



# Lichtmeetprotocol

## Lichtmetingen in onderzoekskassen met LED en SON-T belichting

Wageningen UR Glastuinbouw, Plant Dynamics & Wageningen Universiteit-TPK  
redactie: Tom Dueck & Sander Pot



Wageningen UR Glastuinbouw, Wageningen  
april 2010

Rapport nummer 302

© 2010 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



Ministerie van Landbouw, Natuur en  
Voedselkwaliteit



### **Wageningen UR Glastuinbouw**

Adres : Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk  
: Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk  
Tel. : 0317 - 48 56 06  
Fax : 010 - 522 51 93  
E-mail : [glastuinbouw@wur.nl](mailto:glastuinbouw@wur.nl)  
Internet : [www.glastuinbouw.wur.nl](http://www.glastuinbouw.wur.nl)

# Inhoud

Voorwoord.....	3
1 Inleiding.....	4
2 Aspecten van lichtmeting .....	5
2.1 Meetomstandigheden.....	5
2.2 Eenheden van straling en licht.....	5
2.3 Sensoren .....	5
2.4 Berekening lichtintensiteit.....	6
2.5 Richting van het licht.....	6
2.6 Opwarmtijd lampen .....	6
3 Lichtmeetprotocol voor lichtonderzoek .....	7
3.1 Metingen in een onderzoekskas .....	7
3.2 Uitvoering metingen.....	8
4 Bijzondere omstandigheden .....	10
4.1 Tussenbelichting met LEDs .....	10
4.2 Schaduw elementen in de kas.....	10
4.3 Spectrale eigenschappen van lichtbronnen .....	11
5 Literatuur .....	13
Bijlage I. Bestaande lichtmeetprotocollen.....	14
Bijlage II. Voorbeeld van een meetraster.....	15
Bijlage III. Meetpositie bij tussenbelichting .....	16
Bijlage IV. Meetpositie voor verliesgebieden .....	17

# Voorwoord

Gedurende de laatste jaren is er in lichtonderzoek projecten een nieuw fenomeen ontstaan, t.w. de introductie van LEDs als assimilatie belichting in de glastuinbouw. Naar aanleiding daarvan heeft LNV en Productschap Tuinbouw in het kader van Kas als Energiebron opdracht gegeven aan WUR Glastuinbouw om een protocol te schrijven voor het meten van licht in SON-T en LED belichtingsystemen in onderzoekskassen.

WUR Glastuinbouw heeft dit meetprotocol opgesteld in samenwerking met Plant Dynamics en WU Tuinbouwproductieketens. Dit protocol is vervolgens besproken en vastgesteld in een platform met Philips, Lemnis Lighting, Hortilux, KEMA en TNO.

Tom Dueck  
april 2010

# 1 Inleiding

Gedurende de afgelopen drie jaar is er een aantal onderzoeksprojecten uitgevoerd, gericht op licht en belichtingsystemen, waarin LED-belichting vergeleken werd met SON-T. Onderzoeken met deze belichtingsystemen werden uitgevoerd bij tomaat, paprika, chrysant en roos door verschillende onderzoeksinstellingen in klimaatkamers zonder daglicht, in diverse (kleine) onderzoekskassen en in de praktijk.

In lichtproeven is het van groot belang te weten hoeveel (assimilatie)belichting het gewas ontvangt, dat de belichtingsintensiteit aan de gestelde eisen voldoet, vergelijkbaar is tussen behandelingen en hoe het licht in het gewas is verdeeld. Het vergelijken van lichtmetingen is vooral van belang als verschillende typen belichtingsystemen gebruikt worden: SON-T, LED-bovenbelichting, LED-tussenbelichting en combinaties hiervan, vanwege verschillen in spectrum en positie in of boven het gewas. Om een objectief en onderling vergelijkbare beoordeling van de lichtbehandelingen te krijgen, is een eenduidig meetprotocol vereist.

Wanneer een dergelijk protocol gedragen wordt door onderzoekers en leveranciers, wordt het mogelijk om de verschillende belichtingsystemen, vooral binnen en tussen experimenten, op een objectieve manier te kunnen vergelijken. Het doel van dit rapport is het beschrijven van een methode om licht te meten, om het lichtniveau en lichtverdeling van verschillende belichtingsinstallaties in de kas te kwantificeren en vergelijken.

De methode wordt gefocussed op metingen aan SON-T en LED belichting, en niet aan natuurlijk licht. Het meten van lichtoutput van een lamp in relatie tot stroomgebruik van de lamp valt buiten dit project. Het project richt zich op metingen in een onderzoekskas.

## 2 Aspecten van lichtmeting

### 2.1 Meetomstandigheden

Bij het meten van licht in onderzoekskassen met belichting kunnen verschillende situaties worden onderscheiden:

- A. lege kas vóór planten (alleen om lichtverdeling homogeen te krijgen op de verwachte gewashoogte)
- B. kas met een volgroeid (hoogopgaand) gewas (meting van de lichtdoordringing in gewas)

Voor situatie A wordt gemeten om de lichtverdeling in te schatten op de te realiseren gewashoogte (kop van het gewas). Metingen worden uitgevoerd in situatie B om de lichtintensiteit te bepalen op gewashoogte en om de lichtdoordringing in het gewas vast te stellen.

Lichtmetingen van belichtingssystemen die onder dit protocol vallen:

- belichting met SON-T
- belichting met LED (boven het gewas)
- tussenbelichting (LED)
- hybride bovenbelichting (combinatie SON-T en LED)
- boven- en tussenbelichting (SON-T boven en LED tussen het gewas)

### 2.2 Eenheden van straling en licht

**Licht.** Licht in de kas wordt gemeten als de hoeveelheid PAR (Photosynthetic Active Radiation), ook genoemd PPFD (Photosynthesis Photon Flux Density). Dit is de stroom van fotonen (quanta) in het golflengtegebied van 400 tot 700 nm, uitgedrukt in  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  en drukt het aantal fotonen uit. Wanneer er over lamplicht wordt gesproken, wordt er nog steeds regelmatig gebruik gemaakt van de eenheid lux, de hoeveelheid licht waarvoor de menselijk oog gevoelig is met een piek rond de 550 nm.

**Straling.** Een veel gebruikte eenheid voor (globale) straling is  $\text{W m}^{-2}$ , de hoeveelheid energie, b.v. in zonlicht, voor het licht en warmte energie dat van de zon afkomstig is. Dit wordt ook vaak uitgedrukt in de eenheid  $\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

### 2.3 Sensoren

Voor het meten van licht in de kas wordt bij voorkeur gebruik gemaakt van een quantum sensor die PAR (tussen 400-700 nm) meet in  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Een PAR meter dient regelmatig schoongemaakt en gecalibreerd te worden (de leverancier adviseert 1x per jaar) en een bekende cosinuscorrectie heeft (dit is een meetcorrectie voor schuin invallende licht). Bij langdurige experimenten dient een PAR meting vóór en ná het experiment uitgevoerd te worden. Belangrijk is dat metingen die vergeleken moeten worden, steeds gemeten worden met hetzelfde type (geijkte) sensor en liefst met echt dezelfde sensor. Het apparaat mag een maximale fouttolerantie hebben van 5%.

De meest gangbare en algemeen geaccepteerde lichtmeter is die van LiCor, b.v. een LiCor quantum sensor (punt sensor, type LI-190) of een LiCor Line Sensor (lange lichtmeter, type LI-191) die meet over een lengte van 1 meter ([www.licor.com/env/Products/Sensors/190/li190\\_description.jsp](http://www.licor.com/env/Products/Sensors/190/li190_description.jsp)).

Voor het meten van smalband licht van b.v. 420 nm moet de quantum sensor gecontroleerd worden op spectrale gevoeligheid door een spectrale analyse (lichtmeting per golflengte) uit te voeren met een spectrale meter met voldoende resolutie (min. 5 nm) en deze te vergelijken met de quantum sensor.



**Foto 1. Voorbeelden van een aantal Lichtmeters**

a. LiCor Line quantum meter, LI-191 b. LiCor quantum sensor, LI-190.  
c. USB2000 spectraal meter.

## 2.4 Berekening lichtintensiteit

Wanneer SONT en LED-belichtingsystemen worden vergeleken, dient dit ondersteund te worden door een beschrijving van de belichtingsinstallatie (lamptype, geïnstalleerd vermogen en systeemrendement), en een berekening van het theoretisch lichtniveau. De belichtingssterkte (in  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) van een horizontaal vlak (exclusief randeffecten) onder de lichtinstallatie wordt berekend uit deze gegevens. Per lichtbron (SON-T of LED modules) wordt de lichtopbrengst uitgedrukt in  $\mu\text{mol}/\text{sec}$ , en met het aantal lichtbronnen in de onderzoekskas per oppervlak dient de belichtingssterkte berekend te worden in  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

## 2.5 Richting van het licht

Het licht schijnt op het gewas vooral van boven. In het hier beschreven meetprotocol wordt hiervan uitgegaan: bovenbelichting in een onderzoekskas. Tussenbelichting wordt besproken in hoofdstuk 4.

## 2.6 Opwarmtijd lampen

Voordat het belichtingsstelsel gemeten wordt moet de installatie zolang ingeschakeld zijn, dat de belichtingssterkte stabiel is. Houdt rekening mee met een opwarmtijd voor zowel SON-T als LEDs van 30 minuten.

## 3 Lichtmeetprotocol voor lichtonderzoek

Hieronder worden aanbevelingen gedaan om goede lichtmetingen uit te voeren om het lichtniveau en de lichtverdeling te kwantificeren bij lichtproeven in kleine kasafdelingen.

### 3.1 Metingen in een onderzoekskas

Om een juist beeld te krijgen van het licht dat het gewas ontvangt en de lichtverdeling, dient er gemeten te worden in een kas met een volgroeid gewas. Eventueel kunnen metingen in een lege kas worden uitgevoerd, welke uitsluitend dienen ter indicatie van de lichtverdeling op gewashoogte. In een kleine onderzoekskas zijn de 'randen' relatief heel groot. Indien deze randen in het proefvak (of telvak) zijn, dienen deze randeffecten gekwantificeerd te worden. Daarom is er behoefte aan een lichtmeetprotocol voor lichtonderzoek, wat gebruikt kan worden voor meerdere type lichtbronnen en voor heel kleine kasafdelingen.

#### Meettijdstip en -plaats

Maak vooraf een meetplan en meetformulier, en werk met een meetveld en meetraster (zie hieronder). Meet als het buiten donker is ( $<1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), of desnoods overdag onder een verduisteringsdoek dat 0% licht doorlaat en meet met gesloten bovenscherm en gevelschermen i.v.m. reflectie, i.i.g. met de schermstand zoals er in de proefsituatie wordt geteeld. Houdt er rekening mee dat er een verschil bestaat tussen theorie (meting in een lege kas) en in een kas met gewas. Meet op de toekomstige top van het gewas en vermeld de meetafstand tot de lampen. Vermijd schaduw van bijzondere constructies en met structureel aanwezige schaduwgevende constructies moet rekening worden gehouden. Noem de condities waaronder gemeten wordt, bv als scherm wordt gebruikt

#### Meetplan en meetformulier

Maak een meetplan met daarin tijdsplanning, rekening houdend met plantdatum zodat eventueel in de lege kas gemeten kan worden. Maak een meetformulier met daarop een plattegrond met alle te meten plekken.

Het is van belang om zaken die zinvol zijn in relatie tot het lichtklimaat te meten en te registreren: details van de belichtingsinstallatie (type, lamphoogte, reflectortype, het aantal lampen per m<sup>2</sup>), gegevens over de kas, hoogtes boven de grond van goot, gewasdraden, lampen, teeltgoot, enz.

#### Meetveld

Lichtmetingen dienen een representatief beeld geven van het lichtniveau en de lichtverdeling in het proefvak. Kies daartoe een representatief meetveld dat zich herhaalt door de kas. Het meetveld geeft een (relatief klein) gebied aan binnen het proefvak (telvak). Het meetraster geeft de precieze punten in het meetveld in het horizontale vlak weer, waar lichtmetingen worden gedaan. Meetveld en meetraster zijn afgestemd op de plaats van de lampen, gewasrijen en paden (en in sommige gevallen ook op de vakmaat van de kas).

In een kleine onderzoekskas is het soms noodzakelijk het hele kasoppervlak te meten wanneer de hele kas nodig is als proefvak of telvak. Dit kan nodig zijn wanneer het moeilijk blijkt een plek in de kas te vinden waar het lamplicht voor een homogeen lichtniveau zorgt of bijvoorbeeld vanwege reflectie op gevelschermen die extra randeffecten kunnen geven. De randen moeten in dit geval meegenomen worden in de metingen. Bij SON-T dient een meetveld uit een oppervlak te bestaan van minimaal twee tot drie opeenvolgende lampen, zowel in de lengte als in de breedte. Bij LED-belichting, waar de modules of armaturen veel dichter bij elkaar geplaatst worden en een meer homogene lichtverdeling hebben dan SON-T, kan een kleiner oppervlak van 3 x 4 m gemeten worden. In beide gevallen geldt dat het meetveld voor de lichtmetingen representatief moet zijn voor het proefvak waarbinnen de gewaswaarnemingen worden gedaan.

Bij sommige gewassen dient rekening gehouden te worden met de carroussel waarin de planten 'rond geleid worden' (vanwege het laten zakken van het gewas) en terechtkomen in de voor- en achterkant van



een rij. Er moet gemeten worden in de rijen en in de paden. Licht in de paden is van belang omdat dit licht op de zijkant van de rijen valt.

### Meetraster

Over het meetveld moet een meetraster gelegd worden. Een meetraster is een verzameling van punten die gedefinieerd zijn als de snijpunten van regelmatig over het meetveld verspreide rasterlijnen (voorbeeld in bijlage I). Aanbevolen wordt om de meetpunten te kiezen met onderlinge afstand van 0,5 tot 1 meter. Deze meetplaatsen kunnen op het pad worden gemarkeerd.

De keuze van het meetraster hangt af van het type belichting en de afmetingen van de kas. Het licht van SON-T lampen is vaak minder egaal verdeeld dan die van b.v. LEDs waardoor het meetraster afgestemd moet worden op de plaats van de lampen. Het meetraster dient fijnmazig te zijn ter bepaling van een juist gemiddelde. Bij LED belichting met kleine modules op korte afstanden is het licht over het algemeen egaler verdeeld. Dan mag het meetraster wat grofmaziger zijn en zijn de meetplaatsen minder kritisch. Het meetraster dient gelijk te zijn in alle kasafdelingen. In heel kleine kasafdelingen (bv met minder dan 8 SON-T lampen) kan volstaan worden met metingen op iedere 50 cm en met meer dan 8 lampen zijn metingen op iedere 1 m voldoende.

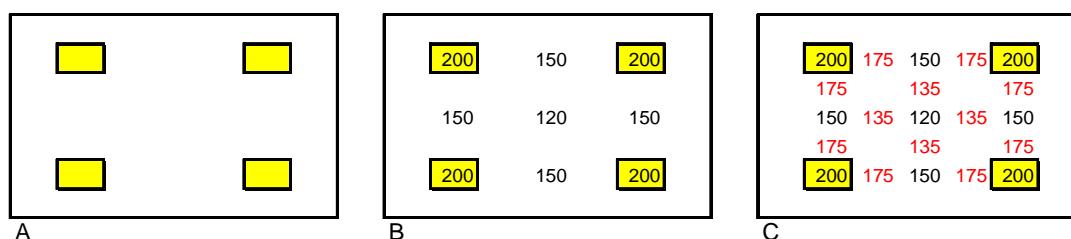
### Meethoogte

Dichtbij de lampen is de lichtverdeling zeer heterogeen, omdat daar de 'lichtkegels' onvoldoende, of niet overlappen. Op meer afstand van de lampen is de verdeling egaler. Voor een goede proef, dient de lichtverdeling homogeen te zijn (Min/Max= 80%) op gewashoogte.

## 3.2 Uitvoering metingen

Lichtmetingen moeten worden uitgevoerd met een quantum sensor (punt of line-sensor), zoals gespecificeerd in hoofdstuk 2.3. Houdt de meter op de gewenste afstand van de lampen bij elke meetpunt in de meetraster. Richt de meter verticaal omhoog, loodrecht op de lampen en houdt de meter waterpas. Plaats de lichtmeter in het gekozen meetveld op de punten van het meetraster. In een kleine kasafdeling kan dit de hele kas zijn, met afstand van 50 tot 100 cm tussen de meetpunten. Hoe meer meetpunten hoe beter, minimaal 25 meetpunten per meetvak, waarin de meetpunten gelijkmatig verdeeld dienen te zijn. Zorg dat er geen schaduw op de meter valt. De persoon die de meting doet dient geen reflecterende (witte) kleding te dragen. Doe de lichtmetingen boven de gewasrijen en boven de paden. Noteer de meetwaarde (meetformulier). Bereken de gemiddelde lichtintensiteit en plot de lichtverdeling. Deze meting dient minimaal 1x herhaald te worden.

Ter illustratie wordt in Fig. 2 de lichtintensiteit op verschillende plekken in een meetveld aangegeven. Hiermee wordt duidelijk hoe het aantal en verdeling van meetpunten de berekening van de gemiddelde lichtintensiteit bepaald.



Figuur 2. Voorbeeld van berekeningen van lichtintensiteit. A. Positie lampen (geel). B. Gemeten lichtintensiteiten onder en tussen de SON-T lampen (9 meetpunten). C. Gemeten lichtintensiteiten onder 4 SON-T lampen (25 meetpunten).

Het berekende gemiddelde is voor situatie B en C verschillend. Situatie B geeft een gemiddelde lichtintensiteit van  $169 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , waarbij de lichtintensiteit onder de lampen té zwaar is meegewogen.

Als men rekent met meer meetwaardes (situatie C), komt men uit op een lager gemiddelde ( $165 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), wat een betere weergave is van de werkelijkheid.

## 4 Bijzondere omstandigheden

### 4.1 Tussenbelichting met LEDs

Bij LED tussenbelichting worden de lichtmetingen gecompliceerd door de positie van de lichtbron ten opzichte van het gewas. Het doel van lichtmetingen bij tussenbelichting is tweeledig, enerzijds het meten en kwantificeren van de lichtintensiteit dat het gewas wordt aangeboden en anderzijds het kwantificeren van de verliezen van het licht uit het gewas.

**1. Lichtintensiteit.** Om de lichtintensiteit van bovenbelichting te kwantificeren per m<sup>2</sup> grondoppervlak moet de lichtintensiteit loodrecht worden gemeten op de lichtbron. Dit is niet anders bij tussenbelichting. Voor de meting is de keus aan de onderzoeker of hij de tussenbelichting in een verticale of horizontale richting hangt. Indien hij kiest om het systeem te installeren in verticale richting zodat het naar beneden schijnt, vergelijkbaar met een bovenbelichtingsysteem, zal hij de tussenbelichting moeten kantelen. Om reflectie van de grond uit te sluiten moet worden gemeten in een proefkas mét gewas. Op deze manier is het dus mogelijk op een directe wijze een boven- met een tussenbelichtingsysteem met elkaar te vergelijken. Natuurlijk is het ook legitiem om de tussenbelichting in een horizontale vlak te installeren zodat het opzij schijnt, en daarna het lichtintensiteit loodrecht op de bron te meten (zie situatie schets in Bijlage III). Vermijd reflecties van bijvoorbeeld een gesloten gevelscherm. Om een vergelijk te kunnen maken met bovenbelichting, dient deze meting omgerekend te worden naar m<sup>2</sup> grondoppervlak. In beide gevallen geldt dat de positie van het meetvlak t.o.v. de lichtbron zodanig is, dat er geen sprake is van schaduw, de lichtverdeling homogeen is zonder randeffecten. Bij een hybride systeem (bovenbelichting in combinatie met tussenbelichting) dient, ter bepaling van de verhouding, beide systemen onafhankelijk van elkaar gemeten te worden. Uitgedrukt in  $\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$  grondoppervlak, is het totale lichtniveau de optelsom van beide systemen.

**2. Lichtverlies.** Het is van belang voor de onderzoeker om de hoeveelheid licht te kwantificeren die er verloren gaat (het gewas uit) bij tussenbelichting, zowel beneden als boven het gewas. Beide verliesposten dienen gemeten te worden met een line-sensor, op de grond naar boven toe gericht (verliespost naar de bodem onder het gewas en in het pad) en net boven het gewas canopy en pad met de sensor naar beneden toe gericht (verliespost de kas uit). In beide gevallen dient het meetvlak een evenredig deel te beslaan onder het gewas + in het pad en boven het gewas + boven het pad. Leg de sensor op de grond, te beginnen onder het gewas en verplaats de sensor in het horizontale vlak steeds 20 cm eindigend onder het gewas van de naast liggende rij. Voer op dezelfde manier de metingen uit boven het gewas, echter dan met de sensor naar beneden gericht. Herhaal de metingen minimaal 2x vanwege variatie door het gewas. Het gemiddelde kan als verliespost rechtstreeks worden afgetrokken van de gemeten lichtintensiteit dat het gewas wordt aangeboden, zoals beschreven onder punt 1. Indien de ondergrond licht reflecteert terug het gewas in, moet hiervoor worden gecorrigeerd. Deze correctie kan worden bepaald door op dezelfde manier te meten als hierboven beschreven, maar dan de line-sensor 50 cm boven de grond te houden, naar beneden gericht (zie situatie schets in Bijlage IV).

**3. Positionering.** De positionering van de lichtbron en de lichtverdeling over de verschillende bladlagen is een proeffactor en dient omschreven te worden in de proefopzet. Dit valt buiten dit meetprotocol. Onze aanbeveling is de lichtverdeling in kaart te brengen door het licht te meten in een verticaal traject in stappen van 25 cm, midden in de pad. Ook hiervoor dient men bij voorkeur een line-sensor te gebruiken, gericht loodrecht op de lichtbron. Noem hierbij de hoogte van de metingen en van de tussenbelichting t.o.v. het gewas, breedte van de gewasrijen en de padbreedte.

### 4.2 Schaduw elementen in de kas

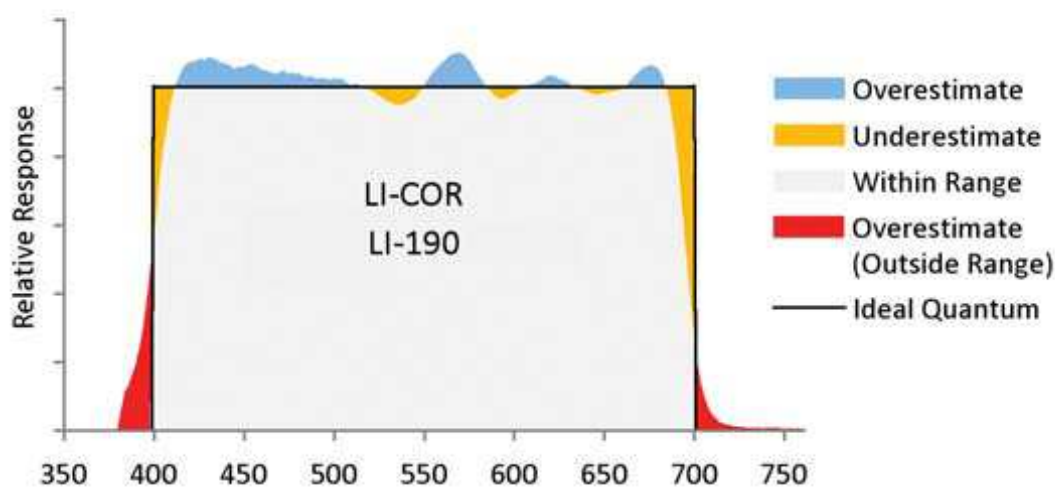
In principe wordt er in een lege kas gemeten alleen om bij de te verwachten gewashoogte, de lichtverdeling homogeen te krijgen. Alle andere relevante metingen dienen uitgevoerd te worden in de

kas met een volgroeid gewas. Het verschil tussen beide meettijdstippen is dat er bij een volgroeid gewas bijzondere omstandigheden zich voor kunnen doen, waarmee rekening gehouden dient te worden. Een aantal voorbeelden hiervan zijn reflectie van het gewas, schaduwwerking van meetapparatuur of klosjes/touwtjes waarmee het gewas opgebonden wordt.

In het eerste voorbeeld wordt de reflectie vanaf de grond zeer waarschijnlijk beïnvloed door een volgroeide gewas. Het tweede voorbeeld betreft schaduwwerking van apparatuur of klosjes. Dit komt vooral in situaties voor waarin de klosjes of apparatuur dicht bij de lampen hangen en het licht bokkeren. In dit geval hebben ze een significant effect op het lichtniveau op of in het gewas. Bij de metingen en interpretatie ervan dient hier rekening mee gehouden te worden.

### 4.3 Spectrale eigenschappen van lichtbronnen

Spectrale lichtmetingen, naast lichtintensiteitsmeting, zijn nodig vooral in situaties waarin menglicht, of hybride lichtsystemen worden gebruikt. Het licht van SON-T lampen en van LED modules vertoont verschillen in spectrale samenstelling (lichtkleur). LiCor lichtmeters meten het aantal fotonen (in  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) tussen 400 en 700 nm, maar geven geen inzicht in de spectrale samenstelling van het licht. Figuur 2 laat zien dat de LiCor meter violet licht (400-430 nm) onderschat en rood licht van ca 670 nm overschat. Daartussen vertoont de gevoeligheidscurve pieken en dalen. De meetfout is afhankelijk van de spectrale samenstelling van het licht en kan per sensor verschillen. Bij specifieke lichtkleuren (bijvoorbeeld bij LEDs) kan de meetfout aanzienlijk zijn. *Om deze fout te kwantificeren* moet de quantum sensor gecontroleerd worden op spectrale gevoeligheid bij deze specifieke lichtkleur (zie hoofdstuk 2.3).



*Figuur 2. Voorbeeld van spectrale gevoeligheid van de Licor quantum meters voor de verschillende golflengtes. Gestippeld staat de ideale respons (dwz gelijke respons voor iedere golflengte tussen 400 en 700 nm). Bron: [www.licor.com](http://www.licor.com).*

In de figuur is duidelijk te zien dat afhankelijk van de golflengte er een onderschatting of overschatting optreedt. Deze fout kan per sensor verschillen. Om deze fout te kwantificeren moet de quantum sensor gecontroleerd worden op spectrale gevoeligheid door een spectrale analyse (lichtmeting per golflengte) uit te voeren (zie hoofdstuk 2.3).



## 5 Literatuur

LiCor, 2009. [www.licor.com/env/Products/Sensors/190/li190\\_description.jsp](http://www.licor.com/env/Products/Sensors/190/li190_description.jsp))

LiCor, 2009. Comparison of quantum sensors with different spectral sensitivities. LiCor Technical Note #126. ([http://www.licor.com/env/Products/Sensors/190/li190\\_description.jsp](http://www.licor.com/env/Products/Sensors/190/li190_description.jsp))

Peeters M., 1997. Lichtmeten: standaardisatie van meet- en rekenmethoden. PBG, Aalsmeer.

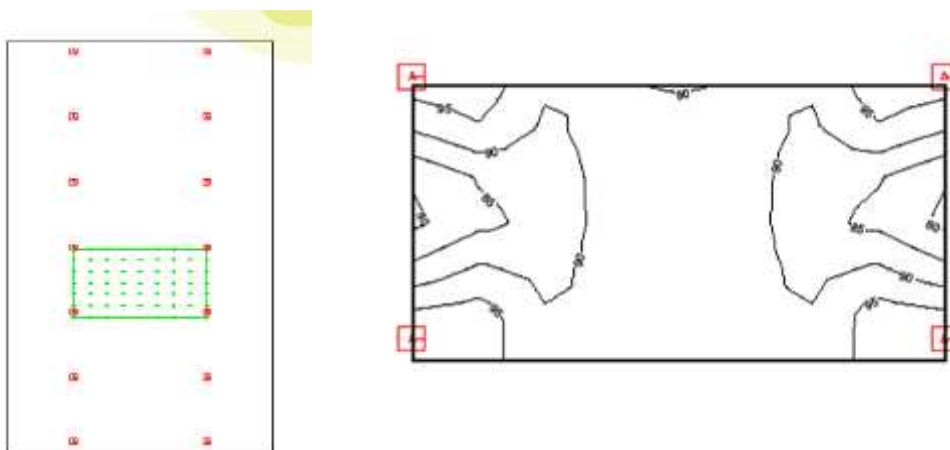
Pot S., M. Brok, e.a. 2001. Meetprotocol bepaling belichtingsniveau glastuinbouw. Philips, Hortilux.

Rijssel E van. e.a 1997. Lichtmeten: overzicht van meet- en rekenregels voor vaststellen van lichttransmissie, licht en belichtingsniveaus. PBG, Aalsmeer, Rapport 116.

## Bijlage I. Bestaande lichtmeetprotocollen

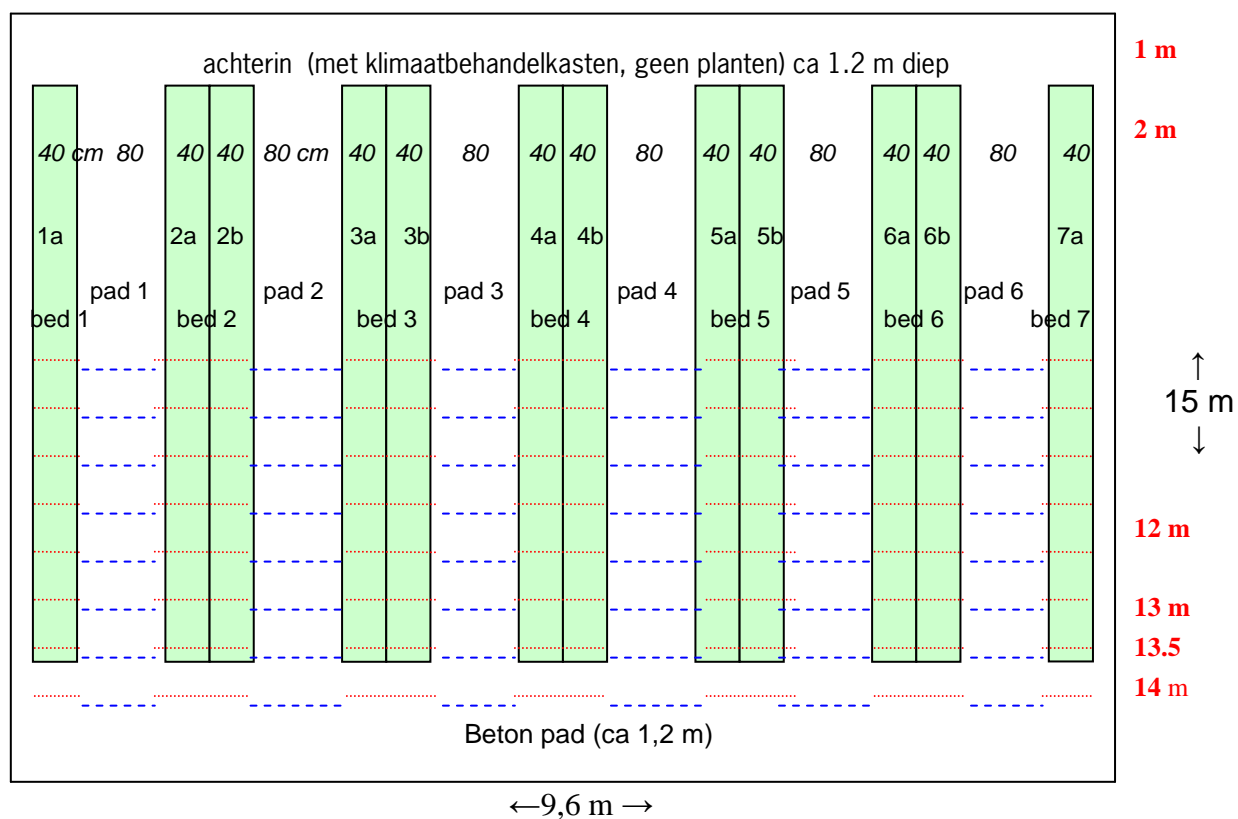
Er bestaan verschillend lichtmeetprotocollen (Van Rijssel, 1997; Pot & Brok e.a. 2001), welke zijn geschreven voor SON-T belichting en voor grote kassen.

Een gangbaar meetprotocol voor SON-T belichting is dat een meetveld wordt gekozen dat minimaal twee opeenvolgende lampen omvat en een vlak tussen twee strengen. Om randeffecten uit te sluiten moeten er nog minstens vier brandende lampen voor en achter het meetveld zitten, en nog minimaal drie strengen aan weerszijde van het meetveld. Een voorbeeld van een dergelijke benadering is te zien in Figuur 1.



*Bijlage I. Schematische voorstelling van de lichtintensiteit en lichtverdeling in een grote kasafdeling. In feite is dit een lichtplan van Light Interactions Agro BV voor SON-T belichting. Links, de plattegrond van de kas, met een vak waarvoor de lichtverdeling is berekend; en recht, een isolijndiagram voor de lichtintensiteit van het groene vak aangegeven in de plattegrond links.*

## Bijlage II. Voorbeeld van een meetraster



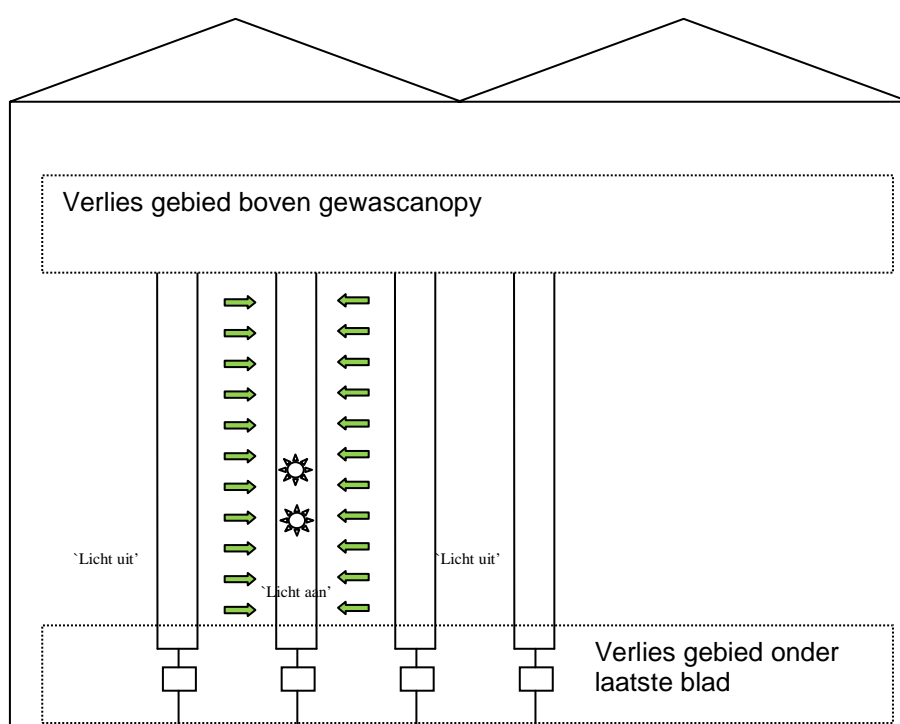
Bijlage II. Meetveld en meetraster van de proef bij WUR in Bleiswijk 2009/2010. Plaatsen voor lichtmetingen in de proefkassen (bovenaanzicht, niet op schaal). Groene vlakken zijn gewasrijen. Rode en blauwe stippellijnen zijn plaatsen voor lichtmeting met de LiCor Line Sensor, op onderlinge afstand van 1 m. De meetplaatsen zijn alleen ingetekend voor de helft van de kas, maar de hele kas is gemeten. Rechts in rode cijfers staat de afstand in meters vanaf de achtergevel. Meetplaats 13.5 m is op de rand van het gewas en betonpad (deze wordt niet meegemiddeld); 14 m en 1 m zijn buiten het teelt oppervlak.



## Bijlage III. Meetpositie bij tussenbelichting

☀ Tussenbelichtings lichtbron

← Meetpositie en richting



## Bijlage IV. Meetpositie voor verliesgebieden

☀ Tussenbelichtings lichtbron

← Meetpositie en richting (loodrecht op de lichtbron)

