

S.V.P. niet verspreiden zonder toestemming Plant Lighting B.V.

Roos

LED, spectrum, warmtebalans, energie en verdamping II

Govert Trouwborst
Plant Lighting B.V.

18 april 2023



Plant Lighting BV

- Team:
 - Dr. ir. Sander Hogewoning, Dr. ir. Govert Trouwborst, Dr. Alex Boonman ir. Stefan van den Boogaart, Martijn Wiekens MSc, Marius Bongers MSc, Wilmar Kunz, Ursula van Bemmelen
- Expertise o.a.:
 - Fotosynthese, verdamping en CO₂
 - Plantreacties op lichtkleur
 - Lichtbronnen (o.a. LED) en stuurlicht
 - Phenotyping
- Wij doen onderzoek voor:
 - Tuinders & veredelaars
 - Toeleveranciers
 - Kennisinstituten, overheden en belangenorganisaties



Missie: Vertaling van wetenschappelijke kennis naar praktijk-innovaties



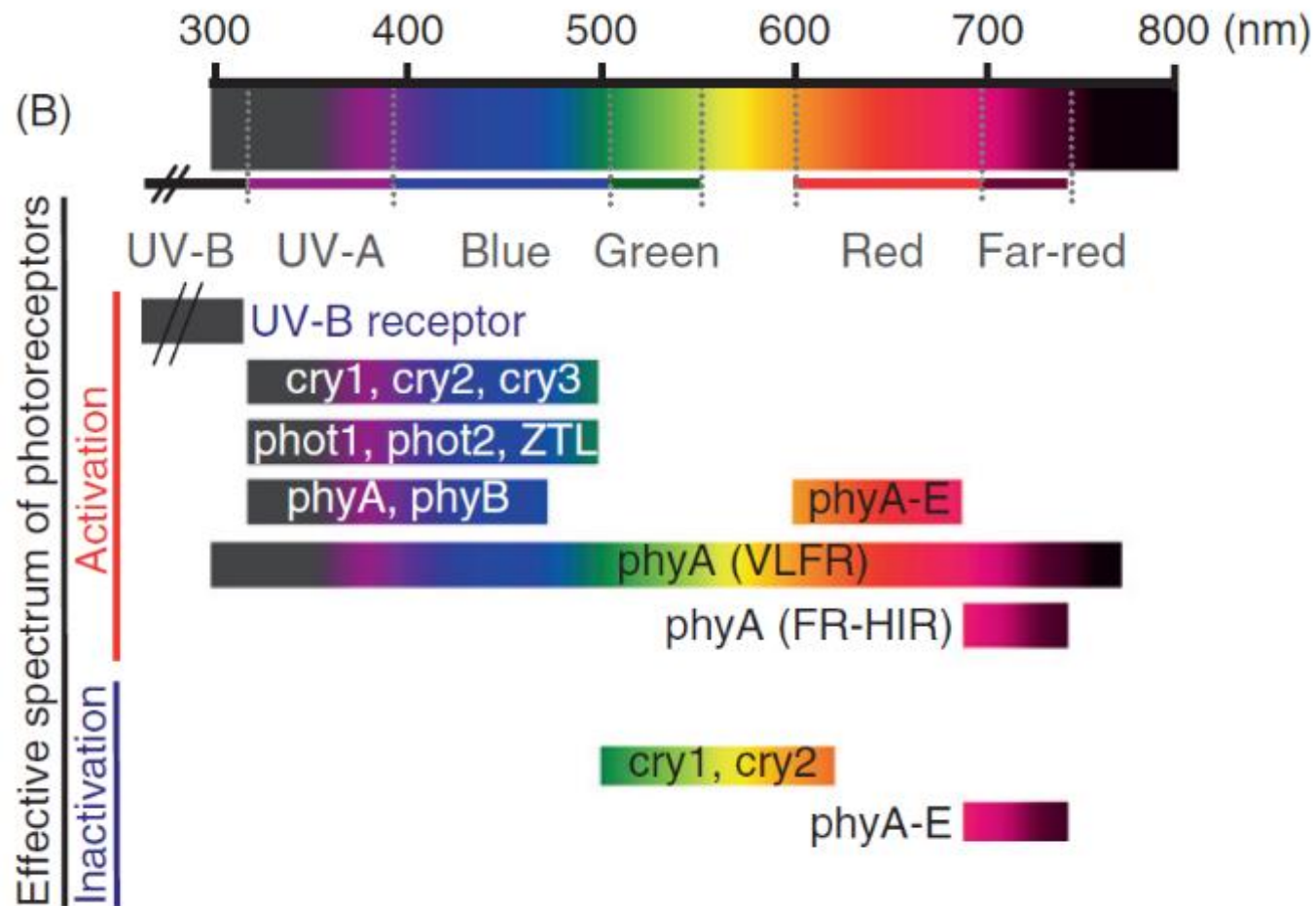
Gevolgen overstap SON-t naar LED

1. Fotosynthese
2. Spectrale effecten op gewasontwikkeling (focus verrood)
3. Warmte-toevoer naar het gewas en verdamping (en kas)
4. Elektragebruik (en indirect ook warmtevraag)
5. Zichtbaarheid gewas



Spectrale effecten op gewasontwikkeling: stuurlicht

- Fotoreceptoren, waarnemers van spectrum
 - Reageren op verschillende kleuren licht:



Stuurlicht beïnvloedt via de fotoreceptoren de hormoon-balans in planten. Dat beïnvloedt weer vele processen:

- kieming
- morfologie van blad en stengel (o.a. vertakking, strekking)
- verdeling assimilaten,
- groeirichting (fototropisme)
- detectie en reactie op buurplanten (shade-avoidance)
- circadiaans ritme (ingebouwde klok)
- perceptie lichtintensiteit
- huidmondjesopening
- bloei-inductie
- afrijpsnelheid
- veroudering
- bladkleur

→ Stuurlichteffecten verschillen sterk tussen verschillende soorten gewassen

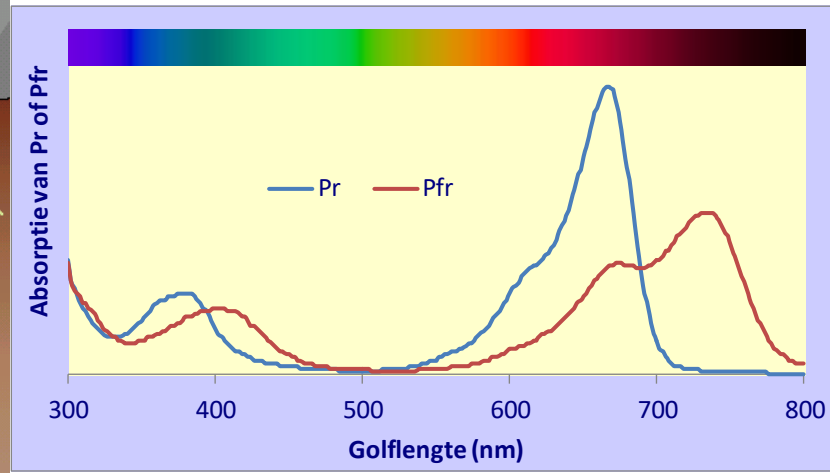
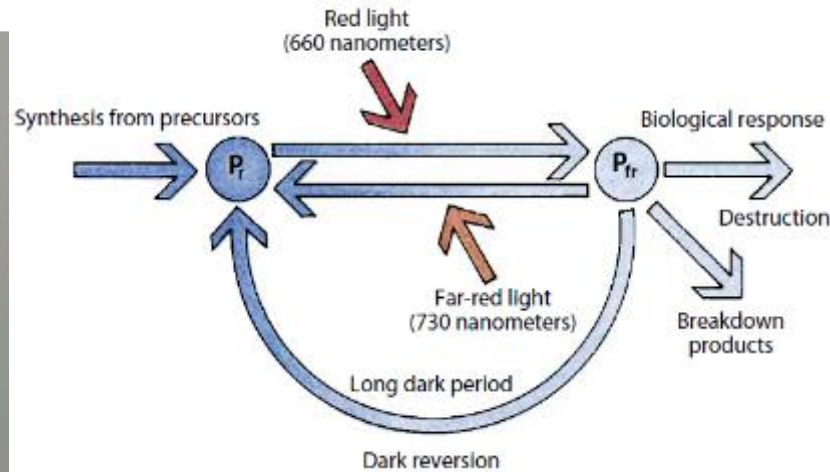
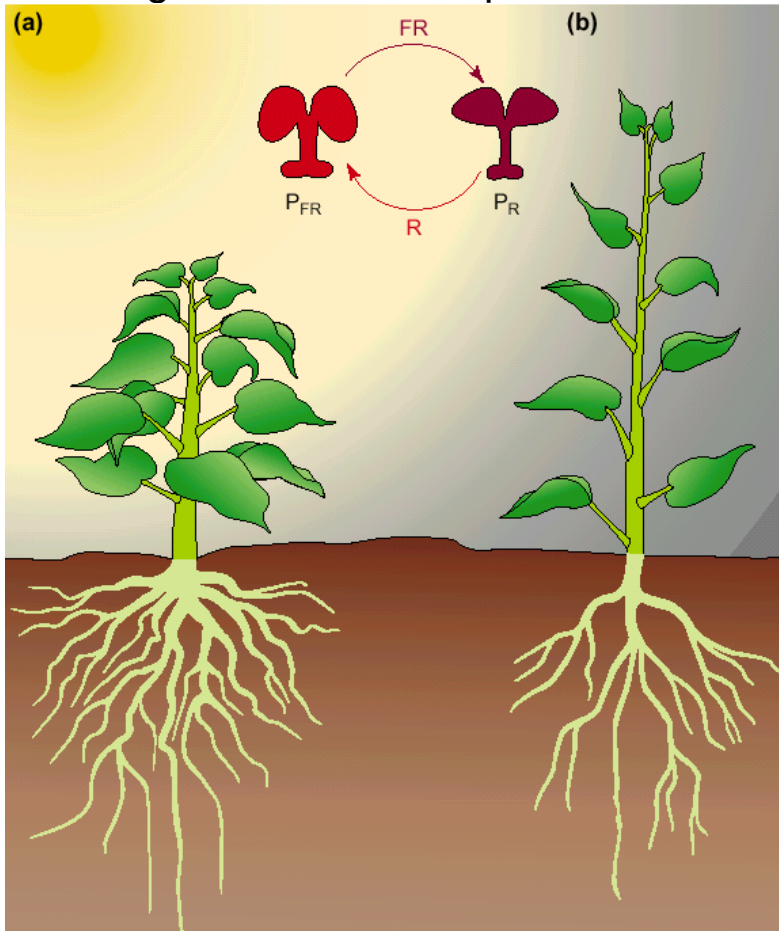


Spectrum roos

- Kasproef 'de Perfecte Roos' bij Delphy IC: 'simpel' rood/blauw spectrum gaf geen gewenst resultaat in proeven met 'Red Naomi!'
 - Teveel doornen
 - Kleine bloemknop
 - Veel en kleine bladeren
 - Donkere bladkleur
 - Teveel scheutuitloop
- Aangepast spectrum met groen (witte LED's) en verrood gaf verbetering.
- Is groen echt noodzakelijk voor het gewas?
 - sowieso prettig voor medewerkers
- En hoeveel verrood is optimaal?
- Wanneer zijn groen en verrood nodig? Alleen in onbelichte nacht?
 - Wat leren we van andere proeven?
 - Taklengte
 - Bloeisnelheid
 - Bladkrulling

Taklengte: van R/FR naar PSS

- Taklengte vooral bepaald door rood/verrood-verhouding
- Fytochromstatus (PSS) is betere maat dan rood/verrood-verhouding
 - Balans tussen beide vormen wordt uitgedrukt in een PSS-waarde (0.15-0.88)
 - PSS door daglicht rond de 0.71-0.72 (in schemering rond de 0.62)
 - Verrood en nacht verlagen de PSS → strekking
 - Rood verhoogt de PSS → compactheid



Fytochromombalans van blauw licht... PSS~0.5

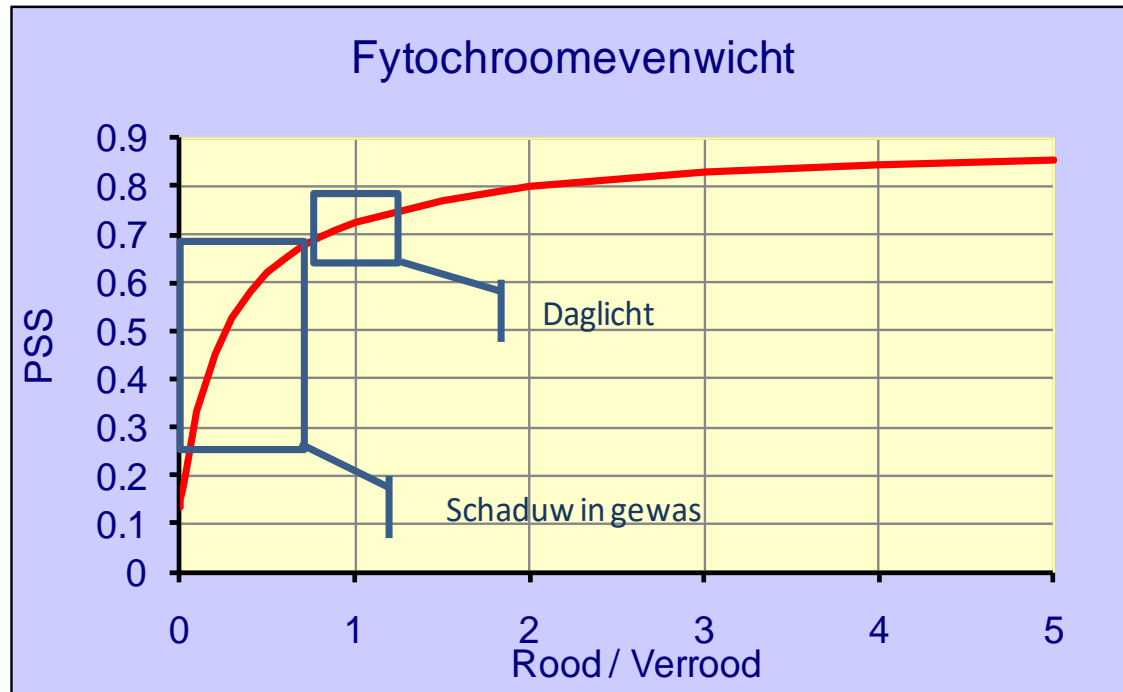


Fig. 5. Komkommer ontkiemd onder TL-licht en vervolgens geplaatst in een klimaatkamer onder 100% blauwe LED's (links), 100% rode LED's (midden), en een combinatie van deze twee LED-typen (rechts). De lichtintensiteit was gelijk ($100 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$; 16/ 8 uur dag/nacht). De lengte van de planten na 16 dagen groei was respectievelijk 17.7, 6.5 en 5.5 cm voor 100% blauw, 100% rood en gecombineerd rood/blauw. (onderzoek Hogewoning en van Ieperen uit 2008, ongepubliceerd).

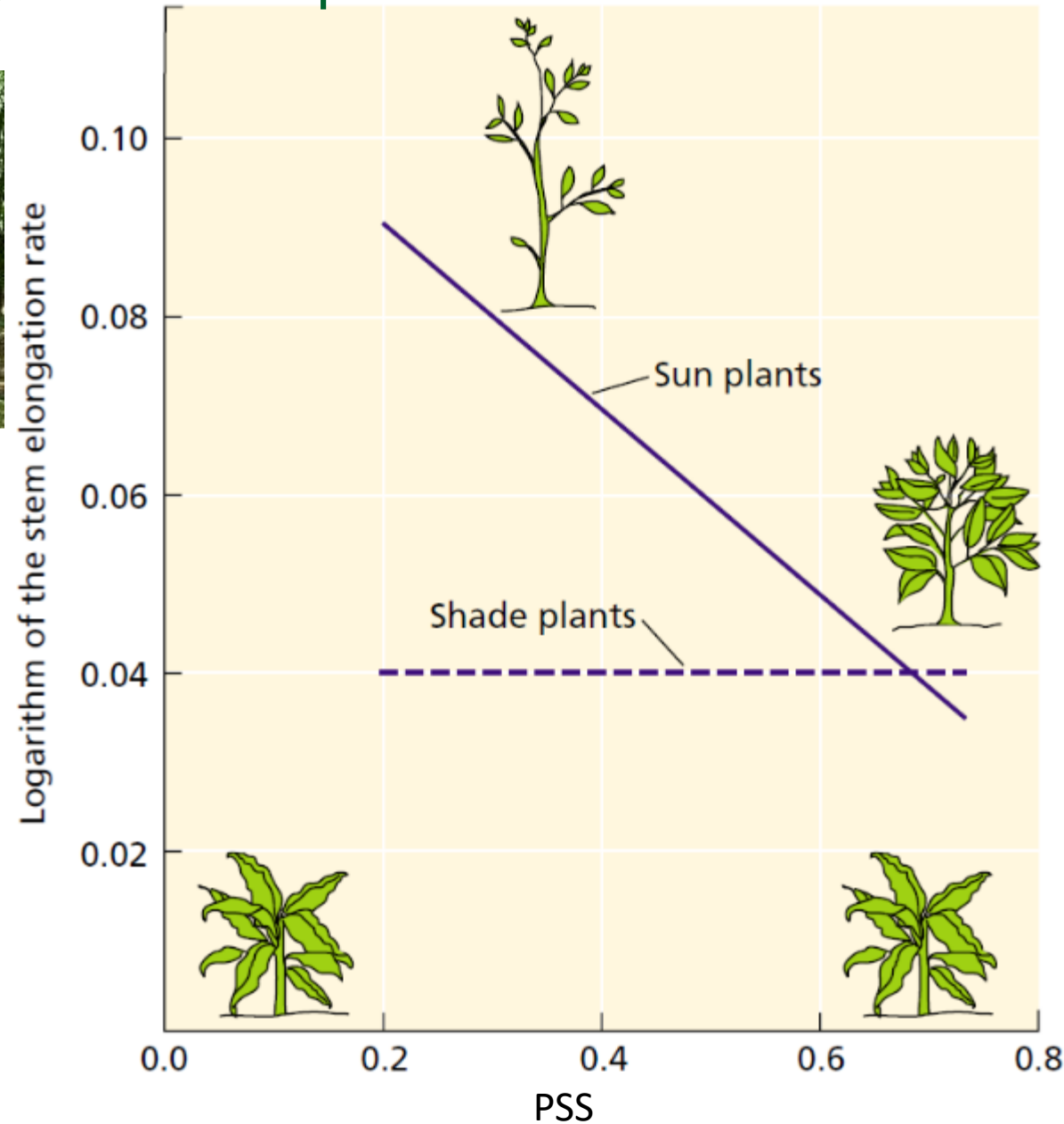
- NB geldt alleen onder daglichtloze omstandigheden!

PSS ten opzichte van Rood/Verrood

- PSS tussen ~ 0.15 (puur verrood) en ~ 0.88 (puur rood)



PSS overdag als dimknop



NB invloed op strekking en vertakking

PSS overdag als dimknop en begin nacht als switch: Komkommer 'Venice' na 15 dagen belichting



+ 2.5 µmol FR nabelichting

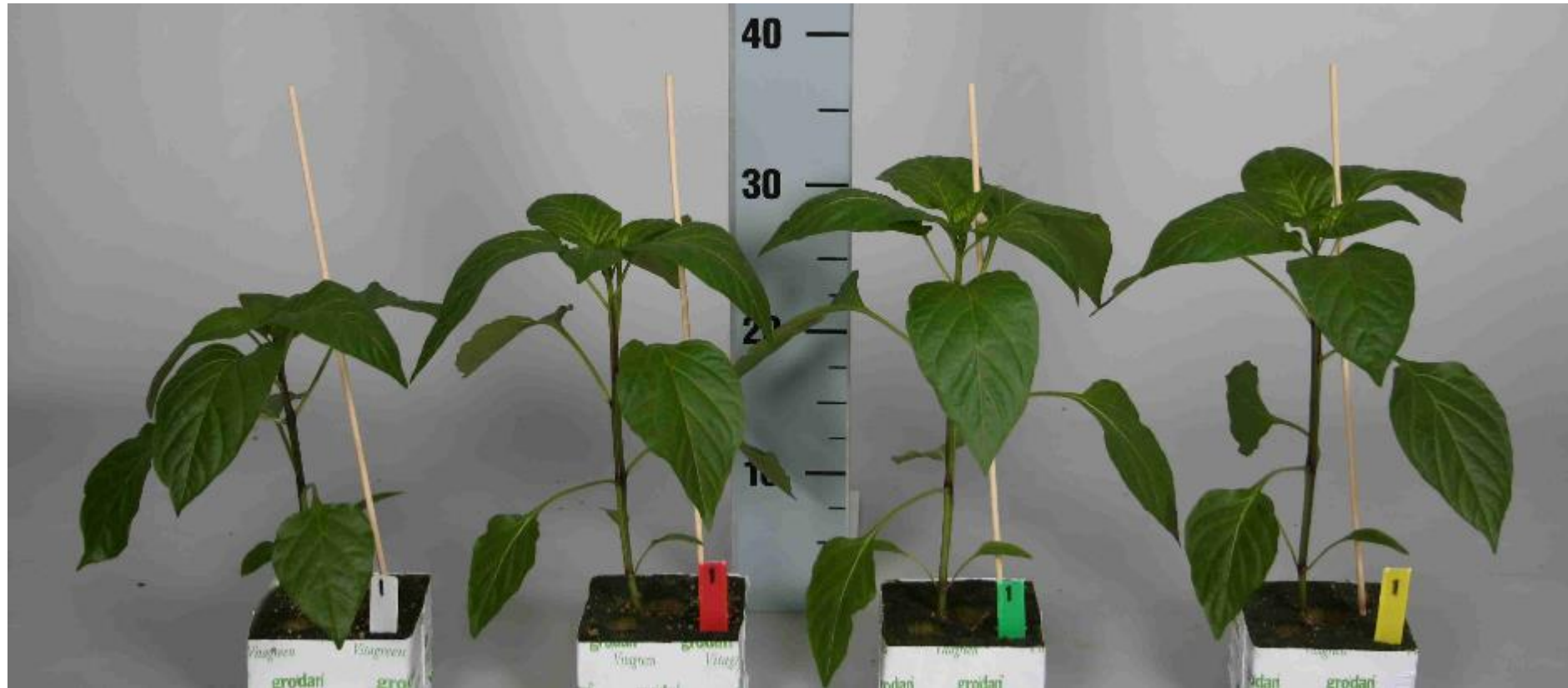
Controle

+10 µmol FR

+14.5 µmol FR

Onderzoek 2012 efficiënter
belichten jonge planten

PSS overdag als dimknop en begin nacht als switch: Paprika 'Nagano' na 15 dagen belichting



Controle

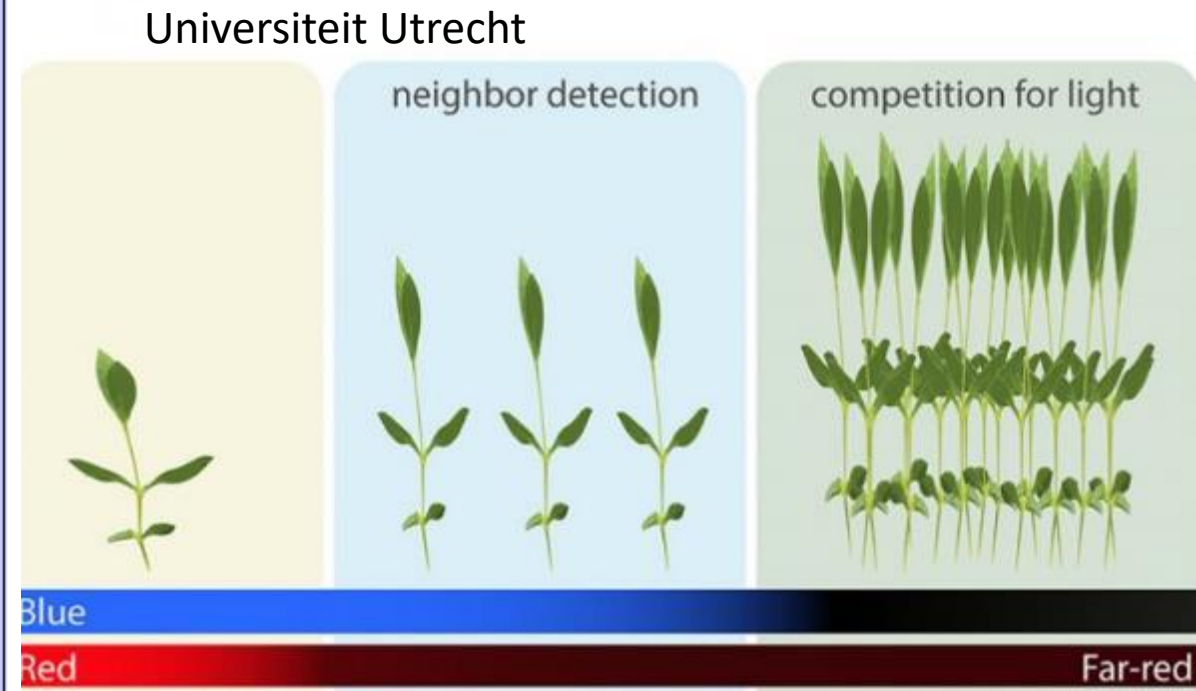
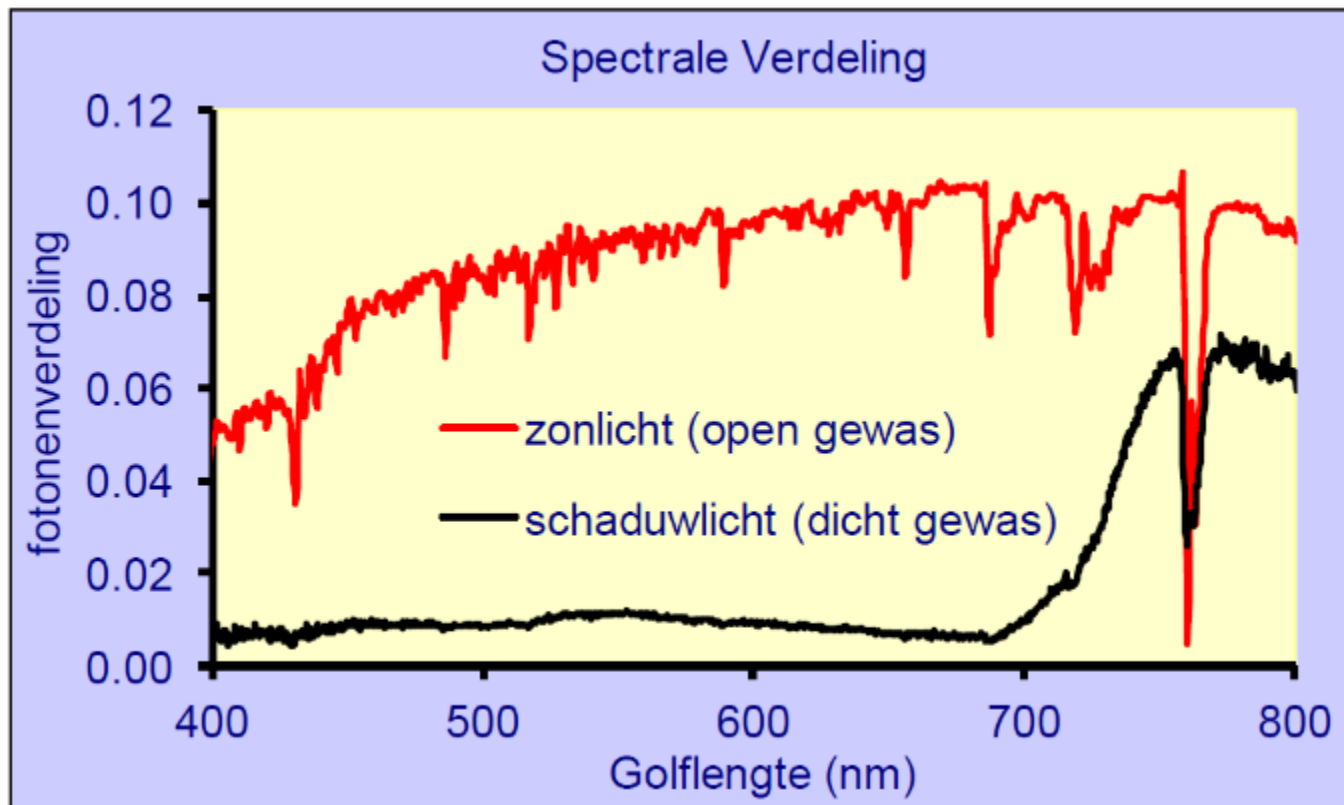
+5 μmol FR

+7 μmol FR

+ 2.5 μmol FR nabelichting

PSS in gewas versus schemering...

- Verschuiving R/FR in gewas naar PSS ≈ 0.45
 - Effect veel groter dan schemering met PSS ≈ 0.62 → maar schemering beïnvloedt hele nacht
 - Heeft effect op strekking en scheutuitloop!
- Puur verrood LED-licht PSS ≈ 0.18 !
- NB bij korte nacht (4 uur bij roos?) heeft EOD-FR meestal minder effect



Bloeisnelheid

- Lisianthus, Kalanchoë en roos

Lisianthus onder 100% LED (dag 46)

- Lisianthustelers vullen SON-T nu aan met LED. Aandeel LED zal toenemen.
- Is spectrum belangrijk? Proef met dezelfde daglengte en lichtintensiteit, maar verschillende spectra.
- LED-spectrum links normale ontwikkeling, onder spectrum rechts kort en bloei fors vertraagd.



Proef in klimaatcellen Plant Lighting mei-september 2020

Doorwas bij Kalanchoë (KD-plant)

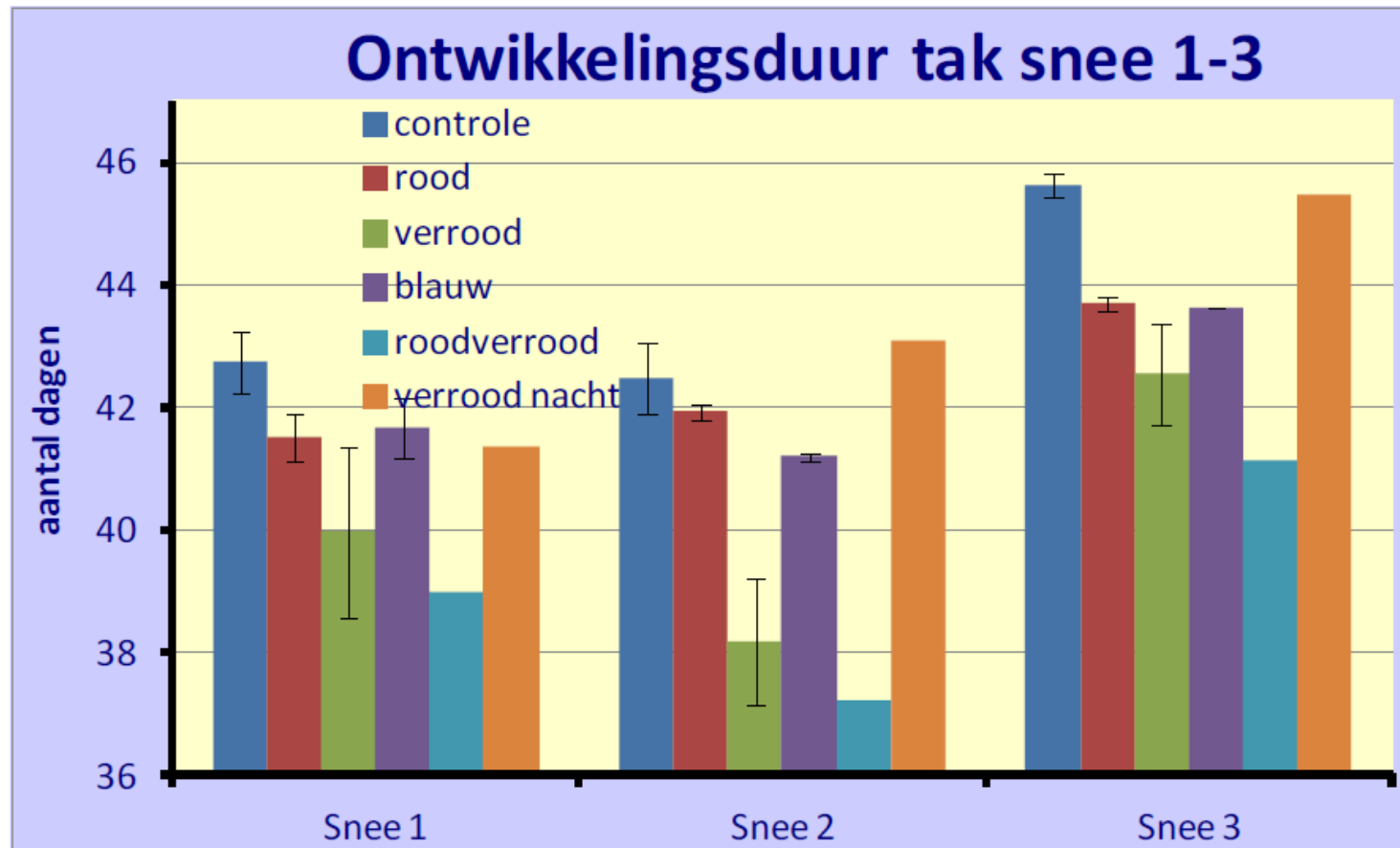


*Proef in klimaatcellen
Plant Lighting 2021*

- Bij gebrek aan verrood in de assimilatielampen ontstaat er doorwas onder winterlicht van 2.3 mol PAR/dag (ruw twee-maands wintergemiddelde).
- Roos daglengte neutraal?

Roos, knopuitloop 2012

- LED-licht als tussenbelichting 40 cm boven knippunten
- Aanwezigheid verrood overdag geeft teeltduurversnelling (verrood begin nacht doet niets)
 - minder bladeren onder de knop en kortere tak
 - Langere internodiën



Bladkrulling

- komkommer

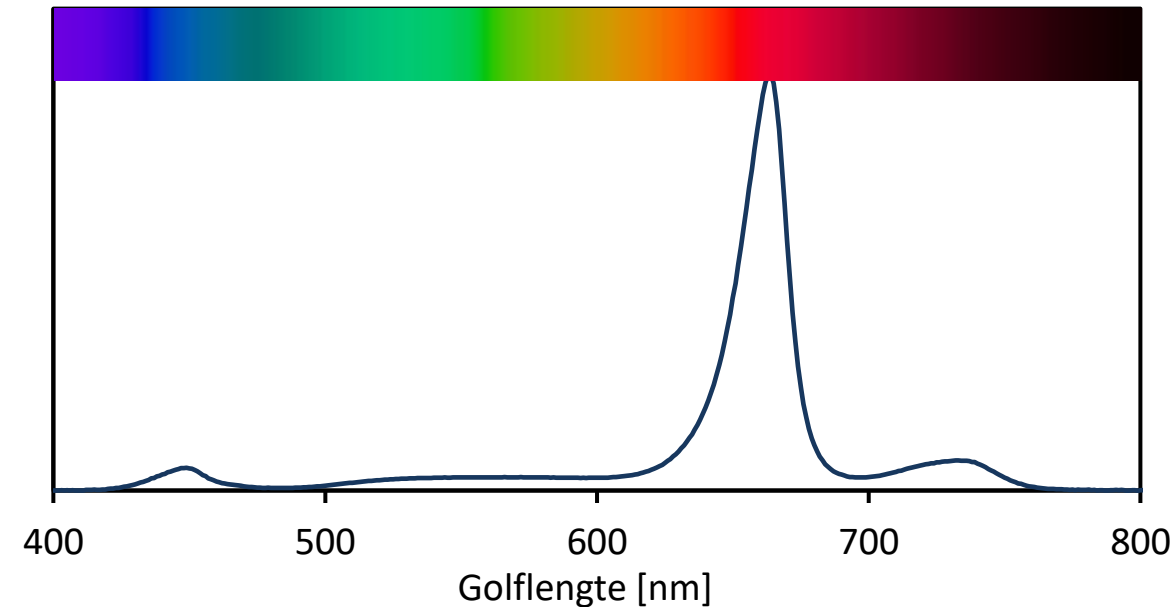
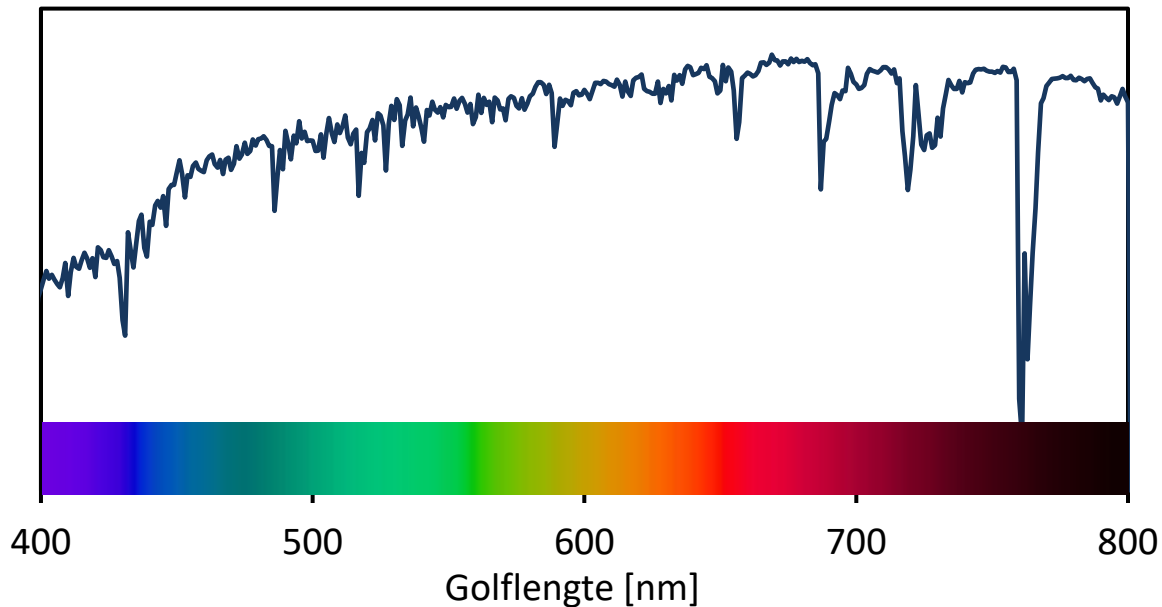
Bladkrulling komkommer 2008/2009

- Verrood is een vereiste om bladkrulling tegen te gaan
 - Hoeveel?



Spectrum daglicht en lamplicht komkommer '22/'23

- Winterzon is zelfde als zomerzon, maar randen dag zijn anders
- Simulatie met 180 μmol PAR en 18 μmol verrood
 - Komkommerlamp:
 - 80% rode LED, totaal 85.3% rood van PAR
 - 20% witte LED: 5% blauw / 9% groen / 5% rood van PAR
 - 10% verrood toegevoegd aan PAR



Wanneer mag FR uit? Simulatie PSS op winterdag

- Wat is PSS met verrood aan/uit?
 - NB 0.86 of 0.88 lijkt hetzelfde, maar heeft al veel effect...

	PSS		FR $\mu\text{mol PFD}$	
	FR aan	FR uit	FR aan	FR uit
Daglichtloos	0.858	0.883	18	1
Daglicht 100 μmol	0.713	0.713	35.2	35.2
Gemengd spectrum met 50 μmol zonlicht	0.842	0.863	35.5	18.6
Gemengd spectrum met 100 μmol zonlicht	0.829	0.847	53.1	36.2
Gemengd spectrum met 200 μmol zonlicht	0.809	0.824	88.4	71.5

- Als daglichtloos met PSS van 0.86 goed gaat dan mag verrood overdag boven 50W al uit
 - Kastransmissie $\sim 50\%$ in winter dus: joules buiten \approx PAR binnen
 - Grijs winterdag met 1.5 mol PAR dus hele dag aan!
 - NB verrood daglicht is gerekend tussen 700-800nm. 750 tot 800 nm is minder effectief!
- Roos: Wat is minimale percentage verrood?
 - Bij hogere intensiteiten ligt balans anders!

Gevolgen overstap SON-t naar LED

1. Fotosynthese
- ✓ 2. Spectrale effecten op gewasontwikkeling (focus verrood)
3. Warmte-toevoer naar het gewas en verdamping (en kas)
4. Elektragebruik (en indirect ook warmtevraag)
5. Zichtbaarheid gewas

Warmtetoevoer naar gewas en verdamping

- Bij de overstap van SON-T naar LED-belichting heb je niet alleen te maken met een ander lichtspectrum.
- Ook de *energiebalans* van het gewas verandert: doordat er per micromol belichting minder warmte wordt toegevoerd, gaat de drijvende kracht voor verdamping omlaag.
- Kan je gewas nog voldoende verdampen?
- Energiebalans en verdamping kan je aan meten en rekenen....

Van SON-T naar LED: Straling naar gewas

- Moderne 1000W SON-T armatuur:
 - 1.85 $\mu\text{mol}/\text{Joule}$
 - ~38% energie omgezet in PAR
 - ~37% energie omgezet in NIR (near infra-red)
 - overige ~25% convectie-warmte + lang-golvige straling (IR)

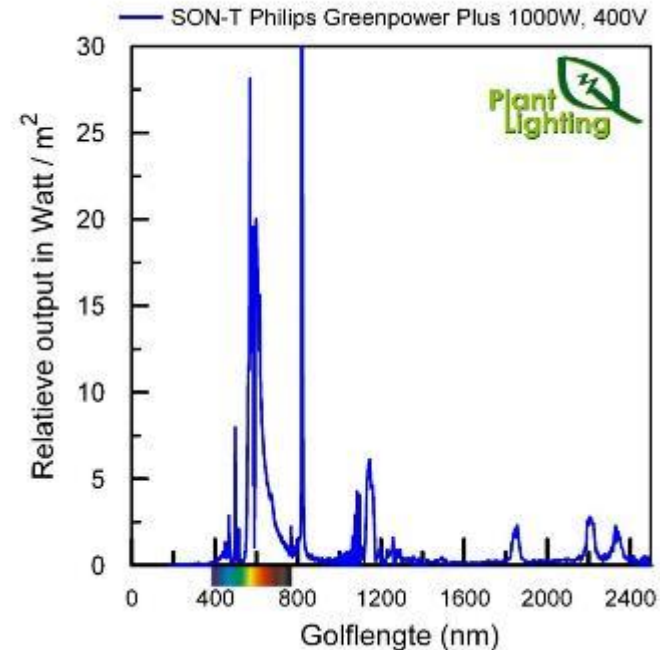
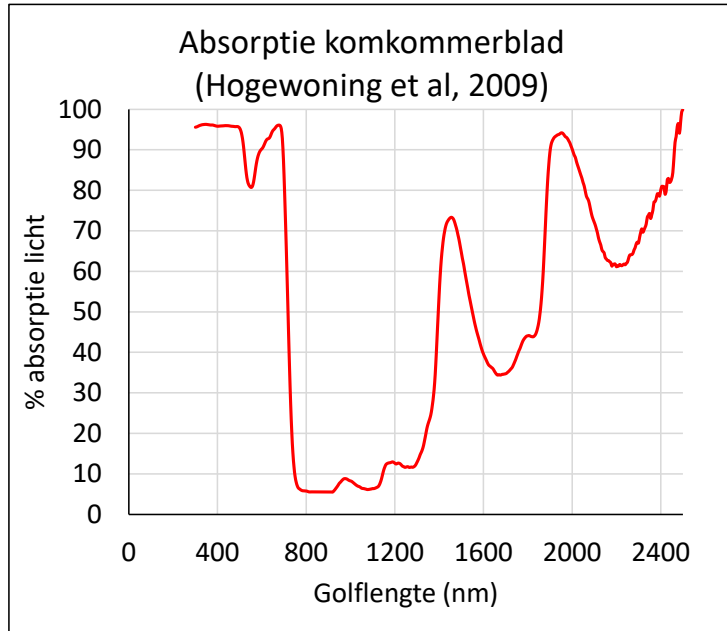
- Moderne LED RB(FR) armatuur:
 - 3.2-3.7 $\mu\text{mol}/\text{Joule}$ (zeg 3.5 in berekening)
 - ~65% energie omgezet in PAR
 - 0% energie omgezet in NIR
 - overige ~35% convectie-warmte + lang-golvige straling



Voor de plant telt geabsorbeerde straling, verschilt dat?

Gevolg overstap SON-T naar LED: berekening absorptie straling

Hoeveel warmtetoevoer richting gewas door PAR en NIR? Absorptie x lichtspectrum.



Absorptie PAR + NIR volledige spectrum in Watts:

- SON-T: 61% (bovenste blad) of 79% (hele gewas-aanname reflectie verloren en transmissie niet)
- LED R/B: 95% (bovenste blad) of 97% (hele gewas-aanname reflectie verloren en transmissie niet)

Van SON-T naar LED: effect op de energiebalans

- Wat gebeurt er als je dezelfde lichtintensiteit ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) aanhoudt?
- Wat gebeurt er als je dezelfde elektra-input (W/m^2) aanhoudt?

- Rekenvoorbeeld bij 200 μmol belichting:

	Intensiteit [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]	Conversie [$\mu\text{mol}/\text{W}$]	Elektra-input [W/m^2]	Stralingsenergie PAR + NIR [W/m^2]	Absorptie top/ hele gewas	Abs top gewas + 50% conv+NIR	Abs hele gewas + 50% conv+NIR	Ruimte verdamping (ml/mol PAR)
SON-T	200	1.85	108	81	61/79%	63	78	172
LED	200	3.5	57	37	95/97%	46	47	104

- Van LED-straling wordt meer energie door blad geabsorbeerd dan van SON-t straling
 - Groot verschil absorptie PAR en NIR
 - Dus heel ander verdampingsprofiel in gewas?!
- Vuistregel 3cc/joule (30% drain) omgerekend naar mol PAR = 140 ml/mol
 - Is er voldoende verdamping onder LED?

Is er voldoende verdamping bij LED-belichting?

- Het eerlijke antwoord is dat we niet weten hoeveel verdamping nodig is voor een gezond gewas.
- Maar... voor verdamping is in ieder geval een positieve energiebalans nodig. Dat kan je meten! Zeker is dat je met LED minder warmte inbrengt dan met een gelijke PAR-intensiteit SON-t.
- Goed isoleren is daarom belangrijk om uitstraling te beperken.
 - Zonder doek verlies je zomaar ~75W energie bij 15°C verschil binnen-buiten (~5W per °C verschil binnen-buiten).
 - Met een doek dicht is verlies kleiner (~2.5 tot 3.5 W/ °C)
 - Met 2 doeken dicht is verlies nog kleiner (~1.5- 2.0 W/ °C)
 - Wordt je uitstraling groter dan je instraling?
 - Ga schermen! Eerst transparant energiedoek dicht.
 - En als daglicht dan nog niet meer straling oplevert om de uitstralingsverliezen te compenseren ook bovenste doek dicht.
 - Vocht in de gaten houden.

Opwarming kas: van SON-T naar LED

- Hoeveel warmt de kas op als ik de lampen aanzet in de nacht?
- Aanname: energiebalans kas is in 'evenwicht'
 - Dus energieverlies via kasdek wordt door buizen bijgestookt
- Wat gebeurt er als lampen aangaan:
 - Verdamping 'start'
 - Ventilatie nodig om vocht af te voeren
- 200 μmol PAR:

	Intensiteit [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]	Conversie [$\mu\text{mol}/\text{W}$]	Elektra-input [W/m^2]	Stralingsenergie PAR + NIR [W/m^2]	Absorptie hele gewas	Abs hele gewas + 50% conv+NIR [W/m^2]	Kasopwarming [W/m^2]	Kasopwarming na 1 uur [$^{\circ}\text{C}$]
SON-T	200	1.85	108	81	79%	78	30	3.6
LED	200	3.5	57	37	97%	47	10	1.2

- Factor 3 snellere kasopwarming, na uur lampen aan:
 - Bij warmtecapaciteit kas = $30000\text{J}/^{\circ}\text{C}/\text{m}^2$ (Peter van Beveren)
 - NB geen rekening gehouden met kosten noodzakelijke ventilatie

Opwarming kas: van SON-T naar LED

- Op grond van energiebalans daalt input van SON-T=108 watt/m² naar LED=57 watt/m²
 - SON-T: $20\text{hr} \cdot 3600 \cdot 108\text{J/s} = 7.8 \text{ MJ}$ (2.2kwh / 0.22m³ aardgas eq.)
 - LED: $20\text{hr} \cdot 3600 \cdot 57\text{J/s} = 4.1\text{MJ}$ (1.14kwh / 0.12m³ aardgas eq.)
- Balans:
 - LED bespaart veel kWh
 - Groot voordeel als de prijs van warmte lager is dan van elektra
 - Bij warme teelten kost overstap op LED bijna evenredig meer gas
 - Besparing LED zit in de lagere verdamping: Verdamping zelf en afvoer van het vocht (opstoken uitgewisselde lucht van buiten)
 - Bij (momenten van) warmte-overschot biedt LED dus extra voordeel: verlaging overschot
 - Zeker als stroombesparing verkocht kan worden

Gevolgen overstap SON-t naar LED

1. Fotosynthese
- ✓ 2. Spectrale effecten op gewasontwikkeling (focus verrood)
- ✓ 3. Warmte-toevoer naar het gewas en verdamping (en kas)
4. Elektragebruik (en indirect ook warmtevraag)
5. Zichtbaarheid gewas

Telen met dure energie betekent dat scherper aan de wind gezeild zal moeten worden.



Dat is niet makkelijker, maar wel leuker?

Contact



Govert Trouwborst

+31 610990094

info@plantlighting.nl

www.plantlighting.nl

Plant Lighting B.V.

Doordraai 1

3981 PE Bunnik

