

Fotoperiodisch stuurlicht

Verkenning van de mogelijkheden voor toepassing van fotoperiodisch stuurlicht om de groei te stimuleren

Patricia de Boer & Leo Marcelis





Fotoperiodisch stuurlicht

Verkenning van de mogelijkheden voor toepassing van fotoperiodisch stuurlicht om de groei te stimuleren

Patricia de Boer & Leo Marcelis

© 2009 Wageningen, Wageningen UR Glastuinbouw

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



Ministerie van Landbouw, Natuur en
Voedselkwaliteit



Projectnummer PT: 13501
Projectnummer Wageningen UR Glastuinbouw: 3242065509

Wageningen UR Glastuinbouw

Adres : Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk
: Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk
Tel. : 0317 - 48 56 06
Fax : 010 - 522 51 93
E-mail : glastuinbouw@wur.nl
Internet : www.glastuinbouw.wur.nl

Inhoudsopgave

	pagina
Samenvatting	1
Voorwoord	3
1 Inleiding	5
2 Fysiologische achtergronden	7
2.1 Invloed fotoperiode op drooggewicht	7
2.2 Invloed fotoperiode op plantprocessen	8
2.3 Hypothesen over werkingsmechanisme	10
2.4 Hoofdstuk 2 samengevat	10
3 Fysiologische aspecten bij praktijktoepassing	11
3.1 Invloed van gewastype	11
3.2 Invloed van moment van toepassing	12
3.3 Effect op vegetatieve en generatieve groei	12
3.4 Hoofdstuk 3 samengevat	13
4 Toepassing bij belichte en onbelichte teelten	15
4.1 Hoofdstuk 4 samengevat	15
5 Hoe te belichten	17
5.1 Optimaal lichtspectrum	17
5.2 Optimale daglengte	18
5.3 Moment van toepassing op de dag	19
5.4 Hoofdstuk 5 samengevat	19
6 Effect bij verschillende gewasgroepen	21
6.1 Groenten en fruit onder glas	21
6.1.1 Vruchtgroenten	21
6.1.2 Bladgroenten	22
6.1.3 Aardbei	22
6.2 Potplanten	23
6.3 Snijbloemen	24
6.4 Opkweek	25
6.5 Hoofdstuk 6 samengevat	26
7 Verwachte effecten in de praktijksituatie	27
8 Conclusie	29
Bijlage I.	4 pp.
Bijlage II. Literatuur	2 pp.

Samenvatting

De term fotoperiodisch stuurlicht wordt gebruikt voor effecten van daglengteverlenging op groei of ontwikkeling van planten waarvoor maar een lage intensiteit licht nodig is. Daglengteverlenging met lage intensiteiten wordt in de tuinbouw volop toegepast om de bloei te stimuleren of juist uit te stellen. In de literatuur is te vinden dat verlenging van de daglengte daarnaast kan resulteren in een sterke groeistimulans. Uit onderzoek is gebleken dat daglengteverlenging met een lichtintensiteit van $3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ al een effect kan hebben op de groei. Vanwege de lage energiekosten van belichting met lage intensiteiten, kan dit mogelijkheden scheppen voor gebruik in de glastuinbouw. In deze desk-studie is door literatuurstudie en gesprekken met onderzoekers met ervaring op dit terrein en enkele telers een inventarisatie gemaakt van achtergronden en mogelijkheden van fotoperiodische belichting om de groei te stimuleren in de praktijk.

In verschillende onderzoeken bij jonge tomatenplanten en perkplanten is een spectaculaire groeistimulans gevonden door daglengteverlenging van 8 naar 12 of 16 uur, zelfs wanneer de totale lichtsom gelijk was. Bij tomaat werd hierdoor een groeistimulans van 74% bereikt en bij vier soorten perkplanten nam het drooggewicht hierdoor toe met gemiddeld 64%.

Hoe daglengteverlenging de groei kan stimuleren is niet volledig duidelijk. Waarschijnlijk speelt hierbij vooral stimulering van de groei van het bladoppervlak en een verhoogde fotosynthese efficiëntie van het blad een rol. Daglengteverlenging zal hierdoor vooral effect hebben bij jonge planten. Bij deze planten zal stimulering van de groei van het bladoppervlak immers het meeste effect hebben. Bovendien zal het effect op de groei kleiner zijn naarmate de lichtintensiteit hoger is en de natuurlijke daglengte langer is. Toepassing zal hierdoor vooral interessant kunnen zijn in de periode van november tot februari. Afhankelijk van het gewas kan mogelijk ook in de omliggende maanden een effect bereikt worden.

Toepassing van daglengteverlenging met lage intensiteit zal het meeste effect hebben op de groei van gewassen waarbij geen gebruik wordt gemaakt van assimilatiebelichting vanwege de lagere lichtintensiteit en de kortere daglengte waarbij het gewas groeit. Bij belichte teelten zal mogelijk voordeel kunnen worden behaald door de lichtsom anders over de dag te verdelen of door de intensiteit op bepaalde dagdelen te verlagen. Hiermee zou fors energie bespaard kunnen worden. Uiteindelijk zal vooral economische afweging van energiebesparing ten opzichte van productieafname bepalen of tuinders dit gaan toepassen.

Of het zinvol is om daglengteverlenging toe te passen hangt dus af van de omstandigheden waaronder het gewas wordt geteeld, zoals de periode van het jaar waarin wordt geteeld en of er gebruik wordt gemaakt van assimilatiebelichting. Daarnaast spelen fysiologische eigenschappen van het gewas een rol. Over het algemeen wordt verwacht dat als er een effect is van daglengteverlenging, dit effect groter is bij de teelt van (bepaalde) potplanten en eenjarige snijbloemen dan bij de teelt van vruchtgroenten en meerjarige snijbloemen. Perkgoed is hierbij regelmatig genoemd als gewas waarbij mogelijk voordeel behaald kan worden. Daarnaast zouden er bij verschillende gewassen mogelijkheden kunnen liggen in de opwekefase. Het voordeel zal vooral liggen in een verkorting van de teeltduur en/of een betere programmeerbaarheid van de teelt.

Het onderzoek aan daglengteverlenging met lage intensiteit om de groei te stimuleren is tot nu toe vooral uitgevoerd onder omstandigheden die afwijken van de praktijksituatie. In de eerste plaats is het van belang om te weten of ook onder praktijkomstandigheden groeiwinst mogelijk is en of hierdoor de teeltduur kan worden verkort. Hoe groot het effect van toepassing van fotoperiodisch stuurlicht onder praktijkomstandigheden op de groei is, is moeilijk te voorspellen. Het kan een kans zijn om met weinig energie en geringe investering voordeel te behalen.

Voorwoord

Deze desk-studie is opgestart omdat uit onderzoek is gebleken dat toepassing van daglengteverlenging met lage intensiteit (fotoperiodisch stuurlicht) een spectaculaire groeistimulans kan veroorzaken. Wanneer dit ook onder praktijkomstandigheden bereikt kan worden, biedt dit perspectief op het gebied van energiezuinig telen. De studie is uitgevoerd in het kader van het energieprogramma van het Ministerie van LNV – Productschap Tuinbouw en heeft als doel om te inventariseren of het zinvol is om experimenteel onderzoek op te starten naar het effect van fotoperiodisch stuurlicht op de groei van kasgewassen.

Om een indruk te krijgen van de mogelijkheden en beperkingen van fotoperiodisch stuurlicht zijn gesprekken gevoerd met onderzoekers met ervaring op dit gebied en enkele telers:

Ep Heuvelink, Jan Janse, Frank Maas, Tjeerd Blacqui re, Nieves García, Filip van Noort, Ruud Maaswinkel, Caroline Labrie (allen werkzaam bij WUR), Steven Adams (University of Warwick HRI, UK), Roar Moe (Norwegian University of Life Sciences), André Gosselin (Universit  Laval, Canada), Erik Runkle (Michigan State University, USA), Klaas Walraven (DLV Plant), Stephan Dingemans (Paprikateler in Vierpolders), Wim Hazeu (plantenkwekerij Ammerlaan, Bleiswijk).

Hierbij willen wij hen hartelijk danken voor hun inbreng.

1 Inleiding

De belangrijkste groeifactor voor een gewas is licht. Het gebruik van kunstlicht in de glastuinbouw is dan ook behoorlijk toegenomen. Hierbij zijn niet alleen de lichtintensiteit en de totale lichtsom van belang, maar ook de daglengte heeft invloed op de groei. Het effect van daglengte op de totstandkoming van de bloei is uitgebreid onderzocht, maar over het effect op de groei en de opbrengst is weinig bekend. Uit onderzoek aan de universiteit van Warwick (Warwick HRI) is gebleken dat het verlengen van de daglengte in een aantal gevallen de groei sterk kan stimuleren en de kwaliteit kan verbeteren.

Door bij jonge tomatenplanten de lichtsom te verdelen over 16 uur in plaats van 8 uur werd een groeistimulus bereikt van 76% (Hurd, 1973). Een betere verdeling van de lighthoeveelheid over een etmaal kan dus een behoorlijk effect hebben op de groei. Bij een vergelijkbaar experiment met vier soorten perkplanten (Geranium, Impatiens, Viool en Petunia) nam het drooggewicht toe met gemiddeld 64% (Langton *et al.*, 2003). Dit effect was zelfs vergelijkbaar aan of groter dan het effect van verdubbelen van de lichtsom bij een daglengte van 8 uur. In ander onderzoek is daglengteverlenging gerealiseerd door direct voor of na een lichtperiode van 8 uur met hoge intensiteit te belichten met een lage intensiteit. Bij Petunia leidde verlenging van de daglengte van 8 tot 16 uur met ca. $(4 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^{-1}$ PAR (Photosynthetically Active Radiation, het deel van het lichtspectrum wat wordt gebruikt voor fotosynthese) tot een groeistimulus van 13-99% (Adams *et al.*, 2008). In een vergelijkbaar experiment met Impatiens (Vlijtig Liesje) nam het drooggewicht toe met 20-46%. Ook is het mogelijk om de nacht te onderbreken. Dit is vaak minder effectief dan het verlengen dan de dag (Adams & Langton, 2005).

Een bijkomend voordeel is dat verlenging van de daglengte vaak lijkt te resulteren in groener blad, met een hoger chlorofylgehalte (Hurd, 1973; Langton *et al.*, 2003). Deze toename van de groenheid is interessant, aangezien dit een kwaliteitsaspect is bij veel sierteeltgewassen en bladgroenten.

Op basis van deze resultaten lijkt het mogelijk om met uiterst minimale belichtingsenergie een sterke groeistimulus te bewerkstelligen en de kwaliteit (groenheid) te vergroten, door gebruik te maken van belichting met lage intensiteit. Dit biedt perspectief op het gebied van energiezuinig telen. Mogelijk kan door langer te belichten met lagere intensiteit een energiezuinig alternatief worden aangeboden voor belichting met hoge intensiteit. In niet-belichte teelten zou op basis van dit principe met minimale belichtingsenergie een groeistimulus bereikt kunnen worden, waardoor de energie-efficiëntie en het rendement groter worden.

Deze deskstudie is opgezet om aan te geven of het zinvol is om experimenteel onderzoek op te starten waarin het effect van lang belichten met lage intensiteiten op kasgewassen wordt onderzocht. Eerst is een literatuuronderzoek gedaan om na te gaan welke plantprocessen beïnvloed worden door gebruik te maken van deze techniek (hoofdstuk 2). Daarnaast worden verschillende hypothesen over het werkingsmechanisme besproken. Vervolgens is een inventarisatie gemaakt van mogelijkheden bij kasgewassen en toepasbaarheid in de praktijk. Om inzicht te krijgen in deze mogelijkheden is navraag gedaan bij onderzoekers met ervaring op dit terrein, gewasspecialisten en enkele telers. In hoofdstuk 3 worden factoren besproken die fysiologisch gezien invloed kunnen hebben op het effect van lange dag behandeling in de praktijk, zoals daglengtegevoeligheid. In hoofdstuk 4 wordt ingegaan op de mogelijkheden bij belichte en niet belichte teelten. In hoofdstuk 5 worden een aantal praktische vragen behandeld; is het mogelijk om het effect te vergroten door te belichten met een specifiek spectrum, wat is de optimale daglengte en op welk moment van de dag kan daglengteverlenging worden toegepast. Vervolgens wordt in hoofdstuk 6 ingegaan op de mogelijkheden per gewasgroep, aan de hand van de fysiologische eigenschappen van deze gewasgroepen en de gangbare teeltmethoden. In hoofdstuk 7 wordt aangegeven wat onderzoekers en telers verwachten van toepassing van daglengteverlenging in de praktijk.

2 Fysiologische achtergronden

Om een indruk te krijgen van de invloeden van daglengte op plantenfysiologische processen is een literatuuronderzoek uitgevoerd. Omdat deze deskstudie is gericht op daglengteverlenging met lage intensiteiten is hierbij vooral uitgegaan van publicaties waarin onderzoek wordt beschreven waarbij met lage intensiteit is belicht (Hurd, 1973; Langton *et al.*, 2003; Adams *et al.*, 2008). In dit hoofdstuk worden een aantal belangrijke resultaten uit deze publicaties genoemd, een meer gedetailleerde samenvatting van deze artikelen staat in Bijlage I. In de eerste paragraaf wordt ingegaan op de relatie tussen de duur van de fotoperiode en de groei. Daarna worden verschillende plantprocessen beschreven die beïnvloed kunnen worden door de daglengte. Tot slot worden verschillende hypothesen besproken die de sterke invloed van fotoperiode op de groei kunnen verklaren.

2.1 Invloed fotoperiode op drooggewicht

Het effect van daglengte op de groei van jonge tomatenplanten is onderzocht door planten die gedurende 8 uur werden belicht te vergelijken met planten die gedurende deze acht uur 90% van het licht kregen, waarbij de overige 10% tijdens de volgende 8 uur werd gegeven (Hurd, 1973). Voor dit onderzoek zijn de planten geteeld in klimaatkamers, onder TL-buizen. Bij een daglengte van 8 uur was de lichtintensiteit ongeveer $93 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PAR (photosynthetically active radiation). Omdat bij een daglengte van 16 uur in de eerste 8 uur $84 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en in de volgende 8 uur $9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ was, verschilde de totale lichtsom niet tussen de behandelingen. De daglengtebehandelingen zijn direct na het zaaien gestart. Na 6 weken was het drooggewicht van de planten die 16 uur licht hadden gehad maar liefst 75% hoger dan het drooggewicht van de planten uit het 8 uur licht regime.

Een vergelijkbaar effect is gevonden in een onderzoek naar het effect van daglengte bij jonge zaailingen van Geranium, Impatiens (Mijtig Liesje), Viool en Petunia (Langton *et al.*, 2003). Hierbij is een vergelijking gemaakt tussen daglengten van 8 en 16 uur, waarbij de lichtintensiteit gedurende de 16 uur behandeling gehalveerd was ten opzichte van 8 uur behandeling. In een tweede experiment is de daglengte verlengd tot 12 of 16 uur door tijdens de dagperiode van 8 uur 77% van het licht te geven ten opzichte van de controle planten met een daglengte van 8 uur en dit aan te vullen met een lichtperiode van 8 uur met 23% van de lighthoeveelheid. De totale lichtsom was hierbij dus gelijk. In beide proeven is een positief effect van daglengteverlenging op de groei gevonden, in het eerste experiment was het drooggewicht na 4 weken gemiddeld 64% hoger. Deze testen zijn uitgevoerd in klimaatkamers, waarbij de planten licht ontvingen van TL-lampen, aangevuld met licht van gloeilampen (3,9%).

In een vervolgonderzoek is het effect bekeken van daglengteverlenging onder omstandigheden met natuurlijk daglicht (Adams *et al.*, 2008). Dit onderzoek vond plaats in kassen, waarbij de daglengte werd beperkt tot 8 uur door de planten gedurende 16 uur te plaatsen in een lichtdicht compartiment in de kas. Daglengteverlenging vond plaats door in het lichtdichte compartiment te belichten met $4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PAR, verkregen door een combinatie van TL-lampen en gloeilampen. Verlenging van de daglengte van 8 tot 16 uur resulteerde bij Petunia in een toename van het drooggewicht van 13 tot 99%. Bij Impatiens nam het drooggewicht toe met 30 tot 46%. Bij Petunia was het effect het grootst bij de laagste lichtsom, bij Impatiens was het effect niet gerelateerd aan de totale lichtsom. In hetzelfde onderzoek is het effect van daglengte op de groei van jonge tomatenplanten in kascompartimenten onderzocht, waarbij de daglengte werd beperkt tot 8 uur door het compartiment gedurende 16 uur lichtdicht te maken. Daglengteverlenging is toegepast door aanvullend te belichten met gloeilampen gedurende 8 uur ($3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PAR). Het drooggewicht nam toe door verlenging van de daglengte, maar alleen onder omstandigheden met weinig natuurlijk licht. Bij een lichtsom van 2.2 en 2.4 $\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ PAR werd de groei gestimuleerd, bij lichtsommen van 3.8 $\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ PAR leidde daglengteverlenging niet tot een groeistimulus. In een literatuuronderzoek is het effect van daglengte op de groei van 50 plantensoorten op een rijtje gezet (Adams & Langton, 2005). De conclusie hieruit is dat stimulering van de groei in drooggewicht een gangbare reactie lijkt te zijn van gewassen op verlenging van de daglengte.

2.2 Invloed fotoperiode op plantprocessen

Invloed op de morfologie

In het onderzoek bij tomaat (Hurd, 1973) was de hoeveelheid bladoppervlak na 6 weken 55% hoger bij de planten uit de lange dag behandeling. Ook bij het onderzoek naar perkplanten leidde langere dag in de meeste gevallen tot een toename van de bladoppervlakte (Langton *et al.*, 2003). Echter het effect varieerde wel enigszins per soort en per experiment. De reden hiervoor is niet duidelijk. Een toename in bladoppervlak gaat vaak samen met een toename in SLA (Specific Leaf Area; bladoppervlak per eenheid drooggewicht. Uit het onderzoek in 2008 (Adams *et al.*) bleek verlenging van de daglengte bij *Petunia* te leiden tot een hogere SLA; de planten hadden grotere, dunnere bladeren. Bij tomaat en *Impatiens* was er echter geen relatie tussen daglengte en SLA. Van de in het literatuuronderzoek van Adams en Langton beschreven soorten had 82% grotere of langere bladeren bij langere daglengte. Hoewel een langere daglengte niet per se hoeft te leiden tot een groter bladoppervlak, lijkt dit dus wel een veel voorkomende reactie van planten te zijn. De reden van het toegenomen bladoppervlak lijkt niet eenduidig te zijn, er zijn effecten gevonden van daglengteverlenging op zowel celstrekking als celdeling (Adams & Langton, 2005).

Verlenging van de daglengte blijkt zowel een positief als een negatief effect te kunnen hebben op de afsplitsing van bladeren (Adams & Langton, 2005). Zo resulteerde verlenging van de daglengte tijdens de opkweek van *Geranium* in een groter aantal bladeren (S. Adams, pers. mededeling)

Over het algemeen kan gesteld worden dat veel planten langer worden bij lange daglengte dan bij korte daglengte (Runkle & Heinz, 2006). Hierbij zal ook de samenstelling van het licht een rol spelen. In het onderzoek naar tomaat (Hurd, 1973) remde lange dag behandeling de strekking van tomatenstengels in eerste instantie, later was er geen verschil in groeisnelheid tussen de behandeling met lange dagen en die met korte dagen. In een ander onderzoek aan tomaat waarbij de daglengte werd verlengd door te belichten met gloeilampen tot langere internodia en dus langere planten (S. Adams, pers. mededeling). Waarschijnlijk is dit verschil te verklaren door de rood:verrood verhouding van het licht. De proef van Hurd is uitgevoerd in klimaatkamers met TL-buizen. Het licht van TL-buizen heeft een hoge rood:verrood verhouding, wat over het algemeen een negatief effect heeft op stengelstrekking. Gloeilampen geven relatief veel verrood licht, wat stengelstrekking stimuleert.

Invloed op het chlorofylgehalte

Bij een daglengte van 16 uur waren tomatenbladeren groener en bevatten meer chlorofyl per eenheid bladoppervlak dan bij een daglengte van 8 uur (Hurd, 1973; Adams *et al.*, 2008). Ook in het onderzoek met *Geranium*, *Impatiens*, *Viool* en *Petunia* (Langton *et al.*, 2003) resulteerde langere daglengte in een hoger chlorofylgehalte en groener blad. In het vervolgonderzoek leidde daglengteverlenging bij één proef tot groenere bladeren bij *Petunia*, maar niet bij *Impatiens*. Bij een volgende proef was dit precies andersom (Adams *et al.*, 2008). De reden hiervoor is niet duidelijk. Adams & Langton (2005) beschrijven verschillende studies waarin door het verlengen van de daglengte het blad groener wordt en het chlorofyl gehalte hoger is. Zij stellen dat lange dag behandeling invloed kan hebben op de aanmaak en afbraak van chlorofyl, aangezien deze processen gereguleerd worden door licht.

Invloed op de verdeling van assimilaten

De verdeling van assimilaten kan veranderen als gevolg van verlenging van de daglengte. Bij tomatenplanten die onder langere daglengten waren geteeld was een groter deel van het totale drooggewicht in het bladweefsel aanwezig (Hurd, 1973). Adams & Langton (2005) beschrijven een aantal experimenten waarbij geen effect van daglengte gevonden is, maar ook experimenten waarbij dit wel het geval was.

Invloed op bloei

Bij veel plantensoorten is de daglengte niet bepalend voor de ontwikkeling van bloemen (daglengte neutrale planten), maar bij korte-dag en lange-dag planten heeft de daglengte wel invloed op de bloei. Korte-dag planten bloeien na een periode met lange nachten en lange-dag planten hebben een periode met korte nachten nodig om in bloei te komen. Er zijn soorten die voor het in bloei komen een kritische daglengte nodig hebben, dit zijn obligate (of kwalitatieve)

korte- of lange-dag planten. Andere soorten komen alleen sneller in bloei bij bepaalde daglengten, dit zijn facultatieve (of kwantitatieve) korte- of lange-dag planten.

In de praktijk wordt van dit mechanisme gebruik gemaakt om te sturen op bloei. Bij lange dag planten versnelt verlenging van de daglengte (in perioden waarin de natuurlijke daglengte kort is) het in bloei komen van de planten. Hierdoor wordt de productietijd verkort en daarnaast kan de plantkwaliteit verbeteren doordat er meer bloemen worden gevormd. Bij korte-dag planten kan de bloei worden versneld door de dagen korter te maken (met verduisteringsschermen), of juist worden uitgesteld door tijdens perioden waarin de dagen (te) kort zijn bij te belichten. Vaak zijn korte dagen alleen nodig om de bloei te induceren, daarna kan de daglengte wel weer toenemen.

Invloed van lichtkwaliteit

Zoals hierboven is beschreven, is het effect van lange dag behandeling op de morfologie niet altijd hetzelfde. In verschillende proeven zijn verschillende resultaten gevonden. Deze verschillen kunnen gerelateerd zijn aan de gevoeligheid van de soort en de omstandigheden tijdens de proef. Daarnaast kunnen onder andere verschillen in lichtkwaliteit verantwoordelijk zijn voor de verschillende resultaten. Het effect van daglengte op de morfologie is namelijk mede afhankelijk van het lightspectrum. Om deze reden wordt in het kort uitleg gegeven over lichtkwaliteit en de invloed hiervan op de morfologie.

Natuurlijk daglicht omvat straling van de golflengtes 300-3.000 nm. Het gedeelte van 400-700 nm (PAR; photosynthetic active radiation) wordt door planten gebruikt voor de fotosynthese. De samenstelling van natuurlijk daglicht is niet altijd hetzelfde, de lichtsamenstelling wordt beïnvloed door onder andere seizoeninvloeden, de atmosfeer (bewolking) en het tijdstip op de dag. Zo is de verhouding tussen rood en verrood licht anders in de zomer dan in de winter, en anders dan in de avond dan in de ochtend. Ook de omgeving kan de samenstelling van het daglicht veranderen. Omdat bladeren meer rood licht dan verrood licht absorberen is de verhouding tussen rood en verrood licht onder een bladerdek laag. Planten hebben hun eigen systemen om de samenstelling van het licht te registreren, waardoor ze kunnen reageren op de samenstelling van het licht. Zo is een lage rood-verrood verhouding een aanwijzing voor competitie tussen planten en kunnen planten hierop reageren door te strekken. De spectrale samenstelling van het licht is dus van invloed op de morfologische ontwikkeling van de plant.

Bij de morfologische respons van planten is vooral de verhouding tussen de hoeveelheid rood en verrood licht van belang. Het effect is veelal groter aan het eind van de lichtperiode. Over het algemeen stimuleert een lage rood:verrood verhouding de strekkingsgroei en de groei van het bladoppervlak (grotere, dunnere bladeren). Verrood licht bevordert strekking bij Chrysant, Matricaria, Aster en Poinsettia (de Graaf-van der Zande *et al.*, 1996). Bij Callistephus (zaai-aster) resulteerde belichting met lage intensiteiten in bladstrekking bij de meeste lightspectra, maar vooral bij verrood licht. Verhoging van het aandeel rood of blauw licht heeft het tegenovergestelde effect; remming van strekkingsgroei en groei bladoppervlak. Bij blauw licht bleven de bladeren van Callistephus juist erg kort. Ook de mate van vertakking is afhankelijk van de lichtkleur. Rood en blauw licht stimuleren vertakking, terwijl verrood licht een remmend effect heeft op vertakking.

Daarnaast speelt de verhouding tussen rood en verrood licht een rol bij het in bloei komen van lange dag planten. Runkle & Heins (2006) beschrijven een aantal studies waarin het effect hiervan op de bloei is beschreven. Zo komen veel lange dag planten sneller in bloei wanneer de lichtbron een lage verhouding rood:verrood licht geeft, met name aan het eind van de fotoperiode.

In een onderzoek bij een belichte teelt (SON-T) van Eustoma zijn positieve effecten gevonden van 15 minuten nabelichten met verrood licht (Bakker *et al.*, 1995). Hierdoor ontstond een kleine bloeivervroeging en verkorting van de oogstperiode. Het effect van verrood nabelichting ($8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) is onderzocht bij daglengten van 14 uur, 17 uur en 20 uur, waarbij de lichtsom gelijk is gehouden door gedurende twee perioden op de dag te belichten met assimilatiebelichting en de lengte van de tussenliggende perioden te variëren zodat de verschillende daglengtes konden worden gerealiseerd. Het aantal dagen tot bloei nam af onder invloed van een langere lichtperiode. Dit effect werd versterkt door nabelichting met verrood licht. Het effect van verrood nabelichting was het grootst bij een daglengte van 20 uur. Bij deze daglengte werd de teeltduur verkort met 10 dagen (8%). Het effect op de teeltduur was kleiner wanneer gebruik werd gemaakt van groter uitgangsmateriaal. De internodia waren langer bij langere daglengten, ook dit effect werd versterkt door verrood nabelichting. In dit geval werd slechts 15 minuten belicht met verrood licht (verkregen met behulp van halogeen lampen en een filter wat vooral verrood licht doorlaat). De in dit onderzoek gevonden effecten op groei en bloei wijzen erop dat de rood:verrood verhouding aan het einde van de dag de ontwikkeling tijdens een groot deel van de daaropvolgende donkerperiode kan sturen.

De samenstelling van kunstlicht is anders dan die van zonlicht en is sterk afhankelijk van het type lichtbron. Gloeilampen stralen meer licht uit van grotere golflengten (veel rood, relatief veel verrood en daardoor een lage rood:verrood verhouding en weinig blauw licht). Hogedruk natriumlampen hebben een maximale uitstraling in het geel-oranje gebied, met een hoge rood:verrood verhouding en weinig blauw. Door gebruik te maken van LED lampen wordt het mogelijk om met meer specifieke golflengten te belichten. In hoofdstuk 5 wordt aandacht besteed aan verschillende lamptypes die gebruikt kunnen worden voor daglengteverlenging en het effect hiervan.

2.3 Hypothesen over werkingsmechanisme

Er is nog weinig bekend over het mechanisme hoe het verlengen van de daglengte de groei kan stimuleren, wanneer de totale lichtsom gelijk is. In de hierboven beschreven artikelen worden verschillende mogelijke werkingsmechanismen besproken, deze hypothesen worden behandeld in onderstaande paragrafen.

Stuurlicht: indirect effect op fotosynthese

Het positieve effect van lange daglengtes op groei kan berusten op het (stuurlicht) effect van daglengte op de groei van het bladoppervlak. Wanneer door het aanhouden van langere daglengtes de groei van het bladoppervlak wordt gestimuleerd, kan door dit blad meer licht worden onderschept. Hierdoor is meer fotosynthese mogelijk. In de voorgaande paragraaf is aangegeven dat het blad vaak groener wordt door langere daglengtes. Dit lijkt te wijzen op een hoger chlorofylgehalte. Hierdoor zou ook de efficiëntie van de fotosynthese per eenheid bladoppervlak hoger kunnen worden. Afhankelijk van de plantsoort en de omstandigheden zouden beide of een van beide mechanismen een rol kunnen spelen.

Direct effect op fotosynthese

Bovenstaande werkingsmechanismen lijken niet in alle gevallen op te gaan. Zo had daglengteverlenging bij Impatiens bijvoorbeeld geen consistent effect op de SLA of de groenheid van het blad. Adams *et al.* (2008) beschrijven een ander mechanisme wat (eventueel in combinatie met de hierboven beschreven mechanismen) de sterke toename van de groei bij daglengteverlenging zou kunnen verklaren. Aan de hand van de gemeten lichtrespons curve voor tomaat in dit onderzoek laten ze zien dat het verband tussen PAR en netto fotosynthese snelheid ook bij lagere lichtintensiteit niet lineair is. Dus hoe lager de lichtintensiteit, hoe efficiënter de lichtbenutting van het gewas. Hierdoor heeft een kleine toename in lichtintensiteit een groter effect op de netto fotosynthese snelheid wanneer het donker is dan onder omstandigheden met meer licht. Daarom is het efficiënter om de daglengte te verlengen dan om de totale lichtsom tijdens de dag te verhogen.

Op basis van de lichtrespons curve van de fotosynthese van tomaat uit Adams *et al.* (2008) kan worden berekend wat het effect is van de belichtingsintensiteiten en -duren die zijn aangehouden in het onderzoek van Hurd (1973). Dit resulteert in een bruto fotosynthese van 135 mmol CO₂ m⁻² d⁻² bij een daglengte van 8 uur ten opzichte van 140 mmol CO₂ m⁻² d⁻² bij een daglengte van 16 uur. Door dagverlenging was de bruto fotosynthese dus 4% hoger. Het relatieve effect op de netto fotosynthese zal wat groter zijn. Dit geeft aan dat het effect van daglengteverlenging slechts voor een klein deel verklaard kan worden door het kromlijnige verband tussen fotosynthese en intensiteit en dat het dus vooral om andere effecten gaat.

2.4 Hoofdstuk 2 samengevat

Uit onderzoek blijkt dat verlenging van de daglengte kan resulteren in een sterke groeistimulans. Door verlenging van de daglengte neemt het bladoppervlak in veel gevallen toe. Bovendien wordt het blad vaak groener, wat duidt op een hoger chlorofylgehalte. De sterke groeistimulans kan het gevolg zijn van een stimulerende invloed van bovenstaande effecten op de fotosynthese. Door een groter bladoppervlak kan immers meer licht worden onderschept en met een hoger chlorofylgehalte kan het geabsorbeerde licht vollediger worden benut. Een andere mogelijke verklaring is dat daglengteverlenging een direct effect heeft op de fotosynthese omdat licht efficiënter wordt benut naarmate de lichtintensiteit lager is. Deze laatste veronderstelling lijkt echter maar een klein deel van de waargenomen groeistimulans te kunnen verklaren.

3 Fysiologische aspecten bij praktijktoepassing

Op basis van de in het vorige hoofdstuk beschreven effecten van daglengteverlenging met lage intensiteiten op de groei, lijkt toepassing hiervan in de praktijk interessant. Aan de hand van gesprekken met onderzoekers, gewas-specialisten en telers en informatie uit de literatuur is een inventarisatie gemaakt van de mogelijkheden voor toepassing in de praktijk. Dit zal in hoofdstuk 3 tot en met 7 worden besproken. In dit hoofdstuk wordt globaal aangegeven in welke periode en voor welke typen gewassen dit mechanisme fysiologisch gezien een bijdrage kan leveren aan de groei.

3.1 Invloed van gewastype

Op basis van de werkingsmechanismen die beschreven zijn in het voorgaande hoofdstuk kan verwacht worden dat het effect van daglengteverlenging niet gewasspecifiek is. Wel kunnen er grote verschillen zijn wat betreft de effectiviteit van de lange dag behandeling. Door de onderzoekers zijn verschillende factoren genoemd die hierbij een rol kunnen spelen:

- De duur van de fase met een lage Leaf Area Index (LAI, de hoeveelheid bladoppervlak per m²). Het positieve effect van de toename van de hoeveelheid bladoppervlak en dus op de mate van lichtonderschepping zal kleiner zijn naarmate het gewas groter wordt en de bladeren elkaar meer gaan overlappen. Dus het resultaat zal het grootst zijn in de periode dat de LAI beperkend is voor de groei. Zo heeft komkommer een relatief korte fase met lage LAI en paprika een relatief lange. Bij paprika duurt het dus veel langer totdat de LAI beperkend blijft voor de groei, wat dit betreft zou paprika dus langer (en dus meer) voordeel hebben van lange dag behandeling dan komkommer.
- Het reactievermogen van het blad op daglengteverlenging, met betrekking tot de toename van het bladoppervlak en de hoeveelheid chlorofyl. Over het algemeen kan verwacht worden dat schaduwminnende soorten bij afname van de lichtintensiteit sterker reageren met een toename van het bladoppervlak. Wel kan verwacht worden dat het effect juist minder groot zal zijn bij gewassen die afkomstig zijn uit de onderbegroeiing in het regenwoud, zoals *Dieffenbachia*. Deze missen de strekkingsrespons op verrood licht. Daarnaast is het voor te stellen dat er fysiologisch gezien een maximale SLA bestaat. Het strekken van het blad onder lange dag behandeling kan gepaard gaan met het dunner worden van het blad. Het is mogelijk dat bladstrekking bij bepaalde gewassen onder bepaalde omstandigheden fysiologisch gezien niet meer mogelijk is, omdat het blad hiervoor te dun is.
- In hoeverre het gewas is aangepast aan schaduwrijke omstandigheden. Het effect zal groter zijn bij planten die normaliter groeien onder een laag lichtniveau (schaduwgewassen). De lichtrespons curve van deze gewassen is gunstiger door de steilere helling aan het begin van de curve.
- In hoeverre het gewas is geacclimatiseerd aan schaduwrijke omstandigheden. Net als bij schaduwgewassen is ook de lichtresponscurve van gewassen die onder omstandigheden met weinig licht zijn opgekweekt gunstiger voor groei bij lage intensiteiten. Naarmate de planten tijdens de opweek meer licht hebben gehad, zal de lichtrespons curve ongunstiger zijn.

Bovenstaande factoren kunnen wellicht enig handvat bieden over welke gewastypen het meeste voordeel kunnen hebben van daglengteverlenging. Het blijft echter heel moeilijk om vooraf te voorspellen of een bepaald gewas goed zal reageren op daglengteverlenging. Om voor een gewas het effect van daglengteverlenging in kaart te brengen, zullen dus proeven uitgevoerd moeten worden.

3.2 Invloed van moment van toepassing

Op basis van de in de vorige paragraaf beschreven mogelijke werkingsmechanismen kan worden aangenomen dat het gebruik van fotoperiodisch stuurlicht vooral effectief is wanneer:

- De LAI klein is. Hierdoor kan een groter effect verwacht worden bij jonge planten en/of een grote plantafstand. Hier kunnen wel uitzonderingen op zijn vanwege de verschillende mechanismen die een rol kunnen spelen bij de groeistimulans door daglengteverlenging. Soorten die reageren op fotoperiodisch stuurlicht met een toename van het chlorofylgehalte, kunnen ook voordeel hebben wanneer de LAI hoog is.
- De natuurlijke daglengte kort is en de van nature aanwezige hoeveelheid licht laag is. Een kleine absolute toename in fotosynthese zal procentueel gezien namelijk het meeste effect hebben wanneer de planten groeien onder omstandigheden met weinig licht. Naarmate de lichtevoelheid groter is, wordt de hoeveelheid licht minder beperkend voor de groei zal het relatieve effect dus klein zijn. Zoals in het vorige hoofdstuk is beschreven, werd bij het onderzoek naar tomaat alleen een duidelijke groeistimulans gevonden bij lichtsommen van 2.2 en 2.4 mol m² d⁻¹ PAR (Adams *et al.*, 2008). Bij lichtsommen van 3.8 mol m² d⁻¹ PAR of hoger was er geen duidelijk effect van daglengteverlenging op de groei. Bij zowel Petunia als Impatiens was er bij een totale lichtsom van 15.8 mol m² d⁻¹ PAR wel een duidelijk effect van daglengteverlenging op de groei. Bij Impatiens was het effect van daglengteverlenging niet groter bij lagere lichtsom. Bij enkele maar niet alle experimenten met Petunia was het effect van daglengteverlenging groter bij lagere lichtsom. Volgens de gegevens van het KNMI was de gemiddelde globale stralingssom in de lichte uren in de winter in Nederland over de jaren 1971 tot 2000 ca. 70 W m² gerekend in de donkerste maanden van het jaar, van 6 november t/m 6 februari. Uitgaande dat ongeveer de helft van de globale straling in het PAR gebied licht en dat 70% hiervan door het kasdek wordt doorgelaten komt dit overeen met een stralingssom van 3,5 mol m² d⁻¹ PAR. Bij deze gemiddelde stralingssom werd bij tomaat geen effect gevonden, bij perkplanten wel. De lichtintensiteit waarbij verlenging van de daglengte effect heeft op de groei is dus sterk afhankelijk van het gewas en de teeltomstandigheden. Dit geldt ook voor de maximale natuurlijke daglengte waarbij daglengteverlenging nog zin heeft (zie paragraaf 5.2). De daglengte varieert in Nederland van minder dan 8 uur in de winter tot 16,5 uur in de zomer. Begin november en begin februari is de daglengte ongeveer 9,5 uur. Op basis van het natuurlijke stralingsniveau en de daglengte, zal het effect van daglengteverlenging in de maanden november tot en met februari grootst zijn. Afhankelijk van het gewas zal toepassing in de omliggende maanden ook effect kunnen hebben.

3.3 Effect op vegetatieve en generatieve groei

Waarschijnlijk reageren korte-dag en daglengte neutrale gewassen over het algemeen sterker op daglengteverlenging met bladstrekking dan lange-dag planten. Bij lange-dag planten zal een langere lichtperiode de bloei stimuleren, waardoor mogelijk minder assimilaten worden geïnvesteerd in de overige plantendelen. Toch is ook bij lange dag planten een positief effect van daglengteverlenging op bladstrekking en groei gevonden (Adams & Langton, 2005; Adams *et al.*, 2008). Daarnaast zal verlengen van de daglengte bij lange-dag planten de bloei versnellen en/of een rijkere bloei geven. Daglengteverlenging wordt daarom vaak al toegepast bij lange-dag gewassen in de praktijk. Wanneer dit niet het geval is (bij lange-dag perkplanten wordt dit over het algemeen niet toegepast), kan daglengteverlenging voordeel opleveren. Bij teelten waarbij de bloei wordt gestimuleerd door gebruik van gloeilampen of spaarlampen, kan langer belichten dan de kritische periode die nodig is voor stimulering van de bloei groeiwinst opleveren. In de praktijk passen de meeste planten- en snijbloementelers van lange-dag gewassen assimilatiebelichting toe, waardoor de lampen al langer aanstaan om de groei te stimuleren. Bij korte dag planten zoals Chrysant en Kalanchoe wordt een lange dag periode gegeven voorafgaand aan een periode met korte daglengtes. Deze periode is kort, 3-4 weken in de winter bij Kalanchoe. De groeistimulans door daglengteverlenging met lage intensiteiten moet dus behoorlijk zijn om over de hele teelt een duidelijk effect te kunnen hebben. Ook aansluitend aan de korte dag periode, als de bloemen al zijn aangelegd is het theoretisch gezien mogelijk om de dagen weer te verlengen. Bij begonia wordt dit ook aangeraden (website Royal van Zanten). Bij veel plantensoorten is dit echter wel risicovol, als hiermee te vroeg wordt begonnen kunnen bloemen aborteren

of kan vermenging ontstaan (de knoppen groeien niet verder omdat vegetatieve groei wordt gestimuleerd). Er is veel ervaringsdeskundigheid van de teler nodig om dit op de juiste manier te doen.

Het verlengen van de daglengte in de periode dat de daglengte kort moet zijn om bloei te induceren, lijkt op het eerste gezicht geen optie. Door een aantal onderzoekers worden toch mogelijkheden genoemd. Bij kwantitatieve korte dagplanten als (pot)Gerbera en Begonia zou deels langer belichten tijdens de korte dag periode mogelijk kunnen zijn, zonder dat de bloei hierdoor sterk beïnvloed wordt. Ook hierbij geldt dat bijvoorbeeld bij Begonia een kortdurende korte dag periode wordt aangehouden (1 à 2 weken) en dat de groeistimulans sterk moet zijn om een duidelijk effect te kunnen hebben. Bij kwalitatieve korte dag planten zoals Poinsettia, Chrysant en Kalanchoe zal daglengteverlenging tijdens de korte dag periode wel tot bloeuitstel leiden. Bij Chrysant hanteert men in de praktijk vaak hele lange perioden korte dag omdat anders minder bloemen zouden ontstaan. Toen nog geen assimilatiebelichting werd toegepast bij Chrysant waren er problemen met een te laag takgewicht. Door in de korte dag periode 3 à 4 dagen te belichten werd de vegetatieve groei gestimuleerd en werd het takgewicht hoger. Hierbij stonden de lampen tussen 22:00 en 4:00 uur elk uur 15 minuten aan. Blijkbaar was deze korte periode van belichten dus al voldoende om de groei te stimuleren. Het maximale aantal dagen waarop de nachtbelichting kon worden gehanteerd was afhankelijk van het ras, maar over het algemeen ontstond doorwas wanneer dit langer dan 4 dagen duurde. Het gevolg was wel dat de teeltduur iets langer werd. Wellicht zijn er ook bij de huidige chrysantenteelt onder assimilatiebelichting mogelijkheden tijdens de korte dag periode. Mogelijk kan in de winter een hogere plantdichtheid worden aangehouden wanneer tijdens een aantal dagen in de korte dag periode wat langer wordt belicht. Dit is echter steeds moeilijker te realiseren omdat de huidige plantdichtheid al behoorlijk hoog is. Een andere optie zou kunnen zijn om energie te besparen door in de korte dag periode het lichtniveau overdag te verlagen en gedurende nachtperiode (tijdens goedkoper tarief) aanvullend te belichten. Hierbij zal de elektriciteitswinst wel zodanig moeten zijn dat dit compenseert voor de langere teeltduur. Daarnaast blijft er het gevaar van doorwas en moet worden opgepast voor het ontstaan van ongelijkheid, wat een probleem is bij het eenmalig oogsten. Daglengteverlenging zou dus in principe bij zowel daglengte neutrale als daglengte gevoelige gewassen mogelijk kunnen zijn. Zoals hierboven beschreven is het bij korte dag planten wel wat lastiger. Om daglengteverlenging toe te passen zonder de bloei te sterk negatief te beïnvloeden is een goede kennis van de respons van het gewas hierop noodzakelijk. Deze respons verschilt sterk tussen gewassen, maar kan ook sterk verschillen tussen cultivars.

3.4 Hoofdstuk 3 samengevat

De respons op daglengteverlenging met groei zal niet gewasspecifiek zijn, wel zal het effect bij het ene gewas groter zijn dan bij het andere gewas. Het is echter moeilijk om voor een specifiek gewas aan te geven of het gunstig zal reageren op daglengteverlenging. Om het effect van toepassing fotoperiodisch stuurlicht bij een bepaald gewas vast te kunnen stellen, zijn dus proeven nodig.

Daar komt bij dat de beslissing welke gewassen het meest geschikt zijn sterk afhankelijk is van de manier waarop geteeld wordt. Daglengteverlenging zal het meeste effect op de groei hebben wanneer dit wordt toegepast bij jonge planten in de wintermaanden (november-februari), wanneer de lichtintensiteit laag is en de daglengte kort. Gewassen die in de winterperiode worden geteeld zullen dus het meest geschikt zijn. Hierbij is het ook van belang of gebruik gemaakt wordt van assimilatiebelichting. Dit zal in het volgende hoofdstuk worden besproken. Daarnaast moet rekening worden gehouden met het effect van daglengte op bloei van korte dag planten. Bij korte dag planten worden wel mogelijkheden gezien om daglengteverlenging voor of na de korte dag periode toe te passen. Mogelijk zal zelfs daglengteverlenging tijdens een deel van de korte dag periode voordelen kunnen bieden. Hiervoor is echter wel een goede kennis van het gewas vereist, omdat anders het risico dat er problemen met de bloei ontstaan te groot is.

4 Toepassing bij belichte en onbelichte teelten

Of het toepassen van daglengteverlenging interessant kan zijn, zal afhangen van de teeltwijze. In dit hoofdstuk zal worden ingegaan op eventuele toepassingsmogelijkheden voor: 1) telers die geen groeilampen gebruiken, 2) telers die geen groeilampen gebruiken, maar wel aanschaf overwegen, 3) telers die groeilampen gebruiken.

1) Voor telers die geen groeilampen gebruiken zal toepassing van lange dag behandeling met als doel de groei te stimuleren het meest effectief zijn. Onder deze omstandigheden is de lichtsom in de winter laag en de daglengte kort, waardoor de groeisnelheid laag is. Hierdoor zal het effect van lange dag behandeling groter zijn.

2) Gebruik van assimilatielicht kost veel energie. Bij huidige economische situatie moet de vraag gesteld worden of belichting met hoge lichtsommen van groeilampen nog wel economisch verantwoord is. Bijvoorbeeld, op basis van een oppervlakkige modelberekening blijkt dat onder de huidige omstandigheden bij Chrysant de meeropbrengst door de hogere productie bij assimilatiebelichting ongeveer gelijk is aan de hogere investerings- en energiekosten (M. Raaphorst, pers. mededeling). In deze modelberekening is overigens geen rekening gehouden met een eventueel lager prijsniveau wanneer de kwaliteit van de takken in de winter hierdoor minder goed is. Ook bij andere gewassen is de kans groot dat de meeropbrengst door groeilampen momenteel niet of nauwelijks opweegt tegen de hoge kosten. Wat dit betreft is het dus zinvol om te zoeken naar alternatieven, waarbij fotoperiodisch licht een mogelijk alternatief is.

Of het voor telers die overwegen om groeilampen te gaan aanschaffen interessant is om in plaats hiervan te kiezen voor belichtingsinstallatie met lage intensiteiten hangt af van het effect van fotoperiodisch licht ten opzichte van belichting met hoge intensiteiten, de energieprijzen, investeringskosten en de productprijs. Hoe groot het effect van fotoperiodisch licht onder praktijkomstandigheden is is moeilijk te zeggen. Belichting met hogere intensiteiten zal hogere producties geven, maar wat economisch gunstiger is moeilijk aan te geven.

3) Voor telers die al groeilampen hebben gelden veelal dezelfde zaken als voor telers die overwegen om dit te gaan aanschaffen, zij het dat deze telers de investering al gedaan hebben. Wellicht is ook energiebesparing mogelijk door het lichtniveau op sommige dagdelen te verlagen. Dit kan zinvol zijn wanneer het voordeel van energiebesparing groter is dan de lagere inkomsten door een lagere productie. De belichtingsinstallatie moet hiervoor dan wel geschikt zijn. Wanneer hierdoor 's nachts een zeer lage intensiteit kan worden aangehouden zal een bijkomend voordeel kunnen zijn dat geen lichthinderscherm hoeft te worden aangeschaft om aan de eisen voor maximale lichtuitstoot te kunnen voldoen. Dit bespaart niet alleen aanschafkosten, maar kan ook klimaatproblemen (te veel warmte en vocht in de kas) voorkomen die ontstaan bij gebruik van een lichthinderscherm.

4.1 Hoofdstuk 4 samengevat

Daglengteverlenging lijkt een mogelijkheid voor niet-belichtende telers om de productie in de wintermaanden met relatief weinig energie te verhogen. Met fotoperiodisch licht zullen lang niet dezelfde producties gehaald kunnen worden als met hoge intensiteiten groeilicht. Dus als belichtende telers niet een lagere productie accepteren biedt fotoperiodisch stuurlicht geen alternatief voor hen. Bij de huidige economische situatie van lage productprijzen en hoge energieprijzen is het echter de vraag of hoge lichtsommen van groeilampen wel economisch rendabel zijn. Heroverweging door deze telers om alle lampen te laten branden kan daarmee actueel worden. Vooral voor telers die overwegen om groeilampen aan te schaffen, moet de overweging meegegeven worden om op investerings- en energiekosten te besparen door te investeren in lage intensiteit belichting in plaats van hoge intensiteit belichting. Om aan te kunnen geven of toepassing van daglengteverlenging onder bovenstaande omstandigheden zinvol is, moet het eerst duidelijk zijn wat de invloed is van daglengteverlenging op de groei onder praktijkomstandigheden.

5 Hoe te belichten

5.1 Optimaal lichtspectrum

In hoofdstuk 2 is beschreven dat de groeistimulans door lange dag belichting met lage intensiteit het gevolg zijn van stimulering van de groei van het bladoppervlak en een efficiëntere fotosynthese door een hoger chlorofylgehalte. Daarnaast zou ook een direct effect op de fotosynthese een kleine bijdrage kunnen leveren. Omdat het lichtspectrum van invloed is op zowel de morfologie als de fotosynthese, zou het dus kunnen uitmaken met welk lamptype wordt belicht. Het licht van gloeilampen heeft een lage rood:verrood verhouding en bevat dus relatief veel verrood licht, terwijl TL-licht nauwelijks verrood licht bevat. Aangezien een groot aandeel verrood licht in het lichtspectrum de groei van het bladoppervlak bij de meeste planten stimuleert, zou het effect van daglengteverlenging dus groter kunnen zijn bij gebruik van gloeilampen ten opzichte van TL-lampen. Maar aangenomen kan worden dat als er een effect is op de groei, dit in de meeste gevallen met alle lamptypen kan worden gerealiseerd. Een verbod op het gebruik van gloeilampen zal dus geen problemen geven.

Door bijvoorbeeld gebruik te maken van LED belichting is het mogelijk om met een specifieke golflengte te belichten, wat meer sturing mogelijk maakt. In het meest ideale geval zou door verlenging van de daglengte met lage intensiteiten van een specifieke golflengte zowel de groeisnelheid toenemen als de vorm en eventueel bloei gunstig worden beïnvloed. Over het algemeen zien onderzoekers wel mogelijkheden in het gebruik van licht met specifieke golflengten. Hierbij zal vooral beïnvloeding van de rood:verrood verhouding een rol kunnen spelen. Het effect van daglengteverlenging zou kunnen worden versterkt door verrood licht te gebruiken, waardoor de groei van het bladoppervlak extra wordt gestimuleerd. Met name de rood:verrood verhouding die de planten aan het einde van de dag ontvangen is hierbij van belang. Hierbij moet wel een opmerking gemaakt dat een lage rood:verrood verhouding gepaard kan gaan met extra stengelstrekking, wat niet bij alle gewastypen gewenst is. Bij snijbloemen zal het geen probleem of juist een voordeel zijn, mits de stengelstevigheid hierdoor niet afneemt. Bij potplanten wordt overmatige strekking erg onwenselijk ervaren, er wordt juist gestreefd naar een zo compact mogelijke groei. Om te voorkomen dat de planten teveel strekken wordt voor fotoperiodische belichting om de bloei te sturen om deze reden bij bepaalde gewassen gebruik gemaakt van TL-buizen in plaats van gloeilampen (bijvoorbeeld *Cineraria*, *Calceolaria* en *Fuchsia*).

Door het gebruik van rood licht zou ongewenste strekkingsgroei kunnen worden voorkomen, maar mogelijk wordt ook het effect van daglengteverlenging op de groei hierdoor kleiner. Bovendien kan een te hoge rood:verrood verhouding bij lange dag planten tot een minder rijke bloei of tot bloeiuitstel leiden. Een hoge rood:verrood verhouding kan daarnaast het ontstaan van zijtakken stimuleren. Dit kan positief zijn bij potplanten, maar negatief bij veel vruchtgroenten. Belichten met blauw licht zou voordeel kunnen bieden omdat onder invloed van blauw licht het chlorofylgehalte toeneemt en het openen van de huidmondjes en de fotosynthese worden gestimuleerd. Blauw licht heeft echter een lage golflengte en is hierdoor energetisch gezien minder efficiënt. Net als bij rood licht zou met blauw licht ongewenste strekkingsgroei kunnen worden tegengegaan, maar kan dit het effect van lange dag behandeling verminderen. Belichten met blauw licht leidt niet per definitie tot minder strekking. Bij een recente praktijkproef met paprikaplanten (uitgevoerd bij vof Dingemans in Vierpolders, met hulp van WUR Glastuinbouw en Plant Dynamics), leidde belichten met blauwe LEDs juist tot extra stengelstrekking. De verklaring hiervoor is gelegen in de droge stof verdeling (of plantbalans). In deze behandeling werden in eerste instantie minder vruchten gezet dan bij een behandeling waarbij niet belicht werd. Dit resulteerde in een lagere plantbelasting. Hierdoor waren meer assimilaten beschikbaar voor vegetatieve groei (stengels en bladeren). Belichten met blauw licht had in eerste instantie geen positief effect op de productie vanwege de slechte zetting. Opmerkelijk was dat er ongeveer zes weken nadat gestopt was met belichten een positief na-ijl effect van belichten met blauw licht zichtbaar werd. De cumulatieve productie was duidelijk hoger dan die van onbelichte planten als gevolg van een hogere LAI. Het lijkt dus mogelijk te zijn om beter te kunnen sturen op morfologie, en wellicht hierdoor ook op groei, door gebruik te maken van specifieke golflengten. Vooral aanpassing van de rood:verrood verhouding lijkt hierbij interessant te zijn. Het effect van belichten met een specifieke golflengte is soms moeilijk vooraf te voorspellen. Dit is ten eerste afhankelijk van het gewas waarbij het wordt toegepast. Zo reageren schaduwminnende planten vaak sterker op een lage rood:verrood verhouding met bladontwikkeling dan schaduwrijdende planten. Daarnaast spelen teeltomstandigheden een rol, zo kan temperatuur de respons op lichtkwaliteit beïnvloeden.

5.2 Optimale daglengte

Voor toepassing van daglengteverlenging is het praktisch gezien van belang wat hierbij de meest optimale daglengte is. Het gaat hierbij enerzijds om de vraag of er een optimale daglengte is, waarboven het positieve effect op de groei niet of nauwelijks meer toeneemt. Anderzijds is het van belang te weten bij welke daglengte eventueel nadelige effecten kunnen optreden.

Uit de proeven met perkgoed bleek verlenging van 8 naar 16 uur meer voordeel op te leveren dan verlenging van 16 uur naar 24 uur (Langton *et al.*, 2003). Verlenging van 16 uur naar 24 uur gaf alleen bij viool een significante toename van het drooggewicht. In het vervollexperiment gaf daglengteverlenging van 8 tot 12 uur bij *Impatiens* en *Petunia* een vergelijkbare groeistimulans als daglengteverlenging van 8 tot 16 uur (Adams *et al.*, 2008). Ook uit een onderzoek naar het effect van daglengte op de groei van *Begonia* en *Kalanchoe* bleek dat de groei meer toenam als de dag werd verlengd van 16 uur tot 20 uur dan van 20 uur tot 24 uur (Gislerød *et al.*, 1989). Dit effect was sterker bij een lage lichtintensiteit van $14 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ dan bij een hoge intensiteit van $70 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Bij gelijke lichtsom bleek dat een lichtperiode van 20 uur de groei van *Begonia*, *Kalanchoe*, *Pelargonium* en *Hedera* sterker stimuleerde dan lichtperiodes van 16 of 24 uur. Uit dit onderzoek werd geconcludeerd dat een daglengte van 18-20 uur het meest optimaal is, waardoor de planten een donkerperiode van 4-6 uur ondervinden. De auteurs geven wel aan dat dit effect afhankelijk is van de soort en de cultivar, de lichtintensiteit en waarschijnlijk ook de temperatuur en het CO_2 niveau. De optimale daglengte die in de hierboven beschreven rapporten wordt beschreven varieert dus tussen 12 en 20 uur. Voor toepassing van fotoperiodische belichting zal het dus nodig zijn om per gewas of zelfs per cultivar uit te zoeken wat de optimale daglengte is onder bepaalde omstandigheden.

Er zijn gevallen bekend van schade door te lang belichten. Bij roos werd het blad geel en krom wanneer langer dan 20 uur werd belicht. De onderzoekers concludeerden dat blijkbaar een donkerperiode nodig is om zetmeel af te voeren (Bakker *et al.*, 1995). Over het effect van belichtingsduur bij tomaat lopen de resultaten uiteen. Duidelijk is wel dat tomaat een absolute donkerperiode nodig heeft. In de praktijk is gebleken dat bij intensieve belichting gedurende 18 uur verschijnselen kunnen ontstaan die 'zwarte koppen' worden genoemd (Dueck *et al.*, 2007). Hierbij kleuren de nerven in de kop van het gewas paars, is er onvoldoende bladstrekking in de kop en staat het 'hard en stug' in de kop. In een Canadees onderzoek ontstond bladvergeling bij daglengtes van 20 uur of langer (Demers *et al.*, 1998). Bovendien had verlengen van de fotoperiode langer dan 14 uur met hogedruk natriumlampen ($110 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PPF) geen positief effect op de productie. Het ontstaan van schade is overigens wel afhankelijk van het type lamp, waarschijnlijk heeft dit te maken met een verschil in lightspectrum tussen de lampen (Demers & Gosselin., 2002). De groei van jonge tomatenplanten in februari/maart werd wel gestimuleerd door 24 uur te belichten met assimilatiebelichting ten opzichte van 14 uur (Demers *et al.*, 1998). Dit leidde in eerste instantie ook tot een hogere productie. Aan het einde van de proef in mei bleek echter dat de groei en productie lager of in het beste geval gelijk was bij de behandeling met een continue daglengte van 14 uur. De onderzoekers stellen dat continu belichten gunstige effecten zou kunnen hebben, wanneer de periode waarin dit wordt toegepast kort is en er weinig natuurlijk daglicht is. Dit moet wel verder onderzocht worden, om eventuele schadelijke neveneffecten uit te sluiten. Bij roos blijkt de huidmondjesrespons na de oogst door lange daglengte voor de oogst verstoord te worden. Bij langere daglengte staan de huidmondjes langer open. Omdat de huidmondjes hierdoor ook na de oogst onvoldoende sluiten is de verdamping hoger, wat tot uitdroging kan leiden. Verlenging van de daglengte bij de roos 'Madelon' van 16 tot 20 uur stimuleerde de verdamping tijdens het vaasleven, waardoor de houdbaarheid afnam (Bakker *et al.*, 1995). Bij de bladeren van langer belichte stelen ontstond ook meer schade als gevolg van suiker in het vaaswater. Het optreden hiervan is afhankelijk van de cultivar. Bij sommige rozencultivars geeft 24 uur belichten geen problemen. Verstoring van de huidmondjesrespons zou ook op kunnen treden bij andere snijbloemen en potplanten cultivars. Daglengteverlenging zou hierdoor in bepaalde gevallen problemen met een te hoge verdamping (en hierdoor uitdroging) in de na-oogst fase kunnen veroorzaken. Deze hierboven beschreven testen bij roos en tomaat zijn uitgevoerd onder omstandigheden met assimilatiebelichting. Het is de vraag of langdurig belichten met lage intensiteit andere effecten heeft. Het probleem hierbij lijkt echter niet in de lichtsom te liggen, in de zomer is de lichtsom immers veel hoger maar ontstaat geen schade. Waarschijnlijk is dus een minimale donkerperiode nodig. In dat geval zou ook bij belichting met lage intensiteiten schade kunnen ontstaan als de daglengte te lang is.

In een proef met als doel het effect van licht afkomstig van nabijgelegen kassen te inventariseren is schade door daglengteverlenging tot 18 uur met lage lichtniveaus SON-T belichting gevonden (Bakker & Blacqui re, 1992). Controleplanten kregen een natuurlijk daglicht periode van 10 uur. Voorafgaand aan of aansluitend aan de periode van natuurlijk daglicht werden de belichte planten blootgesteld aan 0.05 of 0.2 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ SON-T licht. Hierbij werd een donkerperiode aangehouden van 6 uur. Bij komkommer resulteerde dit tijdens de eerste zes tot 10 weken van de teelt in vertraging van de bloem- en vruchtontwikkeling. Bovendien werd de lengtegroei geremd. De effecten waren het sterkst wanneer de belichting werd gegeven in de tweede helft van de nacht. Schade als gevolg van een te lange lichtperiode lijkt dus pas te ontstaan bij daglengtes langer dan 16 uur. Aangezien er weinig extra effect op de groei is te verwachten als nog langere daglengtes worden aangehouden, zal bij toepassing van fotoperiodisch licht kunnen worden uitgegaan van verlenging van korte dagen tot 12 of 16 uur.

5.3 Moment van toepassing op de dag

Het zou kunnen dat het uitmaakt of daglengteverlenging voor of na een periode van natuurlijk daglicht wordt toegepast, maar hier is weinig over bekend. Aan het begin van de dag komt de fotosynthese langzaam op gang. Uit onderzoek aan tomaat blijkt dat het na aanschakeling van assimilatielampen in de nacht ongeveer een half uur duurt voordat een stabiel fotosyntheseniveau werd bereikt wat de rest van de dag gehandhaafd bleef (Dueck *et al.*, 2007). Mogelijk kan additioneel belichten voor zonsopkomst ervoor zorgen dat de fotosynthese direct optimaal is op het moment dat de zon opkomt. Zoals eerder al is gemeld is de rood:verrood verhouding aan het eind van de dag belangrijk. Zo leidt extra verrood licht aan het einde van de dag tot strekking. Bij de teelt van tomaat zonder natuurlijk licht in klimaatkamers (voor onderzoeksdoeleinden) wordt aan het einde van de dag nabelicht met gloeilampen (met verrood licht) om te voorkomen dat de planten te kort worden. Bij tomaat wordt om deze reden geadviseerd om voor zonsondergang te stoppen met belichten met assimilatielampen. Als aan het einde van de dag wordt belicht met lampen die veel of weinig verrood licht uitstralen, kan dit dus invloed hebben op de morfologie en de groei.

Bij de testen met Geranium, Impatiens, Viool en Petunia maakte het echter nauwelijks uit of de dag werd verlengd door voor de dagperiode additioneel te belichten met gloeilampen of erna (Langton *et al.*, 2003). Ook deels voor en deels na de dagperiode belichten gaf hetzelfde effect.

5.4 Hoofdstuk 5 samengevat

Het effect van daglengteverlenging op de morfologie en de groei kan worden beïnvloed door:

- het lightspectrum waarmee wordt belicht
- de duur van de fotoperiode
- het moment van de dag waarop daglengteverlenging wordt toegepast

Wat hierbij de meest optimale behandeling is zal sterk verschillen tussen gewassen en zelfs tussen cultivars van hetzelfde gewas. Wat betreft de duur van de fotoperiode zal het vooral interessant zijn om korte dagen te verlengen tot 12 of 16 uur. Verdere verlenging van de daglengte zal de groei niet of nauwelijks extra stimuleren. Wel kunnen er dan juist weer negatieve effecten op gaan treden.

6 Effect bij verschillende gewasgroepen

In dit hoofdstuk wordt voor verschillende gewasgroepen besproken of er mogelijkheden kunnen zijn voor toepassing van fotoperiodisch stuurlicht. Of het zinvol is om fotoperiodische belichting toe te passen hangt af van de fysiologische eigenschappen van het gewas en de manier waarop geteeld wordt. In hoofdstuk 3 tot en met 5 is aangegeven welke factoren hierbij over het algemeen van belang zijn. Voor de duidelijkheid zijn de belangrijkste factoren die in deze hoofdstukken genoemd zijn hieronder nogmaals weergegeven.

Het effect van fotoperiodisch stuurlicht lijkt deels voort te komen uit stimulering van de groei van het bladoppervlak en een toename van het chlorofylgehalte. De hoeveelheid bladoppervlak is vooral belangrijk bij een jong gewas; hoe groter het bladoppervlak, hoe meer licht kan worden opgevangen en hoe sterker de groei zal zijn. Daglengteverlenging zal om deze reden vooral effect hebben in het beginstadium van de groei. Het effect van daglengteverlenging zal ook afhankelijk zijn van de mate waarin een gewas hierop reageert met een groter bladoppervlak en een hoger chlorofylgehalte. Bovendien zullen gewassen die een lange periode hebben waarin de hoeveelheid bladoppervlak beperkend is voor de groei meer voordeel zullen hebben van daglengteverlenging. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat daglengteverlenging de groei ook kan stimuleren zonder dat er een effect is op de hoeveelheid bladoppervlak of de groenheid van het blad (Adams *et al.*, 2008). Of daglengteverlenging zinvol is bij een bepaald gewas hangt daarnaast af van het effect van daglengte op bloei. Bovendien is het van belang in welke periode daglengteverlenging wordt toegepast. Het effect van daglengteverlenging zal over het algemeen het grootst zijn in de winterperiode, bij lage lichtintensiteit en korte dagen. De exacte periode waarin daglengteverlenging effect heeft verschilt van gewas tot gewas. Zo is bij tomaat alleen een duidelijk effect op de groei gevonden bij lichtsommen lager dan $3.8 \text{ mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ PAR, terwijl bij Petunia en Impatiens nog een effect werd gevonden bij $15.8 \text{ mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ PAR (Adams *et al.*, 2008). In dit kader is het natuurlijk ook van belang of gebruik gemaakt wordt van assimilatiebelichting (zie hoofdstuk 4). Ook de maximale daglengte waarbij verlenging nog effect heeft op de groei zal van gewas tot gewas en zelfs van cultivar tot cultivar verschillen.

6.1 Groenten en fruit onder glas

6.1.1 Vruchtgroenten

Wanneer belichting met lage intensiteit een groeistimulus veroorzaakt, kan dit al snel interessant zijn. Er hoeft weinig geïnvesteerd te worden en de elektriciteitskosten voor belichting met lage intensiteit zijn ook laag. Door een kleine productiestijging zal dit al snel worden terugverdiend. Wanneer de groeistimulus als gevolg van daglengteverlenging het mogelijk maakt om een aantal dagen later te planten, zou hierdoor energiebesparing mogelijk zijn. Vruchtgroenten vormen veel blad waardoor het toepassen van fotoperiodische belichting waarschijnlijk vooral van nut zal zijn aan het begin van de teelt, in de periode dat de LAI laag is (<3). Wanneer de hoeveelheid bladoppervlak in deze periode sneller toeneemt door verlenging van de daglengte, zou dit de groei dus positief kunnen stimuleren. Naarmate de bladeren meer gaan overlappen zal het effect van meer blad op de fotosynthese minder belangrijk zijn. De duur van de periode waarin de LAI relatief laag is, verschilt sterk per gewas. Bij tomaat zal deze periode in de praktijk (afhankelijk van het type en de teeltomstandigheden) ongeveer twee maanden zijn. Bij paprika duurt deze periode wat langer, maar naarmate de natuurlijke daglengte toeneemt, zal ook het effect van kunstmatige daglengteverlenging afnemen. Bij komkommer is de LAI waarbij de groei niet meer wordt beperkt door de lichtonderschepping van het blad al snel bereikt.

In het onderzoek naar de effecten van lange dag belichting met lage intensiteiten is het effect op tomaat regelmatig onderzocht. Hierboven is al beschreven dat uit deze testen bleek dat de op groei van drooggewicht enorm gestimuleerd kan worden door gebruik te maken van deze techniek. Om een indruk te krijgen van het effect van daglengteverlenging onder praktijkomstandigheden is een vervolgonderzoek opgezet in kassen in Wellesbourne, wat op vergelijkbare noorderbreedte ligt als Nederland. Hierbij is het effect getest van verlenging van de daglengte tijdens een teeltseizoen bij tomaat (december tot oktober het volgende jaar) door voor zonsopgang en na zonsondergang te belichten met gloeilampen ($2,8\text{-}7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) zodat een daglengte van 16 uur werd bereikt

(S. Adams, pers. mededeling). Bij deze behandeling was het chlorofylgehalte in het blad hoger dan bij planten die onder alleen natuurlijk licht groeiden, maar alleen in de periode waarin de natuurlijke daglengte kort was. De opbrengst was echter niet hoger. Zij stellen dat mogelijk wel effect kan worden bereikt door de teeltmethode aan te passen (hogere temperatuur of hogere stengeldichtheid) aan het hogere belichtingsniveau. Aangezien in eerdere onderzoeken alleen een effect is gevonden onder omstandigheden waarbij een totale lichtsom is aangehouden die lager is dan de gemiddelde lichtsom in de wintermaanden (zie hoofdstuk 3.1), is het niet uit te sluiten dat er hierdoor geen mogelijkheden zijn voor fotoperiodische belichting bij tomaat. Daarnaast kan het meespelen dat in het eerder uitgevoerde onderzoek sneller na het zaaien is gestart met de behandelingen.

De meeste van de voor deze desk-studie geïnterviewde onderzoekers zijn sceptisch over het positieve effect van deze techniek op de groei van vruchtgroenten. Het aanpassen van de teeltmethode zou het effect van lange dag belichting met lage intensiteit kunnen verbeteren, maar ook dit kan problemen opleveren. Verhoging van de stengeldichtheid zal gepaard gaan met een afname van het vruchtgewicht. Het is de vraag of je hiervoor kunt compenseren met een langere daglengte. Bovendien geldt dat deze hogere stengeldichtheid de hele teelt door blijft, het is de vraag of dit gewenst is. Verhoging van de temperatuur zou kunnen werken door een verhoogd transport van assimilaten. Maar temperatuurverhoging alleen, dus niet in combinatie met daglengteverlenging, zal ook al een positief effect hebben op de productie. Het is de vraag in hoeverre daglengteverlenging met lage intensiteit dan nog bijdraagt aan de productie. Door een teler werd de opmerking gemaakt dat het in de eerste plaats natuurlijk afhankelijk is van de groeiwinst of het zinvol is om lampen op te hangen. Hij gaf hierbij aan dat aanleg van bekabeling voor een groot oppervlak een behoorlijke investering is en dat het een nadeel is dat dit maar een klein deel van het jaar gebruikt kan worden. Hij geeft er de voorkeur aan te investeren in een product wat gedurende een langere periode gebruikt kan worden. Bovendien hangt er hierdoor het hele jaar extra materiaal bovenin de kas, waardoor minder licht op het gewas valt.

Met name bij de teelt van tomaten wordt er steeds meer belichting toegepast. Hierbij kan het de moeite waard zijn om verder te onderzoeken of het licht beter over het etmaal verdeeld kan worden waardoor energie bespaard kan worden (zie hoofdstuk 4).

6.1.2 Bladgroenten

Mogelijk kan voordeel worden behaald met lange dag belichting met lage intensiteiten bij bladgroenten. Behandeling zal in de tijd voordat de bodem bedekt is met blad het meest effectief zijn. Bladgroenten als sla en andijvie zijn van nature lange-dag planten. Door veredeling zijn zomer en winterrassen ontwikkeld. Winterrassen zijn geschikt voor groei onder lichtarme omstandigheden. Zomerrassen komen minder snel in bloei en zijn aangepast aan meer extreme omstandigheden. Wanneer toepassing van daglengteverlenging met lage intensiteit effect zou hebben op de groeisnelheid van sla, zou dit vooral effectief zijn bij winterrassen. Toepassing van deze techniek zou echter ook nadelen kunnen hebben. Winterrassen zijn niet ontwikkeld voor teelt bij lange daglengten en zouden hierdoor gevoelig kunnen zijn voor schieten (er wordt een bloeiwijze gevormd voor er een bruikbare krop is). Verlenging van de daglengte zou hierdoor schieten bij winterrassen tot gevolg kunnen hebben. Ook zou het kunnen dat hierdoor lange bladeren ontstaan, die dun en slap zijn (graterigheid). In dit (beperkte) onderzoek is geen informatie gevonden over belichting van bladgroenten met lage intensiteiten. Verder onderzoek is nodig om aan te kunnen geven of dit voordeel biedt en of er sprake is van negatieve bijeffecten.

6.1.3 Aardbei

In Nederland wordt voornamelijk het aardbeienras Elsanta geteeld. De planten kunnen in augustus worden geplant, waarna van oktober tot december kan worden geoogst. De groei start vanuit de ondergronds opgeslagen reserves, vervolgens gaat het nieuw gevormde blad assimilaten produceren. Begin oktober start de bloemaanleg. Aardbei is een korte dagplant, toepassing van daglengteverlenging zal dus niet gunstig zijn in de periode na begin oktober. De natuurlijke daglengte is na het planten ongeveer 15 uur, eind september is de daglengte afgenomen tot ongeveer 12 uur. Gezien deze lange natuurlijke daglengte in deze periode, is het sterk de vraag of daglengteverlenging in de periode tussen het planten en de start van de bloemaanleg een effect heeft op de groei en kan resulteren in een

hogere productie in de winter. Daar komt bij dat de planten in de maanden november en december vaak te veel blad hebben, wat kan leiden tot slechte bloemkwaliteit. Daarom wordt vanaf eind oktober overtollig blad verwijderd. Stimuleren van de groei van het bladoppervlak aan het begin van de groei, kan dus extra werk opleveren in een later stadium.

Vanaf eind december tot half februari wordt een koudeperiode aangehouden. Daarna wordt de temperatuur verhoogd. Vanaf dat moment wordt ook belicht met gloeilampen om strekking van blad en bloemtrossen te stimuleren. Door de afschaffing van de gloeilamp zal hiervoor een alternatief moeten worden gezocht. Uit onderzoek is gebleken dat het effect van cyclisch belichten op de strekking van het blad en de productie minder sterk is wanneer spaarlampen worden gebruikt in plaats van gloeilampen (Lieten, 2002). Door bij gebruik van spaarlampen continu te belichten tussen zonsondergang en zonsopgang verbeterde het resultaat. Voor de aardbeienteelt is het van belang om te weten welke lamptypen een goed alternatief kunnen vormen voor de gloeilamp. Wellicht kan voordeel worden behaald door te belichten met een specifiek lichtspectrum. Aangezien strekking in deze periode van belang is, zal een groot aandeel verrood licht positief kunnen werken. Daarnaast kan worden nagegaan wat voor een bepaald lamptype de optimale belichtingsduur en lichtintensiteit is. Uit het onderzoek van Lieten bleek dat bij zowel gloeilampen als spaarlampen de hoogste productie wordt bereikt naarmate langer werd belicht. Bij toepassing van daglengteverlenging bij aardbei moet echter wel rekening worden gehouden met eventuele negatieve effecten van daglengteverlenging. Te lang belichten in perioden met weinig natuurlijk daglicht heeft een negatief effect op de kwaliteit, hierdoor ontstaan langgerekte aardbeien. Ook de belichtingsstrategie kan een rol spelen. Er zijn telers die cyclisch belichten, maar ook telers die aansluitend aan of voor de daglichtperiode belichten. Mogelijk hebben deze strategieën een verschillend effect op de productie.

6.2 Potplanten

Ook bij potplanten zal het voordeel van daglengteverlenging, wanneer dit de groei stimuleert, vooral liggen in een verkorting van de teeltduur. Hierdoor is het product sneller marktklaar en kan de totale energie-input voor een teeltcyclus lager zijn. Bij bloeiende planten zal het moment dat een plant marktklaar is niet alleen afhankelijk zijn van de grootte van de plant, maar ook van de mate van bloei. Wanneer daglengteverlenging niet resulteert in snellere bloei (dit zal bij lange-dag planten wel het geval zijn) zullen aanvullende maatregelen genomen moeten worden om de bloei te stimuleren (bijvoorbeeld droog houden). Daarnaast kan gebruik van fotoperiodisch stuurlicht mogelijkheden bieden om de teelt beter te sturen naar aflevering op een bepaalde datum, waarbij de kwaliteit (planthoogte, plantdiameter, uniforme bloei) voldoet aan de gestelde eisen. Een bijkomend voordeel van daglengteverlenging kan zijn dat het blad groener wordt, wat het kwaliteitsniveau verbetert. Bij lange-dag planten valt bovendien een rijkere bloei te verwachten.

Net als bij andere plantensoorten zal daglengteverlenging met lage intensiteit het meeste effect hebben in de beginfase van de groei. Daarnaast zijn de eigenschappen van de plantensoort een belangrijke rol, potplanten zijn hierin erg divers. In hoofdstuk 3 is aangegeven dat daglengtegevoeligheid hierbij van belang is. Bij lange dag planten zal daglengteverlenging geen probleem opleveren, wanneer dit in de lange dag periode wordt gegeven. Bij sommige lange dag planten kan de bloei te sterk gestimuleerd worden wanneer te vroeg wordt begonnen met daglengteverlenging, waardoor de vegetatieve delen van de planten zich niet goed ontwikkelen. Bij korte dag planten zou toepassing vooral mogelijk zijn wanneer voorafgaand aan de korte dag periode een lange dag periode wordt gegeven. Daarnaast zou toepassing mogelijk kunnen zijn tijdens de korte dag periode of direct erna, al kleven hier wel enige risico's aan. Een andere mogelijk belangrijke eigenschap van potplanten in dit kader is de lichtbehoefte. Zo zijn er potplanten die oorspronkelijk onder hoge lichtintensiteit groeiden en potplanten die van nature afkomstig zijn uit in een schaduwrijke omgeving (in de onderlagen van de vegetatie). Verwacht kan worden dat daglengteverlenging met lage intensiteiten vooral effect heeft bij soorten uit de laatste categorie. Kaapse viool, een kamerplant met een lage lichtbehoefte, is genoemd als een plant waarbij deze techniek wel zou kunnen werken. Uit het onderzoek van Warwick HRI blijkt echter dat daglengteverlenging ook bij gewassen met een hoge lichtbehoefte, zoals Petunia, effect kan hebben.

Bij veel perkplanten kan toepassing van daglengteverlenging vooral voordelen bieden wanneer hierdoor de teelt beter geprogrammeerd kan worden (sturen naar specifieke afleverdatum, specifieke lengte en diameter, uniforme bloei). Daarnaast biedt het voordelen om als eerste met een bepaald product op de markt te komen, maar door veredeling is al heel veel bereikt op dit gebied. Veel rassen bloeien hierdoor al heel vroeg in het voorjaar, waardoor

het niet meer van groot belang is de bloei nog verder te vervroegen. Bij sommige laatbloeiende gewassen zoals *Scaevola* en *Gazania* zal het vervroegen van de bloei wel gunstig zijn. Op bedrijven met perkplanten staan vaak verschillende soorten bij elkaar in een afdeling. Bij toepassing van daglengteverlenging moet dus wel rekening gehouden worden met het effect van daglengteverlenging op een andere soort in dezelfde afdeling.

Een punt is dat bij veel potplanten in de wintermaanden al belicht wordt om de teelt mogelijk te maken. Vrijwel alle potanthuriumtelers belichten. Perkgoed wordt over het algemeen niet belicht. Bij *Bromelia* wordt assimilatiebelichting in de praktijk nog niet veel toegepast, onlangs is een teeltonderzoek uitgevoerd om meer duidelijkheid te krijgen over de optimale combinatie van lichtintensiteit, daglengte en voeding (Warmenhoven & García, 2008). Voor verschillende soorten *Bromelia*'s is het effect van lichtintensiteit $17\text{-}155 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ bekeken, bij een daglengte van 12 en 16 uur. Het resultaat bleek sterk afhankelijk van het soort. Bij *Guzmania* zijn de beste resultaten bereikt bij een daglengte van 12 uur en een lichtintensiteit van 80 tot $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Bij *Vriesea* was de optimale daglengte ook 12 uur, bij een maximale toelaatbaar belichtingsniveau van $45 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. *Neoregelia* reageerde positief op de belichtingsduur van 16 uur, bij een intensiteit van $60\text{-}90 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. In dit onderzoek is gezocht naar een optimale combinatie. De resultaten zijn niet bestudeerd met het oog op het effect van daglengte en lage lichtintensiteit.

Als vervolg op de in hoofdstuk 1 beschreven proeven met perkplanten is een test opgezet waarbij jonge *Antirrhinum*, *Begonia*, *Geranium*, *Impatiens*, *Viool* en *Petunia* planten als aanvulling op natuurlijk daglicht werden belicht met spaarlampen (S.Adams, pers. mededeling). Deze test is uitgevoerd in kassen in Wellesbourne. Door aanvullende belichting met spaarlampen nam het drooggewicht toe met gemiddeld 7,5% en het versgewicht met 7 tot 13%. Er werd gestart in week 8, week 10 en week 12. De temperatuur was ingesteld op 18°C (ventilatie bij 20°C). Naarmate later werd gestart, was het effect op de groei kleiner. Dit zal waarschijnlijk het gevolg zijn van de toename van de daglengte (10-12 uur bij aanvang in week 8 en 12-14 uur bij aanvang in week 12) en de lichtsom (gemiddeld $6.58 \mu\text{mol m}^{-2} \text{dag}^{-1}$ bij aanvang in week 8 en $8.23 \mu\text{mol m}^{-2} \text{dag}^{-1}$ bij aanvang in week 12) tijdens het experiment. De productietijd (op basis van een target versgewicht) bleek op deze manier gemiddeld met één dag te kunnen worden verkort. Procentueel gezien is dit een verkorting van productieduur van 6%. Het effect op groei was in deze test veel kleiner dan in de voorgaande testen (Langton *et al.*, 2003; Adams *et al.*, 2008). Bij zowel *Petunia* als *Impatiens* was daglengteverlenging van 8 tot 12 even effectief als daglengteverlenging van 8 tot 16 uur (Adams *et al.*, 2008). Wanneer de natuurlijke daglengte langer is dan 12 uur zal er dus weinig effect meer te verwachten zijn. De natuurlijke daglengte in het vervolgonderzoek was al relatief lang, zeker in vergelijking met de daglengte van 8 uur die is aangehouden in het experiment met *Petunia* en *Impatiens*. Dit zou kunnen verklaren waarom het effect op de groei in deze proef niet zo groot was.

Door de geïnterviewde onderzoekers zijn een aantal mogelijke nadelige effecten van toepassing van daglengteverlenging bij potplanten genoemd. Ten eerste is de compactheid van een plant een heel belangrijk item. Wanneer daglengteverlenging met lage intensiteiten gepaard gaat met strekking van de internodia is dit zeer ongewenst. Of daglengteverlenging met lage intensiteiten leidt tot strekkingsgroei zal afhankelijk zijn van het gewas waarbij het wordt toegepast en de teeltomstandigheden. Mogelijk kan ongewenste strekking beperkt worden door gebruik te maken van lampen met weinig verrood licht, zoals spaarlampen en TL-lampen. Een optie om ongewenste compactheid tegen te gaan zou kunnen liggen in het aanpassen van de teeltomstandigheden. Door Carvalho *et al.* (2008) wordt een overzicht gegeven van factoren die van invloed zijn op de strekkingsgroei en waarmee overmatige lengtegroei gecompenseerd kan worden. Met name het telen van planten onder een hoge rood:verrood verhouding of bij een negatieve DIF (een hogere nacht- dan dagtemperatuur) biedt perspectief om ongewenste lengtegroei te beperken, zonder gebruik te maken van chemische middelen. Mogelijk kan worden gecompenseerd voor stengelstrekking door het tot stand brengen van een negatieve DIF.

Ook is genoemd dat het blad optisch gezien minder goed van kwaliteit kan lijken wanneer dit door lange dagbehandeling groter wordt. Zo nam de intensiteit van de kleur van de pigmentring van *geranium* af door belichting met gloeilampen in de nanacht (De Graaf & Blacquièrre, 1991).

6.3 Snijbloemen

Niet als bij potplanten zal het voordeel van toepassing van daglengteverlenging bij snijbloemen vooral liggen in het verkorten van de teeltduur. Dit kan alleen wanneer de bloei door daglengteverlenging of eventueel door andere teeltmaatregelen gestimuleerd wordt. Een bijkomend voordeel kan zijn dat de bladkwaliteit verbetert wanneer dit groener wordt door een hoger chlorofylgehalte.

Bij veel snijbloemen wordt gebruik gemaakt van daglengte om de bloei te beïnvloeden. Zo kan de trekduur van Liliu oriëntal hybriden worden verkort door daglengteverlenging met gloeilampen in het voorjaar. Het positieve effect op de trekduur is nog sterker wanneer wordt belicht met SON-T lampen (Brooymans *et al.*, 1992). Inmiddels is de daglengteverlenging met gloeilampen bij lelie vervangen door SON-T en wordt belicht van oktober tot en met maart. Het effect van daglengte op de bloei is voor veel gewassen bekend. Toch is bij Gerbera pas uit recent onderzoek gebleken dat meer bloemen worden geproduceerd bij een daglengte van 12 uur dan bij daglengtes van 18 of 24 uur (Autio, 2000).

Over de invloed van daglengteverlenging met lage intensiteit op de groei van snijbloemen is echter weinig bekend. Wanneer het effect van daglengteverlenging vooral berust op een snelle toename van de LAI, zal gebruik van fotoperiodisch stuurlicht vooral in de beginfase van de groei voordeel bieden. Hierdoor kan verwacht worden dat toepassing interessanter is voor gewassen met een korte teeltduur. Meerjarige snijbloemen zoals Roos, Gerbera, Alstroemeria en Anjer hebben tijdens het grootste deel van de teelt en groot bladpakket en zullen hierdoor waarschijnlijk maar tijdens een klein deel van de teelt optimaal kunnen profiteren van daglengteverlenging. Bij gewassen met een korte teeltduur, zoals Eustoma kan mogelijk meer voordeel worden behaald. Voor de teelt van Eustoma in de winter is assimilatiebelichting nodig. Hierbij wordt over het algemeen gedurende 20 uur belicht. Wellicht kan energie worden bespaard door korter met hoge intensiteit te belichten en dit aan te vullen met een aantal uur belichting met lagere intensiteit. Of dit rendabel kan zijn is afhankelijk van het effect hiervan op de groei en de energiebesparing die hiermee kan worden bereikt. Daarnaast kan het bij Eustoma interessant zijn om te belichten met een specifiek spectrum. Zoals in paragraaf 2.2 al is aangegeven, is uit onderzoek gebleken dat de teeltduur van Eustoma verkort kan worden door 15 minuten nabelichten met verrood licht (Bakker *et al.*, 1995).

Op basis van een positief effect van daglengteverlenging op bladstrekking zal toepassing hiervan dus vooral bij kortdurende teelten interessant zijn. Gewassen waarbij het chlorofylgehalte toeneemt door daglengteverlenging zouden wel tijdens een groter deel van de teelt voordeel kunnen hebben van daglengteverlenging.

Bij bol- en knolgewassen kan lange dag naast een eventueel effect op groeisnelheid van de bovengrondse delen en de bloei ook een effect hebben op de verdeling van assimilaten tussen de bovengrondse en de ondergrondse plantendelen. Zo zou het aanhouden van lange daglengte in het beginstadium van de groei van Freesia ertoe leiden dat relatief veel assimilaten naar de ondergrondse delen gaan in plaats van naar de bovengrondse delen. Hierdoor zou het aanhouden van een korte dag in vroege stadia de ontwikkeling van de bloeiwijze bevorderen. Deze verandering in de verdeling van assimilaten vindt overigens pas plaats in het traject van 16-20 uur (Spaargaren, 2000). Op basis hiervan lijkt toepassing van daglengteverlenging dus geen probleem te zijn, zolang niet al te lange dagen worden aangehouden. Bovendien is uit recent onderzoek gebleken dat verkorten van de daglengte bij aanvang van een Freesiateelt die startte in de zomerperiode weliswaar leidde tot een snellere ontwikkeling van de knop, maar dat deze verschillen bij de oogst niet meer waar te nemen waren (Heij *et al.*, 2008).

Een mogelijk nadelig effect van daglengteverlenging kan zijn dat takken minder stevig worden als de stengels te veel strekken. Als ook het blad dunner wordt, zal het sneller beschadigen en mogelijk gevoeliger zijn voor ziekten. Ook zou de kans op verwelking in de na-oogst fase groter kunnen worden, doordat de huidmondjesritmiek is aangepast aan langere daglengten. Al zal dit per gewas en zelfs per cultivar verschillen; bij veel kleinbloemige rozen kan zonder problemen 24 uur per dag worden belicht. Voor al deze mogelijke neveneffecten geldt dat het niet duidelijk is of ze zullen ontstaan. Dit zal sterk afhankelijk zijn van het gewas en de teeltomstandigheden.

6.4 Opkweek

Aangezien een versnelde toename van de hoeveelheid bladoppervlak vooral in de beginfase van de groei erg belangrijk is, zou toepassing van daglengteverlenging met lage intensiteiten in de opkweekfase interessant kunnen zijn.

Mogelijk is winst te behalen bij perkplanten in de zaaibakperiode. Stekproductie voor de teelt van potplanten en snijbloemen vindt vaak plaats in het buitenland. Het stek wordt vervolgens onbeworteld aangeleverd in Nederland. In Nederland wordt het stek beworteld. Dit gebeurt direct bij de kweker of eerst bij een vermeerderaar, waarna het bewortelde stek naar de kweker gaat. In deze periode zou versnelde toename van de LAI door verlenging van de daglengte voordelen kunnen bieden. Naast een verkorting van de duur van de opkweekfase, zou toepassing van daglengteverlenging kunnen resulteren in de vorming van meer zijstengels. In deze periode is compactheid van de planten vaak wel van belang, wanneer de planten te veel strekken zou dit ongewenst zijn. Het effect van lange dag

behandeling in de opkweekfase zal afhankelijk zijn van de duur van deze periode, zo is de opkweekfase van roos en chrysant kort (chrysant maximaal 10-12 dagen). Bovendien wordt in deze periode bij roos en Chrysant nog nauwelijks blad gevormd. Het effect van lange dag behandeling in de opkweekfase van roos en Chrysant zal daarom minimaal zijn. Door een aantal onderzoekers is bovendien gemeld dat het de vraag is of opkweekbedrijven dit toe willen passen. Als blijkt dat er tijdens de teelt problemen ontstaan als gevolg van de omstandigheden in de opkweekperiode, zal dit leiden tot hoge schadeclaims. De winst die de teler hierdoor misloopt is namelijk vele malen hoger dan de kosten van het uitgangsmateriaal. Het is niet duidelijk of er schade te verwachten valt, de meningen hierover lopen nogal uiteen. Wanneer het blad door lange dag behandeling niet alleen groter, maar ook dunner wordt zou het kwetsbaarder kunnen worden. Ook kan het gevaar voor teveel verdamping groter worden. Aan de andere kant is genoemd dat planten juist sterker zullen worden door een betere groei tijdens de opkweekfase.

6.5 Hoofdstuk 6 samengevat

In dit hoofdstuk is globaal aangegeven bij welke gewassen en gewasgroepen naar verwachting de meeste mogelijkheden liggen voor toepassing van fotoperiodisch stuurlicht. Het blijft een grove inschatting omdat nog nauwelijks onderzoek gedaan is naar het effect van daglengteverlenging op de groei onder praktijkomstandigheden.

Groenten en fruit onder glas

Bij vruchtgroenten lijken de mogelijkheden voor het gebruik van fotoperiodisch stuurlicht beperkt. Ten eerste hebben veel vruchtgroenten tijdens een groot deel van de teelt een groot bladoppervlak, waardoor toename van de hoeveelheid bladoppervlak weinig extra effect heeft op de fotosynthese van het hele gewas. Ten tweede is uit onderzoek aan tomaat gebleken dat er bij dit gewas geen effect was op de groei bij lichtsommen van $3.8 \text{ mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ PAR of hoger, terwijl de gemiddelde stralingssom in kassen in Nederland in de donkerste periode vergelijkbaar is aan dit niveau.

Bij bladgroenten kan mogelijk voordeel worden behaald van daglengteverlenging met lage lichtintensiteit. Voorwaarde is wel daglengteverlenging niet mag leiden tot schieten of graterigheid.

Bij aardbei wordt daglengteverlenging in het voorjaar al toegepast om strekking van blad en bloemtrossen te stimuleren. Vanwege de afschaffing van de gloeilamp is het voor de aardbeienteelt van belang dat meer duidelijkheid wordt verkregen over het effect van andere lamptypen en de optimale belichtingsstrategie hierbij.

Potplanten en snijbloemen

Bij potplanten en snijbloemen zou toepassing van fotoperiodisch stuurlicht kunnen leiden tot teeltduurverkorting en/of een betere programmeerbaarheid van de teelt. Hierbij moet natuurlijk wel rekening gehouden worden met het effect op de bloei. Er liggen vooral mogelijkheden bij daglengteneutrale gewassen en lange-dag gewassen, bij korte dag gewassen ligt het ingewikkelder. Voor veel potplanten en snijbloemen geldt, dat in de wintermaanden volop wordt belicht. Hierbij wordt over het algemeen al een lange daglengte aangehouden. Bij belichte teelten kan het zinvol zijn om de lichtintensiteit gedurende een deel van de dag te verlagen. Onderzoek moet uitwijzen in hoeverre dit een negatief effect heeft op de productie en of dit opweegt tegen de energiebesparing die hiermee kan worden bereikt. Uit het voorbeeld van de Gerberateelt, waarbij het daglengte effect op bloei lange tijd niet opgemerkt is, blijkt dat daglengte effecten niet altijd volledig bekend hoeven te zijn. Mogelijk zijn er meer gewassen waarbij de belichtingsstrategie verder geoptimaliseerd kan worden door meer rekening te houden met het effect van daglengte op bloei en groei.

Opkweek

Toepassing van daglengteverlenging tijdens de opkweekperiode kan interessant zijn, aangezien daglengteverlenging vooral effect zal hebben in de beginperiode van de groei.

7 Verwachte effecten in de praktijksituatie

De in hoofdstuk 2 beschreven onderzoeken waarin het effect van daglengte op groei is onderzocht zijn uitgevoerd onder omstandigheden die afwijken van de praktijksituatie. In de daaropvolgende hoofdstukken is vooral ingegaan op de vragen welke fysiologische en praktische aspecten van belang zijn bij toepassing van fotoperiodisch stuurlicht. Daarnaast is aangegeven bij welke gewassen en onder welke omstandigheden het toepassing zinvol kan zijn. Hierbij blijft het natuurlijk de vraag of de groei (in drooggewicht) die in het onderzoek is gevonden ook gerealiseerd kan worden onder praktijkomstandigheden. En als dit inderdaad het geval blijkt te zijn; leidt dit dan ook een hogere productie of een kortere teeltduur? Om een eventueel positief effect onder de huidige Nederlandse teeltomstandigheden aan te tonen, zijn proeven nodig.

Een aantal onderzoekers verwachten dat mogelijk wel een groeiwinst te behaald kan worden, anderen verwachten niet of nauwelijks effect. Geen van de voor deze desk-studie benaderde onderzoekers en telers verwacht een groot effect van daglengteverlenging op de groei onder praktijkomstandigheden. Bij de experimenten waarin indrukwekkende effecten op de groei zijn gevonden was de lichtintensiteit erg laag. Hierdoor wordt verwacht dat het effect onder praktijkomstandigheden wat kleiner zal zijn. Desondanks leidde daglengteverlenging in het vroege voorjaar bij verschillende potplanten tot een toename in het versgewicht van bijna 20% (S. Adams, persoonlijke mededeling). Door meerdere onderzoekers wordt opgemerkt dat toepassing van lange dag behandeling met lage intensiteit vanwege de lage investerings- en energiekosten bij een kleine groeiwinst al voordelen biedt.

Aan de onderzoekers is ook gevraagd waarom daglengteverlenging met lage intensiteit om de groei te stimuleren niet wordt toegepast in de praktijk. Als antwoord op deze vraag is genoemd dat er weinig of niets bekend is over toepassing van fotoperiodisch stuurlicht om de groei te stimuleren onder praktijkomstandigheden, zowel vanuit fysiologisch als commercieel oogpunt. In het onderzoek naar fotoperiodisch stuurlicht is vooral gekeken naar het effect op vegetatieve en generatieve groei. Ook is aangegeven dat het niet bekend is dat er mogelijkheden kunnen liggen in het toepassen van daglengteverlenging. Om de groei te versnellen en de productie te verhogen wordt vooral gekeken naar de lichtsom en niet of nauwelijks naar de daglengte.

8 Conclusie

- Uit onderzoek blijkt dat verlenging van de daglengte met lage intensiteit kan resulteren in een sterke groei-stimulans (tot 99%!). Daglengteverlenging stimuleert in veel gevallen de groei van het bladoppervlak. Daarnaast wordt het blad groener, wat wijst op een hoger chlorofylgehalte. Het is niet bekend hoe daglengte de groei kan stimuleren. De meest waarschijnlijke verklaring is dat meer licht kan worden onderschept vanwege het grotere bladoppervlak en dat de fotosynthese efficiëntie toeneemt.
- Toepassing van daglengteverlenging met lage lichtintensiteit zal vooral effect hebben bij jonge planten. Het effect zal het grootst zijn onder omstandigheden met weinig licht en korte daglengtes (november-februari, afhankelijk van het gewas kan mogelijk ook in de omliggende maanden een effect worden bereikt).
- Daglengteverlenging lijkt toegepast te kunnen worden bij zowel daglengte neutrale gewassen als daglengte gevoelige gewassen. Bij korte dag planten zou toepassing mogelijk kunnen zijn voor, na of zelfs tijdens de korte dag periode. Toepassing na of tijdens de korte dagperiode kan wel risicovol zijn, en vereist een goede kennis van het betreffende gewas en deskundigheid van de teler.
- Aangezien het effect het grootst zal zijn onder omstandigheden met weinig licht en korte daglengtes, zal toepassing van daglengteverlenging met lage intensiteiten vooral effectief zijn bij niet belichte teelten. Daglengteverlenging met lage intensiteiten wordt niet gezien als alternatief voor assimilatiebelichting, omdat de productie altijd lager zal zijn dan in het geval van assimilatiebelichting. Wel zou bij de huidige economische situatie een heroverweging van het rendement van assimilatiebelichting op zijn plaats zijn, waarbij het rendement vergeleken zou moeten worden met fotoperiodisch licht.
- Bij belichte teelten kan het zinvol zijn om te onderzoeken of het lonend is om de lichtintensiteit op bepaalde dagdelen te verlagen. De energiebesparing die hiermee wordt bereikt zou, vooral bij het huidige prijsniveau van tuinbouwgewassen, groter kunnen zijn dan het verlies door een lagere productie.
- Bij toepassing van fotoperiodisch stuurlicht kan worden uitgegaan van verlenging van korte dagen tot 12 of 16 uur. Langer belichten zal weinig extra effect hebben op de groei, bovendien kan hierdoor schade ontstaan.
- Het effect van daglengteverlenging op groei en morfologie kan worden gestuurd door het lichtspectrum waarmee wordt belicht en het moment van de dag waarop daglengteverlenging wordt toegepast. Het effect en de wenselijkheid hiervan zal sterk verschillen per gewas. Wanneer blijkt dat bij een bepaald gewas groeiwinst kan worden behaald met daglengteverlenging, kan worden uitgezocht wat de meest geschikte behandeling is.
- Over het algemeen wordt verwacht dat als er een effect is van daglengteverlenging met lage intensiteit, dit effect groter is bij bladgroenten, bepaalde potplanten (zoals perkgoed) en eenjarige snijbloemen dan bij vruchtgroenten en meerjarige snijbloemen. Het voordeel zal vooral liggen in een verkorting van de teeltduur. Bij de aardbeienteelt kan optimalisering van de belichtingsstrategie in het voorjaar een positief effect hebben op de productie. Ook kunnen er mogelijkheden zijn voor toepassing in de opweefphase. Het zal echter lastig zijn om voor een specifiek gewas aan te geven hoe groot de respons op daglengteverlenging zal zijn. Hiervoor zijn proeven nodig.
- Om aan te kunnen geven of daglengteverlenging onder de huidige Nederlandse praktijkomstandigheden de groei stimuleert, is verder onderzoek nodig. Een aantal onderzoekers verwacht dat er niet of nauwelijks een effect zal zijn, anderen geven aan dat wellicht een kleine groeiwinst te behalen valt. Hierbij wordt wel opgemerkt dat toepassing van lange dag behandeling met lage intensiteit vanwege de lage investerings- en energiekosten bij een kleine groeiwinst al voordelen kan bieden.

Slotconclusie

In de literatuur worden spectaculaire effecten van daglengteverlenging op groei van een aantal gewassen beschreven. Waarschijnlijk werkt dit vooral bij relatief jonge planten (lage LAI) en onder omstandigheden met korte dagen en weinig natuurlijke instraling. Op basis van het uitgevoerde onderzoek is moeilijk te voorspellen hoe groot het effect onder praktijkomstandigheden zal zijn. Als blijkt dat ook onder praktijkomstandigheden een groeistimulus kan worden gerealiseerd door daglengteverlenging, dan is dit een kans om met weinig energie en geringe investering de productie te verbeteren.

Bijlage I.

In deze bijlage zijn drie studies waarin het effect van daglengteverlenging met lage intensiteiten is beschreven samengevat.

Hurd, R.G. (1973). Long-day effects on growth and flower initiation of tomato plants in low light.

Opzet:

- De proef is uitgevoerd met jonge tomatenplanten
- De teelt vond plaats in klimaatkasten, met 'warm wit' licht van TL-buizen, bij een dag- en nachttemperatuur van 20°C en een relatieve luchtvochtigheid van 68%
- De planten zijn 9 dagen na het zaaien overgebracht naar een nutriëntenoplossing waarin ze gedurende het experiment zijn blijven staan
- De behandelingen zijn direct na het zaaien toegepast

Behandelingen (totale lichtsom van $\pm 2.7 \text{ mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$):

- $\pm 93 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ gedurende 8 uur
- $\pm 84 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ gedurende 8 uur en $\pm 9 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ gedurende de volgende 8 uur

Resultaat van lange dag behandeling na 6 weken ten opzichte van korte dag behandeling:

- 76% hoger drooggewicht
- 55% groter bladoppervlak
- Groener blad, 34% meer chlorofyl per eenheid bladoppervlak
- Ontleding van de kop van de planten wees uit dat de eerste tros 1 of 2 internodia hoger werd gevormd

Langton F.A., Adams S.R., Cockshull K.E. 2003. Effects of photoperiod on leaf greenness of four bedding plant species.

Opzet:

- De proef is uitgevoerd met Geranium, Impatiens, Viool en Petunia zaailingen
- De behandelingen zijn toegepast vanaf het moment dat de zaailingen opkwamen
- De behandelingen zijn uitgevoerd in klimaatkasten, met 'warm wit' licht van TL-lampen (96.1% van de output), aangevuld met gloeilampen (3.9% van de output). De dag- en nachttemperatuur was 18°C

Behandelingen:

Experiment 1:

a) totale lichtsom van $1.15 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ($\pm 5.4 \text{ mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)

- 40 W m^{-2} ($\pm 187 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) PAR gedurende 8 uur
- 20 W m^{-2} ($\pm 93 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) PAR gedurende 16 uur

b) totale lichtsom van $2.30 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ($\pm 10.8 \text{ mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)

- 80 W m^{-2} ($\pm 374 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) PAR gedurende 8 uur
- 40 W m^{-2} ($\pm 187 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) PAR gedurende 16 uur

Experiment 2:

- 52 W m² ($\pm 243 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) PAR gedurende 8 uur
- 40 W m² ($\pm 187 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) PAR gedurende 8 uur en 12 W m² ($\pm 56 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) PAR gedurende 8 uur*
- 40 W m² ($\pm 187 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) PAR gedurende 8 uur en 6 W m² ($\pm 28 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) PAR gedurende 16 uur

* Daglengteverlenging met 12 W m² gedurende 8 uur is op drie verschillende manieren toegepast: 1) voor de daglichtperiode met 40 W m²; 2) na de daglichtperiode; 3) 4 uur voor en 4 uur na de daglichtperiode

Experiment 3:

- 40 W m² PAR gedurende 8 uur
- 40 W m² PAR gedurende 8 uur en 2 W m² PAR gedurende 4 uur in het midden van de nacht
- 80 W m² PAR gedurende 8 uur
- 80 W m² PAR gedurende 8 uur en 2 W m² PAR gedurende 4 uur in het midden van de nacht

Resultaten:

Experiment 1:

Resultaat van lange dag behandeling (16 uur) na 4 weken ten opzichte van korte dag behandeling (8 uur):

- Bij Impatiens leidde de combinatie van korte dag en hoge lichtintensiteit van 80 W m² PAR tot extreme bladvergelting. Om deze reden is de vergelijking van korte dag en lange dag behandeling bij Impatiens bij de totale lichtsom van 2.30 MJ m² d⁻¹ in dit rapport buiten beschouwing gelaten
- Drooggewicht was gemiddeld 64% hoger
- Groter bladoppervlak bij Impatiens en Petunia
- Geen betrouwbaar effect op bladoppervlak bij Geranium
- Groter bladoppervlak bij Viool bij lage totale lichtsom, kleiner bladoppervlak bij Viool bij hoge totale lichtsom
- Groener blad bij alle soorten (gemeten met een Minolta SPAD-502 chlorofyl meter)

Experiment 2:

Resultaat van lange dag behandeling (16 uur) na 3 weken ten opzichte van korte dag behandeling (8 uur):

- Het moment waarop de daglengteverlenging was toegepast (voor, na of zowel voor als na de dagperiode met hogere intensiteit) had niet of nauwelijks effect op het resultaat
- Drooggewicht was gemiddeld 38% hoger
- Hoger drooggewicht bij Viool en Petunia
- Geen betrouwbaar effect op drooggewicht bij Geranium en Impatiens
- Groter bladoppervlak bij Geranium en Viool
- Geen betrouwbaar effect op bladoppervlak bij Impatiens en Petunia
- Groener blad bij alle soorten (gemeten met een Minolta SPAD-502 chlorofyl meter)

Resultaat van lange dag behandeling (24 uur) na 3 weken ten opzichte van lange dag behandeling (16 uur):

- Geen betrouwbaar verschil, behalve een hoger drooggewicht bij Viool

Experiment 3:

Resultaat van lange dag behandeling door nachtonderbreking (12 uur) na 3-4 weken ten opzichte van korte dag behandeling (8 uur):

- Drooggewicht was gemiddeld 33% hoger
- Groter bladoppervlak bij Petunia
- Geen betrouwbaar effect op bladoppervlak bij Geranium, Impatiens en Viool
- Groener blad bij Geranium, Impatiens en Viool
- Geen betrouwbaar effect op groenheid blad bij Petunia (gemeten met een Minolta SPAD-502 chlorofyl meter)
- Groter bladoppervlak bij viool bij lage totale lichtsom, kleiner bladoppervlak bij viool bij hoge totale lichtsom

Adams S.R., Valdés, V.M., Langton F.A. 2008. Why does low intensity, long-day lighting promote growth in Petunia, Impatiens and tomato?

In tegenstelling tot bij de hierboven beschreven studies hebben deze experimenten plaatsgevonden in kassen (in Wellesbourne) in plaats van klimaatkassen. Wellesbourne ligt op vergelijkbare Noorderbreedte als Nederland. De proeven zijn uitgevoerd in de zomer en het najaar, waarbij de periode waarin de planten natuurlijk daglicht ontvingen is beperkt tot 8 uur door gedurende de overige 16 uur gebruik te maken van lichtdichte compartimenten.

Experimenten met perkgoed

Opzet:

- De proef is uitgevoerd met Impatiens en Petunia zaailingen
- De behandelingen zijn toegepast vanaf het moment dat het eerste blad volledig was uitgegroeid
- De behandelingen zijn uitgevoerd in kassen, waar de planten gedurende 8 uur per dag daglicht ontvingen. Om de daglengte te beperken tot 8 uur zijn de trolleys met planten iedere dag in lichtdichte compartimenten geplaatst. In deze compartimenten is voor de lange dag behandeling belichting met een combinatie van TL-lampen en gloeilampen toegepast
- Om een temperatuureffect van de lampen te voorkomen zijn in de lichtdichte compartimenten ventilatoren aangebracht
- De temperatuur in de kassen was ingesteld op een minimum temperatuur van 18°C

Behandelingen:

Experiment 1 in juli/augustus

- Natuurlijk daglicht gedurende 8 uur
- Natuurlijk daglicht gedurende 8 uur en 4 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ gedurende 8 uur

De trolleys zijn wel en niet beschaduwd (de gemiddelde lichtsom was respectievelijk 15.8 en 5.1 $\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ PAR)

Experiment 2 in september-oktober

- Natuurlijk daglicht gedurende 8 uur
- Natuurlijk daglicht gedurende 8 uur en 4 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ gedurende 8 uur
- Natuurlijk daglicht gedurende 8 uur en 4 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ gedurende 4 uur
- Natuurlijk daglicht gedurende 8 uur en nachtonderbreking: 4 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ gedurende 2 uur

De trolleys zijn wel en niet beschaduwd (de gemiddelde lichtsom was respectievelijk 5.8 en 2.3 $\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ PAR)

Resultaten experiment 1 en 2 (metingen zijn respectievelijk 51 en 57 dagen na zaaien uitgevoerd):

Resultaat van lange dag behandeling (16 uur) ten opzichte van korte dag behandeling (8 uur):

- Drooggewicht was 13-99% hoger bij Petunia en 30-46% hoger bij Impatiens
- Bij Petunia was het effect op drooggewicht het grootst bij de laagste lichtsom, Bij Impatiens was dit niet het geval
- De SLA (Specific Leaf Area, bladoppervlak per eenheid drooggewicht) was hoger bij Petunia (grotere, dunnere bladeren), maar niet bij Impatiens
- Bij Petunia was het blad aan het eind van het eerste experiment groener, bij het tweede experiment waren de bladeren echter minder groen (gemeten met een Minolta SPAD-502 chlorofyl meter)
- Bij Impatiens was het blad bij het tweede experiment groener en bij het eerste experiment niet

Een 12 uur durende fotoperiode gaf een vergelijkbare groeistimulans als een 16 uur durende fotoperiode

Nachtonderbreking had nauwelijks een effect op het drooggewicht.

Experimenten met tomaat

Voor het eerste experimenten is gezaaid in augustus 2002 en juli 2003, voor het tweede experiment in september 2003. Er was alleen een effect op de groei in het tweede experiment en dan alleen wanneer de totale lichtsom werd

beperkt door te beschaduwen. De totale lichtsom hierbij was $2.2 \text{ mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, terwijl de lichtsom in de andere testen varieerde tussen 3.8 en $14.7 \text{ mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Omdat de respons op daglengte afhankelijk leek te zijn van de lichtsom is een derde experiment uitgevoerd, waarbij gezaaid werd in november. In onderstaande tekst zal daarom alleen de opzet van het derde experiment worden beschreven.

Opzet:

- De tomatenplanten zijn gezaaid op 12 november
- De behandelingen zijn toegepast in twee gelijke kascompartimenten, waarbij de planten gedurende 8 uur per dag daglicht ontvingen. Om de daglengte te beperken zijn de compartimenten verduisterd. Voor de lange dag behandeling is gebruik gemaakt van gloeilampen
- De gemiddelde lichtsom was $2.4 \text{ mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$

Behandelingen:

- Natuurlijk daglicht gedurende 8 uur
- Natuurlijk daglicht gedurende 8 uur en $3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ gedurende 8 uur

Resultaat van lange dag behandeling (16 uur) ten opzichte van korte dag behandeling (8 uur) 97 dagen na zaaien:

- Het drooggewicht was 44% hoger
- Er was geen effect op de SLA
- Het blad was groener (gemeten met een Minolta SPAD-502 chlorofyl meter)

Bijlage II.

Literatuur

- Adams, S.R. & F.A. Langton, 2005.
Photoperiod and plant growth: a review. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 80: 2-10.
- Adams, S.R., V.M. Valdés & F.A. Langton, 2008.
Why does low intensity, long-day lighting promote growth in *Petunia*, *Impatiens* and tomato? *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 83: 609-615.
- Autio, J., 2000.
Supplementary lighting regimes strongly affect the quantity of *Gerbera* flower yield. *Acta Horticulturae* 515: 91-98.
- Bakker, J.A. & T. Blacquièrre, 1992.
Effecten van gesimuleerd buurmanlicht. Rapport 143. Proefstation voor de Bloemisterij.
- Bakker, J.A., T. Bacquièrre & J. De Hoog, 1995.
Effect van belichtingsregime en verrood licht op stekken van roos 'Frisco' en 'Madelon' en op *Eustoma* 'Fuji donker blauw'. Rapport 197. Proefstation voor de Bloemisterij.
- Brooymans, E.A.C.M., H. Gude & B.J. Kok, 1992.
SLR-Agrolamp en LED kunnen gloeilamp niet verdringen. *Vakblad voor de Bloemisterij* 1 (47): 30-31.
- Carvalho, S.M.P., F. Van Noort, R. Postma & E. Heuvelink, 2008.
Possibilities for producing compact floricultural crops. Rapport Wageningen UR.
- Demers, D.A., M. Dorais, H.C. Wien & A. Gosselin, 1998.
Effects of supplemental light duration on greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) plants and fruit yields. *Scientia Hort.* 74: 295-306.
- Demers, D.A. & A. Gosselin, 2002.
Growing greenhouse tomato and sweet pepper under supplemental lighting: optimal photoperiod, negative effects of long fotoperiod and their causes. *Acta Horticulturae* 580: 83-88.
- Dueck, T., E. Meinen, J. Steenhuizen, R. Muusers, D. Uenk & L. Marcelis, 2007.
Belichting Tomaat. Elk belichtingsuur volledig benutten. Rapport Wageningen UR.
- De Graaf, M.Th. & T. Blacquièrre, 1991.
Stuurlicht nog geen alternatief voor remstoffen. *Vakblad voor de bloemisterij* 6: 68-69.
- De Graaf-van der Zande, M.Th., T. Blacquièrre & C.G.T. Uitermark, 1996.
Lichtspectrum en lichtniveau bij fotoperiodische belichting van kortedag- en langedagplanten. Rapport 54. Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente.
- Gislerød, H.R., I.M. Eidsten & L.M. Mortensen, 1989.
The interaction of daily lighting period and light intensity on growth of some greenhouse plants.
- Heij, G., N. Van Mourik, F. Van Leeuwen & C. Labrie, 2008.
Onderzoek daglengte in de teelt van *Freesia*. Rapport Wageningen UR.
- Hurd, R. G. (1973). Long-day effects on growth and flower initiation of tomato plants in low light. *Annals of Applied Biology*, 73: 221-8.
- Lieten, P., 2002.
Dagverlengend aardbei belichten met pletkap. *Groenten en Fruit* 30: 37.
- Langton, F.A., S.R. Adams & K.E. Cockshull, 2003.
Effects of photoperiod on leaf greenness of four bedding plant species. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 78: 400-404.
- De Rooij, E., H. Verberkt & M. Gevers, 2007.
Stuurlicht voldoende voor vroege bloei eenjarige zomerbloeiërs. *Vakblad voor de Bloemisterij* 62 (45): 42-43.
- Runkle, E.S. & R.D. Heins, 2006.
Manipulating the light environment to control flowering morphogenesis of herbaceous plants. *Acta Horticulturae* 711: 51-59.

Spaargaren, J.J., 2000.

Belichting van tuinbouwgewassen. Hortilux-Schréder BV, Monster.

Warmenhoven, M.G. & N. García, 2008.

Toepassing assimilatiebelichting bij Bromelia. Belichtingsniveau en belichtingsduur in relatie tot voeding. Rapport Wageningen UR.