



Stuurlicht in de Glastuinbouw

1. Kansen voor energiebesparing?

Tom Dueck^{1*}, Sander Hogewoning², Sander Pot³, Esther Meinen¹,
Govert Trouwborst² en Frank Kempkes¹

Rapport GTB-1349

1. Wageningen UR Glastuinbouw, 2. Plant Lighting, 3. Plant Dynamics, *Projectleiding

Referaat

Door recente technologische ontwikkelingen voor belichting zijn nieuwe toepassingen voor stuurlicht binnen bereik gekomen voor de tuinbouwpraktijk. Dit rapport heeft de focus op stuurlichttoepassingen waardoor een energiebesparing mogelijk is door zuinigere lampen, maar vooral met een aantal nieuwe mogelijkheden om gewassen te beïnvloeden met het licht spectrum. Na een introductie van de fysiologische achtergrond en toepassing van stuurlicht, wordt ingegaan op nieuwe toepassingsmogelijkheden voor stuurlicht, en kansen voor de toekomst waar het gaat om mogelijkheden voor energiebesparing. Er worden mogelijk scenario's voor stuurlicht gepresenteerd voor phalaenopsis, chrysant en kalanchoë.

Abstract

Technological advances in artificial lighting are making new applications possible for steering light in horticulture. This report focusses on energy efficient steering light applications by energy efficient lighting systems, but especially with new possibilities to influence crop growth and production with the light spectrum. After an introduction of the physiological background and application of steering light, new applications for steering light in the future are described with respect to energy saving opportunities. Possible scenario's for steering light are presented for phalaenopsis, chrysanthemum and kalanchoë.

Rapportgegevens

Rapport GTB-1349

Projectnummer: 3742167513

PT nummer: 14892



Disclaimer

© 2015 Wageningen UR Glastuinbouw (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek), Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk, Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk, T 0317 48 56 06, F 010 522 51 93, E glastuinbouw@wur.nl, www.wageningenUR.nl/glastuinbouw. Wageningen UR Glastuinbouw.

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

Adresgegevens

Wageningen UR 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

	Voorwoord	5
	Samenvatting	7
1	Introductie	9
	1.1 Wat is stuurlicht?	9
	1.2 Nut van stuurlicht in relatie tot energiebesparing	9
	1.3 Doelstelling	10
	1.4 Leeswijzer	10
2	Fysiologische achtergrond stuurlicht	11
	2.1 Licht als informatiebron	11
	2.2 Fotoreceptoren in de plant	13
3	Klassieke toepassing van stuurlicht	17
	3.1 Bloei-inductie bij lange-dag planten met stuurlicht	17
	3.2 Voorkomen van bloei bij korte-dag planten met stuurlicht	18
	3.3 Beïnvloeding gewasvorm met stuurlicht	18
	3.4 Beïnvloeding productie en teeltsnelheid met stuurlicht	19
4	Nieuwe toepassingsmogelijkheden voor stuurlicht vanuit bestaande kennis	21
	4.1 Dagverlenging met stuurlicht in plaats van SON-T	21
	4.2 Stuurlichtcomponent assimilatielicht verbeteren	22
	4.2.1 Efficiëntere productie door combinatie assimilatie- en stuurlicht	22
	4.2.1.1 Activeren van de fotosynthese aan het begin van de dag.	23
	4.2.1.2 Versnelde opkweek open gewassen	23
	4.2.1.3 Stuurlicht voor gewasbouw roos	23
	4.2.1.4 Generatieve sturing van gewassen	24
	4.2.2 Compactere plantvorm door combinatie assimilatie- en stuurlicht	25
5	Kansen voor de toekomst vanuit nieuw te ontwikkelen kennis	27
	5.1 Tijdstippen belichting met stuurlicht	27
	5.2 Vervanging temperatuur-behandelingen door stuurlicht?	27
	5.3 Fundamentele gaten in de kennis over stuurlicht	28
6	Scenario-analyses gevolgen inzet stuurlicht voor energiebesparing	29
	6.1 Phalaenopsis: stuurlicht ter vervanging van de koelfase	29
	6.2 Chrysant: belichten naar behoefte	30
	6.3 Kalanchoë: gebruik stuurlicht voor compacte plantvorm	33
	6.4 Samenvattend kansen scenariostudies	35

7	Samenvattend: kansrijke toepassingen voor energiebesparing met stuurlicht	37
	7.1 Analyse kansen	37
	7.2 Top 10 grootverbruikers energie	38
8	Referenties	41
	Bijlage I. Lamptypen en elektriciteitsverbruik	43
	Bijlage II. Stuurlicht in de glastuinbouw bij snijbloemen	45
	Bijlage III. Workshop Stuurlicht potplanten	47
	Bijlage IV. Workshop Stuurlicht glasgroenten	51
	Bijlage V. Workshop Stuurlicht snijbloemen	53

Voorwoord

Door de recente ontwikkelingen in technologie voor belichting zijn nieuwe toepassingen voor stuurlicht binnen bereik voor de tuinbouwpraktijk gekomen. Dit project focust op stuurlichttoepassingen waardoor er een energiebesparing mogelijk is. De klassieke inzet van stuurlicht, zoals voor bloeisturing bij korte- en lange-dag planten, kan nu met zuinigere lampen. Wellicht nog interessanter zijn de nieuwe mogelijkheden om gewassen met stuurlicht te beïnvloeden. Met stuurlicht kan bijvoorbeeld groeilicht (dag- en assimilatielicht) efficiënter door het gewas worden benut: Sturing op een bladstand die leidt tot meer lichtonderschepping leiden tot een kortere productiecycclus en een hogere productie per eenheid warmte en licht. Ook is recent aangetoond dat stuurlicht in hagedraad vruchtgroentegewassen tot een sterkere assimilatenstroom richting de vrucht kan leiden. Dat biedt kansen voor een betere omzetting van lichtenergie in oogstbaar product. Over de werking van stuurlicht op procesniveau in de plant zijn er nog minstens zoveel vragen als antwoorden. De verwachting is dan ook dat fundamenteel onderzoek tot veel meer nieuwe toepassingen voor stuurlicht kan leiden in de toekomst.

Binnen het overkoepelende project "Stuurlicht in de glastuinbouw, kansen voor energiebesparing" zijn de volgende deelprojecten uitgevoerd:

1. Op basis van wetenschappelijke en vakliteratuur zijn de mogelijkheden op een rij gezet om met stuurlicht energie te kunnen besparen. Hierbij is aandacht besteed aan zowel de sierteelt als de groenteteelt. Door middel van workshops met telers zijn de wensen vanuit de praktijk geëvalueerd (Dit rapport).
2. Onderzoek naar de effecten van de tijdsgevoeligheid over de dag van de plant voor stuurlicht (deelrapport: Stuurlicht bij de tijd. Trouwborst, Hogewoning & Pot, 2013).
3. Experimentele toetsing van een perspectievolle stuurlichtstrategie (deelrapport: Verkenning mogelijkheden bloeisturing Phalaenopsis met stuurlicht. Uitgave verwacht in 2014).

Een woord van dank gaat uit naar Arthur van den berg en Astrid van der Helm van LTO-groeiservice voor het organiseren van de workshops en naar de telers voor de discussies tijdens de workshops. Frank van der Helm en Arca Kromwijk (WUR glastuinbouw) bedanken we voor het aanleveren van praktische voorbeelden. Tevens gaat onze dank uit naar de coördinatoren Dennis Medema en Leo Oprel van het programma Kas als Energiebron, financier van dit project.

Oktober 2013,
De auteurs

Samenvatting

Met stuurlicht bedoelen we de beïnvloeding door lichtkleur van processen in de plant anders dan fotosynthese. Denk hierbij aan de plantvorm, bloei, of fysiologische processen zoals huidmondjesopening. Het doel van deze studie is om de kennis over stuurlicht-effecten op planten te koppelen aan praktische toepassingen voor de tuinbouw. Dit vanuit het oogpunt van energiebesparing. Er is dus zowel aandacht voor nieuwe toepassingen van stuurlicht, als voor de inzet van efficiëntere nieuwe lichtbronnen voor de al bekende toepassingen van stuurlicht.

In dit rapport zijn een drietal hoofdrichtingen onderscheiden voor wat betreft toepassingen van stuurlicht in relatie tot energiebesparing:

1. Energiebesparing door vervanging traditionele stuurlichtbronnen (o.a. gloeilamp) door LED (Hoofdstuk 3).
2. Nieuwe toepassingsmogelijkheden voor stuurlicht vanuit reeds bestaande kennis door de beschikbaarheid van nieuwe lichttechnologie (hoofdstuk 4).
3. Energiebesparing vanuit toekomstige toepassingen voor stuurlicht die ontstaan uit nieuw te ontwikkelen kennis over sturingsmogelijkheden met licht (Hoofdstuk 5).

Dit rapport vat een grote hoeveelheid eerdere onderzoeken samen, waardoor het maken van een korte inhoudelijke samenvatting daarvan ondoenlijk is. Daarom volgt hieronder voor alle drie de bovengenoemde hoofdrichtingen een korte analyse van het belang voor energiebesparing in de tuinbouw.

1. Vervanging traditionele stuurlichtbronnen

De vervanging van gloeilampen door LED stuurlicht geeft procentueel een forse besparing op elektra. Echter, aangezien het aantal Watt/m² sowieso al niet al te hoog was vergeleken met assimilatielicht, hebben deze maatregelen weinig effect vergeleken met de totale energiebehoefte voor belichting in de glastuinbouw. Deze al lopende lijn zal zeker doorgezet moeten worden. Wat betreft energiebesparing door de tuinbouwsector als geheel is de impact beperkt.

2a. Dagverlenging met stuurlicht in plaats van SON-T

Dagverlenging met lage intensiteit stuurlicht in plaats van een hoge intensiteit SON-T is een kansrijke besparing voor lange dag planten zoals Lelie en Lisianthus. Het gevaar is aanwezig dat er toch een assimilantekort is en dat er ingeleverd moet worden op plantkwaliteit. Of dit een probleem is zal uit proeven moeten blijken.

2b. Efficiëntere productie door gecombineerde benutting van stuur- en assimilatielicht

De lopende lijn van onderzoek aan versnelde opkweek van jonge vruchtgroenteplanten (Hogewoning *et al.* 2010-2013) kan doorgezet worden bij andere gewassen met open structuur. Denk hierbij bijvoorbeeld aan chrysant en andere sierteeltgewassen die in het eerste stadium van de teelt relatief veel licht onbenut laten, doordat het niet door de bladeren onderschept wordt.

2c. Verbeterde kwaliteit door gecombineerde benutting van stuur- en assimilatielicht

Bij een aantal siergewassen dient assimilatiebelichting niet alleen ter bevordering van de groei, maar ook om het gewas compacter te houden. Er zijn lichtspectra op basis van LED's te bedenken die de strekking sterker remmen dan SON-T. Het effect op energiebesparing is dan tweeledig:

1. De nieuwste generatie LED-armaturen heeft een lager energieverbruik per μmol uitgestraald licht ten opzichte van SON-T.
2. Met een sterkere remming van de strekking is een lagere intensiteit belichting wellicht afdoende.

Voor dit laatste punt zou energiebesparing op kunnen leveren bij die gewassen waar strekkingsremming een niet onbelangrijk teeltdoel is, zoals bij Lelie, Kalanchoë, Potroos en Potchrysant.

3. Ontwikkelen nieuwe kennis

De beschikbaarheid van zowel nieuwe kennis als van nieuwe lichtbronnen biedt kansen voor toepassingen van stuurlicht buiten de gebaande paden. Dit vergt een procesmatige benadering vanuit plantkundige kennis. Mogelijk kunnen door stuurlicht dezelfde processen worden aangestuurd, of versterkt, als nu met energieverblindende temperatuurstrategieën gebeurt, zoals bij trekheesters en *Phalaenopsis*. Om ook in de toekomst met vernieuwende toepassingen te kunnen komen, is het noodzakelijk dat ontwikkeling van vernieuwende kennis een kans krijgt.

1 Introductie

Het energieverbruik van de Nederlandse glastuinbouw is hoog. In de winter wordt een grote hoeveelheid energie in de vorm van aardgas verbruikt om de kassen te verwarmen. Daarnaast werd in 2011 een ruime 6 miljard KWh aan elektriciteit verbruikt, waarvan ongeveer 82% voor belichting van gewassen (Van der Velden & Smit, 2013). Het elektriciteitsverbruik vertoont nog altijd een stijgende lijn. De sierteelt verbruikt ongeveer driekwart van de elektriciteit voor gewasbelichting en de groenteelt ongeveer een kwart. De groei van de belichting is vooral bij de groenteteelt.

Zowel de sector zelf als de maatschappij hechten een groot belang aan een duurzamere inzet van energie in de glastuinbouw. Een duurzamere inzet betekent in dit geval een lager energieverbruik per eenheid product. De sector, onderzoekers, overheid en toeleveranciers spannen zich op velerlei gebieden in om een duurzamere inzet van energie mogelijk te maken. Denk hierbij onder andere aan nieuwe warmtebronnen, betere isolatie van kassen, kasmaterialen die meer daglicht binnenlaten en efficiëntere lampen. Deze studie richt zich op de mogelijkheden om met de inzet van stuurlicht tot een efficiënter energieverbruik in de glastuinbouw te komen.

1.1 Wat is stuurlicht?

Met stuurlicht bedoelen we de beïnvloeding door lichtkleur (veelal in lage intensiteiten) van processen in de plant anders dan fotosynthese. Denk hierbij aan de plantvorm, waarbij bijvoorbeeld bladstrekking groei kan versnellen door een betere lichtonderschepping, maar een compacte plantvorm juist de sierwaarde kan verhogen. Andere bekende voorbeelden zijn het stimuleren of juist voorkomen van bloei, of fysiologische processen zoals huidmondjesopening. Specifieke lichtkleuren of golflengtes zoals UV, rood/verrood verhouding, percentage blauw / groen / rood of het aandeel verrood licht, zijn de tot dusver bekende factoren die een rol spelen bij deze processen. In hoofdstuk 2 wordt dieper op de werking van stuurlicht ingegaan.

1.2 Nut van stuurlicht in relatie tot energiebesparing

Algemene studies naar de effecten van stuurlicht op tuinbouwgewassen zijn vrij recentelijk nog uitgevoerd (De Boer & Marcelis, 2009; Van Rijssel, 2005). Daarom beperkt de aandacht zich hier tot de stuurlichteffecten waarvoor een energiebesparende toepassing voor de glastuinbouw mogelijk is.

Er is sprake van snelle ontwikkelingen in de lichttechnologie. Hierbij valt vooral bij LED-lampen op dat er een snelle toename is van de efficiëntie (μmol licht output per Joule energie-input). Door een steeds grotere keuze aan LED-lampen met verschillende lichtkleuren worden de toepassingsmogelijkheden voor stuurlicht steeds groter. Daarnaast hebben recente onderzoeken een aantal nieuwe mogelijkheden voor de inzet van stuurlicht aangetoond. Daarom onderscheiden we een drietal richtingen voor wat betreft toepassingen van stuurlicht in relatie tot energiebesparing:

1. Energiebesparing door vervanging traditionele stuurlichtbronnen, zoals gloeilampen, door LED (Hoofdstuk 3).
2. Energiebesparing door ontwikkeling van innovatieve praktische toepassingen vanuit bestaande plantkundige kennis (Hoofdstuk 4).
 - a. Dagverlenging met stuurlicht in plaats van hoge intensiteit SON-T.
 - b. Verbetering stuurlichtcomponent assimilatielicht:
 - Efficiëntere productie door combinatie assimilatie- en stuurlicht.
 - Verbeterde kwaliteit door combinatie assimilatie- en stuurlicht.
3. Energiebesparing door ontwikkeling van nieuwe kennis over sturingsmogelijkheden met licht (Hoofdstuk 5).

Het eerste punt betekent simpelweg minder stroomverbruik door de stuurlichtlampen zelf. Maar ook de inzet van stuurlicht op zich biedt tal van mogelijkheden voor energiebesparing (punt 2). Denk hierbij aan teeltduurverkortingen (besparing stookkosten en elektra), of vervanging van hoge intensiteiten SON-T waar het gaat om sturing op een compacte plantvorm. Nieuw te ontwikkelen kennis (punt 3) opent wellicht nieuwe deuren voor energiebesparing met behulp van stuurlicht. Denk hierbij aan sturen op opening van huidmondjes, zodat gewassen licht efficiënter kunnen gebruiken voor de fotosynthese, of aan vervanging van de energieverblindende koelfase voor bloeisturing in bepaalde teelten.

1.3 Doelstelling

Het doel van deze studie is om de kennis op gebied van gewasreacties op stuurlicht te koppelen aan praktische toepassingen voor de tuinbouw. Dit vanuit het oogpunt van energiebesparing. Er is dus zowel aandacht voor nieuwe toepassingen van stuurlicht als voor de inzet van efficiëntere nieuwe lichtbronnen voor de al bekende toepassingen van stuurlicht.

1.4 Leeswijzer

- In hoofdstuk 2 volgt een korte uiteenzetting van de fysiologische principes die ten grondslag liggen aan de werking van stuurlicht.
- Hoofdstuk 3 gaat in op de klassieke toepassingen van stuurlicht: Bloeisturing bij korte en lange dag planten, sturing op plantvorm en sturing op productiesnelheid. Dit voor zover er een verband is met kansen voor energiebesparing.
- Hoofdstuk 4 gaat in op kansen voor nieuwe toepassingen op basis van bestaande kennis. Recente ontwikkelingen in plantkundig onderzoek en lichttechnologie maken dit mogelijk. Hierbij worden de volgende onderwerpen besproken:
 - Stuurlicht voor dagverlenging in plaats van hoge intensiteit SON-T.
 - Verbetering van de stuurlichtcomponent van assimilatielicht.
- In hoofdstuk 5 worden kansrijke richtingen aangegeven om energiebesparing te bereiken door ontwikkeling van nieuwe kennis over sturingsmogelijkheden met licht.
- Hoofdstuk 6 omvat een aantal scenario-analyses wat betreft de gevolgen van stuurlicht-toepassingen voor energiebesparing.
- Hoofdstuk 7 vat de belangrijkste kansen voor stuurlicht samen. Tevens wordt voor de zeven gewassen die verantwoordelijk zijn voor het grootste aandeel van het Nederlandse elektriciteitsverbruik voor belichting in kassen besproken of er kansen liggen voor energiebesparing met behulp van stuurlicht.
- In de bijlagen is het energieverbruik voor de verschillende lichtbronnen weergegeven en wordt verslag gedaan van de workshops met de telers.

2 Fysiologische achtergrond stuurlicht

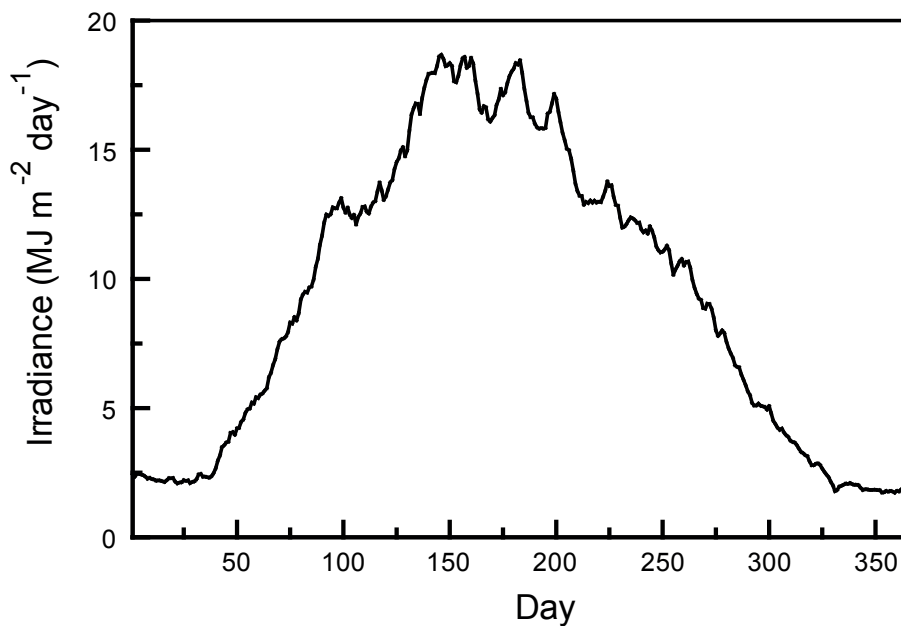
In dit hoofdstuk wordt eerst wordt het natuurlijke kader aangegeven waarbinnen de tuinbouw opereert: het dag- en jaarverloop van de lichtintensiteit en het lightspectrum (2.1). Vervolgens wordt er een korte inleiding gegeven over stuurlicht en fotoreceptoren in de plant (2.2). Een uitgebreidere inleiding in de materie van de fotoreceptoren is beschreven in de tweede deel van deze rapport "Stuurlicht bij de tijd" (Trouwborst, Hogewoning & Pot, 2013).

2.1 Licht als informatiebron

Licht is zowel een energiebron voor de groei en ontwikkeling van planten (assimilatielicht) als een informatiebron over de omgeving van planten (stuurlicht). Licht dat door de fotosynthetisch actieve pigmenten (chlorofyl en carotenoiden) in bladeren wordt opgevangen levert de benodigde energie voor fotosynthese. Hiermee verschaft licht de energie om CO₂ en water omzetten in zuurstof en assimilaten en daarmee de energie voor de groei van een plant. De fotosynthese neemt toe naarmate de intensiteit van het licht en/of de belichtingsduur toeneemt, tot aan het punt dat het licht verzadigend wordt. Deze functie van licht wordt in het algemeen aangeduid met de termen groeilicht of assimilatielicht.

Deze studie is juist gericht op de sturende effecten van licht. Behalve de fotosynthetisch actieve pigmenten bevat een plant een speciaal type pigmenten dat informatie aan de plant doorgeeft. Dit zijn de zogenaamde fotoreceptoren. Fotoreceptoren zijn gevoelig voor de intensiteit, spectrale samenstelling, het dag/nacht- en seizoensritme, en de richting van licht. Op basis daarvan ontvangen de fotoreceptoren signalen over de omgeving van de plant. Deze signalen leiden tot de aanmaak en/of afbreuk van verschillende plantenhormonen, welke vervolgens een breed scala aan plantreacties teweeg kunnen brengen. De balans van de verschillende hormonen (o.a. auxine, gibberelline, cytokinine en etheen) reguleert allerlei processen in de plant, zoals stengelstrekking, bladoriëntatie, bloei-inductie, afrijpingsnelheid, assimilatenverdeling en veroudering.

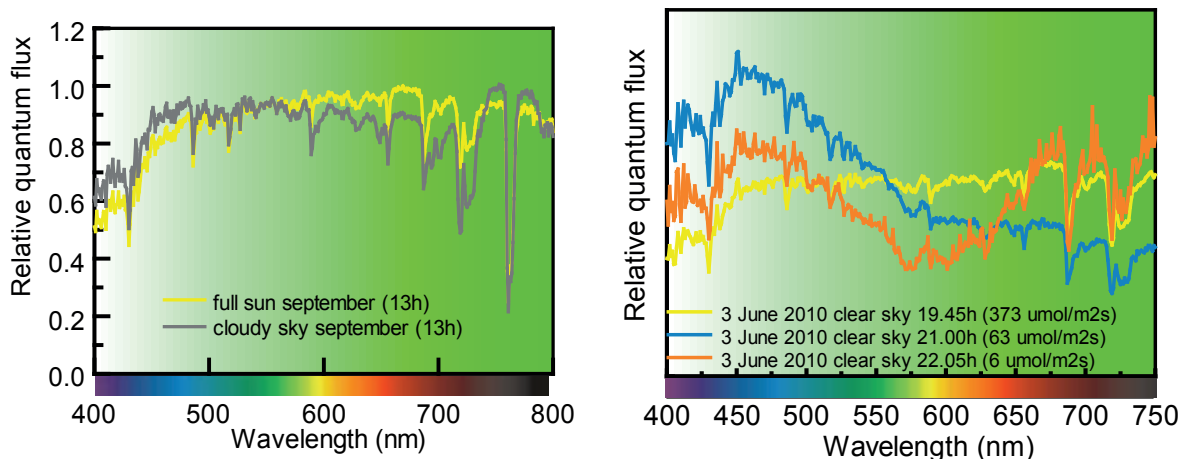
In Nederland verschilt de gemiddelde natuurlijke stralingssom per dag met zo'n factor 10. Waar in de winter stralingssommen rond de 2 MJ/dag niet ongevoen zijn, ligt het gemiddelde in de zomer rond de 20 MJ/dag (Figuur 1). Dit verschil stralingssom wordt deels door de daglengte (fotoperiode) en deels door de lichtintensiteit bepaald. Voor sommige gewassen is de daglengte vooral bepalend voor het jaargetijde waarin de bloei plaatsvindt: de zogenaamde korte- of lange dag planten. Er zijn ook gewassen waarbij de bloei daglengte-neutraal is (Yanovsky & Kay, 2003).



Figuur 1 Stralingssom van het natuurlijk daglicht over het jaar. Deze gegevens zijn gebaseerd op een 30-jarig gemiddelde van de gemeten straling in De Bilt, gecombineerd met een realistische dagelijkse variatie in lichtintensiteit. Bron: Breuer en van de Braak, 1989.

Het kleurenspectrum van zonlicht verschilt nauwelijks onder een heldere of bewolkte lucht (Figuur 2 links). Ook tussen de seizoenen is er nauwelijks verschil in het natuurlijke lichtspectrum midden op de dag (Van Ieperen *et al.* 2012). Gedurende de schemering verandert het spectrum wel drastisch (Figuur 2 rechts). De gele lijn in Figuur 2 geeft een meting weer waarbij de meetsensor nog direct zonlicht opving. Totdat de zon beneden een bepaalde hoek zakt, leiden het tijdstip van de dag en bewolking tot slechts beperkte spectrale veranderingen. De blauwe lijn geeft het daglichtspectrum weer kort nadat de zon gezakt was tot een hoek waarbij geen direct zonlicht meer op de meetsensor viel. Het is duidelijk te zien dat het aandeel blauwe golflengten toegenomen is en dat de lichtintensiteit sterk is afgenomen. De oranje lijn geeft het spectrum tijdens de schemering weer. De lichtintensiteit is laag en relatief verrijkt in het verrood (>690 nm).

Zoals opgemerkt is er midden op de dag dus nauwelijks verschil in spectrum tussen winterlicht en zomerlicht. Het lijkt voor de hand liggend dat de relatieve invloed van de schemering in de winter door de korte dag en de lage lichtintensiteit wel groter is dan in de zomer (lange dag en hoge lichtintensiteit).

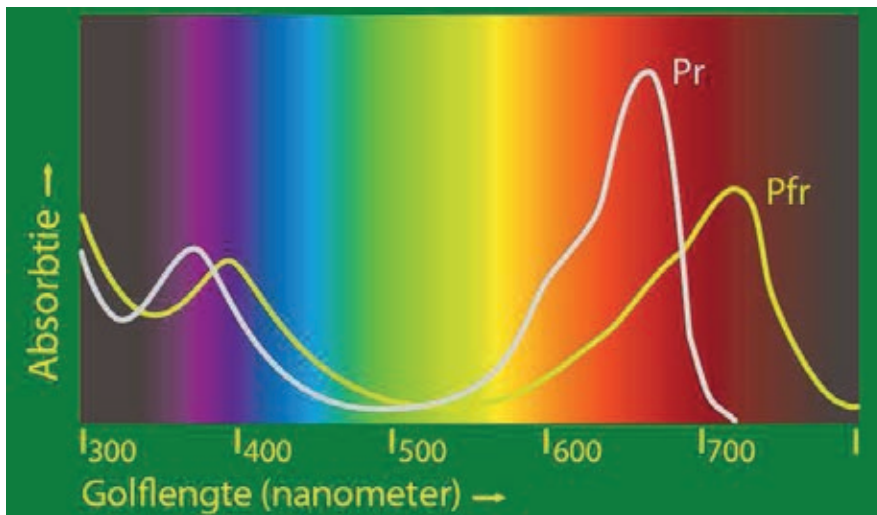


Figuur 2 Het spectrum van natuurlijk daglicht bij een heldere en een bewolkte lucht (links) en bij verschillende instralingshoeken van de zon (rechts). Metingen werden op een heldere zomeravond (3 juni 2010, Utrecht, NL) verricht met de meetsensor parallel aan de aardoppervlakte. De meting vond plaats op het dak van een gebouw om verstorende reflecties te voorkomen. De gele lijn geeft een meting weer waarbij de meetsensor nog direct zonlicht opving. Totdat de zon beneden een bepaalde hoek zakt, leiden het tijdstip van de dag en bewolking tot slechts beperkte spectrale veranderingen. De blauwe lijn geeft het daglichtspectrum weer kort nadat de zon gezakt was tot een hoek waarbij geen direct zonlicht meer op de meetsensor viel. Het is duidelijk te zien dat het aandeel blauwe golflengten toegenomen is en dat de lichtintensiteit sterk is afgenomen. De oranje lijn geeft het spectrum tijdens de schemering weer. De lichtintensiteit is laag en relatief verrijkt in het verrood (>690 nm). Vergeleken met de situatie in een kas zullen de spectrale patronen van deze buitenmetingen weinig verschillen. Verschillen tussen het spectrum in de open lucht en onder standaard glas treden wel op in het UV (<380 nm).

2.2 Fotoreceptoren in de plant

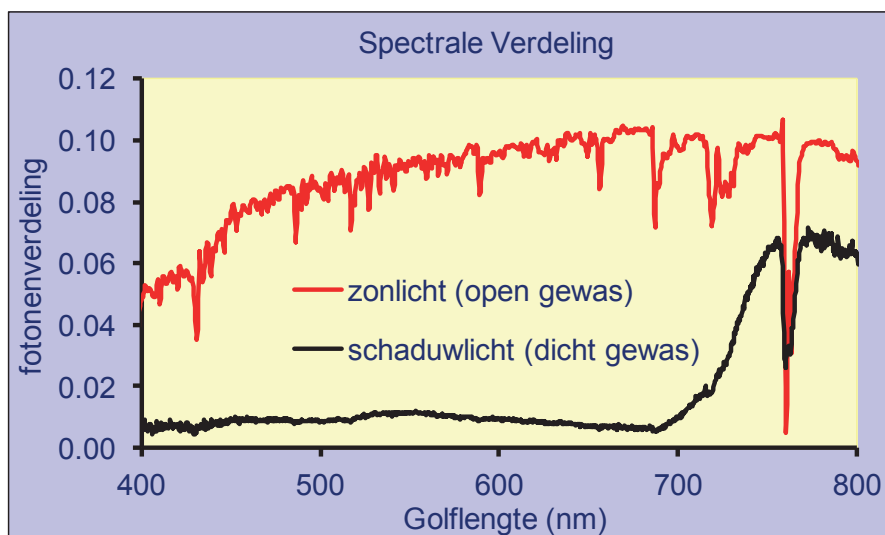
Er zijn drie groepen fotoreceptoren bekend: cryptochromen, fototropinen en fytochromen. De eerste twee zijn beiden gevoelig voor golflengten in het UV en blauw/groene gedeelte van het kleurenspectrum (Ahmad, 2002). Het lichtspectrum heeft via de cryptochromen invloed op onder andere de biologische klok van een plant, de bladdikte en de strekking. Zo remt blauw licht via de cryptochromen de strekking van planten door de aanmaak van o.a. het strekkings-stimulerende hormoon gibberelline te remmen. Fototropinen zijn onder andere betrokken bij de groei richting het licht ('fototropisme') en opening van de huidmondjes.

De fytochromen zijn gevoelig voor het volledige lichtspectrum (UV tot verrood), maar reageren vooral sterk op rode en verrode golflengten (Figuur 3). Rood licht wordt voornamelijk geabsorbeerd door de inactieve Pr-vorm van fytochroom en verrood licht door de actieve Pfr-vorm van fytochroom. Als gevolg van de absorptie van rood licht wordt Pr omgezet in Pfr en omgekeerd wordt Pfr door absorptie van verrood licht weer omgezet in Pr. Op die manier bepaalt het lichtspectrum de fytochroom-balans, ofwel de zogenaamde 'phytochrome photostationary state' (PSS). Deze PSS is via de hormoonhuishouding bepalend voor veel belangrijke ontwikkelingsprocessen in de plant, waaronder bloemknopontwikkeling, strekking, okselknopuitloop en veroudering (zie o.a. Whitelam & Halliday, 2007; Pot & Trouwborst, 2011; Trouwborst *et al.* 2010ab, 2012, Van Ieperen & Heuvelink, 2012).



Figuur 3 Indicatieve illustratie van de spectrale gevoeligheid van de inactieve (Pr) en actieve (Pfr) vorm van fytochroom. Het lichtspectrum stuurt de balans tussen deze twee verschillende vormen van fytochromen en kan via een modelberekening uitgedrukt worden in een waarde: de PSS (phytochrome photostationary state). De PSS waarde heeft een sterke invloed op gewasontwikkeling.

Via de signalen vanuit de fotoreceptoren is een plant in staat om te reageren op veranderingen in zijn omgeving. Een praktisch voorbeeld hiervan is de situatie dat een plant beschaduwd wordt door een andere plant: Omdat bladeren relatief veel verrood licht doorlaten en het meeste rode en blauwe licht absorberen, bevat het lichtspectrum dat de beschaduwde plant beschijnt relatief veel verrood licht en relatief weinig rood en blauw licht (zie Figuur 4). Dit spectrum geeft de plant een signaal dat het wordt beschaduwd. De plant heeft licht nodig om te kunnen overleven en reageert op de ontstane situatie door te gaan strekken. In dit geval wordt de strekking gereguleerd via zowel de cryptochromen (weinig blauw licht) als de fytochromen (veel verrood licht), die beiden aanzetten tot productie van hormonen die strekking stimuleren. Hiermee investeert de plant veel energie in zijn stengel en relatief minder in zijscheuten, bladeren en wortels. Een onbeschaduwde plant krijgt de tegengestelde signalen: bij voldoende licht kan de plant beter investeren in wortels, zijscheuten en bladeren. Dit laatste resulteert in een compacte plantvorm.



Figuur 4 Zonspectrum (rood) boven een gewas en schaduw spectrum (zwart) middenin het gewas. Licht tussen de 690-800nm is verrood licht. Het is duidelijk te zien dat beschaduwen niet alleen een groot effect heeft op de lichtintensiteit, maar ook op de spectrale samenstelling van het licht. Bron: Pot & Trouwborst, 2011.

De interactie tussen de drie genoemde fotoreceptoren (cryptochromen, fototropinen en fytochromen) is complex. Het is ook niet uit te sluiten dat wetenschappelijk onderzoek leidt tot indentificatie van nieuwe typen fotoreceptoren in de toekomst. Een inschatting van de gewasrespons op de kleur, de intensiteit en het tijdstip van toepassing van stuurlicht vergt dan ook een zeer gedegen kennis van de achterliggende mechanismen in de plant. De werking van blauw licht geeft een heldere illustratie van de complexiteit van de interactie tussen de verschillende fotoreceptoren: Blauw licht staat bekend om zijn remmende effect op strekking. Veel onderzoeken hebben al laten zien dat een hoger percentage blauw licht inderdaad tot een compactere plantvorm leidt. Echter, wanneer een gewas belicht wordt met puur blauw licht, dan kunnen planten juist een extreme tegengestelde reactie laten zien. Dit wordt duidelijk in het voorbeeld in Figuur 5. De onverwachte extreme strekking die plaatsvond onder 100% blauw licht komt waarschijnlijk doordat een nauwe bandbreedte rond 450 nanometer binnen het blauwe golflengtegebied een fytochroomevenwicht stimuleert dat dezelfde kant uit gaat als bij verrood licht. Dit is ook te zien in Figuur 3. Zo ontstaat de situatie dat het blauwe licht aan de cryptochromen een signaal geeft tot strekkingsremming en tegelijkertijd aan de fytochromen een signaal geeft tot strekking. Blijkbaar overheerst onder zulke omstandigheden het fytochroomsignaal over het cryptochroomsignaal. Door dit soort complexe interacties tussen fotoreceptoren is het altijd verstandig om mogelijke nieuwe toepassingen van stuurlicht eerst kleinschalig op hun werking te testen.



Figuur 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 & Van Ieperen uit 2008, ongepubliceerd).

Een uitgebreidere bespreking van de fysiologische principes die ten grondslag liggen aan de werking van stuurlicht is te vinden in het deelrapport 'Stuurlicht bij de tijd' (Trouwborst, Hogewoning & Pot, 2013).

De beschikbare kennis over de mogelijkheden om gewassen met lichtsignalen te sturen wordt in de hoofdstukken 3, 4 en 5 verder uitgewerkt, voor zover er een verband is met kansen voor energiebesparing.

3 Klassieke toepassing van stuurlicht

Verlenging van de dag met een lage intensiteit stuurlicht is de meest bekende manier waarop stuurlicht toegepast wordt in de tuinbouw. Traditioneel worden daartoe gloeilampen of fluorescentie-lampen ('spaarlampen') gebruikt. Een bekende toepassing van stuurlicht is het stimuleren van bloei-inductie bij lange-dag (LD) planten of het voorkomen van bloei bij korte-dag (KD) planten (zie 3.1 en 3.2). Bij sommige KD en LD planten is de daglengte bepalend voor het al dan niet in bloei komen. Dit zijn de zogenaamde kwalitatieve KD of LD planten. Er zijn ook KD en LD planten die onafhankelijk van de daglengte in bloei komen, maar waarbij de daglengte wel een sterke invloed heeft op de snelheid van de bloei-inductie. Dit zijn de zogenaamde kwantitatieve KD of LD planten. Voor KD planten moet opgemerkt worden dat de bloei-inductie tijdens de donkere uren plaatsvindt, en dat dus eigenlijk niet zozeer de daglengte, maar de nachtlengte bepalend is voor de bloei. Verder wordt stuurlicht gebruikt om de morfologie (vorm) van het gewas te sturen (zie 3.3) of om de productie te doen toenemen (zie 3.4).

3.1 Bloei-inductie bij lange-dag planten met stuurlicht

De korte natuurlijke daglengte tijdens de winter is onvoldoende voor bloei-inductie bij LD planten. Voorbeelden van LD planten zijn sla, spinazie, anjer, Matricaria, Lisianthus, Phlox, Gypsophila, Rudbeckia, Stephanotis, Lelie, Alstroemeria, bepaalde Fuchsia en Campanula variëteiten, Viool, Violier, Lobelia en Petunia. Het minimum aantal benodigde uren licht voor bloei-inductie is niet zozeer vanwege de minimale behoefte aan assimilaten, maar vooral vanwege de signaalfunctie voor de plant. Een voldoende lange daglengte geeft de plant het signaal dat de natuurlijke bloei in de zomerperiode kan aanvangen. Vanwege de signaalfunctie is bij LD gewassen een lage intensiteit belichting voor verlenging van de winterdagen vaak afdoende voor het induceren van bloei.

In oudere studies bleek dagverlenging met gloeilampen, die zowel rood als verrood uitstralen (gloeilamp), veel effectiever voor het stimuleren van bloei van LD planten dan dagverlenging met TL-licht, dat geen verrode golflengten uitstraalt. Met de beschikbaarheid van LED-lampen is belichting met puur verrood licht ook haalbaar geworden voor de praktijk. Dat geeft aanleiding tot de vraag of rode golflengten ook bedragen aan de bloei-inductie, of dat puur verrood effectiever is. Uit onderzoek van Runkle en Heinz (2001) en Craig and Runkle (2012) is gebleken dat lamplicht met een spectrum waarin verrode golflengten plus een kleinere proportie rode golflengten vertegenwoordigd zijn tot dusverre het meest effectief zijn. De praktische consequentie hiervan is dat een lamp die beide golflengten uitstraalt voldoet voor dagverlenging om LD-planten in bloei te sturen. Hiermee dient rekening gehouden te worden bij de selectie van energiezuinigere LED-lampen ter vervanging van gloeilampen. In het deelrapport 'Stuurlicht bij de tijd' (Trouwborst, Hogewoning & Pot, 2013) wordt dieper op de achterliggende fysiologie ingegaan.

Dagverlenging met stuurlicht voor bloei-inductie vindt vooral plaats in de sierteelt. Hieronder volgt een praktijkvoorbeeld voor anjer waarbij gebruik gemaakt wordt van dagverlenging met stuurlicht om bloei te stimuleren.

Anjer

Bij anjer wordt de daglengte verlengd door gebruik te maken van 150 Watt gloeilampen (7.5 tot 15 W/m²) die zo'n 14 uur per nacht branden (Van der Helm, 2010). Dit wordt gedaan om in het voorjaar bloeivervroeging te realiseren. Dit kan alleen als er ook wat verrood in het spectrum zit. Twee jaar van kleine praktijkproeven heeft aangetoond dat dit met LED-lampen ongeveer net zo goed te bereiken is als met gloeilampen. Het gebruikte wattage daalt hiermee tot 0.9-1.8W/m². Een bijkomend voordeel is dat het stuurlicht bij anjers tevens het ontstaan van pluis (zijtakjes) vermindert, wat arbeid bespaard.

3.2 Voorkomen van bloei bij korte-dag planten met stuurlicht

In tegenstelling tot LD planten (zie 3.1) leiden de lange natuurlijke winternachten bij KD planten juist wel tot bloei-inductie. In een te vroeg groeistadium is dit onwenselijk. Voorbeelden van KD planten zijn Chrysant, Bouvardia, Aster, Gerbera, Kalanchoë, Poinsettia, Schlumbergera (lidactus), Hypoestes, Primula en Begonia. Een voldoende lange nachtlengte geeft de plant het signaal dat de natuurlijke bloei in de najaarsperiode kan aanvangen. Bij sommige KD planten is de natuurlijke bloeiperiode overigens juist in het voorjaar, volgend op een koudeperiode (o.a. sommige aardbeienrassen).

Om een te vroege bloei te voorkomen kan een korte nachtonderbreking met een lage intensiteit belichting afdoende zijn. In tegenstelling tot dagverlenging bij LD planten om bloei te stimuleren (zie 3.1), behoeft het stuurlicht waarmee bij KD planten middels nachtonderbreking bloei wordt voorkomen, geen combinatie van rode en verrode golflengten te bevatten. Actief fytochroom B onderdrukt bloei (zie 2.2 en Jarillo & Piñeiro, 2006). Dus ook lichtbronnen zonder verrood zouden effectief moeten zijn om bloei te voorkomen, hetgeen ook blijkt uit het succesvolle gebruik van spaarlampen bij KD gewassen in het verleden. Dit maakt het eenvoudig om een geschikte energiezuinige LED-lamp te selecteren om ongewenste bloei bij KD planten met een lage intensiteit nachtelijke belichting te voorkomen.

Hieronder volgt een praktijkvoorbeeld waarbij gebruik gemaakt kan worden van dagverlenging met stuurlicht om bloei in een te vroeg stadium te voorkomen.

Bouvardia

Bouvardia is een korte dag plant. Bij Bouvardia is de kritische daglengte voor bloeinductie tussen 10 en 12 uur. Twee tot drie weken korte dag (KD) van minder dan 12 uur licht is voldoende voor bloemaanleg. Het voorkomen van bloemaanleg in de winter kan met LD worden bereikt met gloeilampen. Cyclische belichting van 10 minuten licht, 20 minuten donker gedurende enige uren in het midden van de nacht voorkomt bloei (Slootweg & Van Mourik, 2011). Door de gloeilampen te vervangen door rode LED-lampen kan relatief veel energie bespaard worden (zie bijlage 1).

Bij de meeste KD gewassen is het gebruik van gloeilampen voor dagverlenging tegenwoordig vrijwel volledig vervangen door dagverlenging met assimilatielampen (o.a. bij Chrysant, Kalanchoë, Gerbera, en ook Bouvardia). Er wordt dan dus een lange dag aangehouden om bloei te voorkomen (20 uur bij Chrysant), waarna wordt overgegaan op een daglengte van 11.5 tot 12 uur om bloei te induceren. In het kader van energiebesparing verdient belichting gedurende de lange-dag periode van de KD-gewassen een kritische blik. Een lage intensiteit belichting is wellicht voldoende gedurende dit jonge teeltstadium. Bovendien kan de spectrale samenstelling van het licht een groot effect hebben op de groeisnelheid van jonge planten (zie 4.2.1.2).

3.3 Beïnvloeding gewasvorm met stuurlicht

Dagverlenging met stuurlicht kan ook de morfologie, oftewel de vorm van het gewas beïnvloeden. Afhankelijk van het type stuurlicht en het tijdstip waarop belicht wordt kan de gewasstrekking worden bevorderd of geremd. Hiermee kan de uiterlijke vorm van siergewassen in de gewenste richting gestuurd worden. Afhankelijk van de gewassoort en het seizoen kan meer taklengte of juist een compactere plantvorm wenselijk zijn.

In de sierteelt zijn er nog geen toepassingen op dit gebied. Wel wordt sturing op compactheid gedaan met SON-T belichting. Vervanging van een hoge intensiteit SON-T door een lagere intensiteit licht met een andere spectrale samenstelling biedt kansen voor energiebesparing. Hier wordt in H 4.2 verder op ingegaan.

In de (vrucht)groenteteelt vindt toepassing van dagverlenging met stuurlicht plaats bij aardbei, met als doel, naast bloeibevordering, bevordering van de strekking van de bloemstelen om de vruchten 'ruimte' te geven. Deze doelstelling heeft verder geen relatie met energiebesparing. Wel kan energie bespaard worden door de gloeilampen te vervangen door LED-lampen die voor een gedeelte licht met verrode golflengten uitstralen (van Delm *et al.* 2011).

3.4 Beïnvloeding productie en teeltsnelheid met stuurlicht

Dagverlenging met een lage intensiteit stuurlicht kan ook een positieve invloed hebben op de productiviteit van gewassen. Dit is geen direct effect van de dagverlenging op de aanmaak van extra assimilaten, maar een indirect effect: Het stuurlicht beïnvloedt de plantvorm zodat het daglicht en assimilatielicht efficiënter door het gewas onderschept wordt (Hogewoning *et al.* 2010, 2012ab). Dit kan vooral bij jonge gewassen met een open gewasstructuur de groei aanzienlijk versnellen.

In de praktijk wordt nog geen gebruik gemaakt van dit type stuurlicht-toepassing. Onderzoek laat wel een aantal potentieel interessante toepassingen zien. Hieronder volgen twee recente voorbeelden.

Violier

Bij Violier is het effect van lage intensiteiten nachtelijke belichting onderzocht om de teeltduur te verkorten en de productkwaliteit te verbeteren (EFRO project Regio Aalsmeer, periode 2012-2013). Er werd met een combinatie van rode en blauwe LED's met 5, 10 en 20 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ belicht gedurende 10 uur in de donkerperiode. Hoe hoger de intensiteit nachtelijke belichting, hoe donkerder de bladkleur was (grotere sierwaarde), en hoe korter de teeltduur (tot 21 dagen korter). Overigens is het twijfelachtig of een intensiteit van 20 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ nog stuurlicht genoemd mag worden, omdat bij die intensiteit ook een significant hogere gewasfotosynthese zal plaatsvinden. Desalnietemin bieden de bevindingen aanleiding om praktijktoepassing te overwegen. Hoewel het toevoegen van belichting tot meer energieverbruik leidt per oppervlakte-eenheid, kan door teeltversnelling wel energie bespaard worden per eenheid product.

Een onderzoek van Yoshimura *et al.* (2002) laat zien dat nachtelijke belichting met een combinatie van rood en verrood stuurlicht mogelijk bloei-inductie stimuleert bij Violier. Omdat Violier een LD plant is, zou dit geen onverwacht effect zijn. Zonder stuurlicht wordt bloei bij violier geïnduceerd bij een teeltemperatuur van maximaal 16 graden. Hierdoor is het in de zomer nodig om veel licht weg te schermen met krijt en schermdoeken. Dit kost uiteraard ook veel productie, snelheid en kwaliteit. Mogelijk kan er meer licht toegelaten worden door in de zomer met rood en verrood bij te belichten in de nacht. Zo zou het daglicht veel beter worden benut.

Freesia

In een proef met stuurlicht was de productie van Freesia hoger bij zowel nachtelijke belichting met rood als met verrood licht (van der Helm *et al.* 2013). Een praktijkproef heeft dit niet bevestigd, maar waarnemingen waren te beperkt. Waarschijnlijk wordt de proef na verschijnen van dit rapport herhaald.

4 Nieuwe toepassingsmogelijkheden voor stuurlicht vanuit bestaande kennis

Uit recent en ouder onderzoek zijn een aantal interessante effecten van stuurlicht op de ontwikkeling van planten naar voren gekomen. Aspecten zoals bloei, plantvorm, productiviteit en de snelheid van de teeltcyclus kunnen worden beïnvloed. Tot dusverre hebben praktische overwegingen de toepassing van dit soort inzichten in de praktijk vaak in de weg gestaan. Lichtbronnen waren te duur, te inefficiënt, te onveilig of te onhandig. Met de recente ontwikkelingen in de lichttechnologie (zie Bijlage 1) komt toepassing van kennis uit zowel oude als meer recente onderzoeken steeds dichterbij de praktijk.

Hieronder wordt uiteengezet hoe energie bespaard kan worden door vanuit bestaande plantkundige kennis innovatieve praktische toepassingen te ontwikkelen en implementeren. Daarbij is de volgende onderverdeling gemaakt:

- a. Dagverlenging met stuurlicht in plaats van SON-T.
- b. Stuurlichtcomponent assimilatielicht verbeteren:
 - Efficiëntere productie door combinatie assimilatie- en stuurlicht.
 - Verbeterde kwaliteit door combinatie assimilatie- en stuurlicht.

4.1 Dagverlenging met stuurlicht in plaats van SON-T

Bij een aantal LD gewassen hebben assimilatielampen een tweeledige functie: (1) verhoging van de fotosynthesesnelheid per oppervlakte blad ter bevordering van de productie en (2) bevordering van de bloeisnelheid via dagverlenging. Zo wordt de lange dag bij de LD- planten Lisianthus en Lelie niet met stuurlicht verkregen, maar door (hoge intensiteit) SON-T. Door een aantal uren belichting met SON-T te vervangen door een lage intensiteit stuurlicht kan fors energie bespaard worden. Per gewas zal moeten worden bepaald of dat geen negatieve gevolgen heeft voor de productie. Voor Lelie en Lisianthus is deze gedachtegang hieronder nader uitgewerkt.

Lelie

Lelie is een zogeheten kwantitatieve 'lange dag plant': door het aanhouden van een lange dag wordt de bloei met zo'n twee a drie weken versneld. Door historische ontwikkelingen wordt momenteel de SON-T lamp ($\sim 90 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) ingezet als dagverlenging en wordt daarmee tot wel 18 uur per dag belicht. Waarschijnlijk kan dit veel energie-efficiënter met een aantal uren een lage dosis stuurlicht, terwijl dezelfde teeltduurverkorting wordt bereikt. Het is nog niet geheel duidelijk of bij het gemis van een aantal uren assimilatielicht de takkwaliteit behouden blijft. Dit laatste is essentieel voor inpassing in de praktijk. Deze casus zal worden onderzocht in het belichtingsseizoen 2013/2014 (Praktijkdemo Energiebesparing door dagverlenging met LED in lelie).

Lisianthus

Lisianthus wordt gedurende 20 tot 22 uur per etmaal belicht met hoge intensiteiten SON-T licht ($>200 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ in 2012). Ook in de zomer wordt bij een forse instraling natuurlijk daglicht doorbelicht met de SON-T lampen. Hierdoor is het energieverbruik in de huidige Lisianthus-teelt relatief erg hoog. Vervanging van een aantal uren assimilatiebelichting door een lage intensiteit stuurlicht lijkt een aantrekkelijke optie met het oog op energiebesparing. Recente metingen hebben echter aangetoond dat Lisianthus-bladeren gedurende het grootste deel van de dag lichtintensiteiten tot wel $240 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ volledig benutten voor de fotosynthese (Trouwborst *et al.* 2013b). Vervanging van een aantal uren assimilatiebelichting door een lage intensiteit stuurlicht verlaagt dus de assimilatenproductie door het gewas. Het is niet onwaarschijnlijk dat dit resulteert in een lagere productkwaliteit en/of een langere teeltduur. Wel kan zonder grote gevolgen voor de productie bespaard worden door belichting eerder af of uit te schakelen bij een toenemende instraling van natuurlijk daglicht. Echter, dit staat los van stuurlicht. Een mogelijk interessante toepassing is om gedurende de eerste weken van de teelt een aantal uren assimilatiebelichting te vervangen door stuurlicht. Als het gewas nog niet dicht gegroeid is gaat veel licht verloren door een inefficiënte lichtinterceptie door het gewas. Stuurlicht met de juiste spectrale samenstelling kan de plantvorm zo beïnvloeden dat licht efficiënter onderschept wordt (zie meer uitleg in 4.2.1.2). Voor Lisianthus ligt hier een kans voor energiebesparing die de moeite waard lijkt voor nader onderzoek.

Voor KD planten geldt eenzelfde gedachtegang. In het begin van de teeltcyclus wordt bij een aantal KD gewassen, waaronder chrysant, langdurig belicht met een hoge intensiteit SON-T. Dit om voortijdige bloei te voorkomen. Vervolgens wordt maximaal 11 tot 12 uur belicht om de bloei juist te bevorderen. Door in het begin van de teeltcyclus een aantal uren belichting met SON-T te vervangen door een lage intensiteit stuurlicht kan energie bespaard worden. Door stuurlicht met de juiste spectrale samenstelling te selecteren kan de plantvorm zo worden beïnvloed dat licht efficiënter onderschept wordt. Vooral bij open gewassen (begin teelt) lijkt dit een effectieve manier om de benutting van daglicht en assimilatielicht te doen toenemen (zie meer uitleg in 4.2.1.2). Ook hier zal per gewas zal moeten worden bepaald of dat geen negatieve gevolgen heeft voor de productie. Voor KD gewassen als Chrysant, Gerbera en Bouvardia biedt deze gedachtegang perspectief voor energiebesparing.

4.2 Stuurlichtcomponent assimilatielicht verbeteren

In Hoofdstuk 2 zijn de verschillen tussen assimilatie- en stuurlicht toegelicht. Voor het begrip is zo'n onderscheid nuttig, maar in de realiteit kan assimilatielicht niet altijd los worden gezien van stuurlicht (Hogewoning, 2013). Immers, als met assimilatielampen een langere daglengte aangehouden wordt dan de natuurlijke dag, dan is er niet alleen sprake van een grotere lichtsom, maar ook van een 'lange dag'- signaal. Daarnaast is de spectrale samenstelling van het licht van assimilatielampen beduidend anders dan van daglicht. Door deze verandering in het lichtspectrum ten opzichte van daglicht kan assimilatiebelichting ook grote stuurlichteffecten teweegbrengen.

De stuurlichteigenschappen van assimilatielicht kunnen zowel voordelen als nadelen opleveren. De uitdaging is om de nadelige effecten te compenseren en de voordelige effecten uit te buiten. Hieronder wordt uiteengezet welke mogelijkheden er ten aanzien van gewasproductiviteit (4.2.1) en sierwaarde in de zin van plantcompactheid (4.2.2).

4.2.1 Efficiëntere productie door combinatie assimilatie- en stuurlicht

Stuurlicht biedt kansen voor een efficiëntere benutting van het daglicht en het assimilatielicht. Assimilatiebelichting wordt in eerste instantie gebruikt om de aanmaak van de assimilaten (suikers) van het gewas en dus de groei te bevorderen. Hierbij zijn de lichtintensiteit en belichtingsduur logischerwijs van belang. Echter, ook het lichtspectrum heeft invloed op de efficiëntie waarmee het licht benut wordt. Enerzijds door directe beïnvloeding van de fotosynthese (4.2.1.1) of door beïnvloeding van de plantmorfologie (4.2.1.2) en gewasopbouw (4.2.1.3) voor verbeterde lichtonderschepping. Anderzijds door versterkte sturing op de assimilatenstroom naar de vruchten (4.2.1.4).

4.2.1.1 Activeren van de fotosynthese aan het begin van de dag.

Het duurt bij het zon-minnende gewas tomaat circa 30 minuten voordat de fotosynthese aan het begin van de dag volledig 'op stoom' is (Dueck *et al.* 2007). Uit het onderzoek "Meer Rendement uit Belichting en CO₂ dosering" blijkt dat vooral schaduw-minnende potplanten aan het begin van de dag langdurig moeten 'opstarten' (Trouwborst *et al.* 2013a). Bij deze planten is de belangrijkste oorzaak hiervan dat de huidmondjes nog niet volledig zijn geopend. Daardoor vormen de huidmondjes een weerstand die de opname van CO₂ door de bladeren bemoeilijkt. Bij gewassen zoals tomaat is het doeltreffender om het licht in gedeeltes op te schakelen, zodat het maximale lichtniveau pas na een half uur bereikt wordt. Bij de schaduw-minnende potplanten echter is de in de praktijk gebruikte intensiteit SON-T dusdanig laag (30 tot 60 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) dat in gedeeltes opschakelen weinig doeltreffend lijkt, en zal leiden tot een ongelijkmatige lichtverdeling.

Blauw licht heeft over het algemeen een positieve invloed op de opening van de huidmondjes (Zeiger *et al.* 1981). Het SON-T spectrum bevat slecht 4 tot 5 procent aan golflengten in het blauw (400- 500 nm; zie Figuur 6) Mogelijk dat een lage dosis blauw licht aan het eind van de nacht voldoende is als trigger om de plant alvast te activeren (huidmondjes te openen). Als alternatief kan onderzocht worden of belichting met een hoger percentage blauwe golflengten de huidmondjesopening verhoogt. Hiertoe zijn verschillende mogelijkheden, zoals een ander type gasontladingslamp, LED's, of aanvulling SON-T met blauwe LED's. De impact zal zijn dat de lichtbenutting van het assimilatielicht en het daglicht wordt verhoogd. Dit resulteert in meer assimilaten uit een onderschepte mol licht. In hoeverre deze theoretische kennis aangewend kan worden om een betere lichtbenutting door tuinbouwgewassen te realiseren dient nog te worden onderzocht.

4.2.1.2 Versnelde opkweek open gewassen

Door rekening te houden met de samenhang tussen groeilicht en stuurlicht kunnen gewassen op een efficiëntere manier belicht worden. Bij een open gewasstructuur, zoals in de opkweek, wordt een (groot) gedeelte van het licht niet door het gewas onderschept. Sturing op een plantvorm waardoor licht efficiënter onderschept wordt, biedt mogelijkheden voor een versnelde opkweek. Zo kan energie bespaard worden. De huidige standaard assimilatielamp (SON-T) en lampen op basis van een combinatie van rode en blauwe LED's stralen respectievelijk weinig licht uit in het verrode golflengte-gebied (700-780 nm; zie Figuur 6). Dit leidt tot een compacte plantvorm (zie ook 4.2.2), waardoor bladeren elkaar beschaduwen. Door toevoeging van verrode golflengten kan de fytochroom-evenwicht in de plant zo gestuurd worden dat er een plantvorm ontstaat die efficiënter licht onderschept. Langere bladstelen en internodiën leiden ertoe dat de individuele bladeren meer licht onderscheppen. Dit is onder andere aangetoond voor het gewas komkommer (Hogewoning *et al.* 2010, 2012, 2013). Bij sla lijkt hetzelfde mogelijk te zijn (Li & Kubota, 2009).

In een verder ontwikkelingsstadium van het gewas wordt het meeste licht al onderschept. Daardoor neemt de meerwaarde van het stimuleren van de lichtonderschepping door de individuele planten af. Bovendien is in de sierteelt een minder compacte gewasvorm vaak onwenselijk. Toevoeging van de juiste dosis verrood stuurlicht aan het assimilatielicht om de gewasgroei te stimuleren biedt dus vooral perspectief in de beginfase van een teelt (bijvoorbeeld bij jonge vruchtgroenteplanten, maar ook bij gewassen als Chrysant en Lisianthus).

4.2.1.3 Stuurlicht voor gewasbouw roos

Tussenbelichting bij roos biedt een kans om te komen tot een gelijkmatigere lichtverdeling over het gewas en daardoor een efficiëntere benutting van het licht (Trouwborst *et al.* 2010ab; Pot en Trouwborst 2011). Echter, het biedt ook kansen om het spectrum van de tussenbelichting zodanig aan te passen dat er gestuurd wordt op plantopbouw.

Onderzoek binnen het project "Paspoort Roos" (Schapendonk *et al.* 2010) heeft aangetoond dat een gelijkmatige gewasopbouw, waar te nemen als een evenwichtige verdeling van takgroottes, een sleutelkenmerk is voor een optimalisatie van de lichtbenutting en energie-efficiëntie. Bij een gewas dat sterk 'op snede' staat, worden in een korte tijd alle takken geoogst en blijft een kaal gewas over. Vervolgens loopt het gewas weer uit en neemt de gewasdichtheid toe totdat de volgende snede plaatsvindt. De gevolgen van een meer gelijkmatig verdeelde gewasopbouw voor de energiebenutting van een rozengeas zijn groot. Gewasopbouw heeft namelijk alles te maken met efficiënt omgaan met het aangeboden (dag)licht. Een gewas op snede kent een fase waarin het licht slecht benut wordt doordat er te weinig gewas staat (kort na de snede) en een fase waarin het gewas zo dicht is dat de individuele takken weinig licht krijgen en daardoor kwaliteit inleveren. Een gelijkmatigere plantopbouw zorgt voor een hoge lichtonderschepping, een relatief efficiënte gewasfotosynthese en, in de tijd bezien, een gelijkmatige vraag naar assimilaten. Dit kan bij rassen die sterk op snede staan een productieverhoging van 30% geven (Trouwborst *et al.* 2010a).

Bij de realisatie van een gelijkmatige plantopbouw speelt de scheutuitloop een cruciale rol. Uit het onderzoek "Paspoort Roos" bleek dat zowel de start van de scheutuitloop als de snelheid van uitgroei ras-afhankelijk zijn. Het hangt van het ras af of het wenselijk is om het aantal en/of de snelheid van scheutuitloop te bevorderen, dan wel te verminderen om uiteindelijk de gewenste gewasopbouw te realiseren (Trouwborst *et al.* 2010ab en Pot & Trouwborst 2011). Voor (te) makkelijk uitlopende rassen kan sturen op minder scheutuitloop leiden tot een grote verbetering van de takkwaliteit. In het onderzoek : "Sturing scheutuitloop bij roos: effect van lichtspectrum en temperatuur" (Trouwborst en Pot, 2012) is inzicht verkregen in het stuurmechanisme en effecten van lichtkleur op scheutuitloop.

De belangrijkste resultaten waren:

- Rood licht stimuleert scheutuitloop à biedt kansen voor rassen die van nature sterk op snede staan. Gewasopbouw wordt gelijkmatiger en hierdoor ontstaat een veel efficiëntere benutting van daglicht. Hierdoor wordt de afhankelijkheid van assimilatiebelichting minder en kan dus energie bespaard worden.
- Verrood licht, vooral gedurende korte tijd in de nacht, remt scheutuitloop à beperkt het teveel aan uitloop en geeft daardoor een verbetering van kwaliteit bij rassen die te gemakkelijk uitlopen. Het percentage loze takken kan worden teruggebracht, waardoor er minder competitie is voor assimilaten. De noodzaak voor zeer hoge lichtsommen vermindert, waardoor minder kan worden belicht.

Om de effecten van de diverse lichtkleuren op scheutuitloop te kunnen aantonen werd de proef uitgevoerd onder gecontroleerde omstandigheden (per snede is het gewas 'teruggezet', zodat de verschillende lichtspectra zonder verstorende beschaduwing op de knippunten werden aangeboden). In de praktijk staat er veelal een opgaand gewas, waarbij nieuwe takken moeten uitlopen bij laag licht (schaduw van naburige takken: lage intensiteit en verschuiving van lichtkleur naar verrood). Het vinden van de meest praktische methode om de gewenste kleur stuurlicht onderin het gewas in te zetten vormt nog een uitdaging.

Behalve bij roos speelt de wens om het aantal scheuten en het takgewicht te kunnen sturen bij meerdere gewassen, waaronder Alstroemeria. Mogelijk gelden de stuurlichteffecten op scheutuitloop, zoals gevonden bij roos, ook bij andere gewassen.

4.2.1.4 Generatieve sturing van gewassen

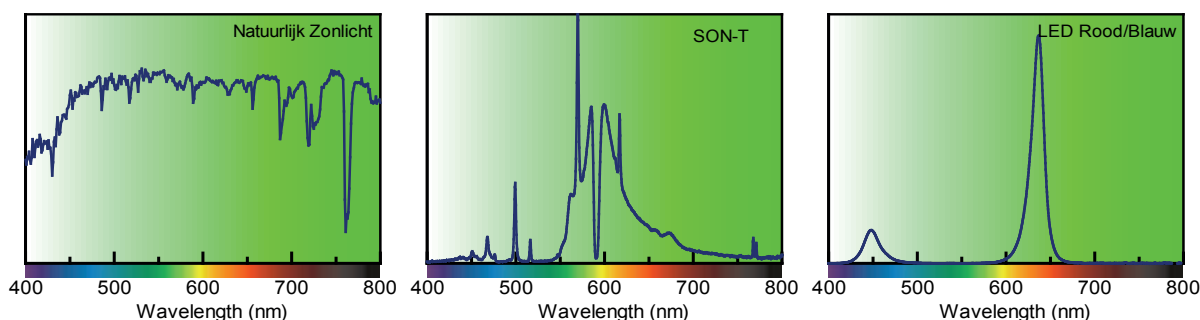
De spectrale samenstelling van licht heeft ook invloed op de verdeling van assimilaten tussen verschillende plantenorganen. Zo leidt een 'schaduw spectrum', dat wil zeggen een lichtspectrum met relatief veel verrood licht, niet alleen tot meer stengelstrekking bij veel gewassen, maar ook tot een snellere bloei en afrijping van vruchten. Er gaan dan relatief meer assimilaten richting de vruchten ten koste van de bladeren (zie o.a. Kasperbauer & Hunt, 1998). Vooral bij gewassen waar de bladdichtheid (leaf area index of LAI) groter is dan de minimumwaarde om voldoende licht te onderscheppen lijkt het zinvol om te sturen op een sterkere assimilatenstroom richting bloemen en vruchten. Zo wordt meer energie benut voor de productie van oogstbare delen van het gewas. Dit biedt potentie voor een betere energiebenutting per eenheid product.

In de sierteelt kan het neveneffect van verrood licht, namelijk meer stengelstrekking, onacceptabel zijn ten aanzien van de productkwaliteit. In de vruchtgroenteteelt hoeft dit geen probleem te zijn. In tegendeel, een grotere internodiënlengthe kan leiden tot een gelijkmatigere verticale lichtverdeling in het gewas. Een gelijkmatigere verticale licht-verdeling is gunstig voor de gewasfotosynthese, hetgeen ook de gedachte is achter tussenbelichting (Trouwborst, 2011) en een diffuus kasdek (Dueck *et al.* 2012).

Een recent belichtingsonderzoek bij tomaat heeft aangetoond dat een groter aandeel verrode golflengten in de belichting gunstig kan zijn voor de productie en vruchtkwaliteit (Hogewoning *et al.* 2012). Toevoeging verrood licht aan een combinatie van rode en blauwe LED's leidde vroeg in het seizoen tot forse meerproductie door een sterkere assimilatenverdeling richting de vruchten (generatiever gewas), een snellere afrijping van de vruchten (minder graaddagen), en een diepere doordringing van licht in het gewas (meer strekking). Ook waren het drogestofgehalte en de brix-waarde 10-20% hoger in de vruchten. De keerzijde was dat het energieverbruik voor het verrood nog ontoelaatbaar hoog was voor praktijktoepassing en dat de effecten te extreem waren. De te extreme effecten zijn eenvoudigweg op te lossen door het aandeel verrood te verkleinen. Wat betreft het energieverbruik is het belangrijk om kennis te ontwikkelen die ertoe bijdraagt dat het verrode licht op die momenten wordt ingezet, dat het zo effectief mogelijk door de plant wordt verbruikt. Over de dagritmes in de gevoeligheid van planten voor verrood licht is nog weinig bekend. Meer kennis hierover kan deuren openen die kunnen leiden tot energiebesparing in de vruchtgroenteteelt. Hiertoe levert het deelrapport bij deze studie een bijdrage ('Stuurlicht bij de tijd', Trouwborst, Hogewoning & Pot, 2013).

4.2.2 Compactere plantvorm door combinatie assimilatie- en stuurlicht

Naast het bevorderen van de fotosynthesesnelheid heeft assimilatiebelichting in de sierteelt vaak nog een neven doel: bevordering van een compactere plantvorm. Meer licht leidt in het algemeen tot een minder gestrekt gewas. Bovendien zorgt spectrale samenstelling van het licht uitgestraald door hogedruk natrium (SON-T) lampen voor een extra remming van de strekking. Het aandeel verrode golflengten is veel kleiner in het SON-T spectrum dan in daglicht (zie Figuur 6). Juist de verrode golflengten hebben een sterk strekking bevorderend effect (zie ook Hoofdstuk 2).



Figuur 6 Spectrale samenstelling van natuurlijk daglicht (links), SON-T licht (midden) en een combinatie van rode (90%) en blauwe (10%) LED's. Onder andere het aandeel verrode golflengten (700-800 nm) is veel groter bij natuurlijk daglicht dan bij SON-T en LED rood/blauw licht.

In belichte teelten zoals Lelie, Kalanchoë, Potroos, Potchrysant is het strekking remmende effect van de SON-T belichting een belangrijk neven doel. In die zin leidt de SON-T lamp al tot een gewenst effect op de gecombineerde doelstellingen groei (groeilicht) en plantvorm (stuurlicht). Echter, er zijn lightspectra op basis van LED's te bedenken die de strekking nog sterker remmen. Het effect op energiebesparing is dan tweeledig:

1. De nieuwste generatie LED-armaturen heeft een lager energieverbruik per μmol uitgestraald licht t.o.v. SON-T.
2. Met een sterkere remming van de strekking is een lagere intensiteit belichting wellicht afdoende.

Bij punt 1 moet wel opgemerkt worden dat de LED armaturen dan voornamelijk moeten zijn samengesteld uit rode LED's met een piekgolflengte van 660 nm. Op basis van de huidige stand van zaken is dit namelijk het enige LED-type dat beduidend efficiënter is dan SON-T (zie bijlage 1). Punt 2 geldt in het geval dat gewascompactheid sterker weegt als reden om met een relatief hoge intensiteit SON-T te belichten dan assimilaten-aanmaak.

Immers, met een lagere intensiteit LED-belichting kan dan eenzelfde compactheid en voldoende assimilatie-aanmaak gerealiseerd worden. Zowel een efficiëntere lichtbron als een lagere intensiteit betekent een grote besparing aan elektriciteitsverbruik.

Plantkundig gezien zijn juist de 'standaard' LED armaturen voor de tuinbouw anno 2013, gebaseerd op een groot aandeel rode LED's (660 nm) en een klein aandeel blauwe LED's (450 nm), gunstig voor sturing op een compacte plantvorm. Het ontbreken van verrood licht zorgt al voor een sterk geremde strekking. Dit komt doordat het rode licht continu stuurt op de strekking remmende actieve Pfr vorm van de fytochromen, zonder dat verrood licht enig tegenwicht biedt (zie hoofdstuk 2). Bovendien leidt een groter aandeel blauw licht dan in het SON-T spectrum tot een verdere remming van de strekking via de cryptochromen. In die zin zouden LED-armaturen met een wat groter percentage blauw licht dan de gebruikelijke 5 tot 10% gunstiger zijn voor sturing op een compacte plantvorm.

In een aantal onderzoeken is het effect van de combinatie rood en blauw LED-licht op compactheid al aangetoond. Een aantal voorbeelden:

- Komkommer: Efficiënter lichtspectrum open gewassen uitgevoerd bij Plantenkwekerij van der Lugt te Bleiswijk (Hogewoning *et al.* 2012).
- Tomaat: Groeilicht met zonlichtlampen (Van Ieperen *et al.* 2012).
- Petunia en Chrysant: Compacte planten door geïntegreerde groeiregulatie (Van Ieperen en Heuvelink, 2012).

Ook bij het gewas Lelie wordt er belicht met SON-T om de tak compact te houden. Gedurende het belichtingsseizoen 2013-2014 zal getoetst worden of er met een ruim 30% lagere lichtintensiteit met een ander spectrum een kortere of vergelijkbare taklengte te realiseren is ten opzichte van een hoge lichtintensiteit SON-T (project 'Stuurlicht in de lilieteelt: een strategie voor energiebesparing', rapportage in 2014). Indien succesvol bij Lelie lijkt het ook de moeite waard om deze gedachtegang te toetsen voor een reeks gewassen waar vergelijkbare voordelen te behalen zijn (o.a. Kalanchoë, Potroos, perkplanten, Ficus, Potchrysant). Wel moet per gewas gekeken worden of belichting met een combinatie van rood en blauw LED-licht niet tot nadelige neveneffecten leidt. Bol blad is een probleem dat bij een aantal gewassen is geconstateerd (o.a. chrysant). Mogelijk leidt belichting met alleen rood en blauw licht als aanvulling op het daglicht tot bloei vertraging bij lange dag planten (zie ook 3.1). Voor Lelie wordt dit getoetst in bovengenoemd project.

5 Kansen voor de toekomst vanuit nieuw te ontwikkelen kennis

Tot dusverre zijn toepassingen van stuurlicht vooral gericht op dagverlenging ter beïnvloeding van bloei en plantvorm. De beschikbaarheid van zowel nieuwe kennis als van nieuwe lichtbronnen biedt kansen voor toepassingen van stuurlicht buiten de gebaande paden. Dus toepassingen van stuurlicht met doelstellingen buiten het aandachtsgebied tot nog toe. Dit vergt een procesmatige benadering vanuit plantkundige kennis. Zo komt vanuit de wetenschap steeds meer kennis beschikbaar over tijdsgevoeligheid van bepaalde plantprocessen (5.1). Ook worden via mutanten-onderzoek de plantprocessen en bijbehorende hormoonbalansen in steeds meer detail blootgelegd (5.2).

Hieronder zijn een tweetal kansrijke denkrichtingen uiteengezet, die kunnen leiden tot nieuwe strategieën om met behulp van stuurlicht energie te besparen in de glastuinbouw. We willen benadrukken dat deze denkrichtingen nog niet, of onvoldoende, proefondervindelijk getoetst zijn, en daarmee nog niet rijp voor praktijktoepassing. Om tot vernieuwende toepassingen te kunnen komen is het wel van groot belang dat wetenschappelijke kennis over dit soort complexe processen verder kan worden ontwikkeld.

5.1 Tijdstippen belichting met stuurlicht

Sinds enige jaren wordt weer meer wetenschappelijk onderzoek gedaan naar het circadian rythm - de interne klok - van planten. Ook processen die met stuurlicht aangestuurd worden kennen een tijdsgevoeligheid kennen over de dag. Dit geldt voor sturing op morfologische kenmerken en ook voor bloeisturing bij LD-planten. De uitdaging is om specifieke lichtkleuren op die momenten in te zetten dat planten er het meest gevoelig voor zijn. Zo kan met een minimaal energieverbruik een zo groot mogelijk effect bereikt worden ten aanzien van de planteigenschap die men wil beïnvloeden. In het deelonderzoek 'Stuurlicht bij de tijd' (Trouwborst, Hogewoning & Pot, 2013), behorend bij dit project, is een uitgebreid literatuuronderzoek naar deze processen opgenomen.

5.2 Vervanging temperatuur-behandelingen door stuurlicht?

Het zijn de fotoreceptoren in de plant die stuurlichtsignalen opvangen uit hun omgeving en aanzetten tot een bepaalde reactie. Die reactie behelst vaak een verandering in de balans tussen de verschillende planthormonen, waardoor weer allerlei ontwikkelingsprocessen op gang komen. Hierover staat een beknopte uitleg in hoofdstuk 2. Diezelfde fotoreceptoren en hormonen worden ook beïnvloed door allerlei andere stuurmechanismen, waaronder temperatuur en relatieve luchtvochtigheid. Teeltdoelstellingen die tot nu toe bereikt worden door te sturen met bijvoorbeeld temperatuur, vocht of assimilatiebelichting, kunnen mogelijk ook met de juiste stuurlicht-strategie bereikt worden. Hier liggen mogelijk kansen voor energiebesparing.

In de sierteelt wordt bij een aantal gewassen gebruik gemaakt van koude of warme perioden om de bloei te stimuleren, of juist te voorkomen. Hieronder volgt een aantal voorbeelden:

- Amaryllis: De bodem wordt gekoeld ter bevordering van de strekking van bloemstelen. Zonder koeling blijven de bloemen in rust in de bol.
- Trekheesters: Om de winterrust van de bloemknoppen in het voorjaar vervroegd te doorbreken worden soms zeer hoge temperaturen aangehouden.
- Alstroemeria: De bodem wordt gekoeld om de bloei te stimuleren. Tevens bestaat de wens bij telers om het aantal scheuten en takgewicht beter te kunnen sturen.
- Phalaenopsis: Gedurende een aanzienlijk gedeelte van de teeltcyclus (6-9 weken) worden de planten bij lage temperaturen geteeld om de bloei te bevorderen. Tevens wordt juist een hoge temperatuur gebruikt om ongewenste bloei te voorkomen.

Temperatuurbehandelingen om de bloei te beïnvloeden kunnen tot een aanzienlijk energieverbruik leiden. Zo wordt wat betreft het voorbeeld van de trekheesters $40 \text{ m}^3/\text{m}^2$ gas verbruikt voor het in bloei trekken van sering (Kromwijk *et al.* 2012). De temperatuurbehandelingen beïnvloeden de aanmaak en afbreuk van verschillende plantenhormonen en beïnvloeden zo het overgaan van de plant in verschillende fases (o.a. bloei, veroudering, rust, doorbreking rust). Verschillende typen plantenhormonen, waaronder auxine, gibberelinen, abscisinezuur (ABA), ethyleen en cytokinine, kunnen bij dit soort processen betrokken zijn. Ook stuurlicht kan via de fotoreceptoren een sterk effect hebben op de hormoonhuishouding van planten (zie hoofdstuk 2).

Dus zowel temperatuurbehandelingen als stuurlicht ontleen hun sturende effect op bloei aan hun invloed op de hormoonhuishouding van de plant. Daarmee lijkt het een interessante gedachte om te onderzoeken of met stuurlicht eenzelfde effect bereikt kan worden als nu met koeling of warmte. Omdat de hormonale processen verschillen per plantensoort, kan helaas geen 'algemeen recept' worden ontwikkeld. Er is gekozen om deze gedachte verder uit te werken voor Phalaenopsis. De Phalaenopsis-teelt verbruikt relatief veel energie en is op dit moment het belangrijkste gewas binnen de potplantensector in Nederland met meer dan 220 ha. teeltoppervlakte. Als bij Phalaenopsis de bloei met stuurlicht kan worden geïnduceerd snijdt het mes wat betreft energiebesparing aan twee kanten: In de zomer kost de koelfase veel energie. Daarnaast vertragen de lage temperaturen de fotosynthese en dus de groei, waardoor de teelt langer duurt. In de winter is de lengte van de teeltduur één op één gerelateerd aan het energieverbruik per geproduceerde plant. Hetzelfde geldt voor de toepassing van warmte om bloei te voorkomen: Als stuurlicht ingezet kan worden om bloei in gang te zetten, dan is het zeer waarschijnlijk dat een andere toepassing van stuurlicht bloei juist tegenhoudt.

In het deelrapport 'Verkenning mogelijkheden bloeisturing Phalaenopsis met stuurlicht' (verwachte uitgave: 2014) is deze bovenstaande gedachtelijn in detail uitgewerkt door middel van gericht literatuuronderzoek en experimentele toetsing in een kasproef met verschillende stuurlicht-behandelingen.

5.3 Fundamentele gaten in de kennis over stuurlicht

In de inleiding van dit hoofdstuk is het belang van verdere ontwikkeling van wetenschappelijke kennis over de complexe processen die aan de werking van stuurlicht ten grondslag liggen aangegeven. Waar voldoende begrip van dit soort processen ontbreekt, wordt het moeilijk om in de toekomst tot vernieuwende stuurlicht-toepassingen voor de tuinbouw te kunnen komen.

De auteurs van dit rapport hebben een aantal 'blinde vlekken' in de literatuur geïdentificeerd over de werking van stuurlicht. Dat wil zeggen, belangrijke vragen waar geen of slechts beperkte kennis over beschikbaar is.

Ten eerste is relatief weinig bekend over de mechanismen achter de reactie van korte-dag planten, en vooral van daglengte-neutrale planten, op stuurlicht. Bij lange-dag planten is wel uitgebreid onderzocht hoe stuurlicht ingrijpt op processen, van gen-expressie niveau tot de groei en bloei. Zie hiervoor een korte inleiding in hoofdstuk 3.2 en een uitgebreide analyse in het deelrapport 'Stuurlicht bij de tijd' (Trouwborst, Hogewoning & Pot, 2013). De voor de hand liggende oorzaak is dat de laatste decennia wereldwijd veruit het meeste plantkundig wetenschappelijk onderzoek wordt gedaan aan de lange-dag plant *Arabidopsis* (het zandraketje). Korte-dag planten en daglengte-neutrale planten krijgen simpelweg minder aandacht in de wetenschap. Daardoor is het lastiger om vernieuwende toepassingen te ontwikkelen voor belangrijk tuinbouwgewassen als tomaat, komkommer, paprika, roos (allen daglengte-neutraal) en chrysant (korte-dag), dan voor lange-dag gewassen.

Ten tweede is relatief weinig bekend over de exacte golflengte-gevoeligheid van de fotoreceptoren cryptochroom en fototropine. Deze fotoreceptoren spelen wel een belangrijke rol in het functioneren van planten (zie 2.2). Vooral door de opkomst van de LED-technologie zou het mogelijk moeten zijn om processen zeer doelgericht via deze fotoreceptoren te sturen, maar men weet niet hoe. Over de fytochromen is veel meer bekend (zie ook het deelrapport 'Stuurlicht bij de tijd', Trouwborst, Hogewoning & Pot, 2013). Maar ook voor die groep fotoreceptoren geldt dat belangrijke kennis voor de tuinbouw gebaseerd is op soms gedateerd onderzoek, of op onderzoek aan gewassen die mogelijk heel anders kunnen reageren dan tuinbouwgewassen.

6 Scenario-analyses gevolgen inzet stuurlicht voor energiebesparing

Voor 3 gewassen zijn de mogelijkheden om stuurlicht in te zetten als energiebesparende maatregel verder uitgewerkt. Eerst is een referentieteelt gedefinieerd voor het betreffende gewas met betrekking tot setpoints en teeltmaatregelen. Dit is afgestemd met tuinders tijdens workshops (Bijlage III). Het energieverbruik voor de referentieteelt is berekend met behulp van het computermodel 'Kaspro'. Er is bij de berekeningen aangenomen dat een WKK is gebruikt om de elektriciteit te leveren voor de belichting. Benodigde energie om te koelen (Phalaenopsis) wordt ingekocht. Energieverbruik van een teelt is uitgedrukt in elektriciteitsverbruik (kWh/m²) en totaal gasverbruik (m³/m²). Vervolgens is er een nieuwe teelt gedefinieerd (scenario), waarbij energiebesparende maatregelen zijn genomen, waaronder de inzet van stuurlicht. Het energieverbruik is opnieuw berekend, waarbij de energiebesparing ten opzichte van de referentieteelt is berekend.

6.1 Phalaenopsis: stuurlicht ter vervanging van de koelfase

De teelt van Phalaenopsis kan onderverdeeld worden in 3 fases: opkweek, bloei-inductie en afkweek. Elke fase heeft een ander teeltregime. Tijdens de opkweek van circa 26 weken is de kastemperatuur 28°C. Tijdens bloei-inductie is de kastemperatuur vrij laag (19.5°C) gedurende 6 tot 9 weken om bloei-inductie te laten plaats vinden. Tijdens de afkweek wordt weer een wat hogere temperatuur aangehouden van 21°C. De referentieteelt van Phalaenopsis is in Tabel 1 aangegeven voor de verschillende teeltfasen.

Tabel 1

Referentieteelt van Phalaenopsis voor de verschillende teeltfasen.

Teeltfase	Opkweek 1	Opkweek 2	Bloei-inductie	Tak uitgroei
Lampen	SON-T	SON-T	SON-T	geen
PAR maximaal (μmol m ⁻² s ⁻¹)	80	100	160	140
PARsom (mol PAR m ⁻² etmaal ⁻¹)	5	8	9	8.5
Temperatuur (°C)	28	28	19.5	21
Teeltduur (weken)	8	18	8	8-12
Plantdichtheid (potten m ⁻²)	80	60-45	45-37	37

Vooral tijdens de zomer kost de bloei-inductie fase veel energie, omdat de kas gekoeld moet worden. Literatuuronderzoek geeft aanwijzingen dat deze 'koeling' mogelijk vervangen kan worden door stuurlicht te gebruiken (zie ook hoofdstuk 5.2 en een uitgebreidere onderbouwing in Bijlage VI). Door het inzetten van stuurlicht tijdens de fase van bloei-inductie kan een hogere kastemperatuur aangehouden worden. Door deze hogere temperatuur kan de duur van deze fase bekort worden. Een andere energiebesparende maatregel is het aanpassen van de assimilatiebelichting: SON-T lampen worden vervangen door LED lampen. Het energiezuinige scenario heeft de volgende aanpassingen ten opzichte van de referentieteelt:

- 8 weken koeling (bloei-inductie) vervangen door het inzetten van stuurlicht: 100 μmol rode LED lampen. Dit stuurlicht brandt elke dag gedurende 6 uur: 4 uur voor zon op en 2 uur na zon op. Assimilatielicht wordt minder ingezet als de PARsom al is bereikt. Als bloei-inductie in de zomer valt, komt er teveel licht op het gewas. Dit is opgelost in Kaspro door te krijten.
- Temperatuur tijdens bloei-inductie 23 °C i.p.v. 19.5 °C.
- Teeltversnelling tijdens bloei-inductie: 6 weken in plaats van 8 weken.
- Vervangen van assimilatielampen: SON-T lampen vervangen door LED lampen (efficiëntie: SONT 1.85 μmol/W_{el}; LED 2.3 μmol/W_{el}).

De teelt met energiezuinige maatregelen voor Phalaenopsis is in aangegeven voor de verschillende teeltfasen in Tabel 2.

Tabel 2

Scenario voor *Phalaenopsis* door inzet van stuurlicht.

Fase	Opkweek 1	Opkweek 2	Bloei-inductie	Takuitgroei
Lampen	LED	LED	LED 100 μmol LED	LED
PAR maximaal ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	80	100	160	140
PARsom ($\text{mol PAR}/\text{m}^2/\text{etm.}$)	5	8	9	8.5
Temperatuur ($^{\circ}\text{C}$)	28	28	23	21
Teeltduur (weken)	8	18	6	8-12
Plantdichtheid (potten/ m^2)	80	60-45	45-37	37

Energieberekeningen zijn uitgevoerd voor 3 starttijdstippen van de teelt: januari, april, augustus. De periode van bloei-inductie valt voor deze 3 starttijdstippen respectievelijk in de maanden: juli, oktober en februari. De setpoints voor het klimaat zijn jaarrond gelijk gehouden voor de berekeningen (Tabel 2).

Tabel 3

Kosten en te behalen besparingen op elektra en warmte, gericht op bloei-inductie (per teelt).

Start teelt	Start bloei-inductie	Referentie - kosten		Besparingen – met stuurlicht	
		Elektra (kWh/m^2)	Gas (m^3/m^2)	Elektra (kWh/m^2)	Gas (m^3/m^2)
Januari	Juli	102	33	22 (22%)	-3.1 (-10%)
April	Oktober	113	53	29 (26%)	4.4 (8%)
Augustus	Februari	140	54	17 (12%)	0.5 (1%)

In Tabel 3 is voor de 3 starttijdstippen van de teelt het energieverbruik weergegeven van de referentieteel: er wordt 102 tot 140 kWh/m^2 elektriciteit gebruikt per teelt en 33 tot 54 m^3/m^2 gas per teelt afhankelijk van de teeltperiode. In de laatste 2 kolommen is aangegeven hoeveel er bespaard kan worden door de maatregelen die genomen zijn. De elektriciteitsbesparing kan oplopen tot 26%. Op gas wordt niet in alle gevallen bespaard. De lampen in de scenario berekeningen vragen minder elektriciteit, waardoor de WKK minder gebruikt wordt. Het gasverbruik door de WKK is lager, maar het gasverbruik door de ketel kan toenemen (bij starten in januari). Netto wordt er bij alle startdata bespaard op energie.

6.2 Chrysant: belichten naar behoefte

Chrysant is een korte dag plant; om in bloei te komen moeten de nachten voldoende lang zijn. Daarom is de teelt van chrysant onderverdeeld in een lange dag periode en een korte dag periode. Na het planten wordt eerst geteeld met 'lange dag' voor voldoende vegetatieve groei. Daarna wordt de teelt vervolgd met 'korte dag' om bloei te induceren en te behouden gedurende de rest van de teelt.

De referentieteel van chrysant is in onderstaande tabel aangegeven voor de lange- en kortedag periode, voor 3 startmomenten in het jaar (Tabel 4).

Tabel 4

Referentieteelt voor Chrysant (3 startmomenten).

Start		Lange dag	Korte dag
nov	Teeltduur (dagen)	14	60
	lampen	SON-T	SON-T
	PAR ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	100	100
	Max belichtingsduur (uur)	22	12
	Belichting uit (W/m^2)	250	250
jan	Teeltduur (dagen)	14	58
	lampen	SON-T	SON-T
	PAR ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	100	100
	Max belichtingsduur (uur)	22	12
	Belichting uit (W/m^2)	250	250
mrt	Teeltduur (dagen)	14	54
	lampen	SON-T	SON-T
	PAR ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	100	100
	Max belichtingsduur (uur)	10	3
	Belichting uit (W/m^2)	150	150

Tijdens de lange dag periode gaat er veel energie verloren door het niet benutten van assimilatielicht. De stekken zijn nog klein en staan wel al op de uiteindelijke plantafstand, waardoor er maar een fractie van het licht wordt onderschept. Door de eerste 10 dagen een hogere plantdichtheid aan te houden is energiebesparing mogelijk. Praktisch gezien betekent dit dat de planten verlengd moeten worden opgekweekt bij de vermeerderaar. Tijdens de korte dag periode kan er energie bespaard worden door te belichten naar behoefte. Als voldaan is aan een bepaalde stralingssom van zon en/of lampen, dan schakelt de belichting uit. Daarnaast wordt de assimilatiebelichting aangepast: SON-T lampen worden vervangen door LED lampen. Hieronder volgen de energiezuinige aanpassingen van de teelt:

- Lange dag: planten bij hogere dichtheid belichten bij vermeerderaar gedurende 10 dagen. Door een 4x hogere dichtheid is er maar 25% assimilatielicht nodig. Bij teler worden grotere planten uitgeplant.
- Korte dag: LED belichting naar behoefte. Als de lichtbehoefte bereikt is schakelen LED's uit.
- Belichting: LED's ipv SON-T (efficiëntie: SONT $1.85 \mu\text{mol}/\text{W}_{\text{el}}$; LED $2.3 \mu\text{mol}/\text{W}_{\text{el}}$).

De teelt met energiezuinige maatregelen voor chrysant is in Tabel 5 aangegeven voor de lange dag en korte dag periode.

Tabel 5

Scenario voor Chrysant voor de lange dag en korte dag, gestart op 3 momenten.

Start		Lange dag	Korte dag
nov	Teeltduur (dagen)	14 10 dagen is maar 25% van de belichting nodig, omdat we de plantdichtheid 4x verhogen. Daarna 4 dagen normaal belichten	60
	lampen	LED	LED
	PAR ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	100	100
	Lichtbehoefte ($\text{mol}/\text{m}^2/\text{dag}$)		8; als voldaan is aan de behoefte dan LEDs uit
	Max belichtingsduur (uur)	22	12
	Belichting uit (W/m^2)	200	200
jan	Teeltduur (dagen)	14 dagen 10 dagen is maar 25% van de belichting nodig, omdat we de plantdichtheid 4x verhogen. Daarna 4 dagen normaal belichten	58 dagen
	lampen	LED	LED
	PAR ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$
	Lichtbehoefte ($\text{mol}/\text{m}^2/\text{dag}$)		11; als voldaan is aan de behoefte dan LEDs uit
	Max belichtingsduur (uur)	22 uur	12
	Belichting uit (W/m^2)	200 W/m^2	200 W/m^2
mrt	Teeltduur (dagen)	14 dagen 10 dagen is maar 25% van de belichting nodig, omdat we de plantdichtheid 4x verhogen. Daarna 4 dagen normaal belichten	54 dagen
	lampen	LED	LED
	PAR ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$
	Lichtbehoefte ($\text{mol}/\text{m}^2/\text{dag}$)		14; als voldaan is aan de behoefte dan LEDs uit
	Max belichtingsduur (uur)	22 uur	12
	Belichting uit (W/m^2)	200 W/m^2	200 W/m^2

In onderstaande tabel is voor de 3 starttijdstippen van de teelt het energieverbruik weergegeven van de referentieteeelt onderverdeeld in lange dag periode en korte dag periode. Er wordt de meeste energie gebruikt tijdens de korte dag periode, omdat deze periode langer duurt dan de lange dag periode (Tabel 6). Er is duidelijk een seizoeneffect te zien: planten in maart verbruiken de minste energie voor belichting en voor warmte. Bij de energieberekeningen is er vanuit gegaan dat er niet is belicht tussen 21 april en 21 augustus.

Er kan fors worden bespaard op elektriciteit in beide fasen van de teelt. Tijdens de lange dag is er een besparing mogelijk van circa 62% op elektriciteit en ook 62% op gas in de winter. Met name de hogere plantdichtheid tijdens de eerste 10 dagen van de lange dag draagt flink bij aan de elektriciteitsbesparing. Ook tijdens de korte dag wordt er 16 tot 87% bespaard op elektriciteit. Ook het gasverbruik is lager doordat de WKK minder ingezet is om elektriciteit voor de belichting te genereren.

Als alternatief voor de verlengde opkweek kan worden overwogen om in de lange dag periode een gedeelte van het aantal uren SON-T belichting te vervangen door een lage intensiteit stuurlicht. Zo kan ook fors energie worden bespaard. Voor wat betreft het stuurlicht is dan een spectrale samenstelling aan te bevelen die tot een plantvorm leidt waarbij licht efficiënt kan worden onderschept (zie ook 4.2.1.2). Zo worden het daglicht en het assimilatielicht beter door het gewas benut.

Tabel 6

Kosten en te behalen besparingen op elektra en warmte (per teelt).

Start teelt	Referentie – kosten LD		Referentie – kosten KD	
	Elektra (kWh/m ²)	Gas (m ³ /m ²)	Elektra (kWh/m ²)	Gas (m ³ /m ²)
November	14.4	3.7	37.3	11.8
Januari	14.7	3.8	29.4	9.2
Maart	6.3	1.8	0.4	3.9
Start teelt	Besparingen met stuurlicht LD		Besparingen met stuurlicht KD	
	Elektra (kWh/m ²)	Gas (m ³ /m ²)	Elektra (kWh/m ²)	Gas (m ³ /m ²)
November	8.8 (61%)	2.3 (61%)	6.0 (16%)	0.4 (3%)
Januari	9.2 (63%)	2.4 (63%)	11.9 (41%)	1.0 (11%)
Maart	3.8 (61%)	0.8 (46%)	0.3 (87%)	0 (0%)

6.3 Kalanchoë: gebruik stuurlicht voor compacte plantvorm

Bij potplanten wordt assimilatiebelichting gebruikt voor groei, maar hoge lichtintensiteiten zijn ook gunstig voor een compacte gewasvorm (hoofdstuk 4.2.2). Met lichtkleur (lage lichtintensiteit) is de gewasvorm ook te sturen; stuurlicht biedt dus mogelijkheden tot energiebesparing.

De referentieteelte van Kalanchoë is in onderstaande tabel aangegeven voor de lange- en kortedag periode in de winter (Tabel 7).

Tabel 7

Referentieteelt voor *Kalanchoë*.

	Lange dag	Korte dag (14 uur donker)
Teeltduur (weken)	4	11
lampen	SONT	SONT
PAR ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	75	75
Max belichtings duur (uur)	18	10
Belichting aan	Overdag als globale straling < 50W	Overdag als globale straling < 50W
	Nacht: 6 uur aaneensluitend aan de dag	Nacht: zononder – 10 uur voor zononder
CO ₂ (ppm)	750	750
Temperatuur	20/21 d/n	20/21 d/n
Schermen	Straling > 500 W	Straling > 500 W

Energiebesparing is mogelijk als aangenomen wordt dat assimilatielicht deels gebruikt wordt voor de compacte gewasvorm. Inzet van rood licht of een hoog percentage blauw licht is eveneens gunstig voor een compacte plantvorm. Rode LEDs zijn energetisch gunstiger dan blauwe LEDs. In de scenarioberekening worden rode LEDs ingezet met lage lichtintensiteit en vervangen deels de assimilatiebelichting aan het einde van de dag. Planten gaan altijd de nacht in met rode LEDs. Hieronder volgen de aanpassingen van de teelt:

- Inzet stuurlicht voor nachtonderbreking tijdens lange dag periode (LED rood).
- Inzetten rood stuurlicht voor compacte gewasvorm aan begin van de nacht.
- Assimilatiebelichting halveren.
- Belichting: LEDs ipv SON-T (Efficiënties: SONT $1.85 \mu\text{mol}/W_{el}$; LED $2.3 \mu\text{mol}/W_{el}$).

De teelt met energiezuinige maatregelen voor *Kalanchoë* is in Tabel 8 aangegeven voor de lange dag en korte dagperiode.

Tabel 8

Scenario voor *Kalanchoë*.

	Lange dag (18 uur licht)	Korte dag (14 uur donker)
Teeltduur (weken)	4	11
Lampen	LED assimilatielicht LED rood stuurlicht	LED assimilatielicht LED rood stuurlicht
PAR ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	75 LED 5 LED (rood) → stuurlicht	75 LED 5 LED rood → stuurlicht
Max belichtings duur	9 uur LED assimilatie licht overdag 9 uur voor zononder – zononder	5 uur LED assimilatie licht overdag Globaal 07:00 tot 12:00
Belichting aan	Overdag als globale straling < 50W	Overdag als globale straling < 50W
Stuurlicht aan	Van 18 uur voor zononder tot 9 uur voor zononder (6 uur donker)	30 min na zon onder voor compacte gewasvorm
CO ₂ (ppm)	750	750
Temperatuur	20/21 d/n	20/21 d/n
Schermen	Straling > 500 W	Straling > 500 W

In een winterteelt van Kalanchoë wordt 35 kWh/m² elektriciteit gebruikt en 26 m³/m² gas (Tabel 9). De maatregelen om energie te besparen leiden tot een energiebesparing van 47% op elektriciteit en 4% gas voor de hele teelt (Tabel 9).

Tabel 9

Kosten en te behalen besparingen op elektra en warmte voor Kalanchoë (per teelt).

	Elektra (kWh m ⁻²)	Gas (m ³ m ⁻²)
Kosten Referentie	35.3	26.3
Kosten met stuurlicht	18.7	25.2
Besparing met stuurlicht	16.6 (47%)	1.1 (4%)

Relatief wordt de meeste elektriciteit bespaard (65%) tijdens de lange dag periode (Tabel 10). Ook in absolute zin wordt de meeste elektriciteit bespaard tijdens de lange dag periode (11 kWh/m²). In de referentie teelt wordt 18 uur belicht; halveren van deze tijd en inzetten van een lage lichtintensiteit stuurlicht leveren een forse besparing op. Ook het gasverbruik is (minimaal) gedaald tijdens de lange en korte dagperiode door minder inzet van de WKK. Het ketelgas is wel iets verhoogd (data niet in tabel omdat er in Kalanchoë té weinig gebruik wordt gemaakt van de ketel); er was meer verwarming nodig omdat in het scenario minder warmte inbreng van de assimilatielampen afkomstig was.

Er is aangenomen bij de scenarioberekening dat de kwaliteit van het gewas gelijk is, maar het is de vraag of de groeisnelheid vertraagd is door minder assimilatielicht. Dit zal proefondervindelijk moeten worden bepaald.

Tabel 10

Kosten en besparingen voor Kalanchoë onderverdeeld lange dag en korte dag.

	Lange dag		Korte dag	
	Elektra (kWh m ⁻²)	Gas (m ³ m ⁻²)	Elektra (kWh m ⁻²)	Gas (m ³ m ⁻²)
Kosten Referentie	16.9	7.0	18.4	19.3
Kosten met stuurlicht	5.9	6.1	12.8	19.1
Besparing met stuurlicht	11 (65%)	0.9 (13%)	5.6 (31%)	0.2(0.8%)

6.4 Samenvattend kansen scenariostudies

Modelberekeningen laten zien dat er energie bespaard kan worden door teeltmaatregelen te vervangen door de inzet van stuurlicht. Hierbij zijn aannames gedaan: bij Phalaenopsis is de hypothese dat bloei-inductie door een koude behandeling vervangen kan worden door de inzet van stuurlicht. Bij Kalanchoë is aangenomen dat 5 µmol rood licht aan het einde van de dag of als nachtonderbreking het gewas net zo compact houdt als assimilatie belichting. Deze aannames zouden experimenteel getoetst moeten worden.

Vervangen van SON-T lampen door LED lampen, en de gevolgen voor productie en kwaliteit wordt op dit moment al in verschillende gewassen onderzocht (o.a. tomaat, gerbera, chrysant, en lolie). Vernieuwend in dit onderzoek zijn de ontwikkelingen beschreven in Hoofdstuk 5: 'Kansen voor de toekomst vanuit nieuw te ontwikkelen kennis'. Hierin is onderbouwd dat temperatuurbehandelingen en stuurlicht hun sturende effect op bloei ontleen aan hun invloed op de hormoonhuishouding. Energieberekeningen voor Phalaenopsis laten zien dat er energiebesparing mogelijk is. Experimenteel onderzoek is echter nodig om de hypothese toetsen. Het idee om de koelperiode van Phalaenopsis te vervangen door inzet van stuurlicht is besproken met telers tijdens 2 bijeenkomsten (workshop 3 juli 2013 en presentatie van de proefopzet Phalaenopsis op 27 augustus 2013).

Het idee en experimentele toetsing van de hypothese zijn positief beoordeeld door de Phalaenopsis kwekers. Een dergelijk experiment vergroot het inzicht in de werking van stuurlicht en maakt het mogelijk ook breder toepasbaar. Als namelijk het principe van bloei- inductie door stuurlicht 'werkt' bij Phalaenopsis, dan is ook het omgekeerde mogelijk: het voorkómen van voortakken. Dan wordt het mogelijk om de opkweektemperatuur te laten zakken en d.m.v. stuurlicht het ontstaan van voortakken te voorkomen. Ook dit zal resulteren in een forse energiebesparing. Bovendien zijn de principes mogelijk vertaalbaar naar andere gewassen, zoals trekheesters, amaryllis en Alstroemeria. In Bijlage VI volgt een uitgebreide onderbouwing van de gedachte dat stuurlicht mogelijk vergelijkbare effecten kan geven als temperatuurbehandelingen.

Er zou gekozen kunnen worden om de hypothesen voor zowel Kalanchoë als voor Phalaenopsis te toetsen. Beide bieden goede mogelijkheden. Echter, gezien het feit dat er momenteel een onderzoek gaande is met lelie, waaraan een vergelijkbare hypothese ten grondslag ligt, ligt het voor de hand om het lelieonderzoek eerst af te wachten.

Daarbij is het zo dat Phalaenopsis een zeer belangrijk, maar energie verslindend gewas is, met een areaal van 220 ha en een energie verbruik van 3.1 PJ voor de warmte en 286 GWh elektra. Phalaenopsis heeft een groeiende areaal (met 10% in het afgelopen jaar), en hierin kan veel energie bespaard worden, zo mogelijk met stuurlicht.

7 Samenvattend: kansrijke toepassingen voor energiebesparing met stuurlicht

Dit hoofdstuk geeft een samenvattende analyse van de kansen voor stuurlicht (7.1). Tevens wordt voor de 'grootverbruikers' van assimilatielicht per gewas aangegeven waar er wel of niet kansen liggen voor stuurlicht-toepassingen (7.2).

7.1 Analyse kansen

In dit rapport zijn een drietal richtingen onderscheiden voor wat betreft toepassingen van stuurlicht in relatie tot energiebesparing:

1. Energiebesparing door vervanging traditionele stuurlichtbronnen (o.a gloeilamp) door LED (Hoofdstuk 3).
2. Nieuwe toepassingsmogelijkheden voor stuurlicht vanuit reeds bestaande kennis door de beschikbaarheid van nieuwe lichttechnologie (hoofdstuk 4):
 - Dagverlenging met een lage intensiteit stuurlicht in plaats van SON-T.
 - Effectiever gebruik maken van de stuurlichtcomponent van assimilatielicht:
 - Efficiëntere productie door gecombineerde benutting assimilatie- en stuurlicht.
 - Verbeterde kwaliteit door gecombineerde benutting assimilatie- en stuurlicht.
3. Energiebesparing vanuit toekomstige toepassingen voor stuurlicht die ontstaan uit nieuw te ontwikkelen kennis over sturingsmogelijkheden met licht (Hoofdstuk 5).

Hieronder volgt voor deze verschillende richtingen een korte analyse van het belang voor energiebesparing in de tuinbouw.

Vervanging traditionele stuurlichtbronnen

De vervanging van gloeilampen door LED stuurlicht geeft procentueel een forse besparing op electra. Echter, aangezien het aantal Watt/m² sowieso al niet al te hoog was vergeleken met assimilatielicht, hebben deze maatregelen weinig effect vergeleken met de totale energiebehoefte voor belichting in de glastuinbouw. Deze al lopende lijn zal zeker doorgezet moeten worden. Wat betreft energiebesparing door de tuinbouwsector als geheel is de impact beperkt.

Dagverlenging met stuurlicht in plaats van SON-T

Dagverlenging met lage intensiteit stuurlicht in plaats van een hoge intensiteit SON-T is een kansrijke besparing voor lange dag planten zoals Lelie en Lisianthus. Het gevaar is aanwezig dat er toch een assimilantekort is en dat er ingeleverd moet worden op plantkwaliteit. Deze gedachtelijn zal gedurende het belichtingsseizoen '13/'14 voor het gewas Lelie getoetst worden. Bij gebleken succes verdient het de aanbeveling om deze gedachtelijn ook bij andere gewassen te toetsen.

Efficiëntere productie door gecombineerde benutting van stuur- en assimilatielicht

De lopende lijn van onderzoek aan versnelde opkweek van jonge vruchtgroenteplanten (Hogewoning *et al.* 2010, 2012, 2013) kan doorgezet worden bij andere gewassen met open structuur. Denk hierbij bijvoorbeeld aan chrysant en andere sierteeltgewassen die in het eerste stadium van de teelt relatief veel licht onbenut laten, doordat het niet door de bladeren onderschept wordt.

Verbeterde kwaliteit door gecombineerde benutting van stuur- en assimilatielicht

Bij een aantal siergewassen dient assimilatiebelichting niet alleen ter bevordering van de groei, maar ook om het gewas compacter te houden. Er zijn lichtspectra op basis van LED's te bedenken die de strekking sterker remmen dan SON-T. Het effect op energiebesparing is dan tweeledig:

1. De nieuwste generatie LED-armaturen heeft een lager energieverbruik per μmol uitgestraald licht ten opzichte van SON-T.
2. Met een sterkere remming van de strekking is een lagere intensiteit belichting wellicht afdoende.

Vooral dit laatste punt zal energiebesparing opleveren bij die gewassen waar strekkingsremming een niet onbelangrijk teeltdoel is, zoals bij Lelie, Kalanchoë, Potroos en Potchrysan. Deze gedachtelijn zal gedurende het belichtingsseizoen '13/'14 voor het gewas Lelie getoetst worden. Bij gebleken succes verdient het de aanbeveling om deze gedachtelijn ook bij andere gewassen te toetsen.

Ontwikkelen nieuwe kennis

De beschikbaarheid van zowel nieuwe kennis als van nieuwe lichtbronnen biedt kansen voor toepassingen van stuurlicht buiten de gebaande paden. Dit vergt een procesmatige benadering vanuit plantkundige kennis. Mogelijk kunnen door stuurlicht dezelfde processen worden aangestuurd of versterkt als nu met energieverblindende temperatuurstrategieën gebeurt, zoals bij trekheesters en Phalaenopsis. Om ook in de toekomst met vernieuwende toepassingen te kunnen komen, is het noodzakelijk dat ontwikkeling van vernieuwende kennis een kans krijgt.

7.2 Top 10 grootverbruikers energie

Volgens Van der Velden & Smith, 2013 zijn de volgende negen gewasgroepen verantwoordelijk voor 90% van het Nederlandse elektriciteitsverbruik voor belichting in kassen (zie ook tabel 1):

1. Roos (29%).
2. Tomaat (16%).
3. Chrysan (15%).
4. Bloeiende potplanten (15%).
5. Uitgangsmateriaal Groente en fruit (5%).
6. Lelie (3%).
7. Gerbera (3%).
8. Overige bloemen (2%).
9. Uitgangsmateriaal Bloemkwekerij (2%).

In onderstaande paragrafen wordt nagegaan of stuurlicht kansen biedt om bij de eerste zeven gewasgroepen energie te besparen.

Tabel 11

Globale schatting elektriciteitsconsumptie assimilatiebelichting per gewas(groep) in 2011.

Bron: Van der Velden & Smit, 2013.

Bijlage 1. Gewas (groep)	Globale schatting elektriciteitsconsumptie assimilatiebelichting per gewas(groep) in 2011 a)						
	Areaal totaal (ha)	Aandeel belichting (%)	Lamp- vermogen (W/m²)	Gebruiks- duur (uur/ jaar)	Electriciteitsconsumptie		
					kWh/m²	10 ⁶ kWh	Aandeel (%)
Groente en Fruit							
Tomaat	1.702	18	105	2.300	254	778	16
Paprika	1.357	7	45	1.250	59	54	1
Komkommer	656	3	80	1.250	105	23	<1
Aubergine	101	9	45	1.250	59	5	<1
Aardbeien	275	4	90	1.650	156	16	<1
Overige groente en fruit	547	5	60	1.750	110	29	1
Uitgangsmateriaal	411	73	45	1.750	83	248	5
Subtotaal	5.049	15	71	1.889	151	1.154	24
Bloemkwekerij							
Roos	459	98	75	4.000	315	1.418	29
Chrysant	511	98	60	2.250	142	709	15
Gerbera	179	89	50	2.000	105	168	3
Lelie	201	72	50	2.000	105	151	3
Freesia	103	83	35	1.750	64	55	1
Anjer	19	0	-	-	-	-	0
Alstroemeria	64	67	60	2.000	126	54	1
Anthurium	84	71	40	1.750	74	44	1
Eustomia	47	74	75	2.250	177	62	1
Orchidee (bloemen)	265	5	45	2.500	118	15	<1
Overige bloemen	497	16	45	2.000	95	74	2
Bloeiende potplanten	872	60	55	2.500	144	751	15
Blad potplanten	493	16	30	1.500	47	38	1
Perkplanten	426	8	30	1.500	47	16	<1
Boomkwekerij en vaste planten	495	0	-	-	-	-	0
Amaryllis (bollen)	74	5	30	1.500	47	2	<1
Overige Bloemkwekerij	259	22	45	2.000	95	54	1
Uitgangsmateriaal	152	75	45	2.000	95	108	2
Subtotaal	5.200	46	56	2.507	156	3.717	76
Totaal	10.249	31	60	2.357	155	4.871	100

a) Voor de elektriciteitsconsumptie van de voorschakelapparatuur is voor alle gewasgroepen 5% aangehouden

1. Roos (29%)

Zoals aangegeven in H4.2.1.3 is scheutuitloop bij roos het sleutelproces om te komen tot een gelijkmatige plantopbouw. Als stuurlicht een sturende rol kan vervullen in beperking of versnelling van de scheutuitloop dan is het 'ideale' gewas te bereiken: perfect uit snede telen en hierdoor een homogene takverdeling (alle groottes vertegenwoordigd). Dit geeft een goede LAI om het dag- en assimilatielicht optimaal te benutten.

2. Tomaat (16%)

Tomaat is een licht-minnend gewas. Het is de kunst om de assimilaten zoveel mogelijk naar de vruchten te sturen, zonder dat het bladpakket daar teveel onder lijdt (LAI op peil houden). Door aanvulling van het assimilatielicht met verrood stuurlicht kan een sterkere assimilatenstroom richting de vruchten gerealiseerd worden. Neveneffect hierbij is een hoger drogestof gehalte per vrucht, hetgeen de vruchtkwaliteit ten goede komt. Tevens leidt verrood tot meer strekking en daardoor een betere verticale lichtverdeling in het gewas (zie ook H4.2.1.4). Deze toepassing van stuurlicht biedt mogelijkheden voor energiebesparing, maar tot nog toe blijkt de inzet van het verrode licht zelf teveel energie te vragen. De uitdaging is om een methode te vinden waarmee de inzet van het verrood zo min mogelijk energie kost en een maximaal effect oplevert.

3. Chrysant (15%)

Chrysant is een korte dag plant. Om de moederplanten van chrysant vegetatief te houden is een heel beperkte hoeveelheid stuurlicht nodig. Aan het begin van de teelt tot snijbloem wordt veel licht niet door het gewas onderschept en dus niet benut. In deze fase zijn dus principes uit versnelde opkweek toepasbaar (zie H4.2.1.2).

4. Bloeiende potplanten (15%)

Het is niet geheel duidelijk welke potplanten onder deze 15% vallen, zie voor kansen:

- Ontwijken of verkorten koelfase Phalaenopsis (H5.2).
- Sturing op compactheid (H4.2.2) : Kalanchoë; potroos en Potchrysant.

5. Uitgangsmateriaal Groente en fruit (5%)

Lopende lijn versnelde opkweek open gewassen. Zie 4.2.1.2.

6. Lelie (3%)

Lelie is een facultatieve lange dag plant waarbij compactheid van de stengel een aandachtspunt is. Voor beide zaken kan stuurlicht een rol spelen:

- In plaats van daglichtverlenging met SON-T, deze vervangen door een lichtspectrum dat specifiek aanstuurt op bloeiversnelling.
- In plaats van hoge lichtintensiteit SON-T, een lagere lichtintensiteit LED-licht die de strekking sterker beperkt.

Beide zaken worden onderzocht gedurende het groeiseizoen '13/'14 (onderzoek door Plant Lighting, Plant Dynamics, PPO-Lisse en DLV).

7. Gerbera (3%)

Gerbera is een kwantitatieve korte dag plant (Leffring, 1981; De Boer en Marcelis, 2009). Dit houdt in dat er bij een korte dag meer bloemen worden aangelegd dan bij een lange dag. Wel moet er voldaan worden aan de lange termijn assimilatenbehoefte, Het Nieuwe Telen met Gerbera (De Gelder *et al.* 2012) heeft aangetoond dat minder belichten met SON-T zeer beperkt mogelijk is. Telers die momenteel bezig zijn hun belichtingsinstallatie te vervangen, doen dat met een hogere intensiteit aan SON-T belichting: voorheen van 50-70 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en nu tot 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. De eerste verkenningen suggereren dat meer belichting een niet evenredig rendabele investering is. Bij roos kan met LED-belichting dicht bij de plant de scheutvorming worden gestimuleerd (zie H4.2.1.3). In het project 'Energiebesparing met LED groeilicht en tussenlicht bij gerbera's (WUR-Glastuinbouw 2013-2015) wordt getracht op eenzelfde manier de scheutvorming van gerbera te stimuleren. Hierdoor zou de generativiteit van het gewas, en daardoor de rendabiliteit van de belichting verhoogd worden.

8 Referenties

- Ahmad M., Grancher N., Heil M., Black RC., Giovani B., Galland P., Lardemer D. 2002.
Action spectrum for cryptochrome-dependent hypocotyl growth inhibition in *Arabidopsis*. *Plant Physiology* 129:774-785.
- Breuer J.J.G., van de Braak N.J. 1989.
Reference year for Dutch greenhouses. *Acta Horticulturae*, 248: 101-108.
- Craig DS, Runkle ES. 2012.
Using LEDs to quantify the effect of the red to far-red ratio of night interruption lighting on flowering of photoperiodic crops. *Acta Horticulturae* 956: 179-185.
- De Boer P., Marcelis L.F.M., 2009.
Fotoperiodisch stuurlicht, verkennen van de mogelijkheden voor de toepassing van fotoperiodisch stuurlicht om de groei te stimuleren. WUR Glastuinbouw, Bleiswijk, Rapport 283, 42p.
- De Gelder A., Warmenhoven, M., Dings, E., Grootcholten, M. & Lekkerkerk, H. 2012.
Het Nieuwe Telen: Gerbera Efficiëntie, Economie en Energie. Wageningen UR Glastuinbouw. GTB 1217, 45p.
- Dueck T.A., Janse J., Kempkes F.L.K., Li T., Elings A., Hemming S. 2012.
Diffuus licht bij tomaat. Wageningen UR Glastuinbouw. GTB 1158, 60p.
- Dueck T., Meinen E., Steenhuizen J., Muusers R., Uenk D., Marcelis L.F.M., 2007.
Belichting tomaat, elk belichtingsuur volledig benutten. *Nota* 439, 40p.
- Hogewoning, S.W. 2013.
Groeilicht versus stuurlicht. *Glastuinbouwtechniek Magazine*, maart 2013, 8-10.
- Hogewoning S.W., Douwstra P., Trouwborst G., van Ieperen W., Harbinson J. 2010.
An artificial solar spectrum substantially alters plant development compared with usual climate room irradiance spectra. *Journal of Experimental Botany*, 61: 1267-1276.
- Hogewoning S.W., Sanders J., Peekstok T., Persoon S., 2012.
Lichtkleuren onderzoek: Wat is de ontbrekende schakel voor succesvolle productieverhoging? 49 pp. TTO & Plant Lighting B.V.
- Hogewoning S.W., Trouwborst G., Meinen E., Van Ieperen W. 2012a.
Finding the Optimal Growth-Light Spectrum for Greenhouse Crops. *Acta Horticulturae* 956: 357-364.
- Hogewoning S.W., Trouwborst G., Pot C.S. 2012b.
Efficiënter lichtspectrum voor open gewassen: Focus op productie en vervolgteelt van uitgangsmateriaal. *Plant Lighting*, Utrecht. 39p.
- Hogewoning S.W., Trouwborst G. 2013.
Efficiënter lichtspectrum voor open gewassen II: De stap tot energiebesparing in de praktijk. *Plant Lighting B.V.*, Bunnik. 47p.
- Jarillo, J.A., Piñeiro M.A. (2006).
Molecular basis of photoperiodism. *Biological Rhythms Research*, 37:353-380.
- Kasperbauer M.J., Hunt P.G. 1998.
Far-red light affects photosynthate allocation and yield of tomato over red mulch. *Crop Science* 38:970-974.
- Kromwijk A., Kempkes F., Raaphorst M. en Eveleens B. 2012
Energiebesparing bij trekheesters. WUR Glastuinbouw, Bleiswijk. GTB 1184, 52p.
- Li Q., Kubota C. 2009.
Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce. *Environmental and Experimental Botany* 67: 59-64.
- Leffring L. 1981
De bloemproductie van Gerbera, proefschrift Wageningen, 95p.
- Pot C.S., Trouwborst G. 2011.
LED-tussenbelichting bij Roos: Praktijkonderzoek bij Van den Berg Roses. Wageningen: Plant Dynamics B.V., 24.
- Runkle, Erik S., and Royal D. Heins 2001.
Specific functions of red, far red, and blue light in flowering and stem extension of long-day plants. *Journal of the American society for horticultural science* 126: 275-282.
- Schapendonk A.H.C.M., Pot C.S., Rappoldt C. 2010.
Plantenpaspoort roos: Sleutel voor optimale productie. Wageningen: Plant Dynamics B.V., 109p.

- Slootweg G., van Mourik N. 2011.
Voorbloei Bouvardia. WUR glastuinbouw, Bleiswijk. GTB 1132, 34p.
- Trouwborst G. 2011.
On the photosynthetic responses of crops to intracanopy lighting with light emitting diodes. Proefschrift, Wageningen UR, Wageningen, Nederland.
- Trouwborst G., Pot C.S., Schapendonk A.H.C.M. 2010a.
Haalbaarheid van LED-tussenbelichting bij roos: Praktijkonderzoek op Marjoland. Wageningen: Plant Dynamics B.V., 35p.
- Trouwborst G., Pot C.S., Schapendonk A.H.C.M. 2010b.
Spectraal effect van LED tussenbelichting op scheutuitloop van roos in de zomer. Wageningen: Plant Dynamics B.V., 16p.
- Trouwborst G., Pot C.S., de Vries D.P. 2012.
Knopuitloop bij Roos: Effecten van stuurlicht en temperatuur. Plant Dynamics B.V., Wageningen. 33p.
- Trouwborst G., Hogewoning S.W., Pot C.S. 2013.
Stuurlicht bij de tijd. Plant Lighting B.V., Bunnik. 61p.
- Trouwborst G., Hogewoning S.W., Pot C.S. 2013a.
Meer rendement uit belichting en CO₂-dosering. Plant Lighting, Bunnik, 246p.
- Trouwborst G., Hogewoning S.W., Pot C.S. 2013b.
Meer rendement uit licht en CO₂ bij Lisianthus. Plant Lighting, Bunnik, 23p.
- Van Delm T., Melis P., Stoffels K. 2011.
LEDs bevestigen als stuurlicht bij aardbei. Proeftuinnieuws 19: 32-35.
- Van der Velden N., Smit P. 2013.
Groeielectriciteitsconsumptie glastuinbouw. Hoe verder? LEI Wageningen UR, Den Haag, 62p.
- Van der Helm F. 2011.
Stuurlicht bij anjer. Consultancy: vergelijkingen van LED-lampen, spaarlampen en gloeilampen. Wageningen UR Glastuinbouw. GTB 1089, 24p.
- Van der Helm F., Dueck T., Pronk H., Penning P. 2013.
Lichtspectrum bij stuur- en groeilicht in Freesia. Indicatief praktijkonderzoek naar de effecten van stuurlicht met LED lampen en groeilicht met plasmalampen. Wageningen UR Glastuinbouw. GTB 1220, 46p.
- Van Ieperen W., Heuvelink E. 2012.
Compacte planten door geïntegreerde groeiregulatie. Leerstoelgroep Tuinbouwketens, Wageningen University, 36p.
- Van Ieperen W., Hogewoning S.W., Meinen E. 2012.
Groeilicht met zonlichtlampen. Leerstoelgroep Tuinbouwketens, Wageningen University, 30p.
- Van Rijssel, E. 2005.
Optimaal spectrum voor assimilatielampen. PPO-glastuinbouw, Aalsmeer, 24p.
- Whitelam G., Halliday K. 2007.
Light and plant development, Oxford, Blackwell Publishing. 325p.
- Yanovsky M.J., Kay S.A. 2003.
Living by the calendar: how plants know when to flower. Nat Rev Mol Cell Biol 4, 265-276.
- Yoshimura, T., Nishiyama, M., Kanahama, K. 2002.
Effects of red or far-red light and red/far-red ratio on the shoot growth and flowering of *Matthiola incana*. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science 71, 575-582 (in Japans)
- Zeiger E., Field C., Mooney H. 1981.
Stomatal opening at dawn: possible roles of the blue-light response in nature. In: Smith H., ed. Plants and the daylight spectrum. London: Academic Press, 508p.

Bijlage I. Lamptypen en elektriciteitsverbruik

In de volgende tabel wordt een kort overzicht gegeven van de tegenwoordig meest gebruikte lamptypen en bijbehorende efficiëntie.

Tabel 1

Meest gebruikte lampen en bijbehorende efficiënties.

Lamp type	Referentie	Efficiëntie ($\mu\text{mol Ws}^{-1}$)	Levensduur ¹ (uren)
Gloeilamp 60W	Internet	0.20	
Spaarlamp 13 W	Internet	0.70	
SON-T 1000 W	Hortilux	1.85	
LED blauw 450 nm	Hogewoning ²	0.90	
LED rood 660 nm	Hogewoning ²	1.86	
LED verrood 730 nm	Hogewoning ²	1.40	
LED r/b interlighting	Philips ³	1.91	25.000
LED r/b/ toplight	Philips ³	2.2-2.3	25.000

¹ bij 90% licht output

² gemeten met KEMA protocol (De Ruijter, 2010), in Hogewoning *et al.* (2012b)

³ Philips Leaflet (2013), gemeten in bol van Ulbricht volgens officieel protocol

In het tabel is te zien dat rode LEDs van 660nm en de samengestelde belichtingssystemen van Philips zoals interlighting en toplight modules, de efficiëntie van SON-T lampen voorbij gestreefd is. Zeker wanneer rekening mee gehouden wordt dat de 1.85 $\mu\text{mol W}^{-1}$ efficiëntie van SON-T alleen geldt voor de nieuwe lampen, en niet lampen die enige tijd in gebruik zijn.

De toplight prototype die in de proef met tomaten bij Wageningen UR Glastuinbouw (2012-2013) had een lagere efficiëntie van ca. 2 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, deels omdat het de eerste armatuur voor toplight was (prototype) en deels omdat het uitgerust was met enkele wit en groene diodes met een lagere efficiëntie dan de overige, overwegend rode LEDs. De in 2014 beschikbare toplight belichtingssystemen zullen een efficiëntie hebben van 2.3 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, wat een 25% verhoging van de efficiëntie betekent t.o.v. SON-T belichting.

De gloei- en spaarlampen die gebruikt werden, en nu nog zolang de voorraad strekt, werd met name ingezet t.b.v. dagverlenging (beide typen) en einde dag verrood belichting (alleen de gloeilamp). Beide typen lampen hebben echter een zeer lage efficiëntie, zeker t.o.v. de LED verrood belichting en andere 'flowering lampen' die momenteel vaker gebruikt worden.

Bijlage II. Stuurlicht in de glastuinbouw bij snijbloemen

Samenvatting avond Stuurlicht in de Glastuinbouw
Bleiswijk, 23 april 2013

Onder voorzitterschap van Aad Vernooij werd een avond over stuurlicht bij snijbloemen gehouden. Doelstelling was tuinders te informeren over wat er bekend is over stuurlicht effecten bij planten, en aan te geven wat er voor mogelijkheden zijn om verdere onderzoek hiernaar te verrichten.

Er zijn drie inleidingen gegeven.

Tom Dueck: Mogelijkheden voor Stuurlicht in de praktijk.

In zijn inleiding gaf Dueck een overzicht van het lichtspectrum, en welke lichtkleuren een plant ziet. De werking van het rood licht systeem (fytochroom) en het blauw licht systeem (cryptochroom en fototropine werd uitgelegd. Fytochroom verandert van vorm en functie door de rood:verrood licht verhouding. Cryptochroom herkent daglengte, en is betrokken bij huidmondjes opening en het fotosynthese proces. Daarna werden enkele voorbeelden gegeven van de huidige onderzoek naar stuurlicht.

Henk Gude: LED-belichting in Tulp, Lelie en stekproductie in de boomkwekerij.

Gude liet enkele sprekende voorbeelden van de werking van rood en blauw licht zien bij de ontwikkeling van tulp en lelie, zoals kokeren (blauw) en strekking (rood) van tulpladeren. Bij Lelie kan door middel van een voortrek van 5-7 weken onder puur LED-belichting ipv in de kas een 4-6 weken kortere kasfase worden bereikt. Een aantal voorbeelden van het invloed van lichtkleur op beworteling (snelheid, kwaliteit) in stekproductie bij heesters (Buxus, Rhododendron) volgde. Gude concludeerde dat het systeem werkt, maar dat optimalisatie nodig is, m.n. afstemming op factoren zoals temperatuur, daglengte en timing van lichttoediening.

Arca Kromwijk: Resultaten onderzoek Stuurlicht in Anjer, Freesia, Violier en Lisianthus.

Van de eerste onderzoeken naar effecten van stuurlicht in de praktijk, gaf Kromwijk enkele resultaten voor deze vier teelten. Dagverlenging en nachtonderbreking bij Anjer en Lisianthus leidde tot bloeivervroeging, en bij Freesia tot productieverhoging van 7-20%. Nabelichten met verrood licht bij Chrysant resulteerde ook in bloeivervroeging en verhoging van de drogestof gehalte. Vervolgens gaf Kromwijk enkele mogelijkheden aan voor het inzetten van stuurlicht voor snijbloemen.

Er volgde een geanimeerde discussie met veel vragen. Een aantal volgen hieronder:

Licht i.r.t. knopvorming, -uitloop.

- Kan belichting bij vroege trek ervoor zorgen dat meer knoppen los komen bij trekheesters?
- Kan belichting (lange dag) er voor zorgen dat aangelegde knoppen aan eind van het seizoen toch nog uitgroeien bij snijhortensia?

Licht i.r.t. strekking.

- Is meer lengte mogelijk in de zomer (middels strekking) bij Astilbe?

Licht i.r.t. verdamping.

- Kan er met LEDs specifieke lichtkleuren gegeven worden die de verdamping bevorderen?

Licht i.r.t. sturing assimilaten.

- Kun je stuurlicht toepassen om meer/minder generatief te sturen.
- Kun je stuurlicht toepassen om de verdeling van assimilaten boven- en ondergronds te sturen?

Bijlage III. Workshop Stuurlicht potplanten

Datum: woensdag 3 juli 12:30-14:30

Aanwezig:

Arthur van den Berg (LTO groeiservice): voorzitter van de workshop

Tom Dueck (projectleider) en Esther Meinen (verslag): Wageningen UR Glastuinbouw

Sander Hogewoning: Plant Lighting

Sander Pot: Plant Dynamics

Enkele Phalaenopsis telers

Enkele Potchrysanten telers

1. Inleiding door Tom Dueck (projectleider)

Doel: welke kansen biedt de inzet van stuurlicht voor energiebesparing in de glastuinbouw?

Er is een desk studie uitgevoerd over het gebruik van stuurlicht voor glastuinbouw gewassen en gericht op mogelijkheden voor energiebesparing. Nu volgen er 3 workshops met kwekers en telers voor verschillende gewasgroepen. Deze workshops zijn bedoeld om met de kwekers en telers in discussie te gaan over de inzet van stuurlicht t.b.v. energiebesparing. Welke mogelijkheden zien zij voor hun teelt als kansrijk? Welke mogelijkheden hebben we over het hoofd gezien?

2. Algemene introductie over stuurlicht door Sander Hogewoning

"Wat is stuurlicht en wat kan je er mee?"

3. Stuurlicht toepassen in de praktijk door Sander Pot

"Stuurlicht: kansen in de praktijk"

4. Discussie met de kwekers over ervaring met stuurlicht o.l.v. Tom Dueck

Er is met potchrysant geëxperimenteerd met LED belichting samen met DLV, om groei te remmen met blauw licht. Nachtonderbreking met blauw licht resulteerde juist in strekking i.p.v. compactheid. Vorig jaar hebben is er een proef gedaan om op te kweken in containers met LED belichting. LED belichting is interessant in een meerlagenteelt in containers, die meedraait in een jaarrond teelt. De opkweek duurt circa 16 dagen (beworteling) van de 52 dagen totaal. Er is overwogen om een container aan te schaffen, om zo ook terug te kunnen in m² opkweek. Er wordt nu een dergelijk systeem gebruikt voor de opkweek van kalanchoë.

In het verleden is ook de opkweek van Phalaenopsis getest in containers met LED, maar dat is gestopt vanwege problemen met water geven. Het heeft geen vervolg. Verder is er weinig tot geen ervaring met gebruik van stuurlicht.

5. Presentatie: Energiebesparing m.b.v. inzet stuurlicht. Uitgewerkte cases voor phalaenopsis en kalanchoë (Tom Dueck)

Phalaenopsis

Met behulp van het model "Kaspro" is het energieverbruik berekend van een normale teelt (referentie) van Phalaenopsis. Er is gepresenteerd hoeveel energie verbruikt wordt aan elektra (licht en koeling) en aan gas (warmte). Vervolgens is een case gepresenteerd met energiebesparende maatregelen. SON-T lampen zijn vervangen door LED lampen. Stuurlicht wordt ingezet om bloei te induceren. Dit zijn vervangende teeltmaatregelen voor de koeling tot 18.5°C, die in een referentieteelt gedurende 8 weken wordt aangehouden om bloei te induceren. Er is uitgegaan van een teeltversnelling van 2 weken door het aanhouden van een iets hogere temperatuur in deze periode van 23°C. Berekeningen zijn uitgevoerd met een plantdatum in januari, april en augustus.

Het resultaat is dat er behoorlijk energie kan worden bespaard door het gebruik van LED lampen i.p.v. SON-T lampen (24% efficiëntere lampen). Het elektriciteitsverbruik bedraagt in een referentieteelt circa 100 kWh m⁻². Als de koelperiode in de zomer valt, is ca. 50% van de energie nodig voor de koeling en de rest voor belichting. Door het inzetten van stuurlicht is een besparing van elektra mogelijk van 41 kWh m⁻². Als de koelperiode niet in de zomer valt is er nauwelijks energie nodig voor het koelen; het is dan alleen mogelijk te besparen op elektra door het inzetten van energiezuinigere LED lampen.

Kalanchoë

Met behulp van het model "Kaspro" is het energieverbruik berekend van een normale winterteelt (referentie) van kalanchoë. Er is gepresenteerd hoeveel energie verbruikt wordt aan elektra (licht) en aan gas (warmte). Vervolgens is een case gepresenteerd met energiebesparende maatregelen. SON-T lampen zijn vervangen door LED lampen. Daarnaast wordt fors bezuinigd op het aantal uren waarop belicht wordt. Wij denken dat er veel belicht wordt voor een compacte gewasvorm. De compacte gewasvorm kan met stuurlicht gestimuleerd worden. Door inzet van lage intensiteiten stuurlicht kan fors bespaard worden op assimilatiebelichting. Tijdens de lange dag periode in de teelt wordt geen 18 uur voluit belicht, maar de dag wordt met een geringe hoeveelheid stuurlicht verlengd. De compacte gewasvorm wordt tijdens de korte dag gestimuleerd door de aan het begin van de nachtperiode 30 minuten te belichten met een lage intensiteit stuurlicht. Berekeningen met "Kaspro" laten zien dat er op flink bespaard kan worden: het verbruik is 35 kWh m⁻² in de referentie en 19 kWh m⁻² in de case studie. Het kost wel 1 m³ m⁻² meer warmte als er minder belicht wordt.

6. Discussie met kwekers

Phalaenopsis

De setpoints die gebruikt zijn voor een referentieteelt moeten iets bijgesteld worden voor een volgende berekening. Veel telers hebben een WKK, dus ze willen graag berekeningen zien met gebruik van WKK. Afspraak: we gaan opnieuw berekeningen doen en sturen ze naar de telers, zodat ze de energieverbruiken kunnen vergelijken met hun eigen bedrijf.

Op zich vonden ze de energiebesparing interessant. Het is alleen de vraag of stuurlicht bloei kan induceren; dat weten we op dit moment niet. Stuurlicht kan wel dezelfde hormoon-aanmaak stimuleren die ook bij koude opgewekt wordt.

Daarna werd gediscussieerd over verbeterpunten in de Phalaenopsis teelt. De ervaring is dat rond maart de planten 'op' lijken te zijn. Ze staan er niet goed bij (geldt voor alle stadia). Het lijkt er op of ze de winter niet zo goed doorkomen. Kan dit komen door het spectrum in de winter? In de winter is het aandeel van de lampen t.o.v. zon groot.

In de zomer zijn de planten veel compacter (beter) dan in de winter, zowel de takken als de plant. Kan dit met het spectrum te maken hebben? SON-T bevat relatief meer rood licht en minder verrood dan zon en dit zou meer compacte planten moeten opleveren. Maar in de zomer krijgen de planten meer licht; dit stimuleert ook compactheid. Waarschijnlijk speelt hier de absolute hoeveelheid licht meer een rol dan de spectrale samenstelling op de morfologie van de plant.

Overige potplanten

De berekening van kalanchoë is interessant en een potchrysan teler denkt ook dat er in zijn teelt minder belicht zou kunnen worden, ook tijdens de lange dag periode. Hij belicht ook zeker voor een compacte gewasvorm. Nu wordt er belicht tijdens de lange dag cyclisch na zon onder: lampen 2 uur aan en vervolgens weer 3 uur uit. Compactheid is belangrijk in potchrysan; het is gunstig als dat ook met stuurlicht kan. Nu wordt het gewas ook compact gehouden door te spuiten met groeiremmers; dat is duur en mogelijk wordt dat op termijn verboden. In dat opzicht is de inzet van stuurlicht ook interessant.

Conclusie

Energiebesparing door toepassing van stuurlicht is interessant. Bij Phalaenopsis kan flink bespaard worden op koude als de bloei inductie in de zomer plaats vindt. Het is nu de vraag of stuurlicht inderdaad de bloei kan induceren. Voor potplanten is compactheid heel belangrijk. Dat wordt nu gerealiseerd door belichting en toepassen van groeiremmers (potchrysan). Stuurlicht zou een mooi alternatief zijn en levert bovendien energiebesparing op. Energieberekeningen worden opnieuw uitgevoerd met input van de telers: aangepaste temperatuur bloei inductie, aangepaste PARsom tijdens afkweek en gebruik van WKK.

Bijlage IV. Workshop Stuurlicht glasgroenten

Datum: maandag 1 juli 14:00-16:00

Aanwezig:

Arthur van den Berg (LTO groeiservice): voorzitter van de workshop

Tom Dueck (projectleider) en Esther Meinen (verslag): Wageningen UR Glastuinbouw

Sander Hogewoning: Plant Lighting

Sander Pot: Plant Dynamics

Enkele plantenkwekers

1. Inleiding door Tom Dueck (projectleider)

Doel: welke kansen biedt de inzet van stuurlicht voor energiebesparing in de glastuinbouw?

Er is een desk studie uitgevoerd over het gebruik van stuurlicht voor glastuinbouw gewassen en gericht op mogelijkheden voor energiebesparing. Nu volgen er 3 workshops met kwekers en telers voor verschillende gewasgroepen. Deze workshops zijn bedoeld om met de kwekers en telers in discussie te gaan over de inzet van stuurlicht t.b.v. energiebesparing. Welke mogelijkheden zien zij voor hun teelt als kansrijk? Welke mogelijkheden hebben we over het hoofd gezien?

2. Algemene introductie over stuurlicht door Sander Hogewoning

"Wat is stuurlicht en wat kan je er mee?"

3. Stuurlicht toepassen in de praktijk door Sander Pot

"Stuurlicht: kansen in de praktijk"

4. Discussie met de kwekers over ervaring met stuurlicht o.l.v. Tom Dueck

Welke ervaring hebben de kwekers met stuurlicht?

Op dit moment is een teler bezig met uittesten van LED belichting in klimaatcellen voor de komkommerplanten die net geënt zijn. Op dit moment passen ze TL belichting toe, maar ze willen mogelijk in de toekomst de overstap maken naar LED belichting. Voorwaarde is dat de groei minstens gelijk is aan de groei onder TL. Voor komkommer hebben ze nu een goede verhouding; komende winter gaan ze testen voor tomaat.

En andere teler doet proeven met geënte tomaat en licht. Verrood zou stimulerend effect hebben. Bij 1 op 1 geënte planten is er geen probleem. Maar tot nu toe zijn er wel problemen met geënte planten m.b.t. homogeniteit van trossen, te veel assimilaten opbouw, afhankelijk van de ontwikkeling op het tijdstip van enten. Verrood licht bevorderde het gelijk trekken van de planten m.b.t. bloei niet.

Er is behoefte aan sturing van de jonge planten, omdat er op dit moment problemen zijn met koploosheid, assimilatenoverschotten, heterogeniteit van de bloei of uitstel van bloei door hoge temperaturen na enten.

De ideale plant zou te sturen moeten zijn, zodat er planten geleverd kunnen worden met 3 trossen (voldoende laag), homogeen plantmateriaal. Kan stuurlicht hier een rol spelen? Of dit tot energiebesparing leidt is voor de kweker van secundair belang. Het kan hem wel wat opleveren (kostenbesparing), maar de teler niet. De teler wil een goede plant krijgen.

5. Presentatie: Energiebesparing m.b.v. inzet stuurlicht Sander Hogewoning

Sander presenteert de resultaten van een experiment, waarbij verrood lampen zijn ingezet om de teelt te versnellen van komkommer (aanpassing PSS). Dit resulteert in een energiebesparing van 15% op warmte.

6. Discussie met kwekers

De teeltversnelling tot 17% is interessant, maar alle plantenkwekers twijfelen wel over het uiterlijk van de plant (komkommer) die verkocht moet worden. De plant heeft bij gelijke bladoppervlakte en biomassa een ieler voorkomen (langere stengels). Dat is wellicht lastiger te verkopen aan de klant, ondanks de verzekering van Sander Hogewoning dat de uiteindelijke productie bij de teler gelijk was aan een 'regulier' opgekweekte plant. De plantenkwekers gaven aan dat het goed is om dit soort proeven te herhalen. Kunnen profiteren van een versnelde opkweek is interessant, maar een voorwaarde is dat de klant tevreden is met het product. Om de klant daarvan te overtuigen zou een aantal malen moeten worden aangetoond dat de kwaliteit van de planten in orde is. De kwekers gaven aan dat ze behoefte hebben aan een verzekering van de goede kwaliteit van de plant.

Het veranderen van de PSS door het bijhangen van verrode LEDs had als doel om blad en plant beter te laten strekken, voor een betere lichtonderschepping. Dit heeft geleid tot een teeltduurverkorting tot 17% tijdens de opkweek. Optimaliseren van de lichtonderschepping wordt bij een teler gedaan door meerdere keren de planten wijder te zetten. Op het einde (vlak voor levering is de dichtheid 2 potten per $m^2 = 4$ koppen m^{-2}).

De kwekers gaven aan dat kwaliteit voor hen belangrijk is. Ze willen graag een plant leveren met 2 goede/sterke trossen. Ze willen graag kunnen sturen op:

- Homogeniteit van trossen.
- Homogeniteit van de geleverde planten.

Op dit moment levert een kweker meer planten voor de belichte teelt die start in oktober dan voor de traditionele teelt die start in december. Deze vroege teelt wordt in augustus gezaaid, wat leidt tot problemen met assimilaten-overschotten, koploosheid, en uitstel van bloemaanleg na het enten van de stekken door de hoge temperatuur.

Conclusie

Energiebesparing via versnelde opkweek door toepassing van verrood licht is interessant, maar de kwekers twijfelen over het ielere uiterlijk van de plant. De teler (hier de klant) heeft er niets extra's aan. Daarom wordt gesuggereerd de proeven te herhalen, om de klant te overtuigen dat het ielere uiterlijk geen negatieve gevolgen heeft. Men moet dit een aantal keren zien om overtuigd te raken. De kwekers zouden graag iets in handen hebben om de planten te kunnen sturen op aanleg trossen en homogeniteit m.b.t. trossen. M.a.w. ze vinden kwaliteit belangrijk. Mogelijk is stuurlicht hiervoor bruikbaar. De vraag is nu of dit leidt tot energiebesparing?

Bijlage V. Workshop Stuurlicht snijbloemen

Datum: woensdag 3 juli 15:00-17:00

Aanwezig:

Arthur van den Berg (LTO groeiservice): voorzitter van de workshop

Tom Dueck (projectleider) en Esther Meinen (verslag): Wageningen UR Glastuinbouw

Sander Hogewoning: Plant Lighting

Sander Pot: Plant Dynamics

Een aantal telers van lelie, chrysanten, snij hortensia en anemoon

1. Inleiding door Tom Dueck (projectleider)

Doel: welke kansen biedt de inzet van stuurlicht voor energiebesparing in de glastuinbouw?

Er is een desk studie uitgevoerd over het gebruik van stuurlicht voor glastuinbouw gewassen en gericht op mogelijkheden voor energiebesparing. Nu volgen er 3 workshops met kwekers en telers voor verschillende gewasgroepen. Deze workshops zijn bedoeld om met de kwekers en telers in discussie te gaan over de inzet van stuurlicht t.b.v. energiebesparing. Welke mogelijkheden zien zij voor hun teelt als kansrijk? Welke mogelijkheden hebben we over het hoofd gezien?

2. Algemene introductie over stuurlicht door Sander Hogewoning

"Wat is stuurlicht en wat kan je er mee?"

3. Stuurlicht toepassen in de praktijk door Sander Pot

"Stuurlicht: kansen in de praktijk"

4. Discussie met de kwekers over ervaring met stuurlicht o.l.v. Tom Dueck

Lelie: Een teler heeft een paar proeven uitgevoerd met LED belichting. Tijdens de opkweek werden de planten 3 weken bij 50 μmol LED geplaatst gedurende 16 uur. Vervolgens gaan de planten de kas in. Opkweek gaat goed onder LEDs; planten komen er hetzelfde uit. Maar de groei in de kas is anders. In de winter gaat het goed als ze onder assimilatiebelichting worden geplaatst. In de zomer gaat het minder goed als ze de gekrijte kas in gaan.

Snijhortensia: Samen met Philips geprobeerd om met verrood licht knoprust te voorkomen of te doorbreken. Het hormoon ABA moet afgebroken worden; dat gebeurt nu door warmte. Tijdens de nacht werd cyclisch belicht met ca. 10 μmol verrode LEDs. Het achterliggende idee was om te voorkomen dat winterrust optreedt. Het werkte echter niet. Sander Hogewoning: bij veel lange dag planten werkt puur verrood licht niet, het mechanisme van bloeisturing steekt iets complexer in elkaar. Verder is mogelijk ook te laat gestart met de verrood belichting (september) en was de ABA opbouw al te hoog. Scheutvorming wil je onderdrukken in snijhortensia; daar zou je stuurlicht voor kunnen gebruiken (rood/verrood verhouding goed kiezen).

Chrysant: geen ervaring met stuurlicht. Maar hij ziet wel mogelijkheden zoals stimuleren van compactheid i.p.v. spuiten, of versnellen/vervroegen van de knopaanleg.

Anemoon: geen ervaring met stuurlicht, maar hij ziet wel mogelijkheden. Zou je stuurlicht kunnen gebruiken om knopaanleg te sturen?

5. Presentatie: Energiebesparing m.b.v. inzet stuurlicht. Uitgewerkte case chrysant (Tom Dueck)

Met behulp van het model "Kaspro" is het energieverbruik berekend van een normale teelt van chrysant die start in november, januari en in maart. Er is gepresenteerd hoeveel energie verbruikt wordt aan elektra (licht) en aan gas (warmte). Vervolgens is een case gepresenteerd met energiebesparende maatregelen. SON-T lampen zijn vervangen door LED lampen. Tijdens de lange dag wordt de dichtheid van de planten met een factor 4 verhoogd, zodat het licht effectiever door het gewas wordt benut. In een reguliere plantdichtheid gaat veel licht verloren door de grote plantafstand. Daarnaast wordt bezuinigd op het aantal uren waarop belicht wordt tijdens de korte dag door te belichten naar behoefte. Als is voldaan aan de gewenste lichtsom, schakelen de lampen uit. Of lampen branden helemaal niet als er een zonnige dag voorspeld wordt.

Berekeningen met "Kaspro" laten zien dat er flink bespaard kan worden: het elektriciteitsverbruik is het hoogst als de teelt gestart wordt in november: 53 kWh m⁻² in de referentie (14 kWh m⁻² lange dag en 39 kWh m⁻² korte dag). Er kan dan 15 kWh/m² bespaard worden in de case studie. De besparing is hoger als gestart wordt in januari (21 kWh m⁻²) en gering als in maart wordt gestart (4 kWh m⁻²) door geringe belichtingsuren.

6. Discussie met kwekers

Een teler gaf aan dat onze setpoints van de chrysanten teelt wel aardig klopten, alleen de korte dag periode kan met enkele dagen bekort worden. Het gepresenteerde energieverbruik klopt wel redelijk, maar de meeste chrysantentelers hebben een WKK en de berekeningen zijn uitgevoerd zonder WKK. In de volgende energieberekeningen wordt dit aangepast.

Een hogere dichtheid tijdens de lange dag betekent in de praktijk dat de planten langer bij de vermeerderaar staan. Ervaringen uit het verleden met het starten met grotere planten waren niet zo succesvol.

Er werd gesuggereerd om stuurlicht in te zetten om zo de bloei te versnellen en het gewas compact te houden. Er wordt nu veel gespoten met remstoffen voor de compacte vorm. Groeistoffen zijn ongunstig voor de bloem (vertraagt) en bovendien kostbaar. Een ander punt dat werd aangedragen tijdens de discussie is dat chrysant in de winter voldoende heeft aan 11,75 uur donker en in de zomer moet het gewas 12,5 uur donker gehouden worden voor goede takken. Uit de discussie bleek dat in de winter het gewas de nacht ingaat met belichting; dus relatief veel rood licht. In de zomer gaat het gewas de nacht in met zonlicht; dus relatief veel meer verrood licht t.o.v. SON-T. Dit kan gevolgen hebben voor de morfologie van de plant; dit is duidelijk een stuurlicht-effect.

In lelie zou het interessant zijn om te kunnen sturen op homogeniteit. Het gewas is op dit moment zo heterogeen dat er wel 6 keer gesneden moet worden in 1 bed. Onrijpe takken gaan weer terug het vak in. Dit kost veel arbeid. Lelie is lastig te plannen. Kan stuurlicht hier iets betekenen. Binnenkort start een project met stuurlicht in lelie door DLV Plant, waarin dagverlenging met LEDs wordt toegepast.

Conclusie

Energiebesparing door toepassing van LED lampen en belichten naar behoefte is interessant. Maar stuurlicht zou ook ingezet kunnen worden om de bloei te versnellen en om het gewas compact te houden. Uit de discussie kwam naar voren dat er veel behoefte is om het gewas te kunnen sturen op: compactheid (chrysant), doorbreken knoprast (snij hortensia), voorkomen scheutvorming (snijhortensia), homogeniteit van het gewas (lelie), knopinductie (anemoon). Gebruik van stuurlicht zou een mogelijkheid kunnen zijn, en het is de moeite waard om uit te zoeken hoe dat aan te pakken. Echter, soms staan deze wensen van de telers wel los van energiebesparing (doel van deze bijeenkomst). Energieberekeningen worden opnieuw uitgevoerd met input van de telers: aangepast teeltduur korte dag, en gebruik van WKK.

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



Wageningen UR 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

Glastuinbouw Rapport GTB-1349

Wageningen UR 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 UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University 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 Wageningen UR 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.