



**WAGENINGEN UR**  
*For quality of life*

# Lichtmeetprotocol

## Afspraken voor lichtmetingen in proeven met LED en SON-T belichting



Elly Nederhoff, Mary Warmenhoven, Tom Dueck

Met medewerking van Sander Pot (Plant Dynamics), Philips en Lemnis

Wageningen UR Glastuinbouw, Wageningen  
December 2009

Rapport nummer 302

© 2009 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



**PHILIPS**

lemnis  
lighting



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

1	Samenvatting.....	3
2	Inleiding .....	4
3	Lichtmeetprotocol voor lichtonderzoek .....	6
4	Bijzonderheden .....	9
4.1	Meting voor en na het planten.....	9
4.2	Lichtkleur .....	10
4.3	Overige aspecten .....	11
5	Literatuur.....	12
	BIJLAGE – voorbeeld van een meetraster.....	13

# 1 Samenvatting

Voor onderzoek aan belichting is het van het grootste belang dat de belichtingsintensiteit en de lichtverdeling goed afgesteld en goed bekend zijn. Dit vereist goede lichtmetingen. Er zijn protocollen voor lichtmetingen, maar deze zijn bedoeld voor metingen aan SON-T belichting in grote kassen in de praktijk. Dan wordt meestal gemeten in een klein representatief meetveldje dat afgestemd is op de verdeling van de SON-T lampen.

Lichtmeten in kasafdelingen voor lichtonderzoek vraagt een heel andere benadering. Ten eerste worden daar vaak verschillende lamptypen gebruikt, zoals SON-T en LED en combinaties. Ten tweede wordt gewerkt met verschillende posities van (LED) lampen, bv boven en tussen het gewas, verticaal en horizontaal. Ten derde zijn de kasafdelingen relatief heel klein, met veel randeffecten.

Het volgende meetprotocol wordt voorgesteld om bij lichtonderzoek in kleine kasafdelingen te bepalen hoeveel licht wordt ingebracht door de belichtingsinstallatie en hoe de lichtverdeling is:

- Maak een meetplan en een meetformulier
- Kies als meetveld de hele kasafdeling en kies voor meting in alle paden en rijen
- Stel een meetraster vast met een bepaalde afstand tussen de meetpunten (0.5 of 1 m)
- Let op dat niet een deel van de kas onevenredig vertegenwoordigd is (bv randrijen)
- Kies een meethoogte, bij voorkeur 1,5 m onder de lampen
- Gebruik een PAR meter die meet in micromol/m<sup>2</sup>/s, bij voorkeur een LiCor Line Sensor
- Meet als het buiten donker is (of onder een scherm dat het daglicht 100% uitsluit)
- Sluit de schermen incl gevelschermen (vanwege grote invloed van reflectie op de lichtmetingen)
- Laat SON-T lampen minimaal 15 minuten opwarmen voordat de eerste meting wordt gedaan
- Voer de lichtmetingen uit met lichtmeter verticaal omhoog, gericht naar de lampen
- Hou de meter waterpas (zoveel mogelijk) of indien de lichtmeter gemonteerd is op een pluukkar, let ook dan op waterpas zijn van de meter tijdens de metingen
- Bij LED tussenbelichting moeten de LEDs tijdelijk boven het gewas gehangen worden en naar beneden schijnen, en moet de lichtmeting verticaal gebeuren, net zoals bij de andere lichtinstallaties
- Noteer, behalve de lichtmetingen, ook relevante details en omstandigheden op het meetformulier
- Bedenk of er bijzondere omstandigheden zijn die de meting beïnvloeden of die correctie behoeven
- Verwerk de meetdata (bv in spreadsheet) en bereken de gemiddelde intensiteit en lichtverdeling
- Pas op voor onevenredige vertegenwoordiging van een deel van de kas in berekende gemiddelden
- Kies adhv de lichtmeetresultaten in welke rijen (bedden, vakken) de productie wordt bepaald
- Zorg dat in alle kasafdelingen op precies dezelfde manier wordt gemeten

Twee bijzondere aspecten worden beschreven die zich kunnen voordoen bij lichtmetingen. Ten eerste is dat verstoring van de lichtmetingen door klosjes van touwtjes die 10% schaduw veroorzaakten. Dit effect is niet aanwezig bij LED tussenbelichting omdat deze LED modules lager hangen dan de klosjes. Afhankelijk van de vraagstelling kan al of niet rekening gehouden worden met dit effect.

Ten tweede is er de spectrale gevoeligheid van een veel gebruikte LiCor meters. Wanneer de LiCor gebruikt wordt om SON-T licht en LED licht te vergelijken, ontstaan kleine meetafwijkingen. Doorgaans wordt hiervoor niet gecorrigeerd. Bij interpretatie van de gegevens, bv relateren van licht aan productie, kan de spectrale gevoeligheid wel meegenomen worden.

In dit meetprotocol komt niet aan de orde hoe het licht zich verspreidt in het gewas (bv het verschil tussen LED-tussenbelichting en bovenbelichting in dit opzicht). Daarvoor is een heel ander soort onderzoek nodig, en dit type lichtmetingen valt niet onder dit protocol.

Dit rapport is een samenvatting van de belangrijkste zaken die nodig zijn om aan de slag te gaan met lichtmetingen aan belichtingsinstallaties in kleine kasafdelingen. Er bestaan echter nog veel meer aspecten, aanpakken en zienswijzen. Wellicht kan dit rapport een aanzet vormen voor verdere discussie met deskundigen en betrokkenen op dit gebied.

## 2 Inleiding

### Inleiding

In belichtingsseizoen 2009/2010 worden een aantal onderzoeken met belichting uitgevoerd bij tomaat, paprika, roos en andere gewassen. In lichtproeven is het van het grootste belang dat de belichtingsintensiteit precies is wat die moet zijn en dat de lichtverdeling goed is. Lichtmeten is moeilijk als verschillende soorten belichting gebruikt worden: SON-T, LED-bovenbelichting, LED-tussenbelichting en combinaties hiervan. Om een zo objectief mogelijk en onderling vergelijkbare beoordeling van de lichtbehandelingen te krijgen, is een lichtmeetprotocol nodig. Daarom heeft Productschap Tuinbouw de opdracht gegeven om een protocol te schrijven voor lichtmetingen in lichtonderzoek. WUR heeft dit opgesteld met input van Plant Dynamics, Philips en Lemnis. Vervolgens zijn uitgebreide lichtmetingen uitgevoerd in het kader van het project 'Lichtbenutting van tomaat onder LED en SON-T belichting' in Bleiswijk door WUR. Bij het uitvoeren van de lichtmetingen kwamen enkele praktische problemen aan het licht, die zijn beschreven in hoofdstuk 4 van dit rapport.

### Doel

Ontwikkelen van een methode van lichtmeten om het lichtniveau en lichtverdeling van een belichtingsinstallatie in een onderzoekskas te kwantificeren. Het gaat over metingen aan SON-T en/of LED belichting, en niet aan natuurlijk licht.

### Situaties

Bij lichtmeten in kassen met belichting kunnen verschillende situaties worden onderscheiden:

- A. lege kas (zonder gewas, maar met alle schaduwgevende delen van de kasuitrusting)
- B. kas met een pas geplant jong gewas (en gewastouwtjes)
- C. kas met een volgroeid hoogopgaand gewas (meting lichtdoordringing in gewas)

Lichtmetingen moeten gedaan worden in verschillende belichtingssystemen:

- D. belichting met SON-T
- E. belichting met LED (boven het gewas)
- F. tussenbelichting (LED)
- G. hybride belichting (combinatie SON-T en LED)
- H. boven- en tussenbelichting (SON-T boven en LED tussen het gewas)

Dit protocol is gericht op iedere situatie, behalve C (volgroeid gewas), aangezien dergelijke metingen worden gedaan met een ander doel en een andere aanpak.

### Aspecten van lichtmeting zijn:

- meetveld en meetraster
- sensoren
- lichtkwaliteit
- richting van het licht
- horizontale lichtverdeling in de kas
- eventueel: verticale lichtverdeling in het gewas
- opwarmtijd lampen (SON-T minmaal 15 minuten)

### Meetveld & meetraster

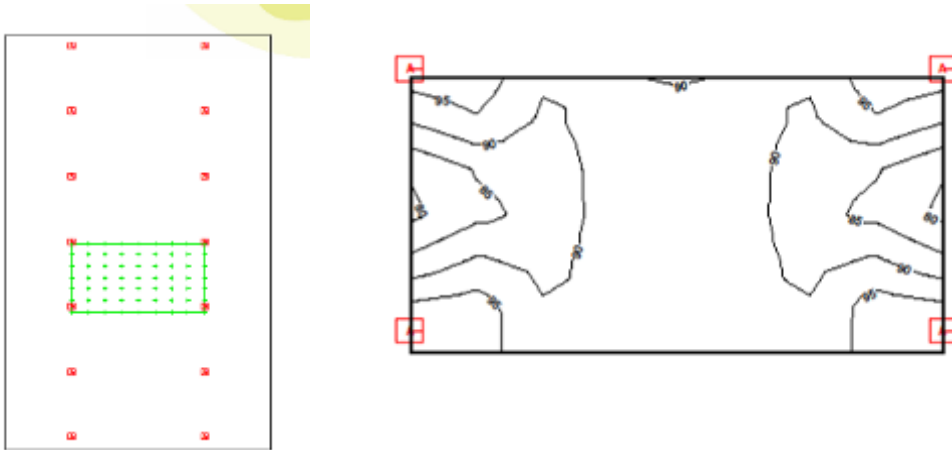
Lichtmetingen moeten een representatief beeld geven van het lichtniveau en de lichtverdeling. Daartoe worden een meetveld en meetraster opgezet. Het meetveld geeft een (relatief klein) gebied aan waarbinnen de metingen worden gedaan. Het meetraster geeft de precieze punten in het meetveld aan waar metingen worden gedaan. Meetveld en -raster zijn afgestemd op de plaats van de lampen, gewasrijen & paden (en in sommige gevallen ook op de vakmaat van de kas).

### Bestaande lichtmeetprotocollen

Er bestaan verschillend lichtmeetprotocollen (Van Rijssel, 1997; Pot & Brok e.a. 2001), maar deze 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.

Bij LED belichting, speciaal bij tussenbelichting, is het niet relevant om te meten aan slechts twee lampen in een meetveld. In een kleine onderzoekkas zijn de 'randen' relatief heel groot dus de randeffecten moeten gekwantificeerd worden. Daarom is er behoefte aan een lichtmeetprotocol voor lichtonderzoek, wat gebruikt kan worden voor meerdere lichttypes en voor heel kleine kasafdelingen.



**Figuur 1.** 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  
 a. plattegrond van de kas, met een vak waarvoor de lichtverdeling is berekend  
 b. isolijndiagram voor de lichtintensiteit van het groene vak aangegeven in figuur a.

### 3 Lichtmeetprotocol voor lichtonderzoek

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

#### Grootheden en eenheden

Gemeten wordt PAR (Photosynthetic Active Radiation) ook genoemd PPFD (Photosynthesis Photon Flux Density). Dit is de stroom van fotonen (quanten) in het golflengtegebied van 400 tot 700 nm, uitgedrukt in micromol/m<sup>2</sup>/s.

#### Sensoren

De sensor moet een quantum sensor zijn die PAR meet in micromol/m<sup>2</sup>/s, die gecalibreerd is en een bekende cosinuscorrectie heeft. Belangrijk is dat metingen die vergeleken moeten worden, steeds gemeten worden met hetzelfde type (geijkte) sensor en liefst met echt dezelfde sensor.

De meest gangbare en algemeen geaccepteerde lichtmeter is die van LiCor ([www.licor.com](http://www.licor.com)). Dit kan zijn een LiCor quantum sensor (kleine ronde meter, type LI-190) of een LiCor Line Sensor (lange lichtmeter, type LI-191) welke meet over een lengte van 1 meter.

Ter aanvulling kan een spectrale analyse (lichtmeting per golflengte) gemaakt worden, bv met de Jaz spectrale meter van Ocean Optics (<http://www.oceanoptics.com/Products/jaz.asp>).



**Foto 1. Lichtmeters**

a. LiCor Line quantum meter, LI-191 en b. LiCor quantum sensor, LI-190.

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

c. Jaz spectraal meter van Ocean Optics ([www.oceanoptics.com/Products/jaz.asp](http://www.oceanoptics.com/Products/jaz.asp)).

#### Meettijdstip en -plaats

Aanbevelingen voor meting aan belichtingsinstallaties:

- Maak een meetplan en meetformulier, en werk met een meetveld en meetraster (zie onder)
- Meet als het buiten donker is, of overdag onder een verduisteringsdoek dat 0% licht doorlaat
- Meet met gesloten bovenscherm en gevelschermen ivm reflectie
- Meet op afstand van minimaal 1,5 meter van de lamp, en vermeld de afstand
- Hou er rekening mee dat een (jong) gewas de reflectie vanaf de ondergrond tegenhoudt
- Vermijd schaduw van bijzondere constructies
- Structureel aanwezige schaduwgevende constructies kunnen pro-ratio meegemeten worden

### **Meetplan en meetformulier**

Maak een meetplan met daarin tijdsplanning, rekening houdend met plantdatum, verwachte groeisnelheid, technische aanpassingen en andere gebeurtenissen. Zorg dat er tijd is om de belichtingsinstallatie zonodig bij te stellen en dan opnieuw te meten.

Maak een meetformulier met daarop een plattegrond met alle te meten plekken, en met invulruimte voor details, omstandigheden en bijzonderheden.

Het verdient aanbeveling om zaken die zinvol zijn ivm het lichtklimaat te meten en registreren: details van de belichtingsinstallatie, gegevens over de kas, lichtdoorlatendheid van kasdek, hoogtes boven de grond van goot, gewasdraden, lampen, teeltgoot, enz.

### **Meetveld**

In een kleine kasafdeling kan het best het hele kasoppervlak gemeten worden ipv een klein meetveld. De reden is het relatief grote oppervlak met randeffecten. In een heel kleine kas is wellicht nergens een plek waar licht van omringende lampen zorgt voor een stabiel lichtplateau, zoals in een grote kas. Reflectie op gevelschermen kan extra randeffecten geven. De randen moeten daarom meegenomen worden in de metingen.

Adhv lichtmeetresultaten kan vervolgens besloten worden welk gedeelte van de kasafdeling representatief is om de productie (en andere gewasresponses) aan te relateren, en welke gedeelten buiten de proef gerekend moeten worden.

Bij tomaten moet bedacht worden dat de planten 'rond gaan' (vanwege het laten zakken) en terecht komen in de voor- en achterkant van een rij ('carousel'). Daarom moet juist aandacht besteed worden aan het lichtniveau op deze marginale plaatsen.

### **Rijen en paden**

Aanbevolen wordt om te meten in rijen en in de paden. Volgens sommige lichtmeetprotocollen wordt gemeten in of boven de plantrijen (of bedden), en niet of slechts beperkt in de paden. Licht in de paden is ook van belang omdat dit licht op de zijkant van de rijen valt (hoewel dit afhankelijk is van de hoogte en dichtheid van het gewas). In kleine onderzoekskassen kan gemakkelijk wel in rijen én paden gemeten worden.

### **Meetraster**

Een meetraster geeft de meetpunten in het meetveld aan. Aanbevolen wordt om de meetpunten te kiezen met onderlinge afstand van 0,5 tot 1 meter. Deze meetplaatsen kunnen op het pad worden gemarkeerd met een viltstift. Zie voorbeeld van een meetraster in de bijlage.

De keuze van het meetraster hangt af van het type belichting en de afmetingen van de kas. Bij SON-T lampen is het licht vaak niet egaal verdeeld. Daarom moet het meetraster tamelijk fijnmazig zijn en afgestemd op de plaats van de lampen. Bij LED belichting met kleine modules op korte afstanden is het licht egaal verdeeld, en mag het meetraster wat grofmaziger zijn en zijn de meetplaatsen minder kritisch. Maar vanwege de vergelijkbaarheid moet het meetraster gelijk zijn in alle kasafdelingen. In heel kleine kasafdelingen (bv met minder dan 8 SON-T lampen) is het haalbaar om op iedere 50 cm te meten. In afdelingen met meer dan 8 lampen kan volstaan worden met meting op iedere 1 m. Let erop dat niet onevenredig veel gemeten wordt in een bepaald deel van de kas, omdat dit bij middelen van de meetwaarden te zwaar gewicht krijgt (zie onder dataverwerking).

### **Meethoogte**

Dichtbij de lampen is de lichtverdeling slecht, omdat daar de 'lichtkegels' niet overlappen. Verder van de lampen is de verdeling egalier. Meet bij voorkeur op 150 cm afstand van de lampen (of grotere afstand indien gewenst). Bij hoog opgaande gewassen is dit vaak de minimale afstand tussen de koppen en de lampen. Vaak moet gemeten worden op meer dan 3 m hoogte boven de grond, wat gebruik van een plukkar vereist. Deze kan op de gewenste hoogte worden afgesteld, en de lichtmeter kan erop worden gemonteerd (en kan mbv de waterpas goed afgesteld worden). De lichtmeter mag nooit worden beschaduwd door delen van de meetkar of door de persoon die de lichtmetingen doet.



### **Uitvoering metingen**

De uitvoering van de lichtmetingen is als volgt:

- Gebruik bij voorkeur met een LiCor Line Sensor van 1 meter lengte
- Houdt de meter op de gewenste afstand van de lampen (aanbevolen is 1,5 m)
- Richt de meter verticaal omhoog op de lampen en houdt de meter waterpas (zoveel mogelijk)
- Eventueel kan de lichtmeter op een plukkar gemonteerd zijn (let op waterpas houden tijdens meting)
- Plaats de lichtmeter (of de plukkar) in het gekozen meetveld op de punten van het meetraster
- In een kleine kasafdeling is dit in de hele kas, met afstand van 0.5 of 1 m tussen de meetpunten
- Zorg dat er geen schaduw op de meter valt van de plukkar of de persoon die de metingen doet
- De persoon die de meting doet moet buiten beeld blijven, maar kan best geen witte kleding dragen
- Doe de lichtmetingen boven de gewasrijen en boven de paden, haaks op de rijen/paden
- Noteer de meetwaarde in een tevoren geprint meetformulier
- Vermeld ook alle relevante details en omstandigheden op het meetformulier
- Bereken gemiddelde lichtintensiteit en plot de lichtverdeling bv in een spreadsheet
- Indien mogelijk voer een herhaling uit, liefst op een andere dag

### **Dataverwerking**

Type de geregistreerde individuele meetdata in een spreadsheet. Bereken de gemiddelde lichtintensiteit over bepaalde gedeelten van de kas. Dit kan zijn over de hele kasafdeling, voor iedere gewasrij (bed, carrousel), of alleen voor het beteelde oppervlak, of randrijen, betonpad, marginale vakken achterin, enz.

Let erop dat er niet een onevenredig zwaar gewicht wordt gegeven aan een bepaald deel. Bij voorbeeld het lichtniveau van de hele kas mag niet berekend worden uit weinig metingen in een klein meetveld in het midden en verder veel metingen in de randrijen. Dit geeft onevenredig veel gewicht aan de randrijen. Als het gemiddelde lichtniveau van de kas berekend moet worden, moet de hele kas gemeten zijn op gelijke onderlinge afstand (bv 1 m).

Aan de hand van gemiddeld lichtniveau per bed of per vak, kan gekozen worden dat de productie alleen bepaald wordt in bepaalde rijen of vakken van de kas. Het kan interessant zijn om per rij het lichtniveau te weten en per rij de productie te meten. Let bij tomaten op het 'rondgaan'.

### **LEDs tussenbelichting**

Bij LED tussenbelichting is de lichtmeting gecompliceerd. Het is onmogelijk om het belichtingsniveau en de lichtverdeling te verifiëren terwijl de lampen op gewashoogte hangen en licht verspreiden in horizontale richting of onder een hoek. Aanbevolen wordt om de lichtmeting uit te voeren in verticale richting. Bij het installeren van de belichtingsinstallatie moeten hiervoor voorzieningen worden getroffen.

De werkwijze is om voor de lichtmeting de LED tussenbelichting naar boven te verplaatsen en te 'kantelen' zodat de LEDs naar beneden schijnen. Vervolgens worden de lichtmetingen uitgevoerd op 150 cm onder de LEDs zoals boven beschreven. Dus de meting vindt plaats in het verticale vlak en met de sensor naar boven (naar de LEDs) gericht. Deze metingen geeft de lichthoeveelheid die door het systeem in de kas wordt gebracht. Na het afronden van de metingen worden de LED lampen weer naar beneden verplaatst naar de gewenste hoogte in het gewas, en gekanteld naar de gewenste hoek. Met de LEDs op deze plaats kunnen wel lichtmetingen worden gedaan om de verspreiding van het licht in het gewas te onderzoeken.

### **Theoretische berekening van lichtintensiteit**

Het is goed als een meting wordt ondersteund door een beschrijving van de belichtingsinstallatie (lamptype, geïnstalleerd vermogen en systeemrendement), en een berekening van het theoretisch lichtniveau. De belichtingssterkte (in  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ) in een horizontaal plat vlak onder de lichtinstallatie wordt bepaald uit de gegevens. Bij LEDs wordt de lichtopbrengst uitgedrukt in micromol per module. Hiermee, en met het aantal module per  $\text{m}^2$  kan makkelijk de belichtingssterkte worden berekend in  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ . Bij SON-T is het geïnstalleerd vermogen bekend (in Watt per  $\text{m}^2$ ). Dit wordt vermenigvuldigd met de lichtstroom van het systeem (systeemrendement, in  $\mu\text{mol}/\text{s}$  per Watt). Dit is afhankelijk van de leeftijd, onderhoud en stroomvoorziening van de installatie en dient te worden opgegeven door de fabrikant. Ook de reflectiefactor moet bekend zijn of geschat worden.

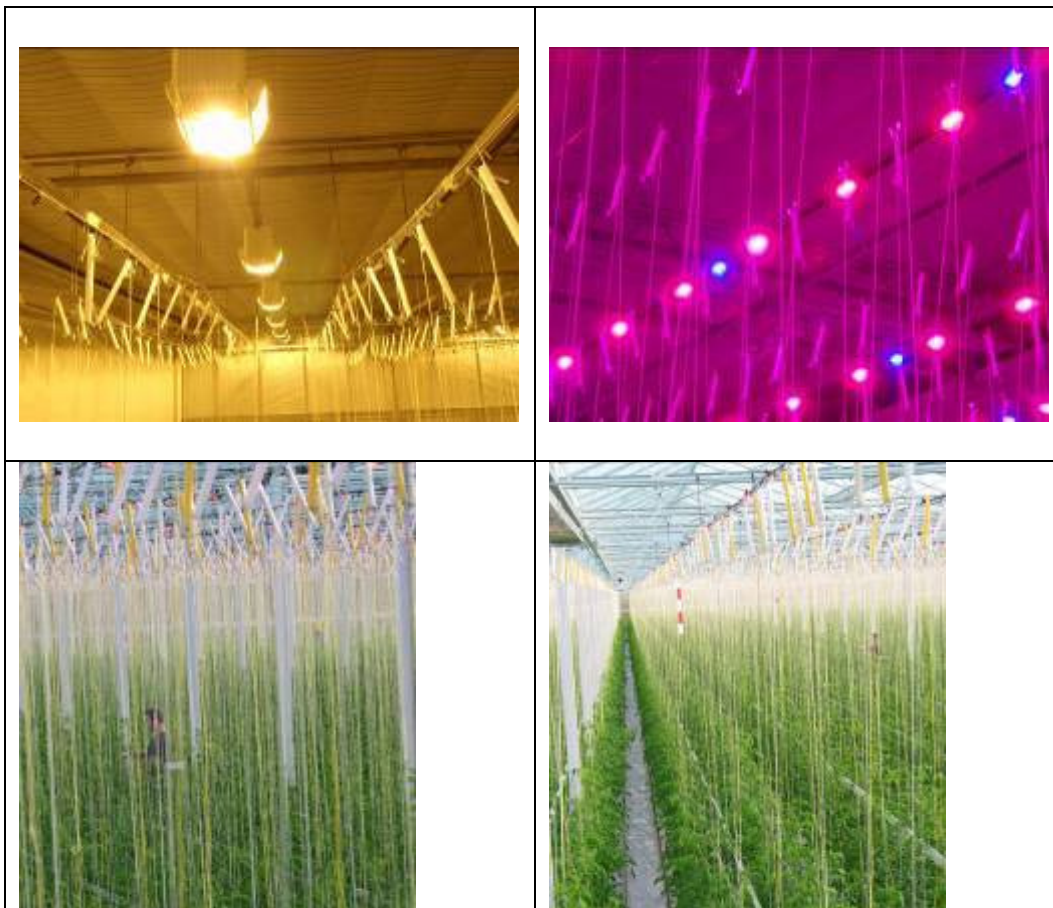
## 4 Bijzonderheden

### 4.1 Meting voor en na het planten

Er bestaat een duidelijk verschil tussen lichtmetingen gedaan vóór het planten (dus in de lege kas) en lichtmetingen uitgevoerd ná de plantdatum (dus boven de jonge planten). Dit wordt veroorzaakt doordat de planten reflectie vanaf de grond blokkeren, en doordat (bij hoogopgaande gewassen) de touwtjes en klosjes schaduw veroorzaken. Soms hangen de klosjes heel dicht bij de lampen en blokkeren duidelijk het licht van de SON-T lampen en de LED bovenbelichting (zie foto 2).

Uit vergelijking van metingen van voor en na het planten is gebleken dat het netto effect 10% kan zijn. Als gemeten is met de schaduw van de klosjes, dan is het mogelijk om 'terug te rekenen' wat het lichtniveau in de lege kas zou zijn geweest, door het verschilpercentage op te tellen bij de meetwaarde.

Het is een keuze of een dergelijke correctie gewenst en zinvol is. Correctie is niet nodig als in de te vergelijken afdelingen dezelfde hoeveelheid touwtjes & klosjes aanwezig is, die op dezelfde manier het licht blokkeren. Als gecorrigeerd zou worden met hetzelfde correctiepercentage, dan heeft correctie nauwelijks zin. Maar de belichtingsbehandelingen zijn niet altijd gelijk. Bij LED tussenbelichting bijvoorbeeld zitten de LED strengen veel lager dan de klosjes. Dan moet een principieel besluit genomen worden over dit verschilpunt. De vraag kan zijn hoeveel licht in de lege kas gebracht zou worden, of hoeveel licht de planten werkelijk ontvangen. Een zienswijze is dat ontbreken van schaduw bij LED tussenbelichting inherent is aan dit type belichting, maar andere visies zijn ook mogelijk.



*Foto 2. Schaduwegevend effect van touwklosje.*

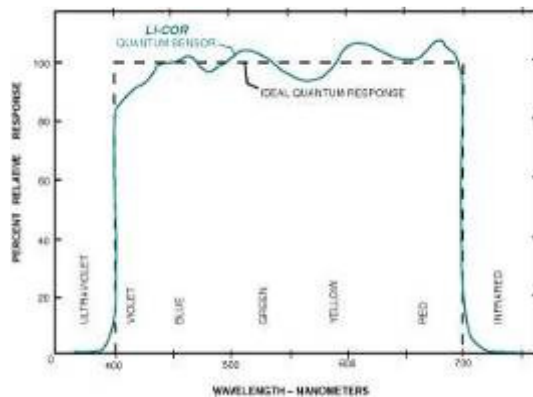
## 4.2 Lichtkleur

### LiCor gevoeligheid voor lichtkleur

Licht van SON-T lampen en van LED modules verschilt van elkaar in spectrale samenstelling (lichtkleur). LiCor lichtmeters meten alleen het totale aantal fotonen (in micromol/m<sup>2</sup>/s). Ze geven geen inzicht in de spectrale samenstelling van het licht, maar zijn er wel gevoelig voor.

Als bepaalde types licht wordt gemeten ontstaan meetafwijkingen, zoals te zien is in Figuur 2 en Tabel 1, afkomstig van de LiCor website. Figuur 2 laat zien dat de LiCor meter te weinig gevoelig is voor violet licht (400-430 nm) en te veel gevoelig voor rood licht van ca 670 nm. Daartussenin vertoont de gevoeligheidscurve pieken en dalen. Tabel 1 geeft de relatieve meetfouten voor verschillende soorten licht.

Wanneer SON-T en LED licht gemeten wordt met Licor meters, zitten er afwijkingen in de metingen. In theorie is het mogelijk om daarvoor te corrigeren. Maar er zijn redenen om dit niet te doen. LiCor meters worden veel gebruikt voor metingen in het onderzoek en in de praktijk, ook voor combinaties van lichtsoorten, bv natuurlijk licht en kunstlicht, of SON-T en LED licht. Een correctie zou dan berekend moeten worden proportioneel voor de hoeveelheid van iedere lichtsoort. Dit is erg lastig, en leidt tot fouten, verwarring en moeilijke vergelijkbaarheid. Daarom is het een goede keus om niet te corrigeren voor spectrale afwijkingen. Aangenomen kan worden dat deze meter vaak gebruikt wordt, en dat iedereen dezelfde meetfout maakt. Eventueel kan achteraf bij de interpretatie van resultaten wel rekening gehouden worden met de gemaakte meetfouten.



**Figuur 2.** Spectrale gevoeligheid van de Licor quantum meters voor de verschillende golflengtes. Gestippeld staat de ideale quantum respons (dwz gelijke respons voor iedere golflengte tussen 400 en 700 nm).

Bron: [www.licor.com](http://www.licor.com)

**Tabel 1.** Meetfouten van de quantum sensor bij een aantal lichtcondities en lichtbronnen. Uit: Comparison of quantum sensors with different spectral sensitivities. LiCor Technical Note #126. ([www.licor.com](http://www.licor.com)).

Lichtbron	meetafwijking LiCor
daglicht, heldere lucht	1.7 %
LED, rood, 680 nm	-3.4 %
hoge druk natrium (SON-T)	1.9 %

### Conclusies spectrale gevoeligheid

- Vergelijken van lichtmetingen gedaan met verschillende type lichtmeters heeft een risico
- Lichtmetingen aan verschillende type lichtbronnen met een LiCor meter geeft kleine meetafwijkingen
- Lichtmetingen kunnen geverifieerd worden met een spectrale analyse bijvoorbeeld met een Jaz
- Corrigeren voor spectrale gevoeligheid van de LiCor is lastig, zeker bij combinatie LED en SON-T
- LiCor is de gangbare lichtmeter, en iedereen werkt met de ongecorrigeerde lichtmetingen
- Bij interpretatie van de lichtmetingen, en bij relateren aan de productie, kan de spectrale gevoeligheid wel meegenomen worden.

## 4.3 Overige aspecten

### Andere aspecten

Er zijn nog veel meer aspecten aan lichtmeten, die nog niet aan de orde gekomen zijn. Hieronder volgt een lijst van trefwoorden.

- Lampeigenschappen
  - Leeftijd en branduren van de lampen
  - Onderhoud en vervuiling van de lampen
  - Opwarming van de lampen (minuten na ontsteken)
  - Temperatuur van watergekoelde LEDs
- Netspanning
  - Spanningsval (1% spanningsval geeft 3% lichtverlies)
  - Vervorming van de spanning (Total Harmonic Distortion)
- Lichtuitdoving (lichtniveau op verschillende afstand van de lamp)
- Reflectorwaarde
- Schaduwegvende elementen in de kas

### Lichtverspreiding in het gewas

Als de vraag is hoe het licht zich verspreidt in het gewas (bv het verschil tussen LED-tussenbelichting en LED-bovenbelichting in dit opzicht) dan is een heel ander soort onderzoek nodig. Dit type lichtmetingen valt niet onder dit protocol.

### Verdere uitwerking

Dit rapport is een samenvatting van de belangrijkste zaken die nodig zijn om aan de slag te gaan met lichtmetingen aan belichtingsinstallaties in kleine kasafdelingen. Er bestaan echter nog veel meer aspecten, aanpakken en zienswijzen. Wellicht kan dit rapport een aanzet vormen voor verdere discussie met deskundigen en betrokkenen op dit gebied.

## 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))

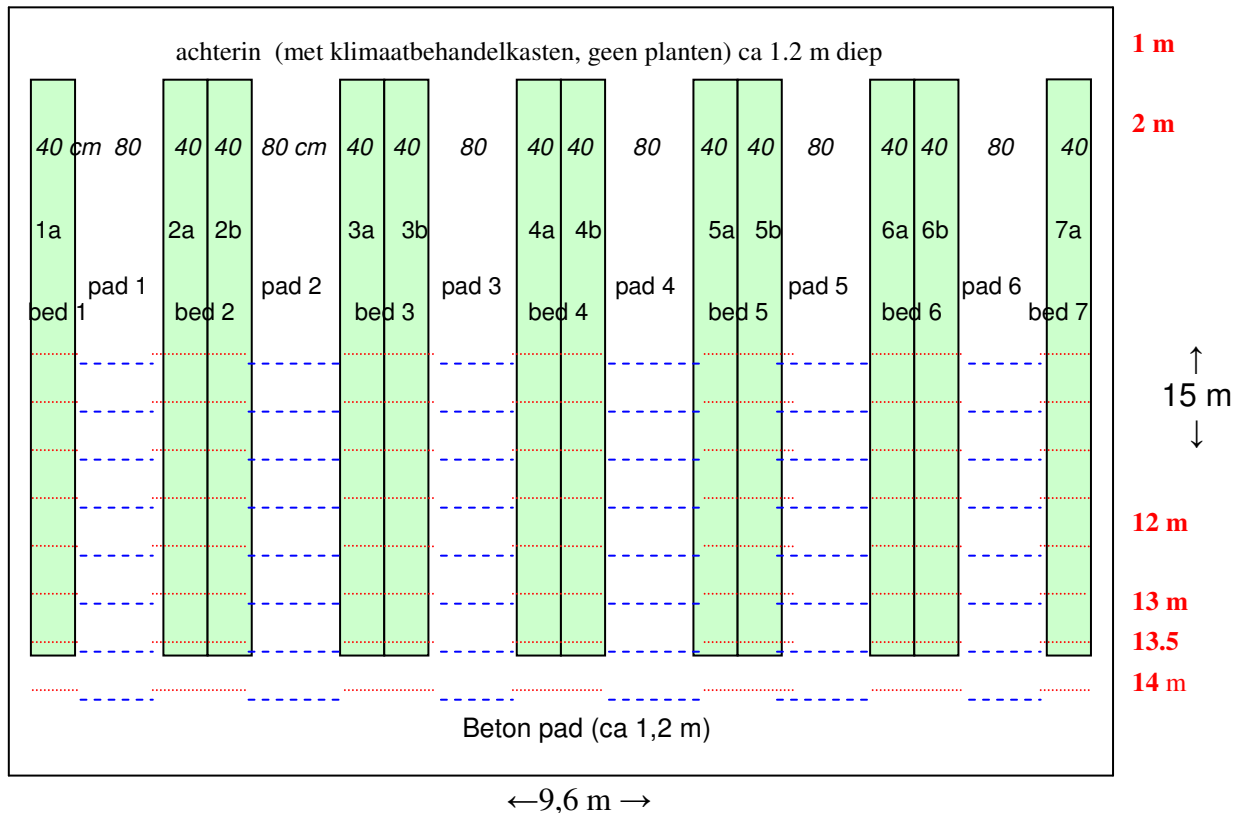
LiCor, 2009. Comparison of quantum sensors with different spectral sensitivities. LiCor Technical Note #126. ([http://www.licor.com/env/Products/Sensors/190/li190\\_description.jsp](http://www.licor.com/env/Products/Sensors/190/li190_description.jsp))

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 – voorbeeld van een meetraster



**Figuur 3.** 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 betaalde oppervlak.