



# Lichtmetingen op komkommerbedrijven met LED-tussenbelichting

Begeleiden en monitoren van energie-innovaties in de praktijk

Jan Janse, Kees Weerheim en Anja Dieleman

Rapport WPR-763



**WAGENINGEN**  
UNIVERSITY & RESEARCH



LTO Glaskracht  
Nederland



Ministerie van Landbouw,  
Natuur en Voedselkwaliteit

Stichting  
Programmafonds  
Glastuinbouw



## **Referaat**

Wageningen University & Research Glastuinbouw heeft de lichtonderschepping en -verdeling gemeten in de hogedraadteelt van komkommers op twee bedrijven met een verschillende oriëntatie van LED-tussenbelichting. De hoeveelheid gewas bleek van grote invloed op lichtonderschepping en -verlies van de LEDs naar boven en onderen. Het totale lichtverlies naar het dek en de vloer was op beide bedrijven respectievelijk 4 en 19%. In het midden van het pad is er nog resp. 17 en 34% van het licht gemeten, maar dit licht mag niet als verloren worden beschouwd. De gemeten onderschepping van het zonlicht door de planten was op beide bedrijven respectievelijk 96 en 87%. Op het bedrijf met verticale tussenbelichting gaf 1% extra LED-licht een gemiddelde meerproductie van 0.8%. Het project is uitgevoerd in opdracht van Kas als Energiebron.

## **Abstract**

Light interception was measured by Wageningen University & Research Greenhouse Horticulture at two nurseries with cucumbers in a high wire system and a different orientation of the LED-interlighting. The canopy density appeared to be very important for the light interception and up and down light loss. The total light loss to the greenhouse cover and floor was 17 en 34% on both nurseries, respectively. In the middle of the path between crop rows, 17 and 34% of the LED light was still measured, respectively. However, this light will largely be captured by plants of the neighbouring row. The measured interception of the sunlight by the plants, was on both nurseries respectively 96 and 87%. Per 1% additional LED light, a production increase of 0.8% was realised. The project was funded by Kas als Energiebron.

## **Rapportgegevens**

Rapport WPR-763

Projectnummer: 3742157313-1

DOI: 10.18174/444366

Dit project is mede tot stand gekomen door de bijdrage vanuit het programma Kas als Energiebron, het innovatie- en actieprogramma van het ministerie van Economische Zaken en LTO Glaskracht Nederland en mede gefinancierd door de Stichting Programmafonds Glastuinbouw.

## **Disclaimer**

© 2018 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Glastuinbouw, Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk T 0317 48 56 06, [www.wur.nl/plant-research](http://www.wur.nl/plant-research).

Kamer van Koophandel nr.: 09098104

BTW nr.: NL 8113.83.696.B07

Stichting Wageningen Research. 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 Stichting Wageningen Research.

Stichting Wageningen Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

## **Adresgegevens**

### **Wageningen University & Research, BU Glastuinbouw**

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk

Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk

T +31 (0)317 48 56 06

F +31 (0)10 522 51 93

# Inhoud

	<b>Samenvatting</b>	<b>5</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Proefopzet</b>	<b>9</b>
2.1	Reijm en Zn	9
2.1.1	Metingen Reijm	10
2.1.1.1	Lichtonderschepping zonlicht	10
2.1.1.2	Verticale lichtverdeling LEDs	10
2.1.1.3	Horizontale lichtverdeling LEDs	10
2.2	Gerja	10
2.2.1	Metingen Gerja	11
2.2.1.1	Lichtonderschepping zonlicht	11
2.2.1.2	Verticale lichtverdeling LEDs	11
2.2.1.3	Horizontale lichtverdeling LEDs	11
<b>3</b>	<b>Resultaten</b>	<b>13</b>
3.1	Reijm en Zn	13
3.1.1	Lichtonderschepping zonlicht	13
3.1.2	Verticale lichtverdeling LEDs	13
3.1.3	Horizontale lichtverdeling LEDs	14
3.1.4	Lichthoeveelheid en productie	15
3.2	Gerja	17
3.2.1	Lichtonderschepping zonlicht	17
3.2.2	Verticale lichtverdeling LEDs	17
3.2.3	Horizontale lichtverdeling LEDs	18
<b>4</b>	<b>Discussie</b>	<b>21</b>
<b>5</b>	<b>Conclusies</b>	<b>23</b>



# Samenvatting

Op twee bedrijven met hogedraadteelt van komkommers en een verschillende oriëntatie van de LED-tussenbelichting, is in het najaar van 2017 de lichtonderschepping gemeten. De hoeveelheid gewas blijkt van grote invloed op het lichtverlies naar boven en onderen. Het totale lichtverlies naar het kasdek en kasvloer was op het ene bedrijf 4 en op het andere 19%.

Dit kwam grotendeels door duidelijk zichtbare verschillen in bladhoeveelheid en gewashoogte op het moment van de meting en mogelijk ook door de oriëntatie van de tussenbelichting. Op het komkommerbedrijf met veel lichtverlies was het gewas erg open in vergelijking met het andere bedrijf. In combinatie met de verticale belichtingsmodules, waarbij over een grotere gewaslengte wordt belicht, gaat er afhankelijk van de positie van de lamp makkelijker licht naar onder en boven verloren. De hoeveelheid gewas had ook invloed op de hoeveelheid PAR-licht dat midden in het pad werd gemeten. Op de twee bedrijven was dat respectievelijk 17% en 34%. Dit licht is echter niet voor het gewas verloren, want dit licht zal grotendeels door de komkommerplanten aan de andere kant van het pad worden opgevangen.

De gemeten onderschepping van het zonlicht door de planten was op beide bedrijven respectievelijk 96 en 87%. Aan de ene kant is het positief dat er veel licht wordt opgevangen, maar de onderste gewaslaag krijgt daardoor nauwelijks licht en is mogelijk niet efficiënt.

Op het komkommerbedrijf met verticale tussenbelichting kon de productie worden vergeleken met het onbelichte gedeelte in de kas. 1% meer PAR-licht afkomstig van de tussenbelichting leidde over het hele jaar genomen tot 0.8% meer productie. De hogere stengeldichtheid met belichting in de 2<sup>e</sup> teelt zal dit positief beïnvloeden hebben. Door verdere optimalisering via o.a. de stengeldichtheid en aangepaste vruchtsnoei strategie, moet het mogelijk zijn om de lichtefficiëntie nog verder te verhogen.



# 1 Inleiding

In de teelt van een aantal gewassen zoals tomaat is in de laatste jaren de nodige ervaring opgedaan met LED belichting als energiezuinig alternatief voor SON-T lampen. In de komkommerteelt wordt nog veel minder vaak belicht dan bij tomaat, maar bestaat wel de behoefte om te belichten vanwege teeltplanning, vervroeging en verhoging van de productie, plant- en vruchtkwaliteit. Recent is er een uitbreiding in het belichte komkommerareaal van 30 à 40 ha geweest. Het betreft dan SON-T belichting met een relatief lage lichtintensiteit van ca.  $90 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Maar veel van de kassen waarin komkommers geteeld worden, zijn niet hoog genoeg voor de installatie van (SON-T) topbelichting, waardoor er gekeken wordt naar LED-tussenbelichting.

In 2017 is op het komkommerbedrijf Reijm en Zn in Berkel en Rodenrijs een praktijkproef met ca.  $95 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  verticale tussenbelichting uitgevoerd. De eerste resultaten waren positief: goede ontwikkeling en vruchtzetting, meer productie en goede kwaliteit van de vruchten ten opzichte van de onbelichte teelt.

Er zijn echter nog veel vragen over de lichtverdeling en beste hoogte om de lampen te hangen, het lichtverlies en de beste teeltstrategie met belichting. Deze vragen leven niet alleen bij hen, maar bij veel komkommertelers. Zowel de telers die al belichten als de telers die plannen hebben, zijn geïnteresseerd in hoe ze licht het meest effectief in kunnen zetten in hun teelt, hoe het gewas dan gestuurd moet worden, hoe de lichthoeveelheid en samenstelling afgestemd moet worden op de stand van het gewas, en hoe de assimilatievraag (aantal stengels, aantal vruchten) afgestemd moet worden op de hoeveelheid beschikbaar licht.

Daarom is in de herfst op dit bedrijf een aantal metingen verricht. Vergelijkbare metingen zijn ook op een ander bedrijf met (horizontale) tussenbelichting (Gerja) in Brabant gedaan, maar hier was geen vergelijking met onbelicht aanwezig.

In dit rapport wordt verslag gedaan van de meetresultaten op beide bedrijven.





## 2 Proefopzet

De lichtmetingen zijn in een herfstteelt op twee bedrijven uitgevoerd, namelijk bij Reijm en Zn (Jan Reijm) en Gerja (Jac Dings) op resp. 2 en 16 oktober 2017.

### 2.1 Reijm en Zn

Op dit bedrijf van 4.5 ha werd een proef gedaan met verticale LED-lampen in een proefvak van 540 m<sup>2</sup>. De lampen (Saturnus Veg LED-lampen) waren geleverd door Lohuis Lighting & Energy uit Naaldwijk en hingen in verticale, diffuus gemaakte buizen. Deze hadden een lengte van 1.15 m en hingen tussen de plantrijen op een afstand van 55 cm. De lichtintensiteit was ca. 95  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  en de lampen hadden een spectrum van rood/blauw/verrood. De verrode LEDs waren apart schakelbaar en de lichtintensiteit hiervan bedroeg 4  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . De verrode LEDs waren alleen de 1<sup>e</sup> 4 weken 1 uur per dag aangeschakeld na het beëindigen van de belichting met rood/blauw licht. De padbreedte was 1.60 m.



**Figuur 1** De verticale lampen hingen bij Reijm tussen de plantrijen met een onderlinge afstand van 55 cm.

Het ras in de 1<sup>e</sup> teelt was Proloog (Rijk Zwaan, plantdatum 28 december) en in de 2<sup>e</sup> teelt Lausanne (Rijk Zwaan, plantdatum medio juni). De plantdichtheid in de 1<sup>e</sup> teelt was in beide behandelingen 1.5 en deze is in februari verdubbeld naar 3 stengels/m<sup>2</sup>. Bij de belichte planten is in het begin een aantal keren setjes van 2 vruchten achter elkaar aangehouden. In de 2<sup>e</sup> teelt was de plantdichtheid in het onbelichte en belichte kasgedeelte resp. 2.5 en 3 planten/m<sup>2</sup>. Bij de belichte planten zijn geen extra vruchten aangehouden; evenals bij onbelicht is er steeds om en om gedund. De druppelaars in het belichte vak hadden een 20% hogere capaciteit. In zowel de 1<sup>e</sup> als 2<sup>e</sup> teelt heeft Reijm in proefvelden in het onbelichte en belichte kasgedeelte de productie bijgehouden. Daarnaast zijn er door de teler ook plantwaarnemingen verricht.

## 2.1.1 Metingen Reijm

### 2.1.1.1 Lichtonderschepping zonlicht

Met een Sunscan Canopy Analysis Systeem (Delta-T Ltd, UK) is in zowel het belichte proefvak (met de lampen uit) als in het onbelichte gedeelte de lichtonderschepping gemeten. Daarbij werd de lijnsensor met een lengte van 80 cm elke 50 cm tussen de kop van het gewas en de mat, dwars in de rij gestoken (250 – 0 cm boven de mat). Tegelijkertijd werd er een referentiemeting boven het gewas uitgevoerd om de relatieve lichtintensiteit te bepalen. Het verschil tussen deze gelijktijdige meting boven en in het gewas geeft de mate van lichtonderschepping aan. Per hoogte in het gewas zijn 4 metingen verricht in 3 herhalingen.

### 2.1.1.2 Verticale lichtverdeling LEDs

De verticale lichtverdeling van de LED belichting is gemeten door de lijnsensor van de Sunscan net als bij de lichtonderschepping van zonlicht dwars in de rij te steken, waarbij de LED lampen aan waren en er geen daglicht was. Er is steeds om de 50 cm gemeten, waarbij de sensor vanaf mathoogte (0 cm) tot de onderkant van de lamp (50 cm) naar boven was gekeerd. Vanaf de bovenkant van de lamp (ca. 150 cm) tot bovenkant planthoogte werd ook gemeten met de sensor naar beneden. Per hoogte in het gewas zijn steeds 4 metingen verricht in 3 herhalingen. Omdat de lijnsensor niet is gekalibreerd voor LED licht, zijn er metingen gedaan met een spectrometer naast de lijnsensor om een correctiefactor te bepalen. Alle data gemeten onder LED licht zijn daarmee gecorrigeerd.

### 2.1.1.3 Horizontale lichtverdeling LEDs

Bij deze metingen was het meetvlak van de lijnsensor naar de lampen toe gericht, en werd de lijnsensor parallel aan de goot gepositioneerd. De metingen vonden plaats op 10, 40 en 80 cm afstand van de LED-modules aan de bovenkant, in het midden en aan de onderkant van de modules. Per afstand en positie t.o.v. de modules werden 2 metingen gedaan in 4 herhalingen.



**Figuur 2** Het proefvak met de verticale lampen bij Reijm.

## 2.2 Gerja

De lichtmetingen bij Gerja zijn uitgevoerd bij het komkommerras Lausanne. Op 6 oktober had men het gewas voor het laatst had laten zakken en op 9 oktober was er gekopt. Er stond een vrij zwaar gewas. Bij Gerja werd de gehele kas belicht met LED-tussenbelichting, dus er was geen vergelijking mogelijk met een onbelicht gewas. Tussen de 2 gewasrijen hingen 2 strengen modules met LEDs (Philips) boven elkaar op een hoogte van resp. 100 en 150 cm boven de mat. De berekende lichtintensiteit was  $88 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . De padbreedte was 2 m.



**Figuur 3** Links: de tussenbelichting bij Gerja bestond uit 2 strengen LED-modules die 50 cm boven elkaar hingen. Rechts: De metingen met de Sunscan zijn op verschillende plaatsen en hoogtes uitgevoerd.

## 2.2.1 Metingen Gerja

### 2.2.1.1 Lichtonderschepping zonlicht

De lichtonderschepping is net als bij Reijm en Zn gemeten met de Sunscan. De meetstok met een lengte van 100 cm werd elke 50 cm tussen de kop van het gewas en de mat, dwars in de rij gestoken (300 – 0 cm t.o.v. mathoogte). Tegelijkertijd werd er een referentiemeting boven het gewas uitgevoerd om de relatieve lichtintensiteit te bepalen. Per hoogte in het gewas zijn 4 metingen verricht in 5 herhalingen.

### 2.2.1.2 Verticale lichtverdeling LEDs

Dit is gemeten door de line sensor van de Sunscan horizontaal te houden, dwars in de rij gestoken en met de lampen aan, zonder zonlicht. Er is steeds om de 50 cm gewashoogte gemeten. Op een gewashoogte van 0 t/m 100 cm werd de sensor naar boven gericht en bij een gewashoogte van 150 t/m 300 cm werd deze naar onderen gericht. Dit was resp. onder de 1<sup>e</sup> en boven de 2<sup>e</sup> module. Per hoogte in het gewas zijn 4 metingen verricht in 4 herhalingen.

Omdat de lijnsensor niet is gekalibreerd voor LED licht, zijn er metingen gedaan met een spectrometer naast de lijnsensor om een correctiefactor te bepalen. Deze correctiefactor is specifiek voor elk lamptype en ook hier toegepast op alle metingen bij LED-licht.

### 2.2.1.3 Horizontale lichtverdeling LEDs

De lijnsensor werd hierbij horizontaal met het meetvlak naar de lampen toe gericht, parallel aan de gewasrij. De metingen werden verricht respectievelijk 25 cm boven module 1, naast module 1, tussenin module 1 en 2, naast module 2 en 25 cm onder module 2. Dit was op een gewashoogte van resp. 75, 100, 125, 150 en 175 cm. De metingen vonden plaats op 10, 40 en 100 cm afstand van de LED-modules. De 100 cm afstand bevond zich dus in het midden van het pad. Per afstand is zowel in de linker als rechter rij van een pad in 3 herhalingen gemeten.

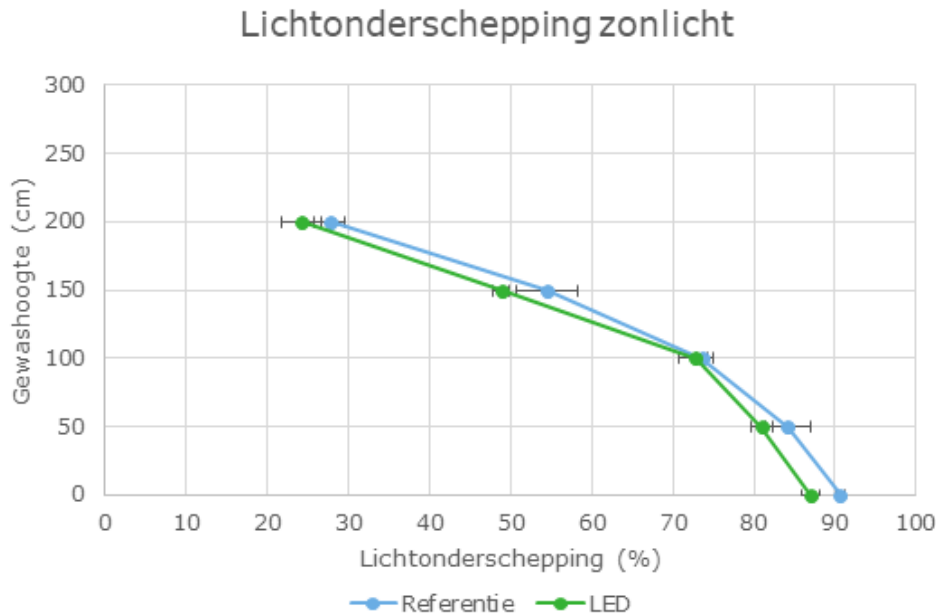


# 3 Resultaten

## 3.1 Reijm en Zn

### 3.1.1 Lichtonderschepping zonlicht

In Figuur 4 is de lichtonderschepping op verschillende gewashoogtes weergegeven.

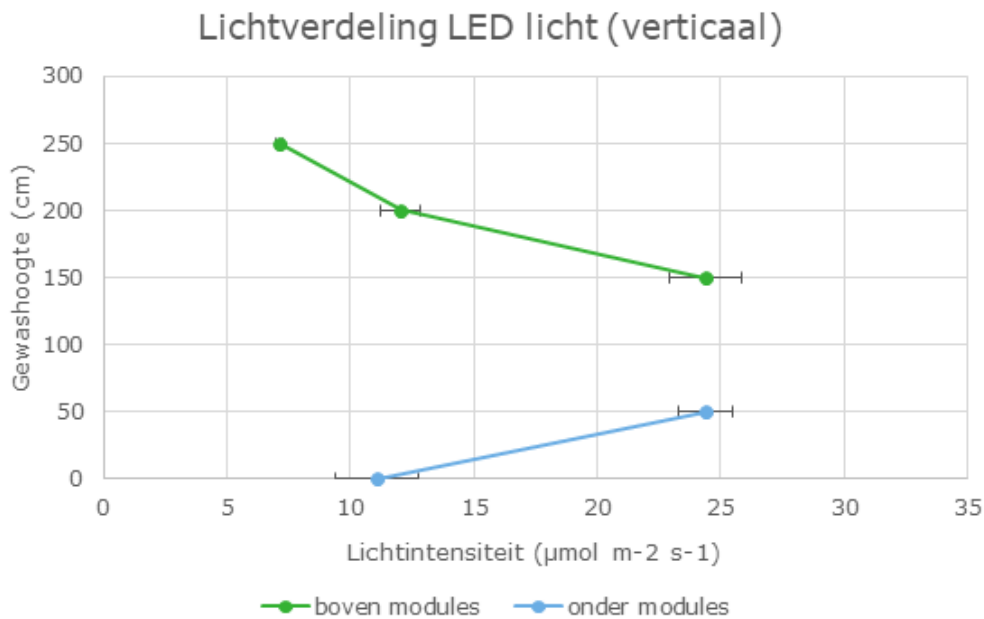


**Figuur 4** Het percentage lichtonderschepping van het gewas gemeten op verschillende hoogtes in het onbelichte (referentie) en het belichte (LED) kasgedeelte bij Reijm. Foutbalken geven de standaardfout aan.

In de referentie en het proefvak met LEDs werd in totaal respectievelijk 91 en 87% van het zonlicht onderschept. In het belichte gedeelte werd dus 4% minder zonlicht onderschept. De lichtonderschepping was in het hele gewas in beide behandelingen identiek, behalve in de onderste 50 cm gewas. Daar ontstond het verschil in lichtonderschepping, wat betrouwbaar was.

### 3.1.2 Verticale lichtverdeling LEDs

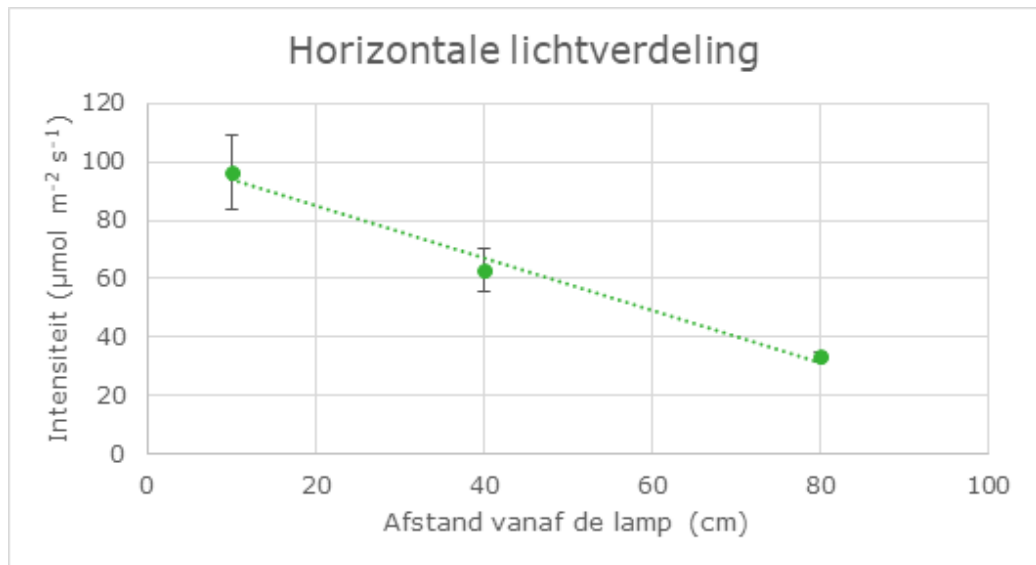
Bij de gegeven lichtintensiteit van de LEDs van  $95 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  werd er een verlies van 7% naar het kasdek waargenomen en een verlies van 12% naar de kasvloer. In totaal werd er dus 19% van het gegeven licht niet door het gewas onderschept (Figuur 5).



**Figuur 5** De gemeten verticale lichtverdeling onder en boven de verticale LED-modules bij Reijm.

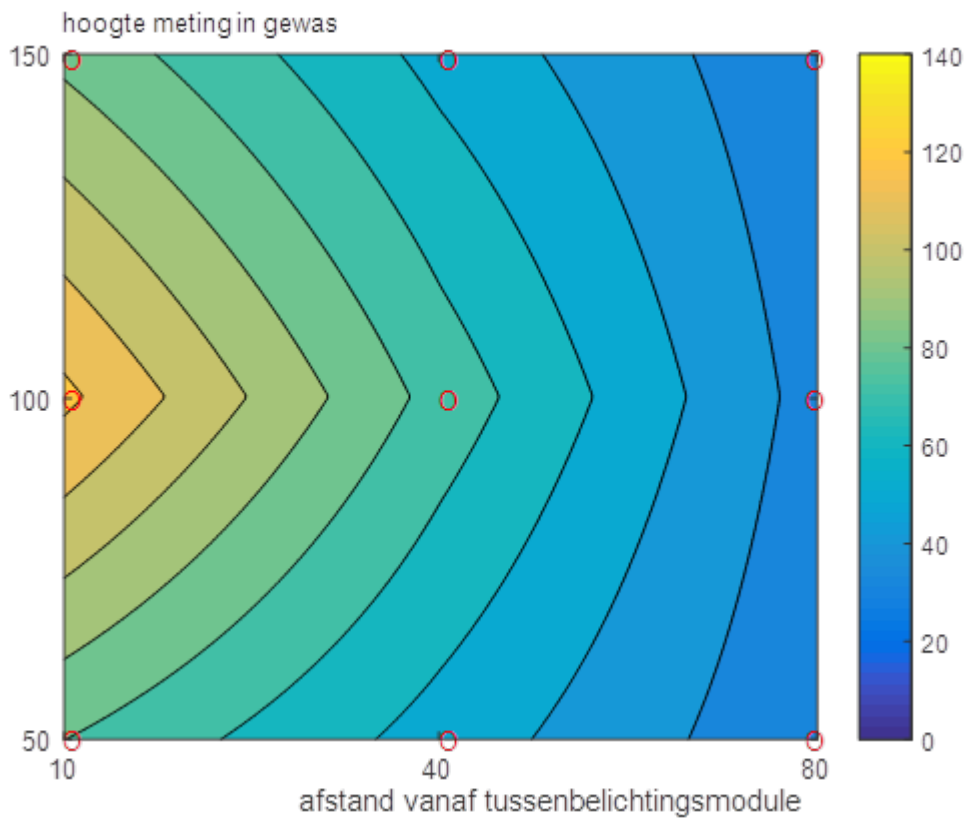
### 3.1.3 Horizontale lichtverdeling LEDs

In Figuur 6 en 7 zijn de resultaten van de lichtmetingen m.b.t. de horizontale lichtverdeling weergegeven.



**Figuur 6** Het lineaire verloop van de lichtintensiteit op verschillende afstanden van de LED-modules bij Reijm. De foutbalken geven de standaardfout aan van de lichtintensiteit gemeten op 3 posities ten opzichte van de lamp (bovenkant, midden en onderkant module).

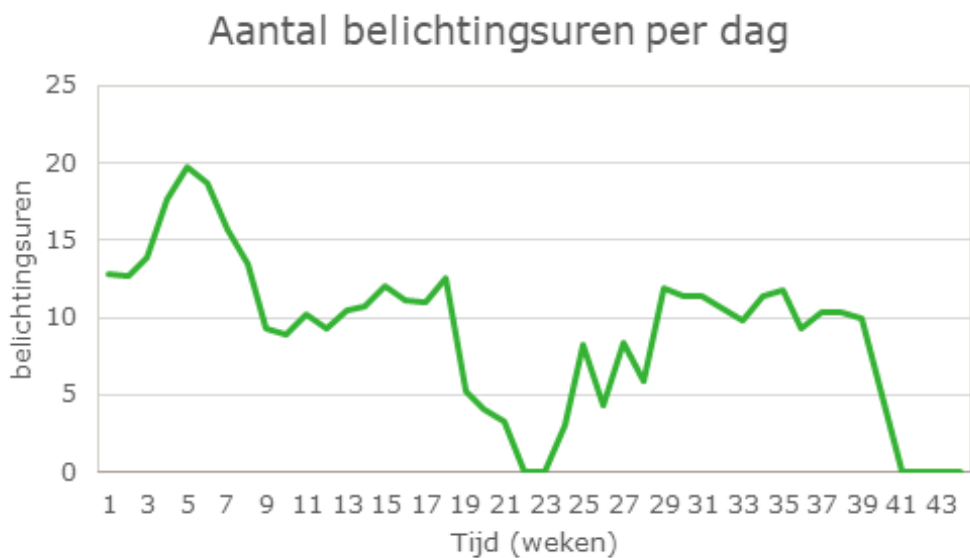
De lichtintensiteit op 10 cm afstand van de module was gemiddeld  $97 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , wat respectievelijk afnam naar  $63$  en  $33 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  bij de metingen in de gewasrij (40 cm) en in het midden van het pad (80 cm). De afname in intensiteit was vrijwel lineair. Dit duidt op een open gewas.



**Figuur 7** De horizontale lichtverdeling op verschillende gewashoogtes en afstanden van de verticale LED-modules bij Reijm. De meetpunten zijn weergegeven met rode rondjes. De verschillende kleuren corresponderen met een verschillende lichtintensiteit weergegeven in micromol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>.

### 3.1.4 Lichthoeveelheid en productie

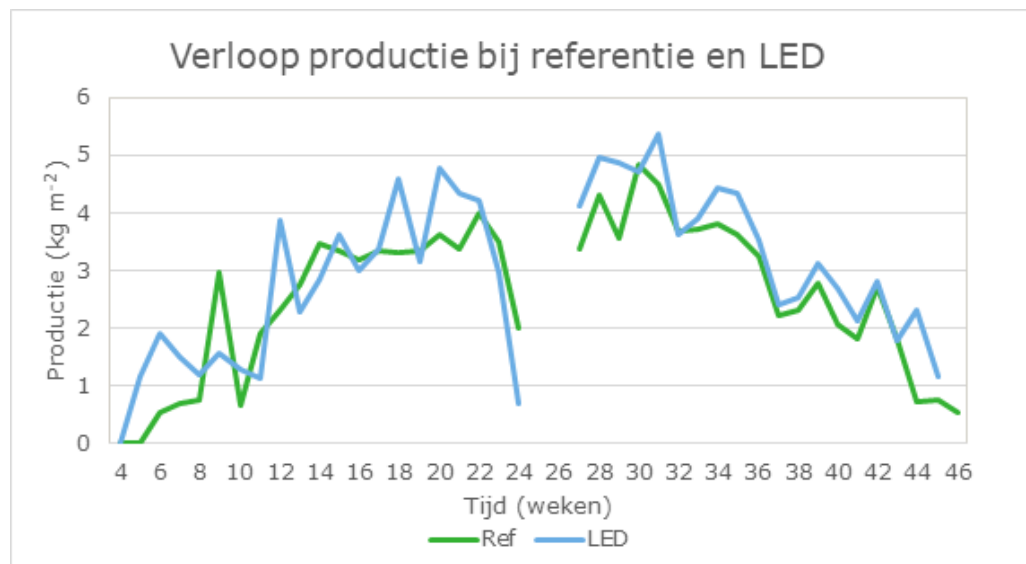
In Figuur 8 is het aantal belichtingsuren per dag weergegeven.



**Figuur 8** Het aantal uren belichting met de LED-tussenbelichting in de 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> teelt bij Reijm.

Mede door de lage instraling is er in week 4 t/m 7 relatief veel uren belicht. Toen het gewas erg schraal begon te worden is daarna het aantal belichtingsuren verminderd tot gemiddeld ca. 10 uur per dag. Van week 19 t/m 28 (zomerperiode) werd de belichting bij de hogere instraling van de zon eerder uitgeschakeld. In deze periode vond ook de teeltwisseling plaats. Vanaf week 41 is er niet meer belicht omdat de planten gekopt waren.

In Figuur 9 is de wekelijkse kiloproductie weergegeven bij de referentie en met LED-tussenbelichting.



**Figuur 9** Het productieverloop in kg m<sup>-2</sup> van komkommers bij de referentie (onbelicht) en met LED-tussenbelichting bij Reijm.

In de Figuur 9 is te zien dat in beide teelten de productie van komkommers in het belichte waarnemingsveld meestal hoger is dan in het onbelichte veldje.

Op basis van verstrekte klimaat- en productiegegevens door de teler zijn berekeningen uitgevoerd van de hoeveelheid PAR-licht van de zon en de tussenbelichting. Dit is gerelateerd aan de productie. In Tabel 1 zijn een aantal gegevens met betrekking tot de totale PAR-lichtsom en de relatieve productietoename in de 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> teelt weergegeven.

Tabel 1

Aantal belichtingsuren (uur), PAR-lichtsom van zon en LEDs (mol), % LED-licht en procentuele toename van de productie in het LED proefveld ten opzichte van de referentie per teelt en totaal.

	1 <sup>e</sup> teelt	2 <sup>e</sup> teelt	Totaal
Uren belicht (uur)	1699	1071	2770
PAR-som zon (mol/m <sup>2</sup> )	3042	3208	6251
PAR-som LEDs (mol/m <sup>2</sup> )	581	366	947
Totaal PAR-lichtsom (mol/m <sup>2</sup> )	3624	3574	7198
Fractie LED-licht van totale lichtsom (%)	16%	10%	13%
Fractie LED-licht toegevoegd aan zonlicht (%)	19%	11%	15%
Procentuele toename in kg-productie t.o.v. referentie (%)	9%	15%	12%

Ondanks 19% meer licht in de 1<sup>e</sup> teelt als gevolg van de tussenbelichting, was de productietoename 'slechts' 9%. In de 2<sup>e</sup> teelt heeft 11% meer PAR-licht geresulteerd in 15% meer productie. Dat betekent dat de productietoename door de tussenbelichting in de 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> teelt bij 1% meer licht resp. 0.5 en 1.7% is geweest. Voor een mogelijke verklaring wordt verwezen naar Hoofdstuk 4. Gemiddeld over het hele jaar kwam dit uit op 0.8% per 1% meer licht van de tussenbelichting.



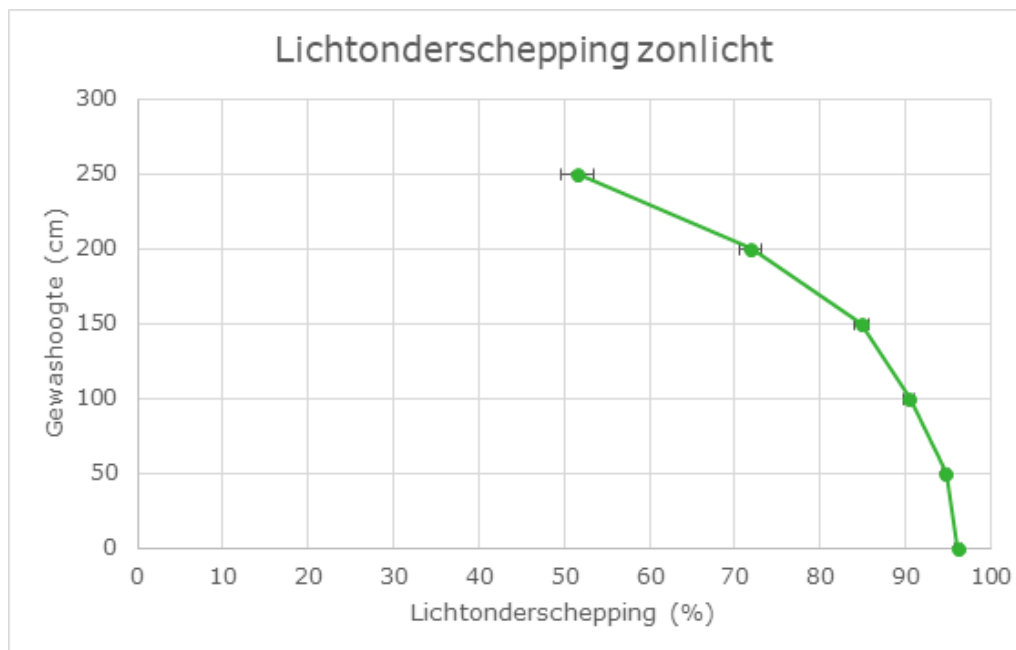
De berekende lichtbenuttingsefficiëntie komt bij onbelicht en belicht uit op resp. 16.3 en 16.7 g/mol PAR, ofwel resp. 60 en 61 mol PAR-licht per kg komkommers. De lichtbenuttingsefficiëntie was met belichting in de 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> teelt resp. 14.5 en 18.2 g/mol PAR-licht.

In de 2<sup>e</sup> teelt was de gemiddelde uitgroeiduur van de belichte komkommers ongeveer 1.5 dag korter dan bij onbelicht, namelijk resp. 14.5 en 16.1 dagen. In lengtegroei en bladaanmaak waren de verschillen gering.

## 3.2 Gerja

### 3.2.1 Lichtonderschepping zonlicht

In figuur 10 is de lichtonderschepping van het zonlicht op verschillende gewashoogtes weergegeven.



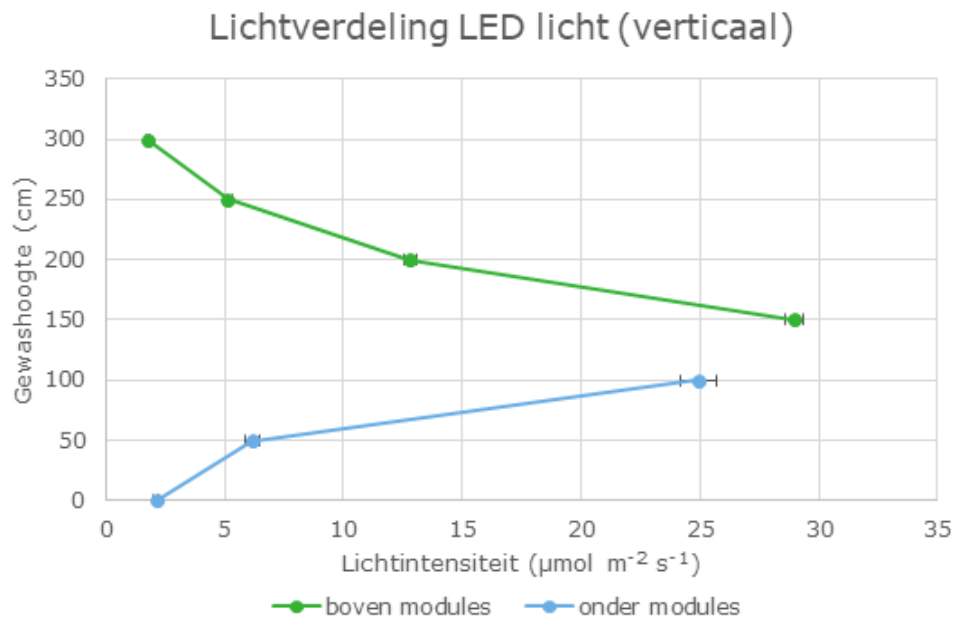
**Figuur 10** Het percentage lichtonderschepping gemeten op verschillende hoogtes in het met horizontale LEDs belichte gewas bij Gerja.

Het gewas onderschepte 96% van het zonlicht, wat een hoog percentage is. Al in de bovenste 50 cm werd al ruim de helft van het licht onderschept. Daarnaast was het gewas hoog (50 cm hoger dan bij Reijm) omdat het al 10 dagen niet was gezakt. De onderste gewaslaag van 50 cm onderschepte daardoor zeer weinig zonlicht (1.4%).

### 3.2.2 Verticale lichtverdeling LEDs

In Figuur 11 wordt de lichtverdeling onder en boven de modules weergegeven.

Bij de gegeven output van  $88 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  werd er een verlies van 2% naar het kasdek waargenomen en een verlies van 2.4% naar de kasvloer. In totaal werd 4.4% van het gegeven licht niet door het gewas onderschept. Er ging dus weinig licht verloren. De modules hingen in dit gewas op een goede hoogte (100 – 150 cm boven de mat), aangezien er geen verschil is in lichtverlies tussen de onder- en bovenkant van het gewas.



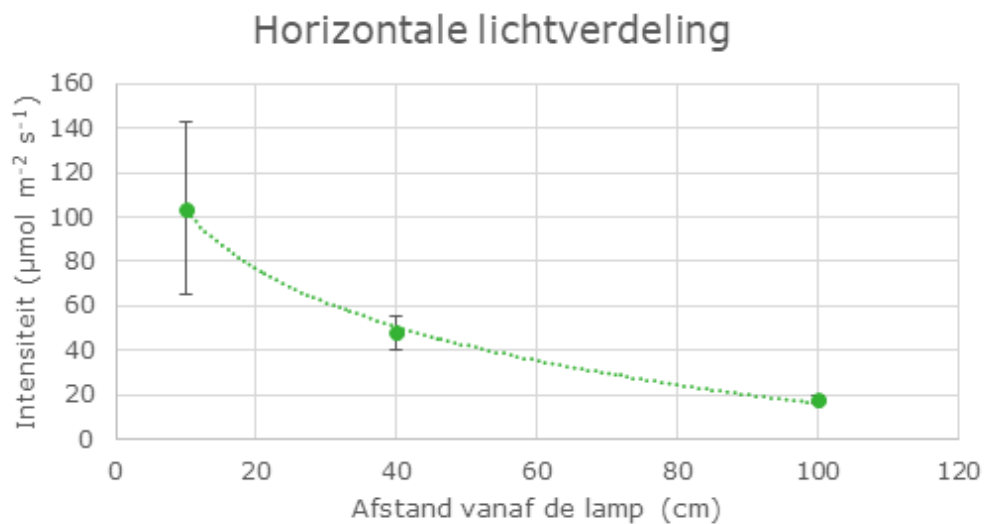
**Figuur 11** De gemeten lichtverdeling onder en boven resp. de onderste (100 cm boven goot) en bovenste (150 cm boven goot) LED-modules bij Gerja.

### 3.2.3 Horizontale lichtverdeling LEDs

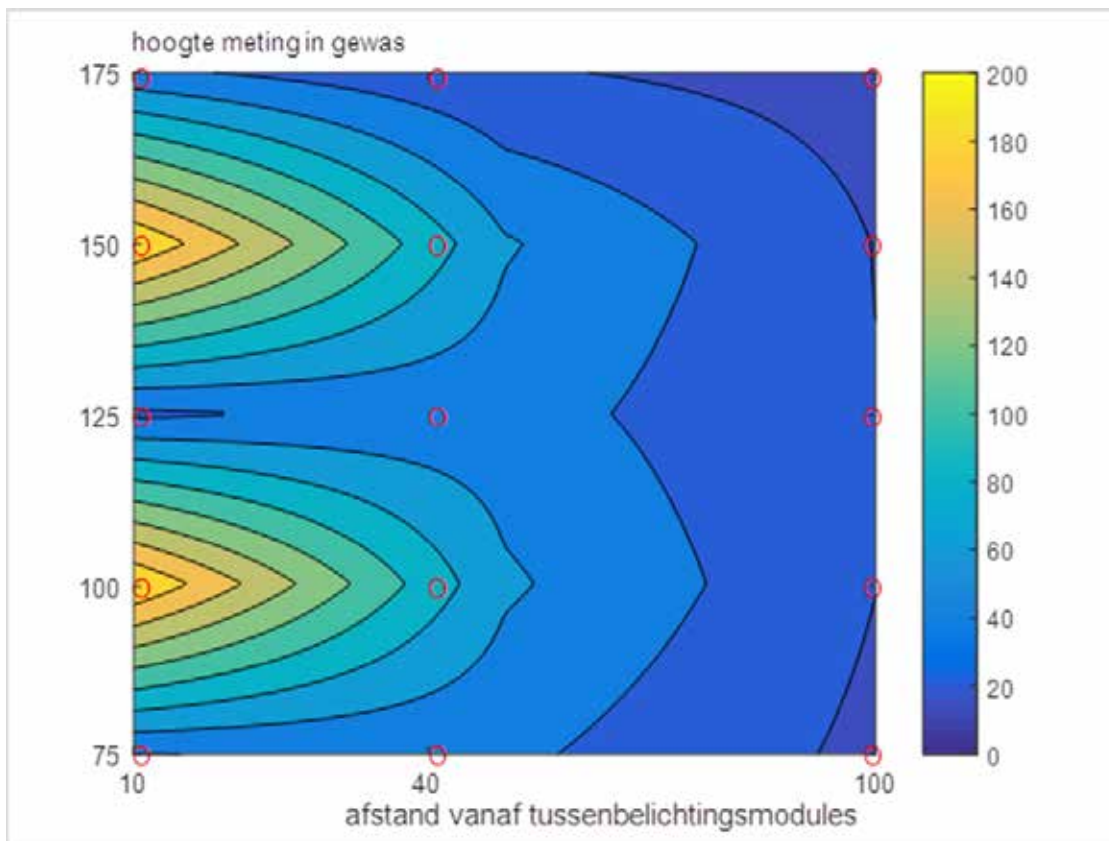
In Figuur 12 en 13 wordt het verloop van de horizontale lichtintensiteit op verschillende afstanden van de LED-modules weergegeven.

De gemeten lichtintensiteit op 10 cm afstand was erg variabel, omdat vanwege de horizontale oriëntatie van de modules maar op 2 van de 5 meetpunten direct naast de module is gemeten (zie ook Figuur 13).

De afname in intensiteit was niet lineair met de afstand vanaf de lampen, wat duidt op een vol gewas.



**Figuur 12** Het verloop van de lichtintensiteit op verschillende afstanden van de LED-modules. De foutbalken geven de standaardfout aan van de lichtintensiteit gemeten op 5 posities ten opzichte van de lamp (zie beschrijving in 2.2.1.3).



**Figuur 13** De horizontale lichtverdeling op verschillende gewashoogtes en afstanden van de 2 horizontale LED-modules bij Gerja. De rode cirkels geven de meetpunten aan. De verschillende kleuren corresponderen met een verschillende lichtintensiteit weergegeven in  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

In bovenstaande figuur is duidelijk te zien op welke hoogte de 2 LED-modules hingen. De lichtintensiteit nam duidelijk af naarmate de metingen verder van de lampen waren uitgevoerd. Het midden van het pad was 1 m van de LEDs verwijderd. Ook in deze figuur is te zien dat het volle gewas veel licht opving.



## 4 Discussie

Als tussenbelichting wordt toegepast blijkt de hoeveelheid komkommengewas van grote invloed op het lichtverlies naar het dek en de vloer. Bij Reijm, waar een vrij open gewas stond in combinatie met verticale LED-modules, was het lichtverlies op het moment van meten in totaal 19%. Bij Gerja met een vol en hoog gewas met 2 horizontale LED-strengen als tussenbelichting was dit 4%. Omdat de gewasverschillen tussen beide bedrijven ten tijde van de metingen relatief groot waren, is het lastig om betrouwbare uitspraken te doen over de precieze effecten van beide systemen van tussenbelichting op het lichtverlies. De systemen worden gekarakteriseerd door de oriëntatie van de LED-modules. De verticale modules bij Reijm belichten gelijkmatiger over een grotere gewaslengte dan de horizontale modules bij Gerja. Hierdoor wordt de positie van de modules een belangrijkere factor dan bij de horizontale modules, omdat bij een te hoge of te lage positie eerder licht verloren kan gaan.

Lichtmetingen zijn een belangrijke tool om te weten te komen hoe goed het gewas het zon- en LED licht onderschept en hoe de verdeling verloopt. Vooral goede onderschepping van LED licht is belangrijk vanuit energetisch oogpunt. Het meetinstrument om lichtonderschepping te bepalen is niet gekalibreerd voor de variërende LED lichtspectra. Daarom zal er altijd een vergelijkende meting met een spectrometer moeten plaatsvinden om te kunnen corrigeren voor het spectrum.

De gebruikte meetmethode geeft een goede indicatie hoe het gewas en de positie van de LED-tussenbelichting, de lichtonderschepping beïnvloeden. Bij toepassing van nieuwe belichtingssystemen is het dus belangrijk om na te gaan wat de effecten zijn van de hoogte van de modules, de hoeveelheid blad boven en onder de modules en de stengeldichtheid op de lichtonderschepping.

Ook wat betreft zonlicht waren er grote verschillen tussen de bedrijven in lichtonderschepping door het gewas. In de onbelichte komkommers bij Reijm was de lichtonderschepping 91%, wat betrouwbaar hoger was dan in het belichte gedeelte. In de belichte komkommers was dit bij Reijm en Gerja resp. 87 en 96%. Deze bevindingen kunnen grotendeels verklaard worden door de gewashoogte en -dichtheid. Zoals hierboven al is vermeld stond er, o.a. als gevolg van spint- en virusaantasting, op het moment van meten bij Reijm een behoorlijk open gewas. Doordat de belichtingmodules ook warmte inbrengen, kan dit ook leiden tot een generatiever gewas met een kleiner bladoppervlak. Dit speelt met name een rol als het belichtingsvak onderdeel is van een onbelichte afdeling waardoor een keuze gemaakt moet worden waarop gestuurd wordt. Bij Gerja stond het komkommengewas juist erg vol en was het 50 cm hoger, mede door het niet laten zakken van het gewas. Bij Gerja onderschepte de onderste gewaslaag hierdoor maar 1.4% van het licht, wat erg weinig is. De vraag is of deze bladeren niet beter verwijderd hadden kunnen worden, omdat de bijdrage van deze bladeren aan de netto-assimilatie zeer gering of zelfs negatief kan zijn.

Als het gewas open is zoals bij Reijm, is het voor de lichtonderschepping van zon- en lamplicht aan te raden om de planten minder ver te laten zakken, en indien mogelijk, minder blad weg te halen aan de onderkant. Wellicht hingen de modules op het moment van meten iets te laag (50 – 150 cm boven de mat), omdat er meer licht aan de onderkant verloren ging. Naar het kasdek en de kasvloer was dit resp. 7 en 12% van het totaal aangeboden LED licht.

Bij Reijm is de productietoename door de tussenbelichting bij 1% meer licht in de 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> teelt resp. 0.5 en 1.7% geweest. Gemiddeld over het hele jaar kwam de meerproductie uit op 0.8% per 1% meer licht afkomstig van de tussenbelichting, wat een goed resultaat is.

In de 2<sup>e</sup> teelt is het gewas efficiënter met het extra licht omgegaan dan in de 1<sup>e</sup> teelt. In het begin van de 1<sup>e</sup> teelt zijn door de teler in het belichte gedeelte bewust extra vruchten aangehouden. Achteraf gezien heeft dit teveel van de plant gevergd, waardoor de plantkop zwak werd en er later een terugval in productie ontstond (zie Figuur 9). Toen de plant te zwak dreigde te worden, is overgeschakeld op om en om dunnen. In de 2<sup>e</sup> teelt was de plantdichtheid 20% hoger (3 i.p.v. 2.5 plant m<sup>-2</sup>) en er is steeds om en om gedund. De werkwijze bij de tussenbelichting in de 2<sup>e</sup> teelt blijkt uit productieoogpunt beter te voldoen, maar het betekent wel wat extra arbeid. Doordat de plantdichtheid en gewasmanagement verschilden van de onbelichte referentie, met name de 2<sup>e</sup> teelt, kan de meerproductie niet alleen verklaard worden door de tussenbelichting. Wellicht heeft ook betere benutting van zonlicht door de hogere stengeldichtheid een rol gespeeld. Verdere teeltoptimalisering door o.a. aanpassing van de stengeldichtheid en vruchtsnoei kan leiden tot efficiëntere lichtbenutting.



## 5 Conclusies

- Als gevolg van verschillen in gewasdichtheid en -lengte ontstonden er verschillen in lichtonderschepping van het zonlicht. Op de twee bedrijven was dit resp. 87 en 96%.
- Op het bedrijf met de verticale en horizontale tussenbelichting met LEDs was de lichtuitstoot naar het kasdek en de kasvloer resp. 19 en 4.4%. Dit had grotendeels te maken met de openheid van het gewas en daarnaast nog met de positie van de armaturen.
- De hoeveelheid PAR-licht midden in het pad was resp. 34 en 17%. Dit licht was echter niet voor het gewas verloren, omdat het kon worden opgevangen door het gewas aan de andere kant van het pad.
- Op het bedrijf met verticale tussenbelichting betekende 1% meer licht een meerproductie van 0.8%, gemiddeld over beide teelten.
- De lichtbenuttingsefficiëntie was in de 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> teelt met belichting resp. 14.5 en 18.2 g/mol PAR-licht. Hoogstwaarschijnlijk als gevolg van een hogere plantdichtheid in de 2<sup>e</sup> teelt ging het gewas qua productie efficiënter met het zon- en LED-licht om dan bij het aanhouden van extra vruchten in het begin van de eerste teelt.
- Omdat de gewasverschillen tussen beide bedrijven erg groot waren, is het niet goed mogelijk om een uitspraak te doen over de beste positionering van de LEDs, horizontaal of verticaal. In ieder geval is het belangrijk dat er zo weinig mogelijk licht naar boven en naar onderen wordt uitgestoten.
- Metingen aan lichtonderschepping van zon- en lamplicht kunnen een cruciale bijdrage leveren aan optimalisatie van nieuwe en bestaande belichtingssystemen.











To explore  
the potential  
of nature to  
improve the  
quality of life



Wageningen University & Research,  
BU Glastuinbouw  
Postbus 20  
2665 ZG Bleiswijk  
Violierenweg 1  
2665 MV Bleiswijk  
T +31 (0)317 48 56 06  
F +31 (0) 10 522 51 93  
[www.wageningenur.nl/glastuinbouw](http://www.wageningenur.nl/glastuinbouw)

Glastuinbouw Rapport WPR-763

Wageningen University & Research, BU Glastuinbouw initieert en stimuleert de ontwikkeling van innovaties gericht op een duurzame glastuinbouw en de kwaliteit van leven. Dat doen wij door toepassingsgericht onderzoek, samen met partners uit de glastuinbouw, toeleverende industrie, veredeling, wetenschap en de overheid.

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen WUR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en WUR hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort WUR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.