



55106118-TOS/TCM 10-5800

**Protocol voor het meten van de prestaties van tuinbouwbelichtings-systemen met LED's**

Arnhem, 8 september 2010

Auteur J.A.F. de Ruijter

In opdracht van Productschap Tuinbouw en Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit



Ministerie van Economische Zaken,  
Landbouw en Innovatie



auteur : J.A.F. de Ruijter  
B 30 blz. 3 bijl.

12-07-06  
MvD

beoordeeld : G.J. Muda  
goedgekeurd : M.R. de Potter

12-07-10  
12-07-10

© KEMA Nederland B.V., Arnhem, Nederland. Alle rechten voorbehouden.

Het is verboden om dit document op enige manier te wijzigen, het opsplitsen in delen daarbij inbegrepen. In geval van afwijkingen tussen een elektronische versie (bijv. een PDF bestand) en de originele door KEMA verstrekte papieren versie, prevaleert laatstgenoemde.

KEMA Nederland B.V. en/of de met haar gelieerde maatschappijen zijn niet aansprakelijk voor enige directe, indirecte, bijkomstige of gevolgschade ontstaan door of bij het gebruik van de informatie of gegevens uit dit document, of door de onmogelijkheid die informatie of gegevens te gebruiken.

De inhoud van dit rapport mag slechts als één geheel aan derden kenbaar worden gemaakt, voorzien van bovengenoemde aanduidingen met betrekking tot auteursrechten, aansprakelijkheid, aanpassingen en rechtsgeldigheid.

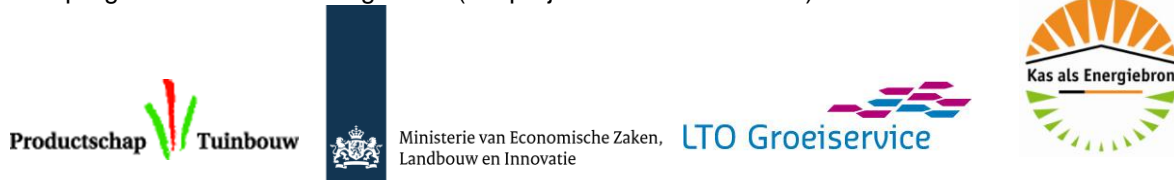
## INHOUD

|   | blz. |
|---|------|
| VOORAF .....  | 5    |
| 1 Inleiding .....   | 6    |
| 2 Doelstelling .....  | 7    |
| 3 Aanpak.....   | 7    |
| 4 Eisen en wensen ten aanzien van prestatiemetingen van LED-Systemen voor<br>tuinbouwtoepassingen ..... | 8    |
| 4.1 Algemeen.....   | 8    |
| 4.2 Prestatie-indicatoren LED-armaturen/systemen voor glastuinbouw.....                                 | 8    |
| 4.2.1 PAR-lichtstroom .....   | 8    |
| 4.2.2 Opgenomen elektrisch vermogen en PAR-efficacy .....   | 9    |
| 4.2.3 Spectrum van het uitgezonden licht .....  | 10   |
| 4.2.4 Stralingspatroon/intensiteitverdeling.....  | 10   |
| 4.3 Eisen (en wensen) aan prestatiemetingen .....   | 10   |
| 4.3.1 PAR-lichtstroommeting .....   | 10   |
| 4.3.2 Vermogensmeting .....   | 13   |
| 4.3.3 Spectrum van het uitgezonden licht .....  | 14   |
| 4.3.4 Stralingspatroon.....   | 15   |
| 4.3.5 Kalibraties .....   | 15   |
| 4.4 Overige prestatieaspecten .....   | 15   |
| 4.4.1 Levensduur / veroudering.....   | 15   |
| 4.4.2 Deellastsituaties bij dimbare armaturen.....  | 16   |
| 4.4.3 Temperatuurafhankelijkheid .....  | 16   |
| 4.4.4 Representatieve armaturen.....  | 17   |
| 4.4.5 Herhaalmeting.....  | 17   |
| 4.4.6 Fotobiologische veiligheidsclassificatie .....  | 17   |
| 4.4.7 Overzicht metingen .....  | 18   |
| 4.5 Watergekoelde armaturen.....  | 18   |
| 4.5.1 $2\pi$ -meting (voor watergekoelde armaturen) .....   | 18   |
| 5 Mogelijkheden om extern prestatiemetingen te laten verrichten .....                                   | 20   |
| LITERATUUR.....   | 21   |

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Bijlage A | Overzicht metingen .....  | 22 |
| Bijlage B | Werkgroep besprekingen .....                                      | 25 |
| Bijlage C | Praktische methode fotonstroombepaling van Tendris Solutions..... | 29 |

## VOORAF

Dit rapport is mede mogelijk gemaakt door LTO Groeiservice en door subsidieverlening door het Productschap Tuinbouw en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit in het kader van het programma Kas als Energiebron (PT-projectnummer 13654.09).



Dit protocol is opgesteld in overleg met de deelnemers aan de “Werkgroep Meetprotocol LED-belichting”:

Philips Lighting, dep. Horticulture GBU LED Retrofit & Modules  
Udo van Slooten                      Venture Manager

Philips Lighting, Application Engineering Special LED applications  
René van Wees                      Manager

Philips Lighting, LightLabs – Optical Calibration & Measurements (OCM)  
Paul Nederpel                      Head Calibration

Hortilux Schröder  
Marco Brok                              R&D Manager

Lemnis Lighting  
Jeroen van Velzen                      Manager Greenhouse Lighting

DEKRA – KEMA Quality BV - Photometry and Lighting  
Gertjan Muda                              Project Manager Photometry

WUR Glastuinbouw  
Tom Dueck                                Sr. scientist crop lighting

Plant Dynamics  
Sander Pot                                Director

TNO    Bouw en Ondergrond  
Karl Sewalt                                Industrial Design Engineer

Productschap Tuinbouw  
Dennis Medema                              Programcoördinator Energie-  
Onderzoek

Ministerie van Landbouw, Natuur- en Voedselkwaliteit  
Leo Oprel                                Programcoördinator Energie-  
Onderzoek

LTO – Groeiservice:  
Matthijs Beelen                              Gewasmanager

## 1 INLEIDING

LED-gebaseerde belichtingssystemen voor de glastuinbouw staan aan de vooravond van marktintroductie. Het betreft hier fundamenteel andere systemen dan de conventionele hogedruk natriumlampen. De nieuwe systemen kunnen onderling qua uitvoering en kenmerken als lichtoutput, spectrale inhoud van het licht en omzettingsrendement sterk van elkaar verschillen. Het is van belang dat er goede, objectieve informatie beschikbaar komt over de prestaties van deze belichtingssystemen, opdat tuinders een objectieve vergelijking met de conventionele belichtingssystemen kunnen maken en ook voor onderlinge vergelijking van de nieuwe systemen. Het is daarvoor gewenst dat leveranciers op de specificatiebladen van hun systemen steeds dezelfde, relevante prestatiekenmerken vermelden die op een eenduidige, gestandaardiseerde wijze dienen te zijn bepaald.

Het Productschap Tuinbouw en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit hebben samen met LTO-groeiservice het initiatief genomen om tot een breed gedragen meetprotocol te komen, dat door leveranciers van tuinbouwbelichtingssystemen zou moeten worden gebruikt om op eenduidige wijze de (relevante) prestatiekenmerken van hun producten te (laten) bepalen. Het gaat hierbij om fysische kenmerken van optische, elektrische en energetische aard (die in principe onafhankelijk van de toepassing worden bepaald en dus gewasonafhankelijk zijn).

Het voorliggende meetprotocol is door KEMA in overleg met enkele vooraanstaande leveranciers van LED-armaturen<sup>1</sup>, onderzoekers op het gebied van de interactie tussen planten en licht<sup>2</sup> en enkele fotometrische laboratoria<sup>3</sup> opgesteld.

Het protocol maakt zoveel mogelijk gebruik van bruikbare delen van bestaande meetprotocollen voor zogenaamde “vaste-stof” belichting voor algemene verlichtingsdoeleinden (Engels: “solid-state lighting”, waarvan LED-gebaseerde belichting de belangrijkste representant is).

---

<sup>1</sup> Philips Lighting, Hortilux Schréder, Lemnis Lighting

<sup>2</sup> WUR-Glastuinbouw, Plant Dynamics, TNO

<sup>3</sup> Philips Lighting – Optical Calibration & Measurements, DEKRA- KEMA Quality – Photometry and Lighting, Tendris

## 2 DOELSTELLING

Het doel van dit project is te komen tot een éénduidig, breed gedragen protocol voor de bepaling van de relevante prestatie-indicatoren van LED-gebaseerde gewasbelichtings-systemen voor tuinbouwtoepassingen.

Het is uiteindelijk de bedoeling dat belichtingsystemen die door een erkend laboratorium volgens het meetprotocol zijn doorgemeten, een keurmerk of “Attestation of Conformity” krijgen, waarmee de bedrijven kunnen aantonen dat het betreffende product op de genoemde gestandaardiseerde en breedgedragen wijze is gespecificeerd. Een dergelijk keurmerk of document kan een belangrijke rol spelen in het vertrouwensproces tussen tuinder en leverancier, en helpt om de verwachtingen van de koper goed af te stemmen op de mogelijkheden van de leverancier (in het bijzonder wat betreft de hoeveelheid en aard van het licht en het energetisch rendement van de conversie van elektriciteit naar PAR-licht). De ontwikkeling van bijvoorbeeld een keurmerk behoort niet tot de onderhavige opdracht.

## 3 AANPAK

In een drietal werkgroepbesprekingen, waarbij de in de inleiding genoemde partijen betrokken waren, zijn allereerst de relevante prestatie-indicatoren onderkend en vastgesteld en is daarna vastgelegd hoe deze dienen te worden bepaald.

Hierbij is een minimaal pakket van eisen gedefinieerd, dat desgewenst kan worden aangevuld met optionele uitbreidingen.

In hoofdstuk 4 worden in paragraaf 4.2 de te meten basisprestatie-indicatoren besproken en wordt in paragraaf 4.3 ingegaan op de eisen die aan de meting daarvan worden gesteld. Paragraaf 4.4. beschrijft een aantal relevante, verwante aspecten betreffende de metingen en formuleert enkele optionele wensen. Hoofdstuk 5 tenslotte gaat beknopt in op enkele mogelijkheden die er zijn om de prestaties conform het protocol (extern) te laten meten.

## 4 EISEN EN WENSEN TEN AANZIEN VAN PRESTATIEMETINGEN VAN LED-SYSTEMEN VOOR TUINBOUWTOEPASSINGEN

### 4.1 Algemeen

*Doel van de prestatiemetingen:* experimentele bepaling van de relevante prestatie-indicatoren van de armaturen van een (LED-gebaseerd) gewasbelichtingssysteem ten behoeve van (gestandaardiseerde) specificatiedocumentatie van de armaturen.

*Eenheid van test:*

LED-module (armatuur) inclusief elektronische aansturing ("driver"), standaard koeling en eventuele optiek. Vaak zijn alle genoemde hoofdonderdelen geïntegreerd in één armatuur. De elektronische voeding/aansturing kan echter ook als aparte eenheid zijn uitgevoerd. Voor een goede vergelijking wordt ook in het laatste geval de elektronische voeding/aansturing tot de door te meten LED-eenheid gerekend.

Vooraf: er is nog geen CIE<sup>4</sup>-norm specifiek voor LED-verlichtingsproducten (in het vervolg ook wel aan te duiden met de Engelse term "Solid State Lighting", afgekort met SSL). Er is wel een relevante Amerikaanse norm, namelijk IES LM-79-08: "Electrical and Photometric Measurements of Solid-State Lighting Products", 2008 [2]. Veel aspecten (condities, wijze van meten en dergelijke) die hierin beschreven worden, zijn ook voor de prestatiemeting van LED-tuinbouwarmaturen/systemen van toepassing c.q. bruikbaar. Het belangrijkste verschil betreft het feit dat het bij tuinbouwarmaturen niet draait om de "luminous flux" (de lichtstroom in lumen) maar om de "PAR-fotonflux" (zie volgende paragraaf).

### 4.2 Prestatie-indicatoren LED-armaturen/systemen voor glastuinbouw.

#### 4.2.1 PAR-lichtstroom

De belangrijkste prestatie-indicator van het armatuur is de "PAR-lichtstroom" die wordt uitgezonden, het aantal fotonen per seconde in een golfengtegebied tussen 400 en 700 nm, uitgedrukt in de eenheid  $\mu\text{mol/s}$ . Dit wordt ook wel de PAR-fotonflux<sup>5</sup> genoemd. Het uitgangs-

---

<sup>4</sup> CIE = Commission Internationale de l'Eclairage

<sup>5</sup> Flux is een term uit de natuurkunde die de "hoeveelheid doorstroom door een oppervlak" aangeeft. In dit geval dus van PAR-fotonen. In het vervolg zullen de termen "fotonflux" en "fotonstroom" door elkaar worden gebruikt en wordt hiermee hetzelfde bedoeld. Ook wordt in de rest van de tekst nog vaak de term "PAR-lichtstroom" gehanteerd, waarmee in dit verband de PAR-fotonflux (of PAR-fotonstroom) wordt bedoeld.



punt ten aanzien van de experimentele bepaling hiervan is deze flux te meten met behulp van een - zoveel mogelijk standaard - integrerende bol van Ulbricht, met waar nodig specifieke aanpassingen in verband met de verschillen tussen PAR-licht ( $\mu\text{mol/s}$ ) en “kijklicht” (lumen).

Behalve de standaard PAR-fotonflux dient ook de fotonflux te worden gemeten in het aan weerszijden van het PAR-spectrum gelegen nabij-infrarood respectievelijk ultraviolet. Daarbij zijn de volgende relevante golflengtegebieden vastgelegd:

- near infra red (NIR): 700-800 nm (een klein deel van de licht-absorptiecurve van de plant ligt in gebied boven 700 nm; daarnaast wordt dit golflengtegebied ook gebruikt voor stuurlichttoepassingen)
- ultraviolet (UV): in overleg met plantfysiologen van WUR is de UV-band vanaf 280 nm tot 400 nm als het meest relevant aangewezen. Binnen deze band vallen het zogenaamde UVA (315-400 nm) en UVB (280-315 nm).

Voor elk van de 3 golflengtegebieden (PAR, NIR en UVA+UVB) dient de binnen die band vallende fotonstroom te worden bepaald. Op de fotonstroombepaling wordt in paragraaf 4.3 nader ingegaan.

#### 4.2.2 Opgenomen elektrisch vermogen en PAR-efficacy

Behalve de grootte van de PAR-lichtstroom zelf is het ook belangrijk te meten hoeveel elektrisch vermogen er nodig is om deze te produceren. Daarom dient tegelijk met de fotonfluxmeting ook het opgenomen elektrische vermogen te worden gemeten. Hieruit wordt het verhoudingsgetal *PAR-lichtstroom / opgenomen vermogen* bepaald. Dit wordt de “PAR-efficacy” van het systeem genoemd, dat wil zeggen de efficiëntie waarmee elektriciteit wordt omgezet in PAR-licht (en uitgedrukt in  $\mu\text{mol/J}$ ).

Behalve het opgenomen actieve vermogen (W), dient ook het reactieve “blindvermogen” (in VAR) en/of de arbeidsfactor ( $\cos\varphi$ ) van het systeem<sup>6</sup> te worden gemeten.

---

<sup>6</sup> Deze elektrische grootheden bepalen mede de belastbaarheid van het net en zijn (gezien de in het algemeen grote vermogens van LED-gebaseerde assimilatiebelichting) daarmee relevant voor de aansluiting van het LED-systeem op het elektriciteitsnet. De arbeidsfactor is de verhouding tussen het actieve vermogen en het schijnbare vermogen (in VA). Het reactieve vermogen  $P_r$  kan als volgt uit het actieve vermogen  $P_a$  en de  $\cos\varphi$  worden berekend:  $P_r = P_a \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} / \cos \varphi$

#### 4.2.3 Spectrum van het uitgezonden licht

Alhoewel bij “groeilicht” het specifieke spectrum binnen de PAR-band minder relevant is dan de grootte van de PAR-lichtstroom zelf, zal een tuinder ook willen weten wat de spectrale inhoud van het uitgezonden licht is, omdat het ene spectrum voor een bepaald gewas mogelijk efficiënter is dan het andere. Dit geldt met name voor stuurlichttoepassingen, maar in beperktere mate mogelijk ook voor assimilatiebelichting. Derhalve dient ook het relatieve fotonstroomspectrum van het ‘licht’ te worden bepaald (voor het complete golflengtegebied (UVB+UVA)+PAR+NIR, van 280 nm tot 800 nm, zie verder paragraaf 4.3.3).

#### 4.2.4 Stralingspatroon/intensiteitverdeling

Voor het ontwerp van een belichtingsstelsel bestaande uit meerdere lichtbronnen/armaturen is het noodzakelijk te beschikken over de relatie tussen de intensiteit van de door een armatuur uitgezonden PAR-straling in een bepaalde richting en de hoeken met de hoofdasen van het armatuur die bij die richting horen (stralingspatroon). Deze informatie dient derhalve voor alle relevante hoeken te worden bepaald en vastgelegd (met een spiegelfotogoniometer, zie paragraaf 4.3.4). Indien er geen achterwaartse straling is, volstaat meting over een halve bol en anders een hele bol.

### 4.3 Eisen (en wensen) aan prestatiemetingen

In deze paragraaf wordt nader ingegaan op de eisen die aan de bepaling van de prestatie-indicatoren worden gesteld.

#### 4.3.1 PAR-lichtstroommeting

Het uitgangspunt is deze PAR-lichtstroom te meten in een (standaard) integrerende bol (bol van Ulbricht), met waar nodig specifieke aanpassingen in verband met de verschillen tussen PAR-licht ( $\mu\text{mol/s}$ ) en “kijklicht” (lumen)<sup>7</sup>.

---

<sup>7</sup> Voor “kijklicht” worden lichtstroommetingen veelal uitgevoerd volgens de norm CIE 84, “The measurement of luminous flux”. Om de PAR-lichtstroom te kunnen meten is additioneel aan de meetopstelling die voor luminous flux gebruikt wordt, een spectrummeting nodig, waarbij het (relatieve) stralingsvermogen per golflengtegebiedje wordt bepaald ( $\text{W/nm}$ ), met een resolutie van  $< 5 \text{ nm}$ . Verder is een “PAR-responsiecurve”  $V_{\text{PAR}}(\lambda)$  nodig die de relatie geeft tussen de stralingsvermogensstroom en de fotonstroom in een bepaald golflengtegebiedje als functie van de

Van belang bij de PAR-lichtstroommeting zijn de volgende aspecten:

- *PAR-fotonstroom*: de door het armatuur uitgezonden stroom fotonen met golflengten tussen 400 en 700 nm dient te worden gemeten en te worden uitgedrukt in de eenheid  $\mu\text{mol/s}$
- "*buur-PAR-fotonstroom*": naast de PAR-fotonstroom dienen de fotonstromen in de volgende aangrenzende golflengtegebieden te worden bepaald:
  - near infra red (NIR): 700-800 nm
  - UV-band van 280-400 nm (binnen deze band vallen: UVA: 315-400 nm en UVB (280-315 nm)).

Bij de meting van de fotonstroom dienen de volgende condities in acht te worden genomen:

- *operating orientation*: het armatuur moet worden doorgemeten in een zodanige oriëntatie als aanbevolen door de fabrikant voor het bedoelde gebruik van het armatuur. (Dus een armatuur dat normaliter horizontaal hangt moet tijdens de meting ook horizontaal hangen. Als een armatuur ook in verticale richting gebruikt kan worden gebruikt, dan zou bij voorkeur ook een tweede meting in verticale richting moeten worden uitgevoerd, zodat de prestaties in die richting ook bekend zijn. Noot: hoewel de lichtemissie in principe niet (direct) afhangt van de richting van het armatuur, heeft de richting - bij luchtgekoelde armaturen - wel invloed op de thermische huishouding en daarmee indirect op de licht-output<sup>8</sup>)
- *koeling armatuur/luchtbeweging*: IES-LM-79-08 vraagt om realistische koeling (die zo goed mogelijk de applicatie simuleert). Bij luchtgekoelde armaturen betekent dit dat normaal convectief luchttransport mogelijk moet zijn rond het armatuur. Voor watergekoelde armaturen zou vanuit dit uitgangspunt gezien tijdens de meting ook waterkoeling moeten worden toegepast, alhoewel dat in de bol onwenselijk kan zijn (zie paragraaf 4.5).
- "*burn-in-time*": brandtijd vanaf "brand-new" alvorens "initiële" lichtstroom wordt gemeten. Voor SSL-producten is dit nu nog niet voorgeschreven in Europa. De IES LM79-08 (par. 4.0) schrijft "no seasoning" voor, omdat de in een aantal gevallen waargenomen

---

golflengte. Volgens de formule van Planck is de energie van een foton recht evenredig met zijn frequentie en dus omgekeerd evenredig met zijn golflengte. Daarom is ook  $V_{\text{PAR}}(\lambda)$  omgekeerd evenredig met  $\lambda$  mits het golflengtegebied voldoende klein is.  $V_{\text{PAR}}(\lambda)$  vervangt de ooggevoelheidscurve  $V(\lambda)$  in de bepaling van de luminous flux (zie verder formule 17 in CIE 84-1989).

<sup>8</sup> Voor armaturen die vooral in één richting licht uitstralen kan het nuttig/nodig zijn om de lichtemissie toch in verschillende oriëntaties van het sample te bepalen. Dit omdat bij ongelijkmatige uitlichting van de bol van Ulbricht ook meetfouten kunnen worden gemaakt. Dit zou weer te minimaliseren zijn met directionele ijklampen.

extra lichtoutput van bepaalde LED producten – als het al optreedt - beperkt is. De deelnemers aan het overleg hebben gekozen voor een burn-in-time van 100 uur<sup>9</sup>

- *stabilisatietijd*: dit is de tijd na ontsteking van de verlichting, waarna de elektrische en fotometrische eigenschappen voldoende stationair zijn. IES-LM-79-08 (par. 5.0) schrijft voor: lichtoutput en opgenomen elektrisch vermogen – gemeten om de 15 minuten - mogen in het laatste half uur voor de officiële lichtstroommeting niet meer verschillen dan 0.5%. De stabilisatietijd dient te worden gerapporteerd. Met name voor de lichtoutput lijkt dit een zware eis, die lange stabilisatietijden met zich mee kan brengen. Als alternatief wordt voorgesteld, dat de lichtoutput in het laatste kwartier niet meer dan 1% mag variëren
- *luchttemperatuur in en rond bol*: conform IES-LM-79-08 dient de omgevingstemperatuur waarbij de metingen plaatsvinden op 25 °C te worden gehouden ( $\pm 1$  °C), gemeten op een punt niet meer dan 1 m van het SSL-product en op dezelfde hoogte als het SSL-product. De temperatuursensor dient te zijn afgeschermd van directe optische straling
- bij watergekoelde armaturen is het kiezen van een relevante omgevingstemperatuur lastiger. In principe is het meest zinvol om de prestatie te specificeren bij een bepaalde (gestandaardiseerde) koelwaterintredetemperatuur als relevante, onafhankelijke omgevingsconditie (hiervoor wordt standaard 25 °C genomen). Tevens moet daarbij het koelwaterdebiet worden gespecificeerd, omdat de combinatie van intredetemperatuur en debiet de temperatuurverdeling in de koelkanalen van het armatuur bepaald. De luchttemperatuur is bij waterkoeling van ondergeschikt belang. Echter het meten met waterkoeling in de bol is uit praktisch oogpunt bezwaarlijk, onder meer vanwege de storende invloed van koelsslangen en het gevaar van lekkage in de bol. Tendris heeft een praktische methode ontwikkeld om in een integrerende bol zonder waterkoeling te meten (zie bijlage C). IES-LM-79-08 staat toe voor armaturen die alleen in voorwaartse richting stralen (dus in een ruimtehoek kleiner dan  $2\pi$  steradiaal) dat het armatuur ook aan de buitenzijde van de bol mag worden gemonteerd, waarbij het armatuur door een venster naar binnen schijnt<sup>10</sup>. De waterkoeling kan dan buiten de bol blijven. Op beide methoden wordt hierna (paragraaf 4.5) nader ingegaan. Hoe er ook gemeten wordt, er dient bij de specificatie van de lichtstroom bij watergekoelde systemen duidelijk een relevante systeemtemperatuur te worden gespecificeerd, die in de praktijk ook direct of indirect te meten is. Een relevante temperatuur is bijvoorbeeld het gemiddelde van in- en uitlaattemperatuur van het koelwater of de temperatuur van de wand van het koelkanaal in het midden van het armatuur.

---

<sup>9</sup> Te verzorgen door keurende instantie (in verband met controleerbaarheid)

<sup>10</sup> Als de uitstralingsruimtehoek groter dan  $2\pi$  (die kan worden omvat door een halve bol) is, dan wordt niet alle straling gemeten.

#### 4.3.2 Vermogensmeting

- Als *systeemgrens* voor de bepaling van het toegevoerde elektrisch vermogen wordt de AC-aansluiting (van de AC/DC-voeding) van het SSL-armatuur genomen. Een eventuele benodigde losse AC/DC-voeding wordt geacht binnen de systeemgrens van het SSL-product te zitten. In deze situatie dient additioneel ook het DC vermogen van het armatuur zonder voeding te worden gemeten, zie ook de opmerking hieronder.
- *Power supply*: de AC-voeding tijdens de test van waaruit de voedende (AC-)spanning wordt geleverd, dient een gestabiliseerde voeding te zijn met de volgende kenmerken:
  - spanning geregeld binnen +/-0.2% onder belasting
  - harmonische vervorming < 3% (IES-LM-79-08, par. 3.1).

##### *Opmerking*

Ook bij losse, niet geïntegreerde elektronische aansturingen (drivers / voedingen) voor LED-armaturen, dient naast de vermogensmeting van het losse armatuur altijd ook een vermogensmeting inclusief aansturing/voeding te worden verricht. De fabrikant mag hiervoor de beste voeding gebruiken die hij heeft. De gebruikte voeding dient wel duidelijk op het specificatieblad te worden gespecificeerd, inclusief de gebruikte verbindingkabel, de lengte daarvan en de kabeldoorsnede. Bij voorkeur wordt een zo realistisch mogelijke (gemiddelde) voedingssituatie nagebootst. Voor wat betreft de invloed van de verbindingkabel (die extra vermogensdissipatie geeft) zou dat kunnen, door een verbindingkabel te nemen, die een zodanige lengte heeft dat een elektrische weerstand wordt verkregen die bij aansluiting van het armatuur een spanningsval over de kabel geeft, die gelijk is aan die in een gemiddelde praktijksituatie bestaat. (Indien er normaliter meerdere armaturen op de kabel zijn aangesloten, betekent dit dat er een langere kabel nodig is dan in de standaard situatie. De benodigde lengte is dan ongeveer evenredig met het normaliter aantal aangesloten armaturen. Een andere manier om een representatieve situatie te krijgen is een voor het armatuur bedoelde AC/DC-voeding te gebruiken, met de beoogde bekabeling en daarop het beoogde aantal armaturen aangesloten. Het armatuur dat zich midden in de streng bevindt, wordt in de bol geplaatst. Het totaal (AC-) vermogen van de belaste voeding wordt gemeten, alsmede het (DC-)vermogen van het armatuur in de bol. Het (nominale) vermogen toegevoerd aan de AC/DC-voeding per armatuur wordt nu verkregen door het gemeten AC-vermogen te delen door het aantal aangesloten armaturen. Indien het aantal op één voeding aan te sluiten armaturen (voor de test) onpraktisch groot zou worden, dan kan ook overwogen worden om behalve het te testen armatuur een representatieve, "dummy load" op de voeding aan te sluiten (in plaats van de 'dummy armaturen'). Voor het bepalen van het AC-vermogen van alleen het armatuur moet dan een representatief deel van het totaal opgenomen actieve AC-vermogen worden genomen (bijvoorbeeld te bepalen als verhouding van het - te meten -

door het LED-armatuur opgenomen actieve vermogen en het totaal door de voeding afgegeven actieve vermogen (dat dan ook zal moeten worden gemeten).

- *Elektrische vermogensmeting*: de volgende deelmetingen zijn nodig:
  - opgenomen (actieve) vermogen van het lampsysteem in watt. (Bij een systeem met een losse voeding is een dubbele vermogensmeting nodig van zowel de DC-gevoede LED-unit als de AC/DC voeding (bijv. 230 V → 24V-48 V))
  - blindvermogen (in VAR) of arbeidsfactor ( $\cos \phi$ )
  - optioneel kan eventueel ook het opgenomen elektrisch vermogen van de toegepaste koeling worden gemeten. Dit is echter alleen zinvol als het tijdens de prestatiemeting gebruikte koelsysteem representatief is voor de beoogde praktijktoepassing. Is dit niet het geval en de leverancier beschikt zelf over richtinggevende praktijkgetallen, dan wordt aanbevolen dat hij deze op het specificatieblad vermeldt
- *PAR-Efficacy* (efficiëntie waarmee elektriciteit wordt omgezet in PAR-licht):
  - te berekenen als de verhouding van de gemeten PAR-fotonstroom en het gemeten opgenomen elektrisch vermogen
  - eenheid  $\mu\text{mol}/\text{J}$
  - bij systemen met een aparte voeding dienen zowel de armatuur-PAR-efficacy (zonder AC/DC voeding) als de systeem-PAR-efficacy (inclusief AC/DC voeding) te worden gegeven. De gebruikte voeding en toegepaste bekabeling bij de test dient op het datablad te worden gespecificeerd
  - tevens dienen op vergelijkbare wijze de NIR en UVA+UVB efficacies te worden bepaald.

#### 4.3.3 Spectrum van het uitgezonden licht

Aan de meting van het spectrum van het uitgezonden licht worden de volgende eisen gesteld:

- bepalen in  $\mu\text{mol}/\text{s}/\text{nm}$
- mag desgewenst relatief worden gepresenteerd (zonder absolute as)
- golflengtegebied: 280-800 nm
- resolutie kleiner of gelijk aan 5 nm
- het spectrum staat desgewenst niet op het standaard datablad, maar dient dan wel separaat opvraagbaar te zijn bij fabrikant ("company confidential").

#### 4.3.4 Stralingspatroon

Aan de meting van het stralingspatroon (dat wil zeggen de hoekafhankelijkheid van de PAR-lichtuitstraling of “PAR intensiteitverdeling”) worden de volgende eisen gesteld:

- meten van intensiteitverdeling (in  $\mu\text{mol/s/sr}$ ) bij verschillende hoeken (met stapgrootte van maximaal  $5^\circ$ ) over minimaal een halve bol met met spiegelgoniometer voorzien van PAR-sensor<sup>11</sup> met een onnauwkeurigheid  $\leq 5\%$  (bijvoorbeeld van LI-COR). Indien een armatuur een uitstralingsruimtehoek groter dan  $2\pi$  steradiaal heeft dan moet over een heel boloppervlak worden gemeten
- de fabrikant hoeft het stralingspatroon desgewenst niet op het standaard datablad op te nemen, maar het moet dan wel separaat bij hem op te vragen zijn (deze informatie is nodig voor maken van een lichtplan).

#### 4.3.5 Kalibraties

- Alle te gebruiken meetapparatuur dient gekalibreerd te zijn.
- De kalibraties van de gebruikte meetapparatuur moeten traceerbaar zijn naar internationale standaarden.

### 4.4 Overige prestatieaspecten

#### 4.4.1 Levensduur / veroudering

*Informatie betreffende levensduur / veroudering van LED-armaturen:* de volgende informatie dient te worden verschaft:

- metingen van PAR-fotonstroom op  $t = 100$  uur en verder op  $t = 1000$  uur ( $t =$  brandduur vanaf ‘nieuw’)
- L90-tijd<sup>12</sup>: brandduur (in uren) waarna de fotonstroom is gedaald tot 90% van de waarde op  $t = 100$  uur (ervan uitgaand dat regulier onderhoud wordt gepleegd)
- de L90-tijd wordt door de fabrikant (in het algemeen) berekend (op basis van verouderingskenmerken van LED's, elektronica, optiek, e.d.)

---

<sup>11</sup> De gebruikte PAR-sensor en een eventueel gebruikte correctiefactor voor afwijkingen van de ideale, trapeziumvormige PAR responsiecurve (golflengteafhankelijkheid van sensor in gebied van 400-700 nm), dient bij de resultaten te worden vermeld

<sup>12</sup> Naar analogie van de “L90” in de norm “Measuring Lumen Maintenance of LED Light Sources”, IES LM-80-08.[3]

- als de lichtoutput door middel van stuelelektronica kan worden (bij)geregeld, is de L90-tijd minder relevant. Additioneel dient dan de zogenaamde “E90” tijd te worden bepaald: de tijd waarna de “efficacy” (in  $\mu\text{mol}/\text{J}$ ) gedaald is tot 90% van de waarde op  $t=100$  uur. De E90-tijd dient te worden bepaald als het armatuur beschikt over het "feature" van “photonflux control” (en dit ook als feature verkocht wordt)
- omgevingscondities (temperatuur, luchtvochtigheid) waarvoor bovengenoemde tijden gelden.

#### 4.4.2 Deellastsituaties bij dimbare armaturen

- Specificeren van *deellastsituatie*. SSL-armaturen kunnen vaak gedimd worden. In dat geval is zinvol ook voor één of meer deellastsituaties de system-*efficacy* te bepalen. Als een armatuur dimbaar is (en dit als feature wordt verkocht), dan dient ten minste voor de 50%-lastsituatie de PAR-systeem-*efficacy* te worden bepaald. Aanbevolen wordt dit ook te doen voor de 75% en 25% deellastsituatie (Zie voor nadere informatie ook IES-LM-79-08, par 7.0).

#### 4.4.3 Temperatuurafhankelijkheid

- Een ander relevant aspect van SSL-belichting is de temperatuurafhankelijkheid van de systeem-*efficacy*. Het verdient aanbeveling om de systeem-*efficacy* ook bij een tweede (omgevings)temperatuur te bepalen (bijvoorbeeld 15 °C). In de praktijk is dit in de meeste fotometrische laboratoria lastig te organiseren. Vandaar dat dit protocol deze extra meting niet voorschrijft.
- Bij watergekoelde armaturen is “de werktemperatuur” van het armatuur in het algemeen beter instelbaar, dan bij luchtgekoelde armaturen en kan ook een groter temperatuurbereik worden bestreken. Vandaar dat bij watergekoelde armaturen dringend wordt aanbevolen om de lichtstroom- en vermogensmeting bij twee verschillende watertemperaturen uit te voeren. De standaardwaarde van de watertemperatuur is 25 °C. Als tweede temperatuur wordt aanbevolen een watertemperatuur te kiezen die minstens 10 graden verschilt van de standaardwaarde (om de temperatuurafhankelijkheid goed te kunnen bepalen). In beide situaties dient de omgevingsluchttemperatuur op 25 °C te blijven. Voor beide situaties wordt vervolgens de system-*efficacy* berekend uit de gemeten lichtstroom en het opgenomen elektrisch vermogen.



- Door interpolatie kan dan de system-efficacy bij een tussenliggende temperatuur worden geschat. (Dit gegeven is interessant voor de gebruiker c.q. systeemontwerper ten behoeve van de optimalisatie van het koelwaterinstelling c.q. het koelsysteemontwerp).

#### 4.4.4 Representatieve armaturen

- Voor een praktisch bruikbare specificatie is het noodzakelijk dat deze is gebaseerd op metingen aan exemplaren die zo goed mogelijk het seriegemiddelde representeren.
- Fabrikanten dienen hiertoe (minimaal) 3 armaturen (aselect getrokken uit een batch van armaturen) voor meting aan te bieden.
- Om toevalstreffers zoveel mogelijk uit te sluiten, dienen er minimaal 3 armaturen te worden doorgemeten. De te rapporteren resultaten dienen rekenkundige gemiddelden te zijn van de prestaties van de individuele armaturen. Uit het oogpunt van kosten is besloten, dat de meting van het stralingspatroon maar voor één armatuur hoeft te gebeuren, die de uitvoerder van de metingen aselect dient te kiezen uit de aangeleverde armaturen. (Uiteraard is een meervoudige meting van dit kenmerk aan meerdere armaturen, gevolgd door middeling van de individuele metingen, ook toegestaan).

#### 4.4.5 Herhaalmeting

- Omdat er in de tijd zaken veranderen zoals bijvoorbeeld andere/gemodificeerde LED's, andere elektrische componenten of gewijzigde fabricagetechniek, is het gewenst de prestatiemeting periodiek (bijvoorbeeld jaarlijks) te herhalen (zolang het betreffende typenummer op de markt blijft). De eisen aan zo'n herhaalmeting dienen binnen de het (nog te ontwikkelen) keurmerk te worden vastgelegd.

#### 4.4.6 Fotobiologische veiligheidsclassificatie

Alhoewel geen onderdeel van het onderhavige meetprotocol, worden ten aanzien dit onderwerp de volgende opmerkingen gemaakt:

- er zijn internationaal erkende veiligheidsklassen gedefinieerd voor kunstmatige lichtbronnen. Deze classificatie dient ook voor LED-armaturen voor tuinbouwtoepassingen te worden gemaakt
- de volgende Europese richtlijn is hierbij van toepassing: 2006/25/EC (5 april 2006, betreffende de minimum voorschriften inzake gezondheid en veiligheid met betrekking tot

de blootstelling van werknemers aan risico's van fysische agentia (i.c. kunstmatige optische straling)

- de norm is 27 april 2010 van kracht geworden
- fabrikanten moeten zich aan de voorschriften daarin houden
- er dienen onder andere aanbevelingen/richtlijnen voor correct en veilig gebruik te worden opgesteld en ter beschikking te worden gesteld aan kopers<sup>13</sup>

#### 4.4.7 Overzicht metingen

Een overzicht van de in dit protocol voorgeschreven en optionele prestatie metingen is gegeven in bijlage A.

### 4.5 Watergekoelde armaturen

Watergekoelde armaturen worden hier apart behandeld, omdat het lastiger is om deze in de integrerende bol te meten. Waterkoeling in de integrerende bol is vaak minder wenselijk, vanwege de extra (storende) slangen en het gevaar van lekkage en condensdruppels in de bol. Een alternatief is om het armatuur niet in het centrum van de bol te plaatsen ("4 $\pi$ -methode") maar aan de rand van de bol ("2 $\pi$ -methode"). Dit kan als het armatuur geen naar achteren gerichte uitstraling heeft (uitstralingsruimtehoek kleiner dan 2 $\pi$  steradiaal). De slangen kunnen dan buiten de bol blijven, waardoor het gevaar van waterschade in de bol aanzienlijk reduceert. Indien de bol niet al als 2 $\pi$  opstelling is uitgevoerd, en men toch op deze wijze wil meten, dan zal deze hiervoor geschikt moeten worden gemaakt (o.a. aanbrengen van een venster in de wand waarin de armaturen kunnen worden gemonteerd.) Zie ook IES-LM-79-08, par 9.1.2.

#### 4.5.1 2 $\pi$ -meting (voor watergekoelde armaturen)

Tendris Solutions heeft een praktische methode ontwikkeld voor de bepaling van de PAR-fotonstroom van watergekoelde armaturen (zie bijlage C). Vanwege de aan het eind van bijlage C genoemde kanttekeningen kan voor een PAR-fotonfluxmeting van een watergekoeld armatuur volgens de "Tendris-methode" geen conformiteitsverklaring van meting

---

<sup>13</sup> O.a. Philips LightLabs - OCM en KEMA Quality B.V. beschikken over een meetopstelling waarmee van een armatuur de toegestane blootstellingsduur ten aanzien van fotobiologische veiligheid kan worden bepaald.

volgens dit protocol gegeven worden. Hiervoor moet een meting in stationaire toestand in een integrerende bol worden uitgevoerd. Indien een  $4\pi$ -meting vanwege de waterkoeling (organisatorisch) niet mogelijk/acceptabel is<sup>14</sup>, dan kan de fotonstroom - zonder koelsslangen in de bol - met de eerder genoemde  $2\pi$ -meting worden bepaald, mits het armatuur geen naar achteren gerichte uitstraling heeft. In IES-LM-79-08, par 9.1.2 wordt aan de (cirkelvormige) opening in de bol ten behoeve van een  $2\pi$ -meting de eis gesteld dat de diameter van het gat (waarin het te testen armatuur wordt gemonteerd) kleiner is dan  $1/3$  van de diameter van de bol. Dit beperkt bij een gegeven bol de dimensies van de te testen armaturen<sup>15</sup>. De meting dient verder volgens de condities en randvoorwaarden zoals in de voorgaande paragrafen beschreven te worden uitgevoerd<sup>16</sup>. Aanvullend dient tijdens de meting de koelwateraanvoer- en -afvoertemperatuur te worden gemeten en op het specificatieblad te worden vermeld. Tevens dient het gemiddelde van aan- en afvoertemperatuur over de meetduur te worden vermeld.

Verder geldt bij watergekoelde armaturen een aanvullende stabilisatie-eis (bovenop die voor lichtstroom en elektrisch vermogen, zie paragraaf 4.3.1): de meetwaarden van koelwater aan- respectievelijk afvoertemperatuur – gemeten om de 5 minuten - mogen in het laatste kwartier uur vóór de officiële lichtstroombmeting, onderling niet meer verschillen dan  $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Deze meetwaarden dienen te worden gerapporteerd.

---

<sup>14</sup> Phillips LightLabs - OCM is van plan een 2m bol geschikt te maken voor het testen van watergekoelde armaturen volgens de  $4\pi$ -methode, waarmee zij desgewenst ook metingen voor derden wil uitvoeren (zie ook hoofdstuk 5).

<sup>15</sup> Bij een  $4\pi$ -meting is – bij lineaire armaturen – een armatuurlengte tot  $2/3$  van de diameter van de bol acceptabel. (Bij een bolvormig object is dat overigens veel minder: diameter van het object dient kleiner te zijn dan  $0,14$  x diameter van de bol. In algemene zin schrijft de norm IES-LM-79-08 voor, dat het totale oppervlak van het object in de bol minder moet zijn dan 2% van het binnenoppervlak van de integrerende bol).

<sup>16</sup> Philips LightLabs - OCM kan met haar meetfaciliteiten een  $2\pi$  meting (met waterkoeling aan de buitenzijde) uitvoeren, mits het benodigde venster in de wand van de bol (voor de lichtkoppeling) niet groter is dan 12 cm in diameter. Bij TNO Bouw is in het optisch lab een integrerende bol beschikbaar met een doorsnede van 1 m met daarin een (rond) venster van 30 cm diameter. Hiermee kan ook een  $2\pi$  meting met lamp en waterkoeling buiten de bol worden uitgevoerd, mits de dimensies nodig voor inkoppeling van het licht binnen de genoemde opening vallen. (Dit vormt mogelijk een alternatief voor OCM, mits TNO ook de PAR-, NIR- en UVA+UVB fotonstromen kan meten).

## 5 MOGELIJKHEDEN OM EXTERN PRESTATIEMETINGEN TE LATEN VERRICHTEN

### *Organisatorisch:*

- Philips (Central Development Lighting – Optical Calibration & Measurements (OCM)) beschikt in Eindhoven over een groot aantal optische meetfaciliteiten (voor een impressie zie bijlage B<sup>17</sup>) en is in principe bereid om op verzoek deze ook in te zetten voor prestatiemetingen conform dit protocol aan armaturen van derden. Zij doet dit bij voorkeur onder supervisie van een onafhankelijke partij (zoals bijvoorbeeld Dekra)
- Philips garandeert dat de resultaten van de meting vertrouwelijk zullen worden behandeld en alleen aan de opdrachtgever en de onafhankelijke partij zullen worden verstrekt. Binnen Philips blijven de testresultaten binnen de afdeling OCM. Andere bedrijfsonderdelen hebben geen toegang tot de metingen aan armaturen van derden
- Philips wil zich het recht voorbehouden om bepaalde armaturen/systemen te weigeren bijvoorbeeld als zij verwacht dat deze schade aan haar apparatuur kan veroorzaken
- ook TNO Bouw heeft zich in principe bereid verklaard prestatiemetingen conform het onderhavige protocol (of delen daarvan) te willen uitvoeren. De exacte mogelijkheden dienen nog nader te worden uitgewerkt.

---

<sup>17</sup> Philips LightLabs - OCM is verder van plan een 2m bol geschikt te maken voor het testen van watergekoelde armaturen volgens de  $4\pi$  -methode en kan daarnaast  $2\pi$  metingen uitvoeren tot 12 cm diameter.

## LITERATUUR

- [1] CIE-Technical Report, "The measurement of luminous flux", CIE84-1989
- [2] IES LM-79-08, "Electrical and Photometric Measurements of Solid-State Lighting Products", 2008
- [3] IES LM-80-08, "Measuring Lumen Maintenance of LED Light Sources", 2008

## BIJLAGE A OVERZICHT METINGEN

Hieronder is een overzicht van de vereiste en optionele prestatiemetingen gegeven.

| Nr | Meting (of berekening)                               | Nadere omschrijving                                  | Verplicht/ Optioneel (V/O) | S= op spec.blad<br>O=opvraagbaar | Opmerking  |
|----|--|--|----------------------------|----------------------------------|--|
| 1a | PAR-fotonstroom                                      | 400-700 nm   | V                          | S                                | Eenheid $\mu\text{mol/s}$ , gemeten in bol van Ulbricht <sup>18</sup> in stationaire toestand (verandering fotonstroom in laatste kwartier minder dan 1%); luchttemperatuur in en rond bol: 25°C <sup>19</sup> |
| 1b | NIR-fotonstroom                                      | 700-800 nm   | V                          | S                                |  |
| 1c | UVA+UVB-fotonstroom                                  | 280-400 nm   | V                          | S                                |  |
| 2a | Opgenomen elektrisch vermogen (W, AC)                | Van armatuur inclusief representatieve (AC-) voeding | V                          | S                                | Bij systemen met een losse voeding dient ook het (DC) vermogen van de armaturen te worden gemeten  |
| 2b | Opgenomen elektrisch vermogen (W, DC)                | Van alleen armatuur in geval van losse voeding       | V                          | S                                | Dit is i.h.a. een DC-vermogen. (In dit geval ook <i>efficacies</i> bepalen, zie 2d)  |
| 2c | Blindvermogen of arbeidsfactor                       | Van armatuur inclusief representatieve (AC-) voeding | V                          | S                                | Eenheid VAr c.q. dimensieloos (arbeidsfactor wordt ook wel $\cos\phi$ genoemd)   |
| 2d | PAR-efficacy<br>NIR-efficacy<br>UVA+UVB-<br>efficacy | Van armatuur inclusief representatieve (AC-) voeding | V                          | S                                | Dit is de verhouding van de fotonstroom en elektrisch vermogen; eenheid $\mu\text{mol/J}$ ; te bepalen voor PAR, NIR en UVA+UVB  |
| 3  | Relatief foton-spectrum                              | 280-800 nm, resolutie <5 nm                          | V                          | O                                | Hoeft niet op specificatieblad te worden vermeld; moet wel opvraagbaar zijn bij fabrikant  |

<sup>18</sup> Dit mag een "4 $\pi$ " of "2 $\pi$ "-meting zijn. Bij de eerste methode bevindt zich het armatuur geheel in de bol, bij de tweede methode is het armatuur gedeeltelijk daarbuiten en schijnt het uittredende licht via een venster in de wand van de bol naar binnen. Deze laatste methode is zinvol bij watergekoelde armaturen (geen koelslangen in de bol; verminderde de kans op schade door lekkage of condens), maar vereist dat er geen achterwaarts gerichte uitstraling is.

<sup>19</sup> Bij watergekoelde armaturen moet de waterintredetemperatuur ook 25 °C zijn. De waterintrede- en uittredetemperatuur moeten worden gemeten en worden geregistreerd. De gemiddelde watertemperatuur tijdens de meting dient bij de meetresultaten te worden vermeld.

| Nr | Meting (of berekening)    | Nadere omschrijving  | Verplicht/ Optioneel (V/O) | S= op spec.blad<br>O=opvraagbaar | Opmerking   |
|----|---------------------------|--|----------------------------|----------------------------------|---|
| 4  | PAR-intensiteitsverdeling | PAR-fotonintensiteit als functie van hoeken met hoofdassen (stapgrootte max 5°)  | V                          | O                                | Eenheid: $\mu\text{mol/s/sr}$ ; te bepalen met spiegelgoniometer voorzien van PAR-sensor; meten over halve bol (indien geen achterwaarts gericht licht) anders over hele bol; Hoeft niet op specificatieblad; moet wel opvraagbaar zijn   |
| 5a | L90-tijd                  | Tijd waarna PAR-fotonstroom is gedaald tot 90% van de waarde op $t=100$ uur  | V                          | S                                | Dit is i.h.a. een door de fabrikant berekende waarde  |
| 5b | E90-tijd                  | Tijd waarna PAR-efficacy is gedaald tot 90% van de waarde op $t=100$ uur   | V <sup>20</sup>            | S                                | Alleen indien van toepassing (zie voetnoot)   |
| 6  | 50%-deellast              | PAR-fotonstroom, elektrisch vermogen en PAR-efficacy, bij 50% deellast   | V <sup>21</sup>            | S                                | Alleen verplicht indien armatuur dimbaar is en dit ook als feature wordt verkocht. Aanbevolen wordt om dan ook de 75% en 25% deellastsituatie door te meten   |
| 7  | Tweede systeemtemperatuur | Meting van PAR-fotonstroom, elektrisch vermogen en PAR-efficacy bij een "systeemtemperatuur" die minstens 10 K verschilt van 'standaard' temperatuur (25 °C) | O                          | S                                | Deze meting wordt dringend aanbevolen voor watergekoelde armaturen. Dit type armaturen is in het algemeen gevoelig voor de koelwatertemperatuur. Aanbevolen wordt een tweede meting uit te voeren bij een waterintredetemperatuur die minstens 10 K verschilt van de standaard waarde van 25 °C |

<sup>20</sup> Alleen verplicht bij systemen die beschikken over "photonflux control" dat ook als "feature" wordt verkocht.

<sup>21</sup> Alleen verplicht bij systemen die dimbaar zijn en waarbij dit ook als 'feature' wordt verkocht.

| Nr | Meting<br>(of berekening) | Nadere omschrijving   | Verplicht/<br>Optioneel<br>(V/O) | S= op<br>spec.blad<br>O=op-<br>vraagbaar | Opmerking   |
|----|---------------------------|---|----------------------------------|--|---|
| 8  | Koelvermogen              | Elektrisch vermogen dat door een eventueel actief koelsysteem wordt verbruikt | O                                | S  | Zinvol indien een voor de applicatie representatief koelsysteem wordt gebruikt. Indien dit niet het geval is wordt aanbevolen dat de fabrikant zelf hiervoor een representatief ervaringsgetal opgeeft (en vermeldt op zijn datablad) |

Elke prestatiemeting conform dit protocol bestaat uit (minimaal) de verplichte metingen (gemarkeerd met "V") volgens bovenstaande tabel. De fotonstroommetingen, vermogensmetingen en spectrummeting dienen te worden uitgevoerd voor minimaal 3 (aselect gekozen) armaturen. De te rapporteren resultaten van de 3-voudig gemeten variabelen en daarop gebaseerde berekende grootheden zijn de rekenkundige gemiddelden van de prestaties van de individuele armaturen. (Voor de PAR-intensiteitsverdeling is één meting voldoende).



## BIJLAGE B WERKGROEP BESPREKINGEN

Notulen werkgroep “Meetprotocollen voor prestatiemeting van LED-belichtingsarmaturen voor tuinbouwtoepassingen”

Resultaten van overleg met toonaangevende leveranciers op 26 februari 2010 en nadere uitwerking (inclusief bespreking van werkgroep op 31 maart 2009, te Zoetermeer)

### 1. Verslag bijeenkomst bij Philips m.b.t. “Meetprotocollen LED-belichtingsarmaturen ten behoeve van glastuinbouw”

Datum: 26 februari 2010

Deelnemers:

|                     |   |                          |
|---------------------|---|--------------------------|
| Udo van Slooten     | Venture Manager Horticulture<br>GBU LED Retrofit & Modules                            | Philips Lighting         |
| René van Wees       | Manager Application Engineering<br>Special LED applications                           | Philips Lighting         |
| Paul Nederpel       | Head Calibration<br>Central Development Lighting – Optical Calibration & Measurements | Philips Lighting (OCM)   |
| Menno Schakel       | Interim Professional Fysica   | Philips Lighting / Yacht |
| Marco Brok          | R&D Manager   | Hortilux Schröder        |
| Bart van Meurs      | Medewerker R&D  | Hortilux Schröder        |
| Ramon van der Hilst | verantwoordelijk voor metingen bij  | Tendris (/Lemnis)        |
| Jacques de Ruijter  | Sr. consultant energie  | KEMA – TOS               |
| Hans Walhout        | Photometry and Lighting   | DEKRA – KEMA Quality BV  |
| Gertjan Muda        | Project Manager Photometry  | DEKRA – KEMA Quality BV  |

#### ***Demonstratie testfaciliteiten Philips Lighting:***

##### ***2m-bollen***

- Philips Lighting beschikt over meerdere bollen van Ulbricht met een diameter van 2 m waarmee de lichtstroom van armaturen kan worden gemeten (in lumen maar ook in  $\mu\text{mol/s}$ )
- Voor de bepaling van het laatste wordt een spectrometer gebruikt met een bereik van 250 nm – 800 nm en een resolutie van 0.2 nm
- Systeem wordt gekalibreerd met diverse spectrale standaard lampen (o.a. van NPL, NIP?, PTB, VSL)

- Metingen worden uitgevoerd volgens de norm CIE 84, "The measurement of luminous flux" (CIE = Commission Internationale de l'Eclairage)
- De grootste maat (bij een lineair) armatuur die in een 2 m bol kan worden gemeten is circa 5 feet (ca 1.5 m). De fouten worden wel groter naarmate de vorm en grootte afwijkt van de kalibratiebron (meestal een gloeilamp).

#### **4m-bol**

- Daarnaast beschikt Philips over een bol met een diameter van 4 m. Deze wordt gebruikt voor het uitvoeren van kalibraties. Bij een grotere diameter is het effect van een vreemd lichaam (lamp/armatuur) in de bol minder dan bij een kleinere diameter, waardoor de meetfout geringer is.
- Met de 4 m bol worden momenteel fotometrische metingen verricht. Er kunnen ook kleurmetingen worden verricht. Het lab is hiervoor gecertificeerd door de Raad van Accreditatie (RvA 17025). Het lab wordt jaarlijks gecontroleerd door RvA.
- Er zit momenteel geen spectrometer op de 4 m bol, zodat het zonder aanpassing niet mogelijk is deze opstelling te gebruiken voor PAR-lichtstroommetingen.
- Bij de 4 m bol kunnen lampen voorbranden om alvast op temperatuur te komen en kunnen brandend in een lamphouder van de bol worden geplaatst (via een dubbele voeding). Middels een om verticale as draaibare arm kunnen ze – brandend - in en uit de bol worden gebracht.

#### **Spiegelfotogoniometer**

- Verder beschikt Philips Lighting over een (LMT) spiegelfotogoniometer<sup>22</sup> (vanaf 1996).
- Hiermee kunnen van armaturen tot een gewicht van 50 kg (en lengtes tot circa 1 m) met 0.1 graad nauwkeurig de lichtstroom (in een ruimtewinkel) als functie van de hoeken met de hoofdassen van het armatuur worden gemeten (over een hele bol). Standaard wordt gemeten in candela (cd).
- De armaturen kunnen worden bevestigd in de normale bedrijfsstand (wat betreft oriëntatie ten opzichte van de verticaal). Dit is belangrijk in verband met convectieve koeling.
- Kalibratie wordt uitgevoerd met standaard lampen van NPL
- Een meetsessie voor de karakterisering van de hoekafhankelijkheid van een armatuur (in cd) kost ca 3 kwartier (stapgrootte 5 °).
- Indien ook spectrale informatie moet worden gemeten, dan zal een meetsessie aanzienlijk langer duren (mogelijk hele nacht).
- In principe kan en wil het optisch meet- en kalibratielab van Philips Lighting ook metingen voor derden uitvoeren, maar onder voorwaarden.

---

<sup>22</sup> VSL in Delft, onderdeel van NMI Groep, beschikt ook over een goniometeropstelling waarmee over een virtuele bol met een diameter van maximaal 3.7 m kan worden gescand.

**Bespreking betreffende eisen en wensen aan prestatiemetingen van LED-armaturen voor tuinbouwtoepassingen.**

*Op 26 februari 2010 zijn de belangrijkste eisen en wensen besproken tussen de deelnemers aan het overleg (hoofdpijnen). Gezien de beperkte tijd konden niet alle relevante aspecten toen de revue passeren. De belangrijkste aspecten en afspraken zijn in de hoofdtekst van dit protocol opgenomen. waar nodig of gewenst aangevuld met enkele andere, relevante aspecten. Tendris/Lemnis heeft na de meeting van 26 februari nog informatie gestuurd betreffende de prestatiemetingen die bij Tendris worden uitgevoerd. De werkwijze die zij hanteren is in bijlage C beschreven. Op een aantal punten moest door partijen nog een (definitieve) keuze moeten worden gemaakt (dit is gebeurd tijdens het volgende werkgroepoverleg dat is gehouden bij PT op 31 maart 2010, zie hieronder).*

**2 . Besproken op bijeenkomst van 31 maart 2010 te Zoetermeer**

**(Uitgebreide werkgroep: opdrachtgevers, leveranciers, onderzoekers “plant en licht” en fotometrische specialisten)**

Behalve een terugkoppeling van de afspraken, gemaakt op de eerste werkgroepbespreking zijn nog de volgende additionele aspecten behandeld:

***Deellastsituaties***

- specificeren van *deellastsituatie*. SSL-armaturen kunnen vaak gedimd worden. Het is zinvol ook voor één of meer deellastsituaties de system-efficacy te bepalen. Als een armatuur dimbaar is (en dit als feature wordt verkocht) dan dient minimaal voor de 50%-lastsituatie de PAR-system-efficacy te worden bepaald. Aanbevolen wordt dit ook te doen voor de 75% en 25% deellastsituatie (Zie voor nadere informatie ook IES-LM-79-08, par 7.0)

***Temperatuurgevoeligheid:***

- Een ander relevant aspect van SSL-belichting is de temperatuurgevoeligheid van de system-efficacy. Het verdient aanbeveling om de system-efficacy ook bij een tweede (omgevings) temperatuur te bepalen (bijvoorbeeld 15 °C). Of dit technisch zonder problemen kan dient nader te worden onderzocht [Actie Philips: Philips heeft naderhand aangegeven dat dit voor haar afdeling OCM vooralsnog onmogelijk is]
- Door interpolatie kan dan de system-efficacy bij een tussenliggende temperatuur worden geschat.

### **Representatieve armaturen**

- Voor een praktisch bruikbare specificatie is het noodzakelijk dat deze is gebaseerd op metingen aan exemplaren die zo goed mogelijk het seriegemiddelde representeren.
- Fabrikanten dienen hiertoe een aselechte trekking van (minimaal) 3 armaturen uit een batch van armaturen te doen
- Om toevalstreffers zoveel mogelijk uit te sluiten, dienen er minimaal 3 armaturen te worden doorgemeten. De te rapporteren resultaten dienen rekenkundige gemiddelden te zijn van de prestaties van de individuele armaturen.

### **Herhaalmeting**

- Omdat er in de tijd zaken veranderen zoals bijvoorbeeld andere/gemodificeerde LED's, andere elektrische componenten of gewijzigde fabricagetechniek, dient de prestatiemeting elk jaar te worden herhaald (zolang het betreffende typenummer op de markt blijft). (Anders vervalt het keurmerk na een jaar)

### **Fotobiologische veiligheidsclassificatie**

- er zijn internationaal erkende veiligheidsklassen gedefinieerd
- de volgende Europese directive is van toepassing: 2006/25/EC (5 april 2006, betreffende de minimum voorschriften inzake gezondheid en veiligheid met betrekking tot de blootstelling van werknemers aan risico's van fysische agentia (i.c. kunstmatige optische straling)
- de norm wordt 27 april 2010 van kracht
- fabrikanten moeten zich aan voorschriften houden

### **Label/Keurmerk**

- De deelnemers aan de "Werkgroep Meetprotocol LED-belichting" achten het gewenst dat de onafhankelijke partij een 'label' verstrekt voor een prestatiemeting die conform de in dit protocol beschreven methodiek is uitgevoerd. Het label, dat op het datablad mag worden vermeld, moet bij tuinders het vertrouwen oproepen dat het armatuur ook zal presteren, zoals gespecificeerd op het datablad. Naar een pakkende naam voor het label wordt nog gezocht (bijvoorbeeld "getest volgens KEMA-PT norm XXXX....". De ontwikkeling van zo'n label of keurmerk, valt buiten de scope van het onderhavige project en dient apart te worden uitgewerkt. DEKRA zal met een voorstel komen.
- Er dient door aanbieders van de prestatiemetingen conform de methodiek van dit protocol een (standaard) prijs te worden bepaald voor die dienstverlening (eventueel afhankelijk van welke elementen precies nodig (c.q. gewenst) zijn, en afhankelijk van het type meting ("luchtgekoeld in de bol" of " $2\pi$ -meting met waterkoeling buiten de bol").

## **BIJLAGE C PRAKTISCHE METHODE FOTONSTROOMBEPALING VAN TENDRIS SOLUTIONS**

Tendris heeft voor watergekoelde armaturen van Lemnis Lighting een praktische methode voor het meten van de PAR-fotonstroom ontwikkeld. De resultaten daarvan kunnen als een eerste indicatie worden gebruikt. Bij de door Tendris gehanteerde methode wordt in de bol niet met waterkoeling gemeten. De meting gebeurt in meerdere stappen:

- 1 buiten de bol wordt van een armatuur - voorzien van waterkoeling - op een bepaalde afstand loodrecht op het optisch centrum van het armatuur de fotonfluxdichtheid (in  $\mu\text{mol/s/m}^2$ ) gemeten. De meting gebeurt met een PAR-sensor bij thermisch stationaire omstandigheden. De koelwaterintredetemperatuur wordt geregeld op (standaard) 25 °C
- 2 na de meting wordt de lamp uitgezet en de waterkoeling afgekoppeld. In het koelkanaal van het armatuur wordt een temperatuursensor gemonteerd tegen de binnenwand ongeveer in het midden van het armatuur. De lamp koelt intussen af naar de omgevingstemperatuur
- 3 vervolgens wordt de lamp weer ingeschakeld (nog steeds zonder waterkoeling). De lamp warmt nu op. Tijdens dit opwarmen wordt wederom de fotonfluxdichtheid gemeten (of dezelfde afstand en in dezelfde richting als bij 1). Als de PAR-fotonfluxdichtheid gelijk is aan de waarde bij stap 1, dan wordt de temperatuur van (het centrum van) de wand van het koelwaterkanaal geregistreerd. (N.B. de lamp is hierbij niet in een stationaire toestand.)
- 4 vervolgens wordt de lamp wederom uitgeschakeld en – zonder waterkoeling, maar met temperatuursensor – in de integrerende bol geplaatst. De lamp krijgt daarbij voldoende de tijd om af te koelen tot ongeveer de omgevingstemperatuur. Daarna wordt de lamp wederom ingeschakeld. Met de in stap 2 aangebrachte temperatuursensor wordt het moment bepaald, waarbij het centrum van het koelkanaal van de opwarmende lamp dezelfde temperatuur heeft als geregistreerd bij stap 3. Op dat moment wordt – in de bol - de PAR-lichtstroom gemeten. Onder de veronderstelling dat in het armatuur op dat moment ongeveer dezelfde temperatuur (en temperatuurverdeling) heerst, als die heerst bij het bedrijf met waterkoeling in stap 1, denkt Tendris op deze wijze een voldoende representatieve meting te kunnen doen.

Tendris voert de metingen uit bij koelwatertemperaturen van zowel 25 °C als 10 °C (in de laatste situatie wordt het armatuur na verwijdering van het koelwater eerst actief gekoeld met ijs, alvorens deze in de stappen 3 en 4 weer opwarmt.)

Deze indirecte meetmethode maakt het mogelijk om toch in een integrerende bol zonder waterkoeling de PAR-fotonstroom te bepalen van een (in principe) watergekoeld armatuur. Hierbij kunnen de volgende kanttekeningen worden gemaakt:

- de meting gebeurt in meerdere stappen. Bij elke stap geldt een bepaalde meetonzekerheid. De totale meetonzekerheid is daardoor groter dan wanneer maar één (bol)meting nodig zou zijn geweest
- de lamp komt bij deze meting in stappen 3 en 4 niet in een stationaire toestand (en voldoet dus formeel niet aan de eerder genoemde stabilisatie-eis (zie paragraaf 4.3.1)
- ook al is de temperatuur in het centrum van het koelwaterkanaal aan de wand in stap 1 en stap 4 hetzelfde, dan betekent dat nog niet dat de temperatuurverdeling in het armatuur in stap 1 respectievelijk 4 ook exact aan elkaar gelijk zijn.