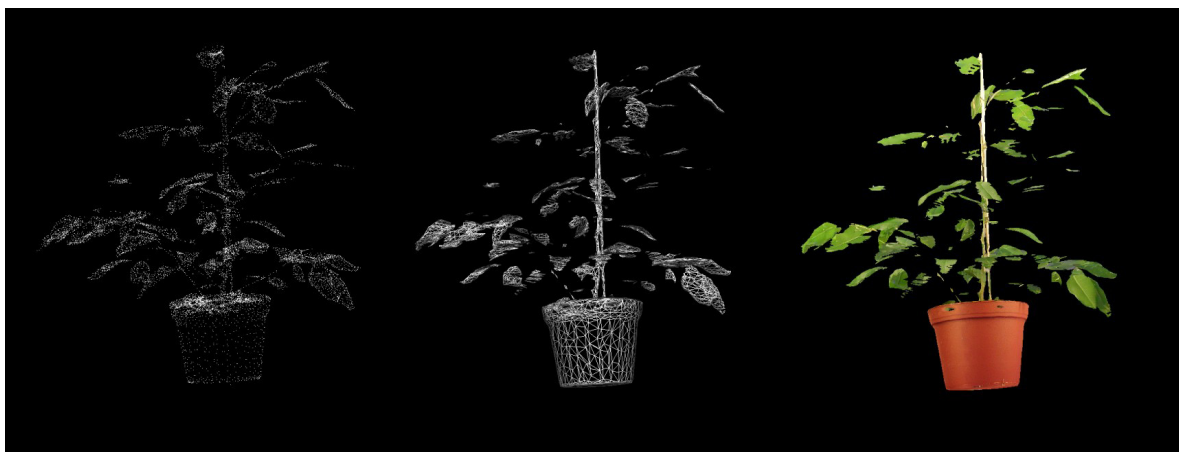
Figuur 28. Foto van de gescande Kalanchoë plant.



Figuur 29. Foto van de gescande Ficus plant.



Figuur 30. 3d-Model van deze Kalanchoë in week 47: puntenwolk (links), wireframe (midden) en mapped texture (rechts).



Figuur 31. 3d-Model van deze Ficus in week 47: puntenwolk (links), wireframe (midden) en mapped texture (rechts).



Figuur 32. 3d-Afbeelding van een Schefflera in week 47: zijaanzicht (links), aanzicht van beneden naar boven (midden) en een uitvergroot enkel blad.

4. Conclusies

Het effect van diffuus licht op vier verschillende potplanten gewassen, Chrysant, Kalanchoë, Schefflera en Ficus, is in een semi-praktijkexperiment in het najaar en de winter 2006 onderzocht. De volgende conclusies kunnen worden getrokken:

- Het gebruik van een diffuus kasdek materiaal verbetert de horizontale lichtverdeling in het gewas. Onder een diffuus kasdek materiaal is het lichtniveau in de kas heel uniform.
- Het hier gebruikte diffuse kasdek materiaal veroorzaakte een lichtverlies van minimaal 4%.
- De gewastemperatuur was bij Kalanchoë tijdens de meetperiode nauwelijks veranderd onder het diffuse kasdek materiaal ten opzichte van de gewastemperatuur onder het heldere kasdek materiaal. Ook in de loop van de dag was er geen verschil in gewastemperatuur te constateren, terwijl bij Chrysant de gewastemperatuur onder een helder kasdek materiaal hoger lag. Blijkbaar zorgden de succulente bladeren van Kalanchoë voor kleinere verschillen in gewastemperatuur.
- De chlorofyl gehalten in bladeren ontwikkeld in diffuus licht waren in het algemeen lager dan in bladeren die in direct licht zijn ontwikkeld.
- De actuele fotosynthese van planten onder diffuus licht lijkt hoger te zijn dan van planten onder direct licht, de variatie was echter groot.
- Lichtresponscurven gemeten aan planten opgegroeid bij diffuus en direct licht verschilden niet significant van elkaar. Diffuus en direct licht worden dus op dezelfde wijze gebruikt voor fotosynthese. De fotosynthese per bladoppervlak was niet efficiënter.
- Diffuus licht heeft een positieve invloed op de groei van Chrysant. Planten waren zwaarder, hadden meer bladeren en een grotere bladmassa. Diffuus licht verhoogde de relatieve groeisnelheid.
- Ook bij Schefflera is de groeisnelheid in tendentie verhoogd als gevolg van diffuus licht.
- Kalanchoë en Ficus vertoonden aan het begin van de teelt een hogere groeisnelheid. Tegen het einde van het experiment was het voordeel van diffuus licht verdwenen. Het drooggewicht van de bladeren was onder het heldere dek materiaal dan significant hoger. Blijkbaar werkte het lagere lichtniveau onder het diffuse kasdek vanaf half november vertragend op de groei, zodat het positieve effect van diffuus licht niet meer zichtbaar werd, het netto-effect was negatief.
- 2d- 3d-opnames van planten waren geschikt om de bladstand vast te stellen. Oriëntatie (O), lengte/breedte-verhouding (L) en verhouding oppervlak convex hull/oppervlak object (C) waren de meest geschikte parameters. Er kon echter geen verschil in bladstand worden gemeten als gevolg van diffuus licht bij de hier onderzochte gewassen.
- De versnelde groei was niet het gevolg van een efficiëntere fotosynthese per bladoppervlak of een veranderde bladstand. Wel vermoeden wij een efficiënter gebruik van het licht per bladlaag of plant als gevolg van een betere horizontale lichtverdeling en een optimalere bladtemperatuur. Het zou kunnen dat door een optimalere afstemming van deze factoren enzymatische processen effectiever kunnen verlopen. Alleen meer fundamenteel onderzoek kan hierover uitsluitsel geven.
- Door het licht diffuus te maken wordt het natuurlijke licht beter benut en de groeisnelheid van potplanten verhoogd, wat voor de energie-efficiënte in Nederlandse kassen voordelig is.

De hier gevonden resultaten bij de vier verschillende potplantengewassen komen grotendeels overeen met eerdere resultaten bij komkommer (Hemming *et al.*, 2007). Een verhoogde fotosynthesesnelheid van de bladeren onder diffuus licht kon ook worden vastgesteld aan de middelste bladeren van komkommer. De middelste bladeren van komkommer vertoonden in metingen een hogere lichtonderschepping en een lagere bladtemperatuur bij hoge stralingsintensiteiten, waardoor vermoedelijk, net als bij de hier beproefde potplanten, de fotosynthese toenam. Anders als bij komkommer, welke door diffuus licht een meer generatieve groei liet zien, werd het positieve effect op de potplanten veroorzaakt door een hogere vegetatieve groeisnelheid. Bij Kalanchoë was de generatieve groei, de bloei als gevolg van diffuus licht vertraagd. Dit was waarschijnlijk het gevolg van het lagere lichtniveau onder het diffuse kasdek, en niet het effect van de lichtverstrooiing.

Diffuus licht en daarmee diffuse kasdekmaterialen hebben in het algemeen een positieve invloed op de productie van verschillende potplanten, zeker tijdens de stralingsrijke periodes. In het hier doorgevoerde experiment in de vroege najaars- en wintermaanden kon duidelijk een negatief effect worden vastgesteld van het iets lagere lichtniveau onder het diffuse kasdek materiaal. Was het effect van de lichtverstrooiing tot ongeveer half november positief, keerde dit vanaf dit tijdstip om. De lagere lichtdoorlatendheid van het diffuse kasdek materiaal werkte negatief op de groeisnelheid van Kalanchoë en Ficus. Bij Chrysant werd dit effect niet zichtbaar, omdat het experiment met Chrysant dan al was afgesloten.

Wij kunnen concluderen dat als het lichtverlies in de wintermaanden te hoog wordt, is een diffuus kasdek met een lagere lichttransmissie niet meer aan te bevelen. Het is daarom wenselijk om diffuse kasdekmaterialen te ontwikkelen welke een hoge lichtverstrooiing hebben gecombineerd met een hoge lichttransmissie. Concreet betekent dit dat materialen worden gezocht met een lichtverstrooiing van minimaal 50%, zoals hier gerealiseerd in het onderzoek met gelijktijdig een lichtdoorlatendheid van minimaal 90% bij loodrecht en 82% bij diffuus invallend licht. De lichtdoorlatendheid mag niet verder teruglopen, omdat anders de winst van een diffuus kasdek materiaal verloren gaat, vooral in de winterperiode waar de hoeveelheid licht dat de kas binnenkomt vaak de beperkende factor is.

In de wintermaanden is een lichtverstrooiend kasdek materiaal toch minder belangrijk, omdat het natuurlijke licht als gevolg van bewolking toch grotendeels diffuus is. Het is echter ook niet schadelijk als de lichtdoorlatendheid maar hoog genoeg is. De meeste voordelen zijn met een diffuus kasdek materiaal in de voorjaars-, zomer- en najaarsmaanden te halen, wanneer het natuurlijke licht vaak direct is en wanneer er een te hoge directe instraling onwenselijk is voor gewassen.

In onze experimentele periode, start begin september, kon geen verbrandingsschade aan de gewassen als gevolg van direct licht onder het heldere kasdek materiaal worden vastgesteld. Er kon in ons experiment niet worden vastgesteld of diffuus licht eventueel minder verbrandingsschade zal veroorzaken. Dit is wel te verwachten in de nog stralingsrijkere zomermaanden.

Door het licht diffuus te maken wordt het natuurlijke licht beter benut en de groeisnelheid van potplanten verhoogd, wat voor de energie-efficiëntie in Nederlandse kassen voordelig is. Diffuus licht kan worden bereikt door gebruik te maken van een diffuus kasdek materiaal, mits dit materiaal geen lichtverlies veroorzaakt.

5. Aanbevelingen

- Onderzoek van moleculaire effecten van diffuus licht in de cel om werkingsmechanismen op fundamenteel niveau te kunnen begrijpen en hieruit conclusies voor de tuinbouwpraktijk te kunnen trekken.
- Tuinders moeten opletten bij keuze huidige materialen, deze vertonen vaak een te hoog lichtverlies of een te lage lichtverstrooiing, ze kunnen beter wachten tot dat er een geschikt materiaal is.
- Ontwikkeling kasdek materiaal met optimale eigenschappen, voorlopig moet hiervoor worden aangehouden: minimaal 50% lichtverstrooiing (haze), geen lichtverlies bij diffuse lichtinval, dus op bewolkte dagen (minimaal 82% transmissie bij diffuse lichtinval). Hiermee zijn marktpartijen al bezig.
- Onderzoek naar de optimale lichtverstrooiing van een materiaal. Nemen de positieve effecten toe bij een hogere haze? Hoeveel blijft van de positieve effecten over bij een lagere haze?
- Als een nagenoeg optimaal materiaal ter beschikking is, onderzoek van diffuus licht op grotere schaal nodig in een demonstratiekas, ook bij andere gewassen.

6. Literatuur

- Breuer, J.J.G. & N.J. van de Braak 1989.
Reference Year for Dutch Greenhouses. *Acta Horticulturae* 248.
- Chien, C.H. & J.K. Aggarwal 1986a.
Volume/surface octrees for the representation of three-dimensional objects. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing* 36, 100-113.
- Chien, C.H. & J. K. Aggarwal 1986b.
'Identification of 3d-objects from multiple silhouettes using quadtrees/octrees', *Comp. Vision Graphics Image Processing* 36, 1986, pp. 256-273.
- De Gelder, A., J.B. Campen, A. Elings, C. Stanghellini & E. Meinen 2006.
Luchtcirculatie en productie - Resultaten kasexperiment 2005, vervolg op deskstudie en klimaatkamer experimenten. Rapport Wageningen UR Praktijkonderzoek Plant & Omgeving PPO Glastuinbouw nr. 41616052.2.
- Hemming, S., T. Dueck, N. Marissen, R. Jongschaap & F. Kempkes 2005.
Diffuus licht - Het effect van lichtverstrooiende kasdekmaterialen op kasklimaat, lichtdoordringing en gewasgroei. Wageningen UR A&F rapport 557, 98 pp.
- Hemming, S., R. Jongschaap, J. Janse & T. Dueck, 2007.
Het effect van diffuus licht op komkommer – resultaten van een teelt experiment. Wageningen UR Glastuinbouw nota 446.
- Lee, D.W., 1986.
Unusual strategies of light absorption in rainforest herbs. In: *On the Economy of Plant Form and Function* (ed. T.J. Givnish). Cambridge University Press, Cambridge. ISBN 0-521-26296-8, pp. 105-126.
- Martin, W.N. & J. K. Aggarwal, 1983.
'Volumetric Descriptions of Objects from Multiple Views', *Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. PAMI-5, 1983, pp. 150-159.
- Velds, C.A., P.C.T. van der Hoeven, J.M. Koopstra, W.R. Raaf & W.H. Slob 1992.
Zonnestraling in Nederland. Thieme-Baarn/KNMI, 170 pp.

Bijlage I.

Definitie gebruikte beeldanalyse-parameters

Oppervlak

Het aantal pixels van een object.

Zwaartepunt

Het punt dat de gemiddelde positie van de totale massa van het object representeert, veronderstelt dat ieder punt van het object een constante dichtheid heeft.

Oriëntatie

De hoek van de rechte lijn die door het zwaartepunt van het object gaat en met die het object het kleinste massa traagheidsmoment heeft.

$$\frac{1}{2} \arctan \left(\frac{2 \sum xy}{\sum yy - \sum xx} \right)$$

Convex hull

Het kleinste convexe polygoon dat alle punten van het object bevat.

Bounding rectangle (hoogte en breedte)

Het bounding rectangle is de kleinste rechthoek met kanten die parallel zijn aan de x-as en y-as van het beeld dat het object volledig bevat. De hoogte van een object is gelijk aan de hoogte van de rechthoek, de breedte is gelijk aan de breedte van de rechthoek.

Lengte/breedteverhouding

Dit parameter wordt beperkend door:

$$L = \frac{w}{h}$$

w = breedte object

h = hoogte object

Oppervlak convex hull/oppervlak verhouding

$$C = \frac{A_c}{A_o}$$

A_c = Oppervlak van de convex hull van het object

A_o = Oppervlak van het object

Bijlage II.

Genstat programma om lichtrespons- curven te fitten

```
" Fitten lichtrespons curves project diffuus licht potplanten      \
Methode: rectangular hyperbola                                     \
Programma: fitfot-nonrect.gen                                       \
Esther Meinen                                                       \
februari 2007
"
import 'LR_Ficus.xls';sheet='direct2'

vari vPAR;!(#PAR)

vari v_AMAX,v_RD,v_EFF,v_THETA,%verklaard

rest      vPAR,Acorr
model     Acorr
fitcurve  [curve=expo] vPAR
rkeep     Acorr; fitted=CO2Exchange; estim=param
scalar    AMAX,RD,EFF,THETA,A,B,C,a,b,r
equate    old=param; new=!p(r,b,a)
calculate A = a
&         B = -(a+b)
&         C = b*log(r)
expression Fotos; !E(fit = (EFF*vPAR+ (AMAX-RD) - SQRT((EFF*vPAR+AMAX-RD)**2
- \
                                4*THETA*EFF*vPAR*(AMAX-RD)))/(2*THETA) +RD )
model     Acorr; fitted = fit
"rcycle   AMAX,RD,EFF,THETA; init = A,B,C,0.7; lower=*,*,*,0; upper=*,*,*,1
"
rcycle    AMAX,RD,EFF,THETA; init = 20,-1,0.3,0.7; lower=*,*,*,0.1;
upper=*,*,*,1

fitnonlin
[constant=omit;calculation=Fotos;print=model,summ,estim,corr,fitted]
rgraph index=vPAR
fitnonlin [constant=omit;calculation=Fotos;print=*]
calc      v_AMAX,v_RD,v_EFF,v_THETA=AMAX,RD,EFF,THETA
rkeep     [stat=sumstat] : calc %verklaard=sumstat

print v_AMAX,v_RD,v_EFF,v_THETA,%verklaard
```

Toelichting

Iedere curve is apart ingelezen en gefit.

Inlezen gebeurt bij "import 'LR_Ficus.xls';sheet='direct2'"

Dus vanuit een Excelfile met verschillende sheets zijn de curven ingelezen.

Vervolgens worden initiële waarden voor de te schatten parameters eerst berekend en vervolgens wordt in rcycle de best passende curve gezocht.

Bij fitnonlin wordt de figuur gemaakt met de data en de gefitte lijn. In veel gevallen kon er geen curve gefit worden omdat de best passende lijn een Θ had van 0 (dit was vaak het geval als er geen verzadiging in de meetwaarden was gevonden). In dat geval heeft Θ een minimale waarde van 0.1 meegekregen en werd het programma opnieuw gedraaid.

In de output van genstat werden vervolgens de gefitte waarden weggeschreven en %verklaard (hoe goed de gefitte curve past bij de data).

Soms kon er helemaal geen passende lijn gevonden worden. In dat geval kon het helpen om de initiële waarden aan te passen (init bij rcycle).