



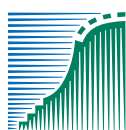
WAGENINGEN UR

For quality of life

Doen LEDs al wat ze beloven op praktijkschaal?

Quick scan

Tom Dueck & Sander Pot



landbouw, natuur en
voedselkwaliteit

Productschap  Tuinbouw
Voor een bloeiende zaak

Rapport 221



Doen LEDs al wat ze beloven op praktijkschaal?

Quick scan

Tom Dueck¹ & Sander Pot²

¹ Wageningen UR Glastuinbouw

² Plant Dynamics

© 2008 Wageningen, Wageningen UR Glastuinbouw

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

Wageningen UR Glastuinbouw

Adres : Bornsesteeg 65, 6708 PD Wageningen
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen
Tel. : 0317 – 48 57 01
Fax : 0317 – 42 31 10
E-mail : glastuinbouw@wur.nl
Internet : www.glastuinbouw.wur.nl

Plant Dynamics BV

Adres : Englaan 8, 6703 EW Wageningen
Tel. : 0317 – 48 23 48 / 45 22 41
Fax : 0317 – 48 55 72
E-mail : mail@plant-dynamics.nl
Internet : www.plant-dynamics.nl

Inhoudsopgave

	pagina
Voorwoord	1
Samenvatting	3
1 Inleiding	5
2 Materialen & Methoden	7
2.1 Spectrale samenstelling van het licht	7
2.2 Metingen van de lichtintensiteit	7
2.3 Lichtonderschepping	7
2.4 Fotosynthesecapaciteit	8
3 Resultaten & Discussie	9
3.1 Spectrale samenstelling van het licht	9
3.2 Gemeten lichtintensiteit boven het gewas	10
3.3 Lichtonderschepping	10
3.4 Fotosynthesecapaciteit	11
4 Conclusies	15
Bijlage I. Lichtonderschepping in het gewas	1 p.
Bijlage II. Gemiddelde electronentransport van een volgroeide topblad (n-3)	1 p.
Bijlage III. Gemiddelde fotosynthese en electronentransport van een oud blad (n-3)	1 p.

Voorwoord

Op grote schaal wordt er belicht in de glastuinbouw om de productie en kwaliteit te verbeteren. Belichting m.b.v. LED-technologie staat sterk in de belangstelling vanwege de mogelijke voordelen ervan, waaronder een veel lager energieverbruik en betere stuurbaarheid van de teelt. Inmiddels is een aantal ondernemers in de tuinbouw gestart met verschillende typen LEDs als groeilicht, vooral gedreven door hoge verwachtingen van de lichtkleur op de groei en hoge lichtrendementen. Onderkend wordt dat er een groot tekort aan kennis bestaat m.b.t. de effecten van LED-belichting op plantengroei en de wijze waarop dit te optimaliseren is.

In het kader van het energieonderzoek is in opdracht van het Ministerie van LNV en het Productschap Tuinbouw (PT projectnummer 13234) door Wageningen UR Glastuinbouw en Plant Dynamics onderzoek gedaan naar effecten van LED-belichting op tomaat bij Van der Kaaij in Tinte. De resultaten van deze quick scan worden in dit rapport weergegeven.

Tom Dueck
Wageningen UR Glastuinbouw
november 2008

Samenvatting

Met een aantal gerichte metingen op praktijkschaal is een quick scan gemaakt naar de belangrijkste prestaties van het LEDs-systeem in de praktijk. Het LED-belichtingssysteem is ontwikkeld om, in vergelijking met SON-T belichting, gelijkwaardige mate van fotosynthese te realiseren. Daar is deze quick scan studie vooral op gefocust.

Met gerichte metingen is in de praktijk werd onderzocht of LEDs als groeilicht voldoende lichtintensiteit (PAR) en kwaliteit (lichtkleur) leveren om kasgewassen goed te laten groeien en produceren. De metingen werden uitgevoerd aan tomaat bij Redstar-Trading van v/d Kaaij in Tinte.

De lichtintensiteit onder LED-belichting bedroeg ca. $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, een factor 5 lager dan die van SON-T. Er was geen verschil in lichtintensiteit tussen de LED-behandelingen. Ook de lichtdoordringing in de verschillende gewaslagen was lager dan dat van SON-T belichting, eveneens een factor 5 lager.

De fotosynthesecapaciteit, gemeten bij hoog, verzadigd licht vlak na het starten van de LED-belichting (wk 4) was gelijk voor de verschillende LED-behandelingen, en gelijk aan die van een onbelichte gewas. De fotosynthesecapaciteit 14 dagen na het starten van de SON-T-belichting (ook wk 4) was beduidend hoger dan die van de LED-belichting. Twee weken later (wk 6) was de fotosynthesecapaciteit hoger onder LED-belichting t.o.v. onbelicht. Dit geldt ook bij lager lichtintensiteiten, waarschijnlijk doordat de gemeten bladeren ontwikkeld zijn onder dit niveau van (LED)belichting.

Vastgesteld wordt dat de fotosynthesecapaciteit van bladeren bij LED-belichting beduidend lager is dan die van SON-T belichting, en dat de fotosynthesecapaciteit gelijke tred houdt met de lichtintensiteit waaronder de bladeren groeien c.q. zich ontwikkelen.

1 Inleiding

Er wordt in de glastuinbouw op grote schaal belicht om productie en kwaliteit te verbeteren. Momenteel worden uitsluitend hoge druk natrium (SON-T)lampen gebruikt, die gepaard gaan met hoge energiekosten. Belichting m.b.v. LED-technologie staat sterk in de belangstelling. Er worden belangrijke voordelen verwacht, waaronder een veel lager energieverbruik en betere stuurbaarheid van de teelt. In de technisch-economische analyses (2004; door het KEMA in opdracht van PT en LNV) werd economisch rendabele introductie van LEDs als groeilicht pas tussen 2010-2015 voorspeld. Echter, groepen ondernemers in de tuinbouw starten al met verschillende typen LEDs als groeilicht op experimentele basis, vooral gedreven door hoge verwachtingen van de effecten van lichtkleur op de groei, en hoge lichtrendementen tot 4.4 $\mu\text{mol}/\text{sec}/\text{Watt}$ van LED-lampen welke worden opgegeven door aanbieders van LED-armaturen. Het is voorlopig onduidelijk waarop deze claims berusten en of ze standhouden in de praktijk. Daarnaast wordt er breed in de sector aangegeven dat er een groot tekort is aan kennis m.b.t. de effecten van LED-belichting op plantengroei en de wijze waarop dit te optimaliseren is.

In dit onderzoek zal er met gerichte metingen op praktijkschaal een quick scan gemaakt worden naar de belangrijkste kenmerken en prestaties van het LEDs-systeem dat bij het bedrijf van v/d Kaaij is geïnstalleerd. Het LED-belichtingssysteem is ontwikkeld om, in vergelijking met SON-T belichting, gelijkwaardige mate van fotosynthese te realiseren. Daar is deze quick scan studie vooral op gefocust. Het gaat om het fotosynthetische vermogen van de jongere bladeren bovenin het gewas en de wat oudere bladeren dieper in het gewas.

Met gerichte metingen in de praktijk wordt onderzocht of LEDs als groeilicht voldoende lichtintensiteit (PAR) en kwaliteit (lichtkleur) leveren om kasgewassen goed te laten groeien en produceren. De nadruk in deze studie ligt op de fotosynthese response van individuele bladeren en de verdeling van het aangeboden kunstlicht door het gewas. De metingen worden uitgevoerd bij tomaat bij Redstar-Trading van v/d Kaaij in Tinte. Gefocust wordt op de groei en productie enerzijds, maar ook om het financiële rendement anderzijds. Daarmee wordt bedoeld dat de productie lager mag zijn, mits de energiekosten zoveel lager zijn dat het winstgevend wordt. Beoogd wordt om verschillen tussen de effecten van verschillende combinaties van lichtkleur op fotosynthese vast te stellen in de betreffende gewassen. Deze kennis is nodig om de toekomstige inzet van LEDs als groeilicht op bedrijven te optimaliseren.

Er wordt niet naar gewasontwikkeling, groei en productie gekeken omdat dat een langere tijdsduur vereist dan in de quick scan wordt voorzien.

Deze metingen aan lichtonderschepping van LED-belichting zijn nog nooit gedaan in de praktijk en zullen worden vergeleken met het patroon van lichtonderschepping bij SON-T belichting.

2 Materialen & Methoden

Het project beoogt vergelijkende metingen aan LEDs en SON-T belichting bij tomaat in de praktijk uit te voeren. Daarbij worden metingen gedaan aan één gewas onder invloed van 3 combinaties van lichtkleuren in vergelijking met SON-T. In alle gevallen bestaat de samenstelling van de LED belichting grotendeels uit rode LEDs met een aandeel blauwe LEDs.

Op het bedrijf wordt met 3 samenstellingen van LED belichting geëxperimenteerd (combinaties van rode en blauwe LEDs). De metingen worden in deze kascompartimenten en een compartiment met SON-T belichting uitgevoerd, dus 4 behandelingen in totaal, t.w.:

1. controle: SON-T GreenPower
2. LEDs: rood met 3.3% blauw
3. LEDs: rood met 7% blauw
4. LEDs: rood met 13% blauw
5. LEDs: combi met 6% blauw

De metingen zijn uitgevoerd in twee kassen met tomaat, ras Sunstream. De teelt waarbij de LEDs zijn opgehangen werd gepland op 15 december, 2007. De LEDs-belichting ging branden op 19 januari, 2008 (week 3). De eerste bloei vond plaats op 28 december en de derde tros bloeide 21 januari, 2008. De eerste trossen zijn op 10 tomaten gesnoeid.

De teelt met SON-T belichting werd later, op 8 januari, 2008 gepland en de belichting is gelijk in gebruik genomen.

2.1 Spectrale samenstelling van het licht

De samenstellingen van elk type belichting is bepaald d.m.v. een spectrale meting. De meting is uitgevoerd boven het gewas, met vrije 'uitkijk' naar de desbetreffende lichtbron. Als meetinstrument is gebruikt een spectro-radiometer van Ocean Optics, model USB2000. De afstand tussen de meter en de lichtbron is bij de LED belichting circa 2 meter en bij de SON-T belichting 3 meter.

2.2 Metingen van de lichtintensiteit

Vanwege het grote verschil in spectrale samenstelling van de belichting, is de lichtintensiteit in het PAR gebied (400-700 nm.) gemeten met verschillende sensoren, een Licor 190 Quantum sensor en een Ocean Optics USB2000 spectro-radiometer. Om lichtbronnen met smalle bandbreedtes (monochromatisch licht) goed te kunnen beoordelen op lichtoutput is het gebruik van een spectro-radiometer de meest nauwkeurige methode. Andere sensoren maken gebruik van filters die het gebied tussen 400 en 700 nm. zo goed mogelijk integreren. Afhankelijk van welke filters worden gebruikt en welk type lichtbron wordt gemeten, kunnen bij deze meters aanzienlijke fouten optreden in de gemeten lichtoutput. De Licor sensor kwam bij alle lichtbehandelingen zeer goed overeen met de spectro-radiometer.

2.3 Lichtonderschepping

De lichtmetingen werden bij uitsluitend lamplicht (vóór zonop) uitgevoerd om het aandeel daglicht uit te sluiten. Dit geeft de hoeveelheid lamplicht aan die in de verschillende bladlagen doordringt in de tijd.

Lichtdoordringing werd gemeten met behulp van Sunscan Quantum line sensor met PAR sensoren aan de bovenzijde. De line sensor had een lengte van de halve rijafstand (75 cm) die dwars in de rij werd gestoken. Tegelijkertijd

werd er een referentiemeting uitgevoerd boven het gewas. Op deze manier is er op verschillende hoogtes in het gewas de hoeveelheid licht gemeten en is de lichtdoordringing in het gewas uitgerekend.

2.4 Fotosynthesecapaciteit

In de periode van 21 januari t/m 23 januari 2008 (week 4) is de fotosynthesesnelheid (CO₂ opname) en het elektronentransport (capaciteit die behaald kan worden) gemeten in afhankelijkheid van licht. De metingen zijn uitgevoerd onder gelijke lichtkwaliteit als de LED behandelingen. De SON-T en onbelichte bladeren zijn gemeten bij 10% blauw en 90% rood. De fotosynthesecapaciteit werd gemeten met een draagbare fotosynthesemeter (Licor 6400). Bij alle behandelingen is steeds een jong volgroeid blad (ca. 40 cm onder de kop) gemeten. Dit is een bijna volgroeid blad, dat niet beschaduwd wordt door bovenliggende bladeren. In een aantal gevallen is ter vergelijking een ouder blad genomen (4^e blad van onderen).

Ruim twee weken later in de periode 8-12 februari (week 6) zijn herhalingsmetingen uitgevoerd aan de LEDs (13% blauw) behandeling en onbelichte planten. Deze metingen zijn uitsluitend uitgevoerd aan jong volgroeide bladeren (40 cm onder de kop).

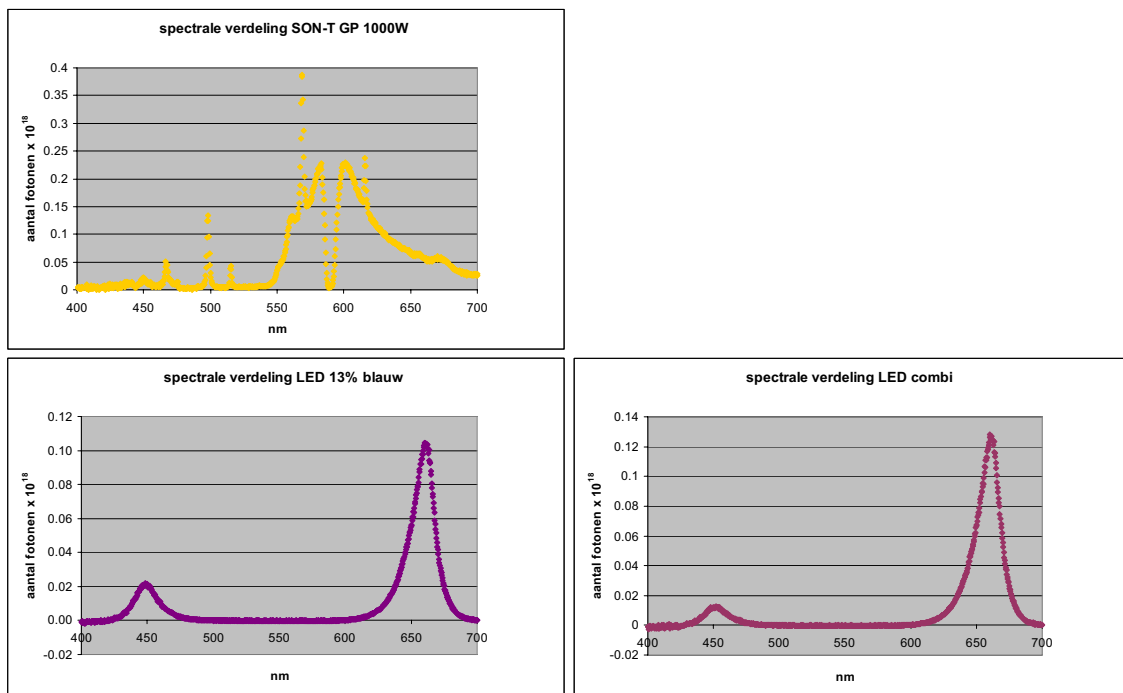
De fotosynthesecapaciteit werd gemeten middels lichtresponscurven, waarbij de netto fotosynthese is gemeten bij 8 verschillende lichtniveaus in de bladkamer (0-50-100-200-400-600-800-1000 $\mu\text{mol PAR m}^{-2} \text{s}^{-1}$) en bij 700 ppm CO₂ in de bladkamer.

3 Resultaten & Discussie

De licht metingen (samenstelling, intensiteit, lichtonderschepping) en fotosynthesemetingen zijn uitgevoerd in week 4, met een aantal herhalingen van de fotosynthesemetingen in week 6.

3.1 Spectrale samenstelling van het licht

In week 4 is de spectrale samenstelling van SON-T, LEDs met 13% blauw en combi-LEDs gemeten.



Figuur 1. De spectrale samenstelling tussen 400-700 nm. van SON-T (boven), en van de LED-belichting met 13% blauw (linksonder) en combi-LEDs met 6% blauw (rechtsonder).

De spectrale samenstelling van SON-T 1000W volgt het te verwachten beeld, met een maximum aantal fotonen tussen 550 en 650 nm. De samenstelling van LEDs (13% blauw) geeft een strakker beeld aan: een piek blauw bij 450 nm. en een piek nabij 660 nm. Bij beide LED behandelingen is het beeld van de blauwe en rode piek hetzelfde. Alleen de hoogte van de blauwe piek verschilt, omdat er twee keer zoveel blauwe LEDs ingezet zijn bij de 13% blauwlicht behandeling.

Tabel 1. *Gemeten aandeel (%) blauw licht in de behandelingen met LEDs en SON-T.*

Behandeling	Aandeel blauwlicht (%) (beoogd)	Aandeel blauwlicht (%) (gemeten)
Led 3.3%	3	3.3
Led 7%	6	7.0
Led 13%	13	13.0
Led combi	3	6.0
SON-T 1000 W GP		5.0

De metingen komen goed overeen met de opgegeven waarden. Het aandeel blauw in de combi-LED is wel hoger dan oorspronkelijk werd verondersteld (6% versus 3.25%). De gelijkmatigheid (menging) van het blauwe licht is redelijk. De metingen zijn uitgevoerd op top gewas (afstand tot aan lamp is ongeveer 2 meter). Naarmate het gewas meer naar de draad groeit, zal de gelijkmatigheid verder afnemen.

3.2 Gemeten lichtintensiteit boven het gewas

De waargenomen hoeveelheid groeilicht van de verschillende belichtingsinstallaties is weergegeven in onderstaande tabel. De lichtintensiteiten zijn gemeten in afwezigheid van daglicht.

Tabel 2. *Lichtintensiteit ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) gemeten bij de kop van het gewas.*

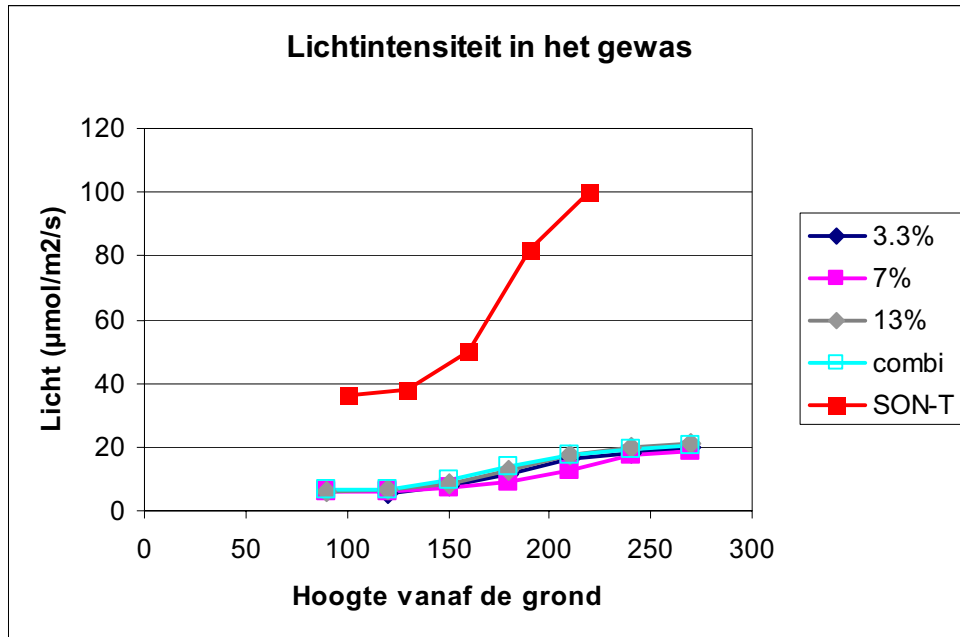
Behandeling	Lichtintensiteit net boven het gewas
Led 3%	$20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
Led 7%	$19 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
Led 13%	$20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; (in proefvak va wk 6 met extra LEDs - $48 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
Led combi	$21 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
SON-T 1000 W GP	$100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

Ten opzichte van SON-T, dat $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PAR levert, is de lichtintensiteit van de LEDs beduidend lager en varieert tussen 19 en $22 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Een niveau van $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ op gewas niveau ligt dichtbij het lichtcompensatiepunt, waaronder geen netto fotosynthese plaatsvindt. Onder dit niveau wordt de CO_2 opname van de fotosynthese gecompenseerd door de ademhaling.

Iets lager in het gewas, bij het eerste volgroeide blad waaraan ook de fotosynthese is gemeten, was de lichtintensiteit tussen $14\text{-}16 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

3.3 Lichtonderschepping

Voor een goede lichtbenutting is een goede lichtpenetratie in het gewas en onderschepping van het licht vereist. Deze metingen aan lichtonderschepping van LED-belichting zijn nog nooit gedaan in de praktijk en zullen worden vergeleken met het patroon van lichtonderschepping bij SON-T belichting.



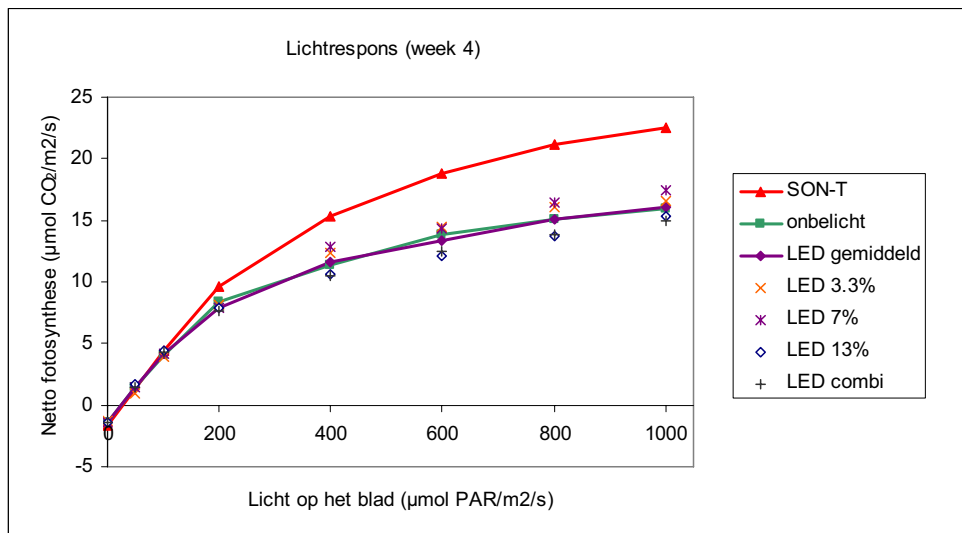
Figuur 2. Gemeten lichtintensiteiten in het gewas ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). De afstand van de belichting tot de groeipunt in het gewas bedroeg bij SON-T 260 cm en bij LEDs 210 cm.

De lichtintensiteiten in de SON-T behandeling waren in alle bladlagen hoger dan in het gewas onder de LEDs (Figuur 2, en Bijlage I), ongeacht de type LED-behandeling. Er is weinig verschil in lichtonderschepping tussen LED-behandelingen waargenomen. Dat zou ook niet te verwachten zijn, omdat de verschillen tussen behandelingen liggen op het gebied van het aandeel blauwlicht, en licht kwaliteit wordt niet gemeten, alleen het aantal fotonen/m².

3.4 Fotosynthesecapaciteit

In de periode van 21 januari t/m 23 januari 2008 (week 4) is de fotosynthesesnelheid (CO₂ opname) en het elektronentransport (capaciteit die behaald kan worden) gemeten in afhankelijkheid van licht. De metingen zijn uitgevoerd onder gelijke lichtkwaliteit als de LED behandelingen. De SON-T en onbelichte bladeren zijn gemeten bij 10% blauw en rest rood. Bij alle behandelingen is steeds een jong volgroeid blad (40 cm onder de kop) gemeten. In een aantal gevallen is ter vergelijk een ouder blad genomen (4e blad van onderen).

Ruim twee weken later (8 februari / week 6) zijn herhalingsmetingen uitgevoerd aan de led (13% blauw) behandeling en onbelichte planten. Deze metingen zijn uitsluitend uitgevoerd aan jong volgroeide bladeren (40 cm onder de kop).



Figuur 3. Lichtresponscurves voor SON-T, LED en onbelichte planten in week 4.

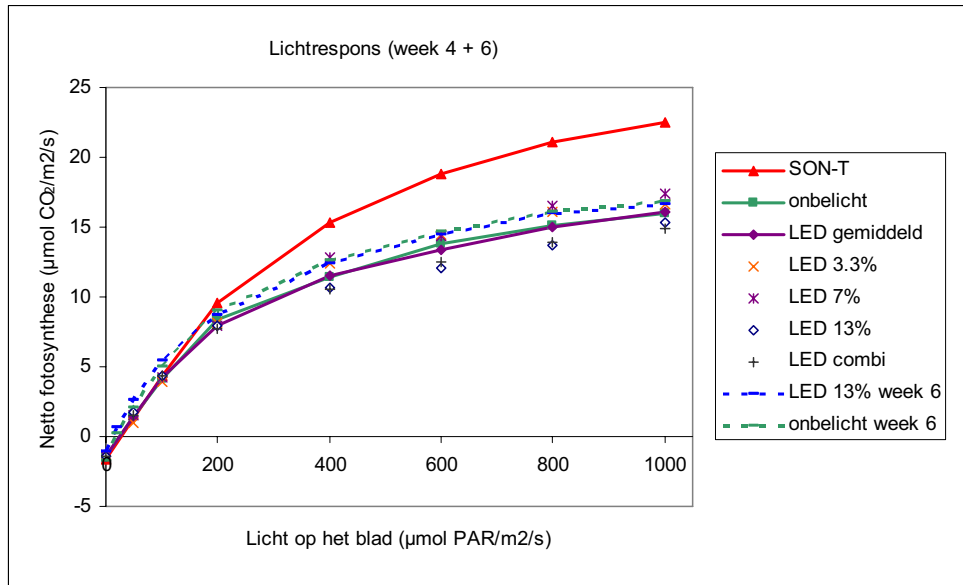
De toename in de fotosynthesesnelheid bij oplopend licht is onder alle LED behandelingen en in het onbelichte gewas vrijwel gelijk (Figuur 3). Tot 100 µmol is de fotosynthese bij SON-T belichte bladeren gelijk met de andere behandelingen. Daarboven neemt de fotosynthese sneller toe en loopt door tot een maximale fotosynthese die ongeveer 40% hoger ligt t.o.v. de onbelichte planten en t.o.v. de gemiddelde LED behandelingen.

Hetzelfde patroon is zichtbaar bij het elektronentransport (zie Bijlage II), wat betekent dat de planten onder SON-T licht een hogere lichtbenutting hebben bij hoog licht (vanaf 200 µmol). Dit verschil wordt niet bepaald door beperking van de huidmondjes.

Hierbij dient opgemerkt te worden dat de LED planten nog maar 2 dagen worden belicht, terwijl de SON-T planten al ruim 14 dagen worden belicht. Er is geen significant verschil tussen de onbelichte planten en LED planten.

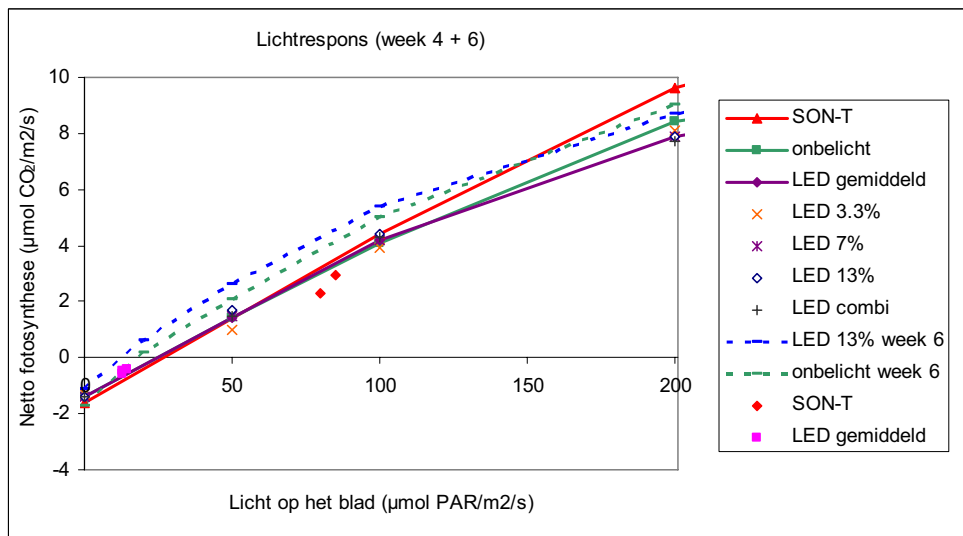
De fotosynthesesnelheid van oude bladeren is beduidend lager dan van het topblad (Bijlage III). Bij laag licht is dit grofweg de helft en bij hoog licht zelfs 1/3. Hetzelfde beeld is zichtbaar bij het elektronentransport, maar dan minder extreem.

De metingen in week 6 zijn nogmaals uitgevoerd aan jong volgroeide bladeren. Voor de LED behandeling betekent dit dat de bladeren zijn ontwikkeld in de belichte periode. Ook hier is de toename in de fotosynthesesnelheid bij oplopend licht is voor de led behandeling en onbelicht vrijwel gelijk (Figuur 4).



Figuur 4. Lichtresponscurves voor SON-T, LED en onbelichte planten in week 4.

In week 6 is de lichtbenutting tot 100 μmol iets hoger dan in week 4 (Figuur 5). Echter dit geldt voor zowel de LED belichte als voor de onbelichte bladeren. Wat betreft de licht behandelingen wordt wederom geen verschil in lichtbenutting waargenomen. Bij 20 μmol (= het lichtniveau van de geïnstalleerde led belichting) varieert de netto fotosynthese tussen de 0.5 en $-0.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{CO}_2$ opname.



Figuur 5. Detail weergave van de fotosynthese response tot 200 $\mu\text{mol PAR}$ uit Fig.4. De getrokken lijn is van week 4 en de stippellijn van week 6.

Actuele fotosynthese metingen onder deze zeer lage lichtintensiteiten zijn moeilijk en niet betrouwbaar vast te stellen. Vanwege de lage CO_2 opname bij laag licht in combinatie met de variërende condities in de kas blijken de metingen in de ruis te vallen. Echter, naar onze beoordeling zou de fotosynthese op hetzelfde niveau moeten liggen als op de lichtresponscurve, en wordt weergegeven met de roze punten (LEDs) bij ca. 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en rode punten (SON-T) bij ca. 80 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

4 Conclusies

1. De lichtintensiteit onder LED-belichting bedroeg ca. $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, een factor 5 lager dan die van SON-T. Er was geen verschil in lichtintensiteit tussen de LED-behandelingen.
2. Lichtdoordringing in de verschillende gewaslagen was ook lager dan dat van SON-T belichting, ongeveer een factor 5 lager.
3. In week 4, één dag na het starten van de LED-belichting was de fotosynthesecapaciteit gelijk voor de verschillende LED-behandelingen, en gelijk aan die van een onbelichte gewas. Ook in week 4, maar 14 dagen na het starten van de SON-T-belichting was de fotosynthesecapaciteit beduidend hoger dan die van de LED-belichting.
4. Twee weken later (wk 6) was de fotosynthesecapaciteit hoger onder LED-belichting t.o.v. onbelicht. Dit geldt ook bij lager lichtintensiteiten, waarschijnlijk doordat de gemeten bladeren ontwikkeld zijn onder dit niveau van (LED)belichting.

Bijlage I.

Lichtonderschepping in het gewas

LED-belichting		SON-T belichting							
cm tot grond	ter hoogte van:	Aandeel blauwe LEDs			Combi- LEDs	470		Tussen lamp	Onder lamp
		3.3%	7%	13%		6%	470		
450	draad								
300-420		-	-	-	-	310-430	-	-	-
270	groeipunt	19.6	18.8	21.4	20.8	280	-	-	-
240	gewas	18.2	17.2	20.1	19.5	250	-	-	-
210	gewas	16	12.5	17.3	17.4	220	groeipunt	100	101
180	gewas	11.2	9.2	12.8	14.1	190	gewas	82	89
150	gewas	7.7	7	8.2	9.5	160	gewas	50	44
120	gewas	5.6	6.2	6.4	6.7	130	gewas	38	35
90	goot	5.4	6.3	6.3	6.4	100	goot*	36	33
0	grond	-	-	-	-	0	grond	35	33

Bijlage II.**Gemiddelde elektronentransport van een
volgroeide topblad (n-3)**

PAR	LEDs 3.3%	LEDs 7%	LEDs 13%	LEDs-combi (6%)	Onbelicht	SON-T
0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
50	15.9	16.1	15.5	15.4	16.5	n.a.
100	29.6	29.5	29.8	30.1	30.9	29.6
200	56.3	56.2	55.6	53.0	57.8	58.4
400	89.2	87.1	82.8	77.9	88.1	102.4
600	106.1	109.4	94.9	89.8	102.8	129.3
800	115.4	110.8	101.0	96.4	108.4	146.3
1000	119.1	108.3	105.3	99.5	110.9	157.7

Bijlage III.

Gemiddelde fotosynthese en elektronentransport van een oud blad (n-3)

Fotosynthese in oud blad (n=1), gemeten in week 4.

PAR	LEDs 3.3%	LEDs 7%	LEDs 13%	LEDs-combi (6%)
0	-1.1	-0.7	-0.9	-1.0
50	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
100	3.2	4.5	3.7	2.4
200	4.0	5.8	3.3	3.4
400	4.8	7.6	3.6	3.6
600	5.3	7.9	4.3	4.5
800	5.8	8.4	5.0	4.9
1000	6.8	8.9	6.2	5.7

elektronentransport in oud blad (n=1), gemeten in week 4.

PAR	LEDs 3.3%	LEDs 7%	LEDs 13%	LEDs-combi (6%)
0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2
50	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
100	25.5	26.4	25.4	27.3
200	37.7	41.6	38.4	41.0
400	43.5	49.4	43.3	46.7
600	44.1	51.0	44.2	48.4
800	45.2	52.1	45.6	49.4
1000	46.0	52.9	47.7	50.8

