



Efficiënt omgaan met elektriciteit bij chrysant

Opties voor besparing

Marcel Raaphorst¹, Tom Dueck¹, Frank Kempkes¹, Paul de Veld² en René Corsten²

1. Wageningen UR Glastuinbouw, 2. DLV-Plant

Rapport GTB-1370



WAGENINGEN UR
For quality of life

Referaat

Bij chrysant is al in praktijkproeven aangetoond dat met de juiste maatregelen het warmtegebruik fors kan worden teruggebracht. Als deze stappen ook bij belichting kunnen worden bereikt, dan zijn we al een eind op weg naar de klimaatneutrale chrysantenteelt. Daarom heeft Wageningen UR Glastuinbouw samen met telers en DLV-Plant de meest belovende maatregelen geïnventariseerd en doorgerekend. De belangrijkste maatregelen blijken ook forse investeringen te vragen, zoals AR-coatings, diffuus glas, LED-verlichting of een hoogspiegelende kasconstructie. Laagdrempeliger maatregelen, zoals bodemreflectie (bijvoorbeeld met styromull) kunnen ook nog tot een 5% lagere elektriciteitsbehoefte leiden. Daarnaast zijn er nog vele kleine maatregelen waarvan verwacht wordt dat deze tot een hogere energie-efficiëntie kunnen leiden. Voorbeelden daarvan zijn het gewasstadium-afhankelijk belichten of een verlengde opkweek. Van deze maatregelen is nog onvoldoende bekend hoe groot hun effect is en of deze ook economisch rendabel zijn.

Abstract

Trials have demonstrated that the heat use for Chrysanthemum can be considerably reduced if the right measures are taken. If these reduction can also be realised with lighting, then we are well on the way to climate-neutral Chrysanthemum cultivation. In order to identify energy saving measures with lighting, Wageningen UR Greenhouse Horticulture along with growers and DLV-Plant have calculated energy savings for the most promising measures. The most important measures also appear to entail a large investment, such as AR-coatings, diffused glass, LED lighting or a super-reflecting greenhouse structure. More accessible measures, such as soil reflection (for example, styromull), can also lead to a 5% lower electricity costs. In addition, there are many small measures that are expected to increase the energy efficiency. Examples are the stage-dependent lighting regime or an extended propagation. However, it is not yet known how large the effects of these measures are and if they are also economically viable.

Rapportgegevens

Rapport GTB-1370

Projectnummer: 3742207500

Disclaimer

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

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

Adresgegevens

Wageningen UR Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk

Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk

T +31 (0)317 48 56 06

F +31 (0)10 522 51 93

Inhoud

	Samenvatting	5
1	Inleiding	7
	1.1 Probleemstelling	7
	1.2 Kansen	7
	1.3 Doelstelling	7
2	Methode	9
	2.1 Aanpak	9
	2.2 Brainstorm en schatting potentiële besparing	9
	2.3 Evaluatie van de opties	10
	2.3.1 Opties alleen voor nieuwbouw	10
	2.3.2 Opties voor bestaande bouw	12
	2.3.3 Vermijding inefficiënte belichtingsuren	14
3	Berekeningen	17
	3.1 Referentie	17
	3.2 Effecten per optie	17
	3.3 Gezamenlijke effecten	18
	3.3.1 Nieuwbouw	18
	3.3.2 Bestaande bouw	18
	3.3.3 Vermijden inefficiënte uren	19
	3.3.4 Totaal	19
	3.4 Economische afweging	19
4	Conclusies en aanbevelingen	21
	4.1 Conclusies	21
	4.2 Aanbevelingen	21
	Literatuur	23
	Bijlage 1 Lichtbesparende opties per periode	25
	Bijlage 2 Niet behandelde opties	27

Samenvatting

Voor de Nederlandse belichte chrysantenteelt zijn tijdens een brainstormsessie 22 opties naar voren gekomen, die perspectief bieden om de hoeveelheid elektriciteit voor belichting te beperken.

16 opties betreffen investeringen en klimaatmaatregelen die ofwel:

- a. De hoeveelheid zonlicht in de kas verhogen.
- b. De hoeveelheid lamplicht per kwh elektriciteit verhogen.
- c. De absorptie van licht door het gewas verhogen.
- d. De fotosynthese van het gewas verhogen.

De 22 opties zijn weergegeven in Tabel a. Van de zestien opties van investeringen en klimaatmaatregelen kunnen zes opties alleen in nieuwbouwsituaties worden ingevoerd. De andere tien zijn ook uitvoerbaar bij bestaande bouw. De overige 6 opties betreffen het beperken van het aantal belichtingsuren op de momenten dat de fotosynthese minder optimaal zou zijn.

In Tabel a is aangegeven hoeveel elektriciteit met de betreffende optie kan worden bespaard en hoeveel productieverhoging deze kan genereren. Deze besparingen en productieverhogingen zijn berekend op basis van aanames en resultaten uit de literatuur. In de laatste kolom wordt aangegeven hoe hoog de productieverhoging zou kunnen zijn bij een gelijkblijvende hoeveelheid elektriciteit.

Tabel a

Besparingspotentieel en berekende productieverhoging van 22 opties.

Opties	Elektra	Productie	Productie (ge)
AR coatings	9.3%	1.5%	3.1%
Diffuus glas	5.7%	1.5%	2.5%
Hoogreflecterende constructie	5.3%	0.7%	1.6%
Efficiëntere constructie belichting	0.4%	0.1%	0.1%
Witte onderkant schermdoek	1.0%	0.0%	0.2%
Gelijkstroom i.p.v. wisselstroom.	1.9%	0.0%	0.4%
Lichtreflectie bodem vb styromull of biofoam	5.0%		1.0%
Verduistering open boven 25 i.p.v. 75 W/m ²	0.8%		0.1%
Dun schermpakket	1.7%	0.2%	0.5%
LED 50% hybride	11.3%		2.5%
Betere reflectoren	1.9%	0.0%	0.4%
Verlengde opkweek	4.1%		0.7%
LD: sturen groter blad	0.7%	0.0%	0.1%
LD scherm open i.p.v. belichting	0.5%	1.1%	1.2%
Temperatuur sturen op lichtsom	0.6%		0.1%
CO ₂ : zuiverheid kaslucht	1.0%		0.2%
Belichting sturen op daglichtsom	3.2%	-0.4%	
Belichting op teeltlichtsom	3.0%	-0.4%	
Gewasstadium afhankelijk belichten	9.7%	-1.2%	
Afschakelen op buitenstraling van 250 -> 150 W/m ²	6.4%	-0.9%	
Donkertijden LD periode van 2 naar 6 uur	3.9%	-0.5%	
2 dagen voor LD/KD overgang 3 uur minder belichten	0.4%	0.0%	

Bij toepassing van alle opties ligt de potentiële besparing op elektriciteit op ruim 50%. Hierbij stijgt de berekende jaarproductie met 2%, wat wordt veroorzaakt door een hoge productieverhoging in de zomer met een productieverlaging in de winterperiode. Er is geen economische analyse op de investeringsopties uitgevoerd. Geschat is dat het beperken van het aantal belichtingsuren (de laatste zes opties) interessant is bij een elektriciteitsprijs van 0,06 €/kWh en een te verwachten gemiddelde opbrengst van minder dan 0,32 €/tak.

1 Inleiding

De teelt van chrysant heeft in de laatste decennia, mede dankzij aanzienlijke verbeteringen in de techniek, een grote versnelling doorgemaakt, waarbij het aantal teelten toegenomen is van 4 naar 5 teelten per jaar. Ook voor wat betreft besparing op energiegebruik voor verwarming zijn stappen gemaakt. Uit berekeningen die gedaan zijn om de effecten van maatregelen van het Nieuwe Telen (HNT) te kunnen beoordelen, blijkt dat de warmtevraag teruggebracht kan worden van 32.0 naar 12.6 m³/m².jaar door gebruik van buitenluchtaanzuiging en aangepaste scherm- en klimaatregeling [Raaphorst *et al.* 2010]. Door de aanwezigheid van WKK's die naast warmte en CO₂ ook elektriciteit voor de belichting produceren wordt deze besparing in de praktijk niet behaald. Wel wordt op kleine schaal al een besparing van 10 m³/m².jaar) gerealiseerd [Raaphorst *et al.* 2015].

1.1 Probleemstelling

Belichting is voor chrysant van groot belang voor de productie. De intensiteit van de belichting is de laatste decennia flink toegenomen, door lage stroomprijzen wordt makkelijker belicht in plaats van teruggeleverd, en daardoor is het elektriciteitsverbruik in de chrysantenteelt aan het stijgen. Dat terwijl economische berekeningen [Raaphorst *et al.* 2010] aangeven dat afhankelijk van energieprijzen en productprijzen belichting niet altijd economisch rendabel is.

Vanuit de praktijk is er duidelijk interesse in elektriciteit besparing maar niet ten koste van productie of productkwaliteit.

Kansen om energie te besparen in de chrysantenteelt zijn er wel, maar deze verschillen in orde van grootte gedurende een teelt of gedurende het jaar en voor de verschillende typen bedrijven. Een groot aantal chrysanten bedrijven is nog niet oud (5-8 jaar). Op deze bedrijven zullen geen grote investeringen gedaan worden en moet energiebesparing gerealiseerd worden met de bestaande bedrijfsuitrusting. Daarnaast zijn er bedrijven waar nieuwbouw plaatsvindt, en investeringen in energiebesparende opties mogelijk rendabel zullen zijn. Het telen van chrysant gaat vaak samen met de aanwezigheid en het gebruik van een WKK op het bedrijf, ook al leidt een WKK niet op voorhand tot energiebesparing.

1.2 Kansen

Elektriciteitsbesparing is mogelijk door lampen te gebruiken die elektriciteit efficiënter in molen licht omzetten (bijvoorbeeld LED belichtingsystemen) of door het gewas het licht efficiënter te laten benutten waardoor minder belicht hoeft te worden. De benuttingsefficiëntie van licht is bij chrysant niet constant gedurende de teelt. De eerste weken van de teelt en de laatste weken voor de oogst is de efficiëntie waarmee het licht in droge stof wordt omgezet minder dan in het midden van de teelt, zoals is aangetoond door Wageningen UR Glastuinbouw en bevestigd middels fotosynthesemetingen van Plant Lighting en PlantDynamics [Trouwborst *et al.* 2013]. Dit soort effecten geven aan dat er volop kansen zijn om door op juiste manier gebruik te maken van LED belichting energie te besparen en het gewas te sturen is.

1.3 Doelstelling

Als doel is gesteld dat voor zowel een bestaand als een nieuwbouwbedrijf een scenario wordt opgesteld waarbij het potentiële elektriciteitsverbruik voor de belichting in een belichte chrysantenteelt met minstens 30% wordt verminderd bij een nagenoeg gelijke productie. Dit scenario zal zijn opgebouwd uit:

- Verschillende opties die maximaal rendement halen uit natuurlijk zonlicht en uit belichting.
- Benutting van de stuurmogelijkheden van het gewas door de juiste inzet van belichting gedurende verschillende ontwikkelingsfasen van de teelt en gedurende de dag (belichten naar behoefte).

30% vermindering op het elektriciteitsgebruik betekent een reductie van 145 kWh/m².jaar naar 100 kWh/m².jaar.

2 Methode

2.1 Aanpak

Voor het opstellen van energiezuinige scenario's is een brainstormsessie gehouden met telers, adviseurs en onderzoekers. Tijdens de brainstorm is gekeken welke opties voldeden aan minimaal één van de volgende verbeterpunten:

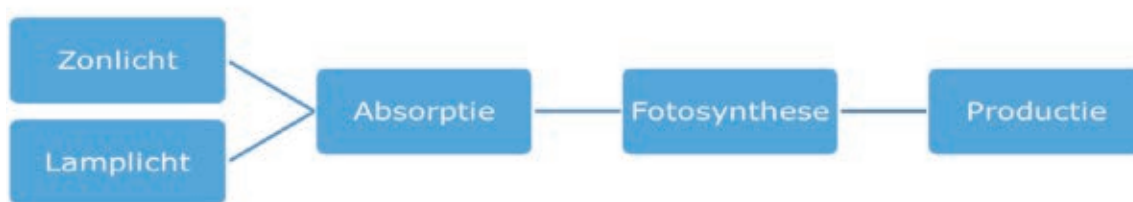
Zoveel mogelijk molen natuurlijk licht in de kas.

Zoveel mogelijk molen uit een kWh elektra in de kas.

Zoveel mogelijk molen onderscheppen door het gewas.

Zoveel mogelijk assimilaten uit een onderschepte mol.

Zoveel mogelijk assimilaten naar gewenste plantendelen.



Figuur 1 Vijf stappen voor een hogere productie per eenheid elektriciteit.

Uit de hier opgestelde lijst met energiebesparende opties is van de meest haalbare energiebesparende opties een schatting gemaakt over de potentiële besparing. Van sommige opties is de potentiële energiebesparing geschat op basis van onderzoek. Van andere opties is de besparing geschat op basis van aannames. Van alle opties is bepaald of zij toepasbaar zijn in een bestaande kas of dat er nieuwbouw voor nodig is. In een rekenmodel (Microsoft Excel) is bepaald hoeveel de combinatie van verschillende opties uiteindelijk bespaart op het elektriciteitsverbruik.

De resultaten van het rekenmodel zijn teruggekoppeld naar de telers en door hen van commentaar voorzien.

2.2 Brainstorm en schatting potentiële besparing

Tijdens de brainstorm zijn ongeveer 38 lichtbesparende opties naar boven gekomen. In Tabel 1 zijn de 22 meest haalbaar geachte opties weergegeven. 6 opties worden alleen geschikt geacht voor nieuwbouwprojecten en 10 opties zijn ook toepasbaar bij bestaande bouw. Verder zijn er nog 6 methoden genoemd om minder te belichten op momenten waarvan wordt aangenomen dat de fotosynthese minder optimaal is.

In de kolom 'Besparing lamplicht' is aangegeven met hoeveel procent de optie het elektriciteitsverbruik momentaan kan verlagen. In de kolom 'Efficiënt zonlicht' wordt aangegeven met hoeveel procent de optie de benutting van het zonlicht kan vergroten. Bijvoorbeeld de optie 'LED 50% hybride' verlaagt het elektriciteitsverbruik met 12% indien gestreefd wordt naar een gelijk aantal molen in de kas als bij 100% SON-T belichting, maar verlaagt ook de lichttransmissie van de kas doordat de LED-armaturen meer volume innemen. Ten slotte laat de kolom 'Rendement van belichting' zien wat het veronderstelde rendement van iedere procent extra licht is tijdens de 'inefficiënte belichtingsuren'.

De geschatte besparingspotentie van deze opties wordt in paragraaf 2.3 toegelicht. De genoemde besparingspercentages waarmee in de simulaties wordt gerekend, gelden niet gedurende het hele jaar. Een opsplitsing van de toepassing per periode is te vinden in Bijlage 1.

Tabel 1

Samenvatting lichtbesparende opties.

	Besparing lamplicht	Efficiënter zonlicht	Rendement van belichting
Nieuwbouw			
1. AR coatings		6.0%	
2. Diffuus glas		3.0%	
3. Hoogreflecterende constructie	0.3%	3.0%	
4. Efficiëntere constructie belichting		0.3%	
5. Witte onderkant schermdoek	2.0%		
6. Gelijkstroom i.p.v. wisselstroom.	2.0%		
Nieuwbouw en bestaande bouw			
7. Lichtreflectie bodem bijv. styromull	4.0%	4.0%	
8. Verduistering open boven 25 i.p.v. 75 W/m ²		0.8%	
9. Dun schermpakket		1.0%	
10. LED 50% hybride	17.0%	-1.0%	
11. Betere reflectoren	2.0%		
12. Verlengde opkweek	2.0%	2.0%	
13. LD: sturen groter blad	0.3%	0.3%	
14. LD scherm open i.p.v. belichting (alleen zomerperioden)	100%	50%	
15. Temperatuur sturen op lichtsom	0.3%	0.3%	
16. CO ₂ : zuiverheid kaslucht	1.0%	1.0%	
Vermijden inefficiënte belichtingsuren			
17. Belichting sturen op daglichtsom			70%
18. Belichting op teeltlichtsom			80%
19. Gewasstadium afhankelijk belichten			70%
20. Afschakelen op buitenstraling van 250 --> 150 W/m ²			80%
21. Donkertijden LD periode van 2 naar 6 uur			70%
22. 2 dagen voor LD/KD overgang 3 uur minder belichten			60%

2.3 Evaluatie van de opties

In deze paragraaf worden de opties uit de brainstormsessie besproken die in de simulatie worden meegenomen. In Bijlage 2 worden de opties besproken die niet in behandeling zijn genomen. Als de opties worden vergeleken met de vijf stappen uit paragraaf 2.1, dan valt op dat de meeste opties zijn gericht op de eerste vier stappen, en geen van de opties is gericht op stap 5: zoveel mogelijk assimilaten naar gewenste plantendelen. Blijkbaar zien de telers geen verbeteringsmogelijkheden voor deze laatste stap.

2.3.1 Opties alleen voor nieuwbouw

Sommige opties zijn alleen geschikt voor nieuwbouw. Soms vergt de investering kostbare aanpassingen aan de bestaande kas, die bij nieuwbouw efficiënter kunnen worden ingebracht. Ook kan de aanpassing een langere terugverdientijd hebben dan de resterende levensduur van de bestaande kas.

1. AR coatings

Glas dat tweezijdig is behandeld met anti-reflectiecoatings laat onder laboratorium omstandigheden ten opzichte van enkel floatglas 7-9% meer licht door [Hemming *et al.* 2006]. In natte toestand wordt verwacht dat dit lager is. Daarom wordt een gemiddeld hogere transmissie van 6% gehanteerd.

Reactie telers: acceptabel.

2. Diffuus glas

Diffuus licht geeft een betere efficiëntie van de fotosynthese doordat het invallende zonlicht zich gelijkmatiger verspreidt over de bladeren. Daarnaast geeft diffuus glas (afhankelijk van o.a. de aanwezigheid van condensatie tegen het glas) een lagere of hogere lichttransmissie. Aan diffuus glas (meestal in combinatie met AR coatings) wordt bij sommige gewassen wel 10% extra productie toegekend. Hier is voor chrysant nog weinig ervaring mee, maar jaarrond 3% efficiënter gebruik van het zonlicht wordt haalbaar geacht.

Reactie telers: acceptabel.

3. Hoogreflecterende constructie

De meeste nieuwbouwkassen zijn voorzien van wit gepoedercoate constructiedelen. Licht dat op een wit object straalt, wordt naar alle kanten gereflecteerd. Door de constructiedelen te laten spiegelen, bijvoorbeeld door ze van een glimmend folie te voorzien, wordt er meer licht naar het gewas gereflecteerd. Als dit ook voor de kasroeden en de goten wordt uitgevoerd kan dit leiden tot 3% meer zonlicht op het gewas [Kempkes *et al.* 2015, In voorbereiding]. Ook het lamplicht kan het gewas 0,3% beter bereiken als de kaspoten spiegelen zijn uitgevoerd.

Reactie telers: twijfelachtig of dit betaalbaar zal zijn.

4. Efficiëntere constructie belichting

Door de kabels en armaturen van de belichting te integreren met de kasconstructie, kan dit de transmissie van zonlicht verhogen. Geschat wordt dat het gaat om 0,5%. Dat komt grofweg neer op het wegwerken van een strengbreedte van 2,4 cm op een kap van 4,8 m.

Reactie telers: momenteel is de belichting parallel aan de kasgoten geïnstalleerd omdat de plantvakken ook parallel lopen aan de kasgoten en de lampen per plantvak moeten kunnen worden uitgeschakeld. Installatie vlak onder de tralie is daarom lastig. Aangezien de lampen niet boven een tussengevelscherp kunnen hangen, lijkt het moeilijk om een installatie vlak onder de goten te realiseren.

5. Witte onderkant schermdoek

Bij chrysant wordt in de winter vaak belicht onder een gesloten scherm. Een deel van het lamplicht wordt door het gewas gereflecteerd en straalt naar het schermdoek. Als de onderkant van dit schermdoek wit of reflecterend wordt uitgevoerd, kan dit meer lamplicht naar het gewas terugbrengen. Geschat wordt dat het gaat om 2% betere benutting van het lamplicht gedurende de uren dat wordt belicht onder een gesloten scherm.

Reactie telers: een risico van reflectie van lamplicht is, dat het lamplicht boven de tussengevelgordijnen wordt verstrooid naar het naastliggende vak. Zo kan een vak dat in de LangeDag (LD) -fase zit een verstoring geven aan het naastliggende vak in de KorteDag (KD) -fase.

6. Gelijkstroom i.p.v. wisselstroom

Met gelijkstroom is bij een Bouvardia teler ruim 2% meer PAR licht uit een eenheid elektriciteit bereikt. [Stokman *et al.* 2014]. Bij LED lampen zou het toepassen van gelijkstroom nog iets meer kunnen geven.

Reactie telers: acceptabel, maar nog weinig praktijkresultaten gezien.

2.3.2 Opties voor bestaande bouw

7. Lichtreflectie bodem bijv. styromull

Er zijn regelmatig proeven gedaan met reflecterend materiaal in de winterperiode. Styromull, of het biologisch afbreekbare Biofoam zijn hiervan voorbeelden. Het reflecteert zowel het zonlicht als het lamplicht. Gemeten is dat dit gaat om ongeveer 15-23% meer reflectie in de eerste twee weken na planting ten opzichte van een vak zonder reflecterend materiaal [Klein en van Giessen, 2013]. Uitgaande van een teeltduur van 10 weken en een iets lagere efficiëntie van licht dat het blad van onderen beschijnt, komen we op een verhoogde lichtbenutting van 4%.

Reactie telers: is alleen zinvol in de winter voor kleinbladige cultivars die niet snel dichtgroeien.

8. Verduistering open boven 25 i.p.v. 75 W/m²

In de winterperiode wordt het verduisteringsdoek gebruikt om de kas te isoleren. Meestal gaat het verduisteringsdoek pas open als er meer dan 75 W/m² globale straling is. Als dit schermdoek al wordt geopend als er meer dan 25 W/m² globale straling is, dan kan er meer zonlicht worden toegelaten. In de wintermaanden gaat het om 0,8 tot 1% meer zonlicht.

Reactie telers: dit kost wel meer warmte en het is de vraag of de fotosynthese wel zo goed functioneert tijdens kouval.

9. Dun scherm pakket

Het verduisteringsschermdoek bestaat uit een dubbele laag bandjesweefsel. Het is in geopende toestand een flink pakket. Door een spouw aan te leggen tussen de twee lagen, ontstaat er ruimte waardoor het scherm in geopende toestand dichter kan worden aangedrukt. Geschat wordt dat dit gaat om 5 cm kleiner pakket, ofwel 1% meer licht. Bovendien isoleert een scherm met spouw beter.

Reactie telers: Het is de vraag of 1% haalbaar is.

10. LED 50% hybride

De nieuwste LED lampen hebben een rendement dat ongeveer 50% hoger ligt dan die van SON-T lampen, namelijk 2,7 in plaats van 1,8 $\mu\text{mol/J}$ [persoonlijke mededeling Danielle Smits-Van Tuijl, Philips]. Proeven met alleen LED lampen lieten echter zien dat LED lampen bloeivertraging geven [Meinen *et al.* 2015; Meinen *et al.* 2009; de Veld *et al.* 2014]. Om deze bloeivertraging te voorkomen wordt met de huidige kennis voorlopig aanbevolen om niet meer dan 50% van de SON-T lampen te vervangen door LED lampen. Als de helft van het lamplicht met 50% hoger rendement wordt geproduceerd, dan bespaart dat $1 - 0,5 - 0,5/1,5 = 16,6\%$

Reactie telers: acceptabel. Bij LED zal wel meer warmte nodig zijn.



Figuur 2 Proef met 50% hybride belichting bij troschryasant.

11. Betere reflectoren

Nieuwe reflectoren hebben een rendement van 88-92% [de Ruijter, 2004] [website lights-interaction]. Dit kan door vervuiling tijdens het gebruik sterk verminderen. Geschat wordt dat 2% hoger rendement haalbaar is door nieuwe ontwikkelingen en door beter onderhoud van de lampen.

Reactie telers: acceptabel, al wordt nu al veel gedaan om het rendement zo hoog mogelijk te houden.

12. Verlengde opkweek

Door planten drie dagen langer op te kweken bij de plantenkweker wordt het licht beter benut omdat de plantdichtheid bij de plantenkweker veel hoger is (bijv. 400 i.p.v. 50 plant/m²). Geschat wordt dat de planten voor het uitplanten twee keer zo veel licht per m² opvangen. Dit betreft dan 50% minder elektriciteitsgebruik gedurende 3 dagen, ofwel 4% van de teeltduur. Daarom is uitgegaan van 2% betere benutting van het lamplicht.

Reactie telers: acceptabel, al geldt dit alleen in de winterperiode en moet rekening worden gehouden met een hogere kostprijs in verband met een grotere perspot. Bovendien gaat dit niet samen met het gebruik van styromull (zie 7).

13. LD: sturen groter blad

Door direct na het planten het kasklimaat en de wortelcondities zodanig aan te passen dat het gewas grotere bladeren aanmaakt, verbetert de absorptie van licht door het gewas. Te denken valt hierbij aan het verhogen van de verhouding rood/blauw licht, de luchtvochtigheid of de worteltemperatuur. Uit onderzoek is bijvoorbeeld gebleken dat bij verschillende cultivars een hoge temperatuur (optimum bij 22-24 °C) tijdens de LD-periode, leidt tot snellere bladontwikkeling (groter en dunner blad) en een hogere drogestofaanmaak [van der Ploeg *et al.* 2007]. Omdat er verder nog weinig bekend is over de reactie van chryasant op deze acties, wordt voorzichtigheidshalve uitgegaan van slechts 0,3% betere lichtabsorptie.

Reactie telers: moeilijk uitvoerbaar.

14. LD scherm open i.p.v. belichting

In de zomerperiode wordt zowel belicht als verduisterd. Omdat de schermvakken meerdere teeltstadia omvatten is het eenvoudiger om het verduisteringsdoek in zijn geheel te sluiten en de vakken in de LD-fase bij te belichten. Door kleinere schermvakken aan te houden kan het scherm 's zomers in de LD-fase open blijven en hoeft er niet te worden bijbelicht. Omdat meer zonlicht wordt toegelaten, kan dit leiden tot meer fotosynthese (uitgegaan wordt van 0,5% meer productie per % meer licht). De vermeden belichting (1 kWh/m².periode) betreft een hoeveelheid PAR van 6,4 mol/m².periode. Dat is 1% van de totale hoeveelheid licht in de zomerperiode. In de simulaties wordt het effect op de productie verwaarloosd.

Reactie telers: hogere eisen moeten worden gesteld aan de tussengevel gordijnen omdat het strooilicht van de zon sterker is dan dat van de belichting.

15. Temperatuur sturen op lichtsom

Door de temperatuur aan te passen aan de lichtsom, kunnen de aangemaakte assimilaten beter worden verwerkt. Bovendien kan een hogere temperatuur de netto fotosynthese verhogen (mits de CO₂-concentratie hoog genoeg is). [Körner *et al.* 2009][Aaslyng, 2000]. Omdat niet bekend is in hoeverre deze kennis in de praktijk al wordt toegepast, wordt voorzichtigheidshalve uitgegaan van 0,3% betere benutting van zowel het zonlicht als het lamplicht.

Reactie telers: voor een groot deel doen we dit al.

16. CO₂: zuiverheid kaslucht

Chrysanth is niet zo gevoelig voor NO_x, maar wel in combinatie met SO₂ en O₃. Ook is het zeer gevoelig voor etheen [Esmeijer, 2005]. Daarom is het zeer goed mogelijk dat het doseren van WKK-rookgassen in een kas met dichte ramen en/of een gesloten scherm in de winterperiode leidt tot groei- of bloeivertraging. Door zuivere CO₂ te doseren moet dit voorkomen kunnen worden, wat leidt tot een efficiënter gebruik van licht. Bij de simulaties wordt uitgegaan van 1% efficiënter gebruik van zowel het zonlicht als het lamplicht gedurende periode 1, 2 en 13.

Reactie telers: moeilijk in getallen uit te drukken.

2.3.3 Vermijding inefficiënte belichtingsuren

De opties in deze paragraaf betreffen geen investeringen, maar teeltmaatregelen. Door niet te belichten op momenten waarop een lagere efficiëntie van de lichtbenutting wordt verwacht, kan bespaard worden op de belichting met een relatief laag productieverlies.

17. Belichten op daglichtsom

Met belichten op daglichtsom wordt ervan uitgegaan dat een chrysanth maar een bepaalde hoeveelheid licht per dag nodig heeft en dat de hoeveelheid daarboven minder efficiënt wordt omgezet in assimilaten. Zo is aangetoond [Trouwborst *et al.* 2013], dat bloeiende gewassen aan het einde de dag de huidmondjes eerder sluiten. Aangezien de lichtbenuttingsefficiëntie (LBE) in de zomer veel lager is dan in de winterperiode [Marcelis *et al.* 2004], wordt aangenomen dat de chrysanth minder efficiënt met licht omgaat tijdens lichtrijke perioden. Er is geen onderzoek bekend of die lichtrijke periode een dag of een langere tijd betreft. In de simulaties wordt ervan uitgegaan dat het lichtrendement 30% lager ligt nadat er buiten meer dan 1000 J/cm².dag aan zonlicht is geweest. Als er op die dagen niet wordt belicht dan zal er in perioden 3 en 10 25% minder worden belicht dan wat nu gebruikelijk is.

Reactie telers: het al of niet belichten is dan vaak een economische afweging.

18. Belichting op teeltlichtsom

Met belichten op teeltlichtsom wordt bedoeld dat in het voorjaar rekening wordt gehouden met een toenemende hoeveelheid zonlicht. Als een tak 70 gram moet wegen en de LBE gemiddeld 5 g/mol is, dan zou voor iedere tak 14 mol PAR-licht nodig zijn. Als in week 6 60 takken per m² worden geplant, dan hebben die een teeltlichtsom van 14*60= 840 mol/m² nodig. Die krijgen ze al met natuurlijk zonlicht in 72 dagen, dus met deze teeltduur zou deze planting niet meer hoeven te worden belicht. Overigens kan de LBE tijdens de donkerste periode van het jaar wel 7 g/mol [de Veld *et al.* 2014] of nog hoger zijn [de Gelder en Korsten, 2005]. In deze simulatie wordt uitgegaan van 10, 20 en 30% minder belichting in respectievelijk periode 2, 3 en 4. Iedere % minder licht is hierbij verondersteld tot 0,8% minder productie te leiden.

Reactie telers: in de praktijk zijn de takken in het voorjaar relatief zwaar, dus hier liggen nog wel mogelijkheden.

19. Gewasstadium afhankelijk belichten

In het begin en het einde van de teelt maakt de chrysanth ongeveer 50% minder versgewicht aan per eenheid licht. Die afname is cultivar afhankelijk. Hoewel minder belichting (van 70 naar 35 μmol/m².s) in de laatste vier teeltweken geen hogere LBE liet zien [de Gelder en Korsten, 2005], is het mogelijk dat een halvering van de huidige belichtingsintensiteiten van 130 μmol/m².s in de eerste en laatste weken wel een hogere LBE geeft. Met name in de laatste weken, als het gewas al kleur heeft, absorberen de groene bladeren minder licht. Daartegenover staat dat minder belichten aan het einde van de teelt kan leiden tot een mindere bladkwaliteit [de Gelder en Korsten, 2005]. In de simulaties is ervan uitgegaan dat er 10% minder kan worden belicht door in de eerste en de laatste teeltweek de helft van de belichting uit te schakelen. Iedere % minder licht is hierbij verondersteld tot 0,7% minder productie te leiden.

Reactie telers: 50% belichten boven bloeiend gewas is mogelijk. 0% belichten leidt tot condensatie van de bloemen.

20. Afschakelen op buitenstraling van 250 --> 150 W/m²

Bladfotosynthesemetingen bij chrysanth hebben aangetoond dat de fotosynthese-efficiëntie vermindert als de hoeveelheid PAR uitstijgt boven ±200 μmol/m².s [Trouwborst *et al.* 2013]. De efficiëntie per toegevoegde mol PAR licht kan zelfs teruglopen tot ±50% bij 300 μmol/m².s. Een globale straling van 150 W/m² geeft bij een lichttransmissie van de kas van 70% ongeveer 225 μmol/m².s. Inclusief 130 μmol/m².s belichting kom je dan gezamenlijk op 355 μmol/m².s. Bovenstaande metingen betreffen weliswaar bladfotosynthese, maar aangenomen wordt dat ook de efficiëntie van de gewasfotosynthese enigszins lager wordt naarmate het belichtingsniveau stijgt.

Als de stralingsdrempel voor belichting daalt van 250 naar 150 W/m² dan zal er 10% minder uren worden belicht. In de simulaties is aangenomen dat tussen 150 en 250 W/m² globale straling, iedere % minder licht tot 0,7% minder productie leidt.

Reactie telers: 10% is wel erg veel. In januari red je dat niet.

21. Donkertijden LD periode van 2 naar 6 uur

Sommige telers houden tijdens de LD periode een donkerperiode aan van 2 uur. Het is de vraag of bij een daglengte van 22 uur al het licht wel voldoende wordt benut. Volgens Deens onderzoek is de drogestofaanmaak per eenheid licht gelijk voor een nachtlengte van 5 uur of een daglengte van 12 uur met korte nachtonderbrekingen. De planten met korte nachtonderbrekingen hadden wel grotere (en dunnere) bladeren [Kjaer en Ottosen, 2011]. Aangezien snelle bladontwikkeling in het LD-stadium belangrijk is voor de lichtonderschepping, zou dit een positieve bijdrage kunnen hebben. In de simulatie is ervan uitgegaan dat iedere % minder licht tijdens de nachtonderbreking 0,7% minder productie geeft.

Reactie telers: interessant om te onderzoeken. In de praktijk wordt hier ook mee geëxperimenteerd.

22. 2 dagen voor LD/KD overgang 3 uur minder belichten

Bij de overgang van LD naar KD neemt de dagsom aan licht plotseling af. Zeker als tijdens de LD periode 22 uur wordt belicht kan dit leiden tot een schokeffect (bijvoorbeeld wortelafsterving door minder verdamping), al is daar geen onderzoek over bekend. In de simulatie is ervan uitgegaan dat de iedere % minder licht tijdens de nachtonderbreking vlak voor de KD-periode 0,6% minder productie geeft.

Reactie telers: interessant om te onderzoeken. In de praktijk wordt hier ook mee geëxperimenteerd.

3 Berekeningen

3.1 Referentie

Voordat het effect van de besparingsopties wordt berekend, moet eerst een referentie worden bepaald. Hiervoor is uitgegaan van een modern chrysantenbedrijf met een Venlo type kas met enkel floatglas en wit gepoedercoate kasconstructie (onderbouw), een verduisteringsinstallatie en SON-T lampen.

- De belichtingsintensiteit is 130 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ met een geïnstalleerd vermogen van 72 W/m^2 (1,8 $\mu\text{mol}/\text{J}$).
- Voor belichting wordt 140 $\text{kWh}/\text{m}^2\cdot\text{jaar}$ aan elektriciteit gebruikt.
- De productie van het referentiebedrijf is gesteld op 290 $\text{tak}/\text{m}^2\cdot\text{jaar}$.
- CO_2 wordt 's winters met een WKK en rookgasreiniger gedoseerd.

3.2 Effecten per optie

Met de uitgangspunten uit Bijlage 1 is het individuele effect van de opties op elektriciteitsverbruik en productie berekend. De opties voor nieuwbouw en bestaand bouw zijn weergegeven in Tabel 2. Hierbij is ook een extra kolom toegevoegd met het effect van de opties op de productie bij een gelijkblijvend elektriciteitsverbruik. De hoogste waarden zijn donkerrood gearceerd.

Uit de tabel blijkt dat het investeren in AR-coatings, diffuus glas, hoogreflecterende constructie, LED 50% hybride de hoogste besparing geeft. Ook geven laagdrempelige opties zoals het toepassen van reflecterend materiaal of verlengde opkweek een aanzienlijke besparing op het elektriciteitsverbruik te zien.

Tabel 2

Berekende invloed van de opties op het elektriciteitsverbruik, de productie en op de productie bij gelijkblijvend elektriciteitsverbruik (ge).

Opties	Elektra	Productie	Productie (ge)
AR coatings	9.3%	1.5%	3.1%
Diffuus glas	5.7%	1.5%	2.5%
Hoogreflecterende constructie	5.3%	0.7%	1.6%
Efficiëntere constructie belichting	0.4%	0.1%	0.1%
Witte onderkant schermdoek	1.0%	0.0%	0.2%
Gelijkstroom i.p.v. wisselstroom.	1.9%	0.0%	0.4%
Lichtreflectie bodem vb styromull	5.0%		1.0%
Verduistering open boven 25 i.p.v. 75 W/m^2	0.8%		0.1%
Dun scherm pakket	1.7%	0.2%	0.5%
LED 50% hybride	11.3%		2.5%
Betere reflectoren	1.9%	0.0%	0.4%
Verlengde opkweek	4.1%		0.7%
LD: sturen groter blad	0.7%	0.0%	0.1%
LD scherm open i.p.v. belichting	0.5%	1.1%	1.2%
Temperatuur sturen op lichtsom	0.6%		0.1%
CO_2 : zuiverheid kaslucht	1.0%		0.2%

In Tabel 3 zijn de opties opgenomen die gericht zijn op vermijden van inefficiënte belichtingsuren. De meest in het oog springende optie is het gewasstadium afhankelijke belichten. Dit komt doordat de toepassingsmogelijkheid ervan groot is verondersteld (10% van de lampen gedurende de hele winterperiode, zie ook Bijlage 1). Overigens zou deze optie met de gestelde uitgangspunten (1% minder licht is in dit geval gesteld op 0,7% minder productie) ook het meeste productieverlies opleveren.

Tabel 3

Berekende invloed van het vermijden van inefficiënte belichtingsuren op het elektriciteitsverbruik en de productie.

	Elektra	Productie
Belichting sturen op daglichtsom	3.2%	-0.4%
Belichting op teeltlichtsom	3.0%	-0.4%
Gewasstadium afhankelijk belichten	9.7%	-1.2%
Afschakelen op buitenstraling van 250 -> 150 W/m ²	6.4%	-0.9%
Donkertijden LD periode van 2 naar 6 uur	3.9%	-0.5%
2 dagen voor LD/KD overgang 3 uur minder belichten	0.4%	0.0%

3.3 Gezamenlijke effecten

Het berekende effect van een combinatie van opties is anders dan de som van de individuele effecten.

- Twee opties die beide 10% besparen, zullen gezamenlijk (indien zij onderling onafhankelijk zijn) geen 20%, maar $100\% - (100\% - 10\%) * (100\% - 10\%) = 19\%$ besparen.
- Twee opties die beide 10% productiewinst geven, zullen gezamenlijk (indien zij onderling onafhankelijk zijn) geen 20%, maar $(100\% + 10\%) * (100\% + 10\%) - 100\% = 21\%$ productiewinst opleveren.

Op deze wijze zijn de gezamenlijke effecten berekend. Hierbij is geen rekening gehouden met onderlinge afhankelijkheid van de effecten.

3.3.1 Nieuwbouw

De 6 opties die alleen bij nieuwbouw kunnen worden toegepast leveren gezamenlijk een elektriciteitsbesparing van 21% en een productiewinst van 3.9% (11 takken) op. Deze productiewinst ligt alleen in de zomerperiode (periode 4-9). Bij gelijkblijvend elektriciteitsverbruik zou de totale productiewinst bij deze 6 opties uitkomen op 8,1% (23 takken). De grootste productiewinst ligt dan in het voor en najaar (periode 3 en 11).

3.3.2 Bestaande bouw

De 10 opties die bij bestaande bouw zouden kunnen worden toegepast leveren gezamenlijk een elektriciteitsbesparing van 24% en een productiewinst van 1,1% (3 takken) op. Deze productiewinst ligt alleen in de zomerperiode (periode 5-9). Bij gelijkblijvend elektriciteitsverbruik zou de totale productiewinst bij deze 10 opties op 7,1% (21 takken) kunnen liggen. De grootste productiewinst ligt dan in de winterperiode (periode 11 t/m 2).

Bij deze berekeningen dient wel te worden aangetekend dat de opties verlengde 'opkweek', 'lichtreflectie bodem' en 'sturen groter blad' onderling wel afhankelijk zijn en het gezamenlijke effect in de praktijk enkele procenten lager zal zijn dan hier berekend.

3.3.3 Vermijden inefficiënte uren

Het totaal van de opties die inefficiënte belichtingsuren vermijden, betreft 24% minder belichting en 3,2% (ofwel 9 tak/m²) minder productie. Deze minderproductie betreft alleen de winterperiode (periode 10-4).

3.3.4 Totaal

De 22 opties leveren gezamenlijk een elektriciteitsbesparing van 55% en een productiewinst van 2,5% (7 takken) op. Deze productiewinst ligt alleen in de zomerperiode (periode 4-9). Bij gelijkblijvend elektriciteitsverbruik (dus ook zonder de opties die inefficiënte uren vermijden) zou de totale productiewinst uitkomen op 15,6% (45 takken). De grootste productiewinst ligt dan in de winterperiode (periode 11 t/m 3).

3.4 Economische afweging

Aangezien in dit onderzoek niet is nagegaan wat de investeringskosten van de verschillende opties zijn, is het niet mogelijk om een advies te geven over welke opties de meeste winst genereren. Wel kan een indicatie worden gegeven of de opties meer winst opleveren bij elektriciteitsbesparing of bij productieverhoging. Als voorbeeld wordt hieronder ingegaan op de opties die inefficiënte uren vermijden (zie paragraaf 3.3.3).

Bij een verlaging van 24% van het jaargebruik van 140 kWh/m² à € 0,06 betekent dit € 2,02 besparing op elektriciteit. De besparingsopties zijn dan economisch interessant als de 9 takken minderproductie ieder minder dan $2,02/9 = € 0,224$ per tak aan brutowinst ofwel $±€ 0,32$ per tak omzet hadden opgeleverd. Dit is een prijs die dicht ligt bij de middenprijs in het winterseizoen. Afhankelijk van bedrijfsspecifieke factoren (levert de WKK voordelige elektriciteit of moet het worden ingekocht?) en momentane factoren (wat is de te verwachten verkoopprijs?) kunnen de bovenstaande opties bedrijfseconomisch rendabel worden toegepast.

Bij de overige 16 opties (paragrafen 3.3.1 en 3.3.2) betreft de elektriciteitsbesparing niet zozeer een beperking van het aantal belichtingsuren, maar vooral een beperking van de maximale belichtingscapaciteit. Hierdoor wordt niet alleen bespaard op elektriciteitskosten, maar ook op investeringskosten van belichtingsapparatuur. Naarmate er uit een kWh elektriciteit meer PAR wordt geproduceerd, en uit elke mol PAR meer assimilaten worden aangemaakt, zal de behoefte kleiner worden om het aantal belichtingsuren te verlagen.

Aangenomen wordt dat bij de huidige energietarieven, veel van de genoemde opties nog (net) niet rendabel zijn. Voor bijvoorbeeld de LED-belichting is recentelijk berekend dat de investeringskosten nog veel te hoog zijn om deze rendabel in te zetten [Anonymous, 2015].

4 Conclusies en aanbevelingen

4.1 Conclusies

Voor de chrysantenteelt is berekend dat met het toepassen van 22 opties ruim 50% kan worden bespaard op het elektriciteitsverbruik. De jaarproductie kan hierbij met 2% worden verhoogd door de positieve effecten die de opties hebben op de zomerproductie. Bij deze berekeningen is uitgegaan van de voorhanden kennis uit de praktijk en de literatuur. Deze kennis is echter niet compleet, waardoor vaak met schattingen is gewerkt. Ook is van deze opties is niet bepaald of zij economisch rendabel zijn.

Bij een elektriciteitsprijs van 0,06 €/kWh en een verkoopprijs van minder dan 0,34 €/tak is het rendabel om tijdens de uren met een minder hoog lichtrendement (bijvoorbeeld bij een globale straling van meer dan 150 W/m², tijdens het kleuren van de bloemen, of vlak na het planten) de belichting te beperken.

Tijdens de uren dat belichting een optimale fotosynthese geeft, is het met de economisch rendabeler om lichtverbeterende opties te gebruiken voor productieverhoging dan voor beperking de belichtingsuren.

Opties die per kWh elektriciteit meer productie genereren, zullen mogelijk leiden tot een lagere belichtingsintensiteit, en in ieder geval tot meer belichtingsuren.

4.2 Aanbevelingen

Om een afweging te maken van de meest rendabele opties, zullen de investeringskosten van de verschillende opties moeten worden vergeleken met de berekende besparingen uit dit rapport.

Om na te gaan of de uitgangspunten uit dit rapport overeenkomen met de huidige praktijk, wordt aanbevolen om proeven te doen met de meest impactrijke opties uit dit rapport. Te weten:

- Gewasstadium afhankelijk belichten.
- Afschakelen op buitenstraling van 250 -> 150 W/m².
- Diffuus glas.
- Lichtreflectie bodem vb styromull of biofoam.
- LED 50% hybride (eventueel 100% LED in combinatie met generatieve maatregelen).
- Verlengde opkweek.

Literatuur

Anonymous (2015):

De Belichtingsnavigator. Rapportage Fase 1, pp. 28, TTO, Inno-Agro, Bart van Meurs. pp. 28.

Esmeijer, M.H. (2005):

Effect van CO₂ op groei en bloei van chrysent, dendranthema grandiflorum: literatuurstudie. Praktijk Plant & Omgeving, Business Unit Glastuinbouw. Naaldwijk.

de Gelder, A. en Korsten, P. (2005):

Assimilatiebelichting in Chrysent: sturing per teeltfase. PPO;nr. 41504701. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Business Unit Glastuinbouw. Naaldwijk.

Hemming, S., Kempkes, F., Mahammadkhani, V., Stanghellini, C., Swinkels, G.J. en Holterman, H.J. (2006):

Antireflectie-coating voor tuinbouwglas: eerste praktijkervaringen. Report / Plant Research International;130. Wageningen UR, Glastuinbouw. Wageningen.

Kempkes, F., Swinkels, G.-J. en Hemming, S. (2015, In voorbereiding):

Verbetering lichtinval winterlicht, Wageningen UR Glastuinbouw.

Kjaer, K.H. en Ottosen, C.-O. (2011):

Growth of chrysanthemum in response to supplemental light provided by irregular light breaks during the night. Journal of the American Society for Horticultural Science 136, 1, p. 3-9.

Klein, M. en van Giessen, G. (2013):

Het effect van Biofoam en Styromull in Chrysent. DLV Plant. Hillegom.

Körner, O., Heuvelink, E. en Niu, Q. (2009):

Quantification of temperature, CO₂, and light effects on crop photosynthesis as a basis for model-based greenhouse climate control. Journal of Horticultural Science and Biotechnology 84, 2, p. 7.

Marcelis, L., Broekhuijsen, G., Meinen, E., Nijs, L. en Raaphorst, M. (2004):

Lichtregel in de tuinbouw: 1% licht = 1% productie? Nota / Plant Research International;305. Plant Research International. Wageningen.

Meinen, E., Kempkes, F., Raaphorst, M. en Dueck, T. (2015):

Energiezuinige belichting bij chrysent. Rapport GTB;1341. Wageningen UR Glastuinbouw. Bleiswijk.

Meinen, E., Marcelis, L., Steenhuizen, J. en Dueck, T. (2009):

Is een μmol een μmol ?: groei en ontwikkeling van chrysent geteeld onder SON-T belichting en onder LED verlichting. Rapport / Wageningen UR Glastuinbouw;315. Wageningen UR Glastuinbouw. Wageningen.

van der Ploeg, A., Kularathne, R.J., Carvalho, S.M. en Heuvelink, E. (2007):

Variation between cut chrysanthemum cultivars in response to suboptimal temperature. Journal of the American Society for Horticultural Science 132, 1, p. 52-59.

Raaphorst, M., Kempkes, F., Corsten, R., Roelofs, T. en de Veld, P. (2010):

Het Nieuwe Telen bij chrysent: verkenning van energiebesparingsopties voor de chrysententeelt. Wageningen UR Glastuinbouw. Bleiswijk.

Raaphorst, M., van Weel, P. en Roelofs, T. (2015):

Praktijkproef HNT Chrysent: inblazen van buitenlucht boven het chrysentengewas van Arcadia. Rapport GTB;1355. Wageningen UR Glastuinbouw. Bleiswijk.

de Ruijter, J.A.F. (2004):

Verkenning van het perspectief van LEDs voor gewasbelichting in de glastuinbouw. KEMA. Arnhem.

Stokman, H., van Willigenburg, P. en Backes, J. (2014):

DC en duurzaamheid gaan samen in glastuinbouw, Stichting Gelijkspanning.

Trouwborst, G., Hogewoning, S.W. en Pot, S.C. (2013):

Meer rendement uit licht en CO₂ bij snijchrysent. Plant-Dynamics. Wageningen.

de Veld, P., van Marwijk, D. en Smits-van Tuijl, D. (2014):

Hybride belichting Chrysent. DLV Plant. Wageningen.

Bijlage 1 Lichtbesparende opties per periode

Per periode uitgesplitste invloed van de lichtbesparende opties op de benutting van het zonlicht (Tabel 4) en het elektriciteitsverbruik (Tabel 5). Voorbeelden: AR coatings geven een 6% betere benutting van het zonlicht. In periode 1 betekent dat 1*6% meer productie. In periode 6 betekent dat 0.5*6% = 3% meer productie.

Tabel 4

Effect per optie en per periode op de benutting van het zonlicht.

Optie	Betere benutting zonlicht	Periode 1	Periode 2	Periode 3	Periode 4	Periode 5	Periode 6	Periode 7	Periode 8	Periode 9	Periode 10	Periode 11	Periode 12	Periode 13
AR coatings	6.0%	1	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1	1	1
Diffuus glas	3.0%	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hoogreflecterende constructie	3.0%	1	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1	1	1
Efficiëntere constructie belichting	0.3%	1	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1	1	1
Witte onderkant schermdoek														
Gelijkstroom i.p.v. wisselstroom.														
Lichtreflectie bodem vb styromull	4.0%	1										1	1	1
Verduistering open boven 25 i.p.v. 75 W/m ²	0.8%	1	0.9	0.8								0.8	0.9	1
Dun scherm pakket	1.0%	1	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1	1	1
LED 50% hybride	-1.0%	1	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1	1	1
Betere reflectoren														
Verlengde opkweek	2.0%	1	1	0.5							0.5	1	1	1
LD: sturen groter blad	0.3%	1	1	0.5	0.5					0.5	0.5	1	1	1
LD scherm open i.p.v belichting	50.0%					0.02	0.04	0.05	0.04	0.02				
Temperatuur sturen op lichtsom	0.3%	1	1	1	0.5							0.5	1	1
CO ₂ : zuiverheid kaslucht	1.0%	1	1											1

Tabel 5
Effect per optie en per periode op een lager gebruik van de elektriciteit.

Optie	Productie-effect beperkt licht	Periode 1	Periode 2	Periode 3	Periode 4	Periode 5	Periode 6	Periode 7	Periode 8	Periode 9	Periode 10	Periode 11	Periode 12	Periode 13
AR coatings														
Diffuus glas														
Hoogreflecterende constructie	0.3%	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
efficiëntere constructie belichting														
Witte onderkant schermdoek	2.0%	0.5	0.5	0.5	1	1	1	1	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5
Gelijkstroom i.p.v. wisselstroom.	2.0%	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Lichtreflectie bodem vb styromull	4.0%	1										1	1	1
Verduistering open boven 25 i.p.v. 75 W/m ²														
Dun schermpakket														
LED 50% hybride	17.0%	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Betere reflectoren	2.0%	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Verlengde opkweek	2.0%	1	1	0.5							0.5	1	1	1
LD: sturen groter blad	0.3%	1	1	0.5							0.5	1	1	1
LD scherm open i.p.v. belichting	100.0%				0.5	1	1	1	1	0.5				
Temperatuur sturen op lichtsom	0.3%	1	1	1	0.5							0.5	1	1
CO ₂ : zuiverheid kaslucht	1.0%	1	1											1
Belichting sturen op daglichtsom	70%			0.25							0.25			
Belichting op teeltlichtsom	80%	0.1	0.2	0.3										
Gewasstadium afhankelijk belichten	70%	0.1	0.1	0.1	0.1						0.1	0.1	0.1	0.1
Afshakelen op buitenstraling van 250 -> 150 W/m ²	80%	0.05	0.1	0.1								0.1	0.08	0.05
Donkertijden LD periode van 2 naar 6 uur	70%	0.04	0.04	0.04	0.04						0.04	0.04	0.04	0.04
2 dagen voor LD/KD overgang 3 uur minder licht	60%	0.004	0.004	0.004	0.004						0.004	0.004	0.004	0.004

Bijlage 2 Niet behandelde opties

Optie	Reden van niet behandelen
Zo groot mogelijk glas	Huidig glas kan volgens bouwnormen niet veel groter
AR coating met betere benutting bij lage zonstand	Wordt rekening mee gehouden bij optie AR coatings
Andere vorm kas (zaagtankas?)	Weinig verbetering verwacht
Foliekas -> plastic hogere lichtdoorlatendheid dan glas	Niet beter dan glas met AR coating
Glas met specifieke spectrale lichtdoorlatendheid	Spectrumfilter geeft lichtverlies
Plasmalampen (volle zon-spectrum)	LED-lampen lijken meer perspectief te bieden
Licht binnen houden	Wordt alleen mogelijk geacht voor witte onderkant schermdoek
Kleuren licht? Vb rood licht groter bladoppervlak?	Licht samenstelling in de meeste LED lampen is al overheersend rood
Schudden plant -> licht van verschillende kanten blad?	Beweging van planten geeft meestal geen groeistimulans
Planttemperatuurmeting -> stress-situaties in kaart brengen.	Moeilijk te kwantificeren
Groeikrachtige rassen	Autonome ontwikkeling. Veredeling op groeikracht gebeurt al jaren.
Onderhoudsademhaling: i.p.v. hoge temperatuur meer luchtbeweging, lagere RV?	Nog onvoldoende over bekend
Verschillende donkertijden bv N-D 12-12 i.p.v. 13-11	Geeft andere takopbouw, maar niet zozeer een hogere efficiëntie
In handelskanaal gaat veel gewaslengte verloren. Kortere gewassen telen -> minder assimilaten nodig.	Discussiepunt! Markt vraagt wel om voldoende lengte. In handelskanaal wordt soms afgeknipt
LED tussen het gewas (LED-gaas)?	Moeilijk realiseerbaar. Ook lijkt licht op oude bladeren minder efficiënt te zijn.
Drogestofpercentage: te hoog = te weinig versgewicht. Hoe sturen?	Onvoldoende bekend over drogestofpercentage en kwaliteit.

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



Wageningen UR Glastuinbouw
Postbus 20
2665 ZG Bleiswijk
Violierenweg 1
2665 MV Bleiswijk
T +31 (0)317 48 56 06
F +31 (0) 10 522 51 93
www.wageningenur.nl/glastuinbouw

Glastuinbouw Rapport GTB-1370

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

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