

Lichtregel in de tuinbouw

1% licht = 1% productie?

L. Marcelis, G. Broekhuijsen, E. Meinen, L. Nijs & M. Raaphorst





Lichtregel in de tuinbouw

1% licht = 1% productie?

L. Marcelis¹, G. Broekhuijsen¹, E. Meinen¹, L. Nijs² & M. Raaphorst²

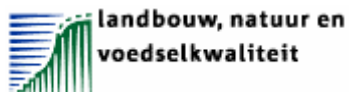
¹ Plant Research International

² PPO Glastuinbouw

Onderzoek in het kader van het
Convenant Glastuinbouw en Milieu



Gefinancierd door:



Plant Research International B.V.

Adres : Droevendaalsesteeg 1, Wageningen
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen
Tel. : 0317 - 47 70 00
Fax : 0317 - 41 80 94
E-mail : post.plant@wur.nl
Internet : <http://www.plant.wur.nl>

Inhoudsopgave

	pagina
Voorwoord	1
Samenvatting	3
1. Inleiding	5
1.1 Invloed van licht op een gewas	6
1.1.1 Invloed van licht op groei	6
1.1.2 Invloed van licht op kwaliteit	8
1.2 Lichtregel: 1% licht is 1% opbrengst	9
1.3 Doel en aanpak van het onderzoek	10
2. Literatuurstudie lichtregel: 1% licht is 1% productie?	13
2.1 Aanpak literatuuronderzoek	13
2.2 Grondgebonden groenten	14
2.2.1 Sla	14
2.2.2 Radijs	17
2.2.3 Conclusie grondgebonden groenten	19
2.3 Vruchtgroenten	20
2.3.1 Komkommer	20
2.3.2 Tomaat	22
2.3.3 Paprika	23
2.3.4 Conclusie vruchtgroenten	24
2.4 Snijbloemen	25
2.4.1 Roos	25
2.4.2 Chrysant	27
2.4.3 Conclusies snijbloemen	30
2.5 Bolbloemen	30
2.5.1 Freesia	30
2.5.2 Lelie	31
2.5.3 Conclusie bolbloemen	32
2.6 Bloeiende potplanten	32
2.6.1 Poinsettia (kerstster)	33
2.6.2 Saintpaulia (kaaps viooltje)	33
2.6.3 Kalanchoë	33
2.6.4 Conclusie bloeiende potplanten	34
2.7 Niet-bloeiende potplanten	34
2.7.1 Ficus benjamina	34
2.7.2 Dracaena	35
2.7.3 Conclusie niet-bloeiende potplanten	35
2.8 Conclusies	36

	pagina
3. Analyse van praktijkgegevens	39
3.1 Komkommer	39
3.2 Roos	43
3.3 Poinsettia	53
3.4 Conclusies	59
4. Interviews met tuinders	61
4.1 Sla	61
4.2 Komkommer	62
4.3 Roos	65
4.4 Freesia	67
4.5 Poinsettia	69
4.6 Ficus benamina	71
4.7 Conclusies	72
5. Conclusies	73
6. Literatuur	77
Bijlage I. Vragenlijst ten behoeve van interviews	2 pp.

Voorwoord

In het kader van het convenant Glastuinbouw en Milieu (GLAMI) hebben de overheid (ministeries van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en Economische Zaken) en de glastuinbouwsector (LTO Nederland) afspraken gemaakt over de maatschappelijke randvoorwaarden, met als horizon 2010. Als energiedoelen zijn afgesproken dat het energiegebruik per eenheid product met 65% gereduceerd moet worden ten opzichte van 1980 en dat het aandeel duurzame energie tot 4% toegenomen moet zijn.

Om deze doelen te bereiken moeten energiebesparende maatregelen in de glastuinbouw worden toegepast. Een aantal van deze maatregelen kan leiden tot enig lichtverlies in de kas. Voordat een tuinder investeert in een energiebesparende maatregel zal hij afwegen of de energiebesparing opweegt tegen een eventueel productieverlies. Energiebesparende maatregelen die tot enig lichtverlies in de kas leiden, worden nogal eens verworpen omdat hiervan teveel negatieve effecten op productie verwacht worden. Echter de vaak gebruikte oude aanname hierbij dat 1% minder licht tot 1% productieverlies leidt, is discutabel, terwijl het wel grote invloed heeft op de beslissingen over investeringen in energiebesparende maatregelen.

Tegen deze achtergrond is in opdracht van het ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Voedselkwaliteit en het Productschap Tuinbouw (PT projectnummer 11292) gezamenlijk door Plant Research International (PRI) en Praktijkonderzoek Plant en Omgeving (PPO) een studie verricht naar de relatie tussen productie en licht. Hiertoe is een literatuuronderzoek verricht (door Esther Meinen, PRI), zijn praktijkdata van komkommer (door Guus Broekhuijsen, PRI), roos en Poinsettia (door Marcel Raaaphorst, PPO) geanalyseerd, zijn tuinders geïnterviewd (door Marcel Raaphorst en Liesbeth Nijs, PPO) en zijn een beperkt aantal berekeningen met een gewasmodel uitgevoerd (door Anne Elings, PRI). Projectleider van het project was Leo Marcelis (PRI).

Samenvatting

Al jaren wordt in de tuinbouw de lichtregel '1% licht is 1% opbrengst' gehanteerd. Op basis van een analyse van sectorgegevens van 1991 tot 1999 verkregen Van de Braak *et al.* (2002) aanwijzingen dat 1% licht waarschijnlijk minder dan 1% opbrengst is. Zij concludeerden dat deze lichtregel een nadere analyse behoeft. Doel van het in dit rapport beschreven onderzoek is dan ook het vaststellen van de lichtregel voor de belangrijkste tuinbouwgewasgroepen: grondgebonden groenten (sla, radijs), vruchtgroenten (komkommer, tomaat, paprika), snijbloemen (roos, chrysant), bolbloemen (freesia, lelie), bloeiende potplanten (poinsettia, saintpaulia, kalanchoë), niet-bloeiende potplanten (ficus, dracaena). Om de lichtregel vast te stellen is een literatuurstudie uitgevoerd, zijn praktijkgegevens geanalyseerd en is een aantal tuinders geïnterviewd. Voor de literatuurstudie zijn data uit de wetenschappelijke en vakliteratuur vanaf 1980 verzameld. Ook een aantal (nog) niet gepubliceerde data is in deze studie gebruikt. Voor de gewassen komkommer, roos en poinsettia zijn praktijkgegevens van productie en klimaat geanalyseerd. Tenslotte zijn een aantal diepte-interviews met tuinders gevoerd om te kunnen analyseren hoe een ondernemer zijn gedrag aanpast aan veranderingen in de hoeveelheid licht.

De lichtregel 1% licht is 1% opbrengst blijkt voor veel gewassen een overschatting te geven van het lichteffect op productie. Voor de meeste gewassen leidt 1% afname van het lichtniveau tot een afname van de productie (oogstbare biomassa) met 0.5 tot 1%. In Tabel 1 staan per gewasgroep de schattingen voor de gemiddelde afname van productie bij 1% lichtafname, welke als vuistgetallen gehanteerd zouden kunnen worden. Bij deze vuistgetallen zijn overigens wel enkele kanttekeningen te plaatsen. Het zijn schattingen van gemiddelden die in specifieke situaties niet op hoeven te gaan. Het effect van licht op productie wordt namelijk door verschillende factoren beïnvloed. Zo neemt het relatieve effect van licht veelal toe bij lagere lichtniveaus, hogere CO₂-concentraties en hogere temperatuur. In de winter is het relatieve effect van licht groter dan in de zomer. Naast de mate waarin het lichtniveau verandert, is ook de duur en het moment van lichtverandering van invloed op het effect op productie. De vuistgetallen in Tabel 1 hebben betrekking op effecten van licht op de productie. Naast effecten op productie, leidt een afname in licht in veel gevallen tot een mindere productkwaliteit.

Als de lichtregels zoals die in Tabel 5.1 staan, gehanteerd worden in plaats van de regel '1% licht is 1% productie' kan dat de nodige consequenties hebben bij beslissingen over investeringen in energiebesparende maatregelen, zoals kasdek en scherm.

Licht moet niet als losstaande factor beschouwd worden. Het vormt een onderdeel, weliswaar een belangrijke, van de totale bedrijfsvoering. Uit de interviews bleek dat veel tuinders hun teelt aanpassen aan de hoeveelheid licht die er is. Zo zullen veel tuinders de plantdichtheid verlagen, raskeuze aanpassen en bij lagere temperaturen telen als lichtniveaus afnemen. Een combinatie van diverse maatregelen levert voor een tuinder het meest op.

Tabel 1. Afname van de productie (oogstbare biomassa) bij 1% lichtafname voor verschillende gewassen op basis van literatuurstudie, praktijkgegevens en tuinderinterviews.

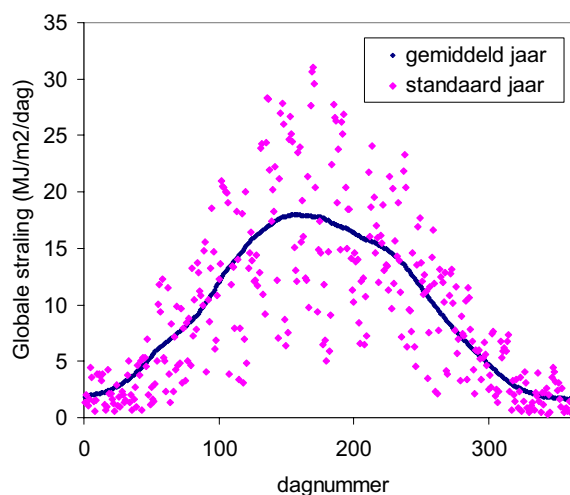
Gewasgroep	Gewas	Afname productie bij 1% lichtafname	Opmerkingen
Grondgebonden groenten	Sla	0.8%	Effecten van lichtafname gelijk voor vers- en drooggewicht.
	Radijs	1%	Licht beïnvloedt de spruit/knol verhouding. Effecten van lichtafname op de knol zijn groter dan op de spruit en kunnen bij lage lichtniveaus groter worden dan 1%.
Vruchtgroenten	Komkommer	0.7 – 1%	Droge-stofpercentage van de vrucht wordt verlaagd bij lichtafname; effecten van lichtafname op versgewicht zijn dan kleiner dan op het drooggewicht van vruchten.
	Tomaat	0.7 – 1%	Lichtafname heeft een groter effect op het versgewicht van de vruchten dan op het drooggewicht van de plant.
	Paprika	0.8 – 1%	
Snijbloemen	Roos	0.8 – 1%	Licht beïnvloedt zowel het aantal stelen als het takgewicht (één onderzoek uitgezonderd). Effecten van 1% lichtafname zijn in de winter groter en in de zomer beduidend kleiner.
	Chrysant	0.6%	
Bolbloemen	Freesia	0.25-1.25%	Gegevens waren te beperkt voor een algemene lichtregel.
	Lelie	0.25-1.25%	Gegevens waren te beperkt voor een algemene lichtregel.
Bloeiende potplanten	Poinsettia, Saintpaulia, Kalanchoë	0.5-0.7 (Poinsettia)	Met uitzondering van Poinsettia is voor deze gewasgroep de lichtregel niet goed op te stellen door gebrek aan literatuur. Daarnaast beïnvloedt licht de kwaliteit. Kwaliteit is minstens zo belangrijk als biomassa productie, maar is niet uit te drukken in een algemene lichtregel.
Niet-bloeiende potplanten	Ficus benjamina, Dracaena	0.65%	Effecten van lichtafname zijn gelijk voor vers- en drooggewicht. In winter is bij Ficus voldoende licht essentieel om bladval te voorkomen.

1. Inleiding

Licht is de belangrijkste groeifactor voor een plant. De hoeveelheid globale straling van de zon varieert in Nederland van dag tot dag en van seizoen tot seizoen. De gemiddelde straling in de zomer is circa een factor 10 groter dan die in de winter (Figuur 1.1). Welke fractie van de globale straling buiten daadwerkelijk bij de plant in de kas komt hangt af van de lichtdoorlatendheid van het kasdek, constructiedelen, schermen en eventuele andere schaduwgevendende applicaties (zoals lamparmaturen).

Veel energiebesparende maatregelen beïnvloeden de hoeveelheid licht in de kas. Hierbij kan onderscheid gemaakt worden in maatregelen die het lichtniveau continu beïnvloeden zoals een ander kasdek, of maatregelen die gedurende korte perioden het lichtniveau kunnen verlagen, zoals schermen. De mate waarin energiebesparende maatregelen de hoeveelheid licht in de kas beïnvloeden en daarmee de productie, heeft grote consequenties voor de haalbaarheid van de maatregelen. Immers voordat een tuinder een maatregel gaat toepassen zal hij een afweging maken van kosten en baten. Effecten op productie kunnen van doorslaggevende invloed zijn op deze afweging. Voor een goede beoordeling van energiebesparende maatregelen is het dan ook van groot belang om de effecten van lichtverlies (of lichtwinst) op productie te kennen.

Circa 20-25 jaar geleden is de vuistregel geponneerd dat 1% extra licht 1% extra productie betekent. Omdat er aanwijzingen kwamen dat vooral in de sierteelt de 1% regel de effecten van licht overschat, wordt de laatste jaren voor sierteeltgewassen vaak 0.5% productie per % licht aangenomen. Vanuit fysiologie en teeltkunde weten we dat dit percentage door allerlei factoren sterk wordt beïnvloed (gemiddeld lichtniveau, CO_2 -concentratie, bladdichtheid c.q. plantdichtheid, temperatuur, teeltwijze, etc). Bovendien is er een verschil tussen effecten op droge-stofproductie en productie van oogstbaar product (aantal en versgewicht van vruchten of bloemstelen). Voor de tuinder gaat het uiteraard om het oogstbare product. Het zal duidelijk zijn dat gezien de vele interacties het zeer wel mogelijk is dat de lichtregel voor de glastuinbouw anno 2002 niet meer dezelfde is als die van 20-25 jaar geleden en dat er niet één dezelfde lichtregel is voor alle gewassen. Dat de lichtregel aanpassing behoeft, is inderdaad aangetoond door onderzoek van Van de Braak *et al.* (2002). In dat onderzoek werd ook geconcludeerd dat een nadere studie nodig is om een betrouwbare lichtregel op te stellen en dat met name ook aandacht nodig is voor verschil in effecten op droge-stofproductie en oogst van de verse producten.



Figuur 1.1. Globale straling buiten ($\text{MJ/m}^2/\text{dag}$) van een standaard jaar (SELjaar; een jaar met een representatieve variatie) en van het gemiddeld jaar (langjarig gemiddelde).

1.1 Invloed van licht op een gewas

De groei van een gewas in de tijd verloopt over het algemeen volgens een sigmodiaal patroon. Bij een jong gewas is de groei exponentieel en wordt slechts een beperkt deel van de inkomende straling door het gewas onderschept. De belangrijkste limiterende factor voor groei is dan de lichtonderschepping. Bij een LAI (leaf area index; m² blad per m² vloeroppervlak) van 3 wordt circa 90% van het licht dat in de kas valt onderschept. Het bladerdek van het gewas is dan gesloten en de groei is in deze fase lineair, dat wil zeggen dat de groeisnelheid constant is als de groeiomstandigheden niet wijzigen. In deze fase vindt veelal de productie plaats van het oogstbare product. Later in de teelt kan de groeicurve afvlakken. Licht heeft invloed op de kwantiteit (groei) en op de kwaliteit van het product.

1.1.1 Invloed van licht op groei

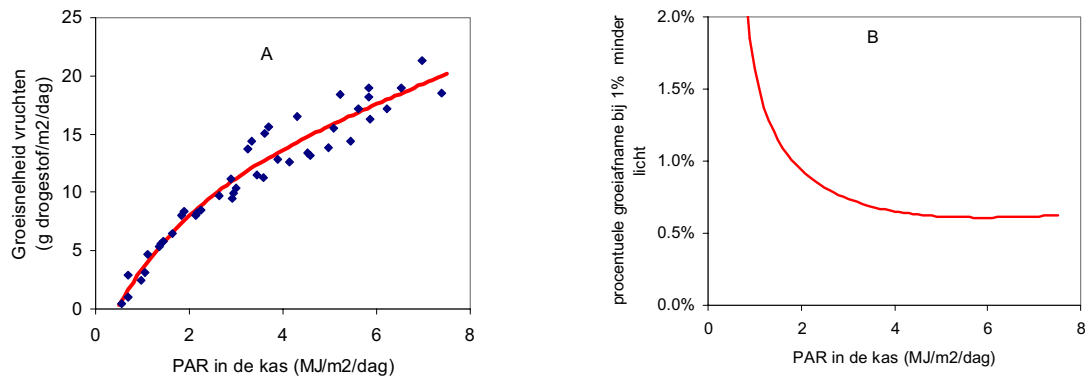
Over het algemeen neemt bij een toename van straling de (relatieve) groeisnelheid toe. De relatieve groeisnelheid (d.w.z. groeisnelheid per eenheid plantgewicht) wordt bepaald door de netto assimilatiesnelheid per eenheid bladoppervlak (NAR) en door de leaf area ratio (LAR; bladoppervlak per eenheid plantgewicht). Over het algemeen neemt bij meer straling de LAR af, doordat de plant bij meer straling relatief minder in strekking van het bladoppervlak investeert. Maar de afname van de LAR wordt in ruime mate gecompenseerd door een toename van de NAR, waardoor de relatieve groeisnelheid toeneemt (Bruggink & Heuvelink, 1987).

Effecten van licht op bladfotosynthese hangen af van andere klimaatfactoren. Zo nemen de effecten van licht toe als de CO₂-concentratie hoog is. Ook is er enige interactie met temperatuur; bij lage temperatuur heeft licht minder effect op fotosynthese. Dieleman *et al.* (2002) hebben dit gemeten bij paprika; deze relaties zijn vrij algemeen en gaan op voor meerdere gewassen (Salisbury & Ross, 1991).

Andere factoren die invloed hebben op het effect van licht op de fotosynthese zijn bladleeftijd, cultivar en de waterstatus van de plant. Daarnaast is bij hoge lichtintensiteiten de fractie diffuus licht meestal kleiner. Bij relatief weinig diffuus licht is de lichtbenuttingsefficiëntie lager dan bij relatief weinig direct licht.

Effecten van licht op korte termijn worden primair veroorzaakt door effecten op bladfotosynthese. Op lange termijn spelen ook andere factoren een rol door effecten van licht op bladoppervlakte (Marcelis, 1992; Heuvelink & Marcelis, 1999; Pinheiro & Marcelis, 2000), verdeling van drogestof (Marcelis, 1993), invloed op vruchtzetting (Buitelaar, 1984; Marcelis *et al.*, 2004) en knopuitloop (Zieslin & Mor, 1990).

Effecten van lichtafname op groei en productie kunnen voorspeld worden met behulp van een gewasgroeimodel. De vruchtgroei van tomaat (drooggewicht) is doorgerekend met het groeimodel INTKAM van Plant Research International voor een standaardjaar. Er werd uitgegaan van een gewas dat op 11 december geplant werd en waarbij de teelt duurde tot 20 november. De gemiddelde weekproductie is uitgerekend en vervolgens uitgezet tegen de gemiddelde hoeveelheid fotosynthetisch actieve straling (PAR; straling met een golflengte tussen 400 en 700 nm) in de kas (Figuur 1.2A). Dit geeft een niet-lineair verband, waarbij de helling van de curve afneemt bij toename van straling. Het effect van 1% lichtafname is uitgerekend bij verschillende stralingsniveaus en weergegeven in Figuur 1.2B. Effecten van lichtafname op drooggewicht van de vruchten zijn groter bij lage lichtniveaus (groter dan 1%) dan bij hoge lichtniveaus. In de zomer is in Nederland het PAR stralingsniveau in de kas rond de 5 MJ/m²/dag en zou op basis van deze modelstudie de afname van het drooggewicht van de vruchten bij 1% lichtafname 0.6% bedragen. Bij lage lichtniveaus van rond 1 MJ/m²/dag (winter) is de afname van het drooggewicht van de vruchten 1.6% bij 1% lichtafname. In Figuur 1.2B is de relatieve productieafname bij hogere lichtniveaus vrij constant. Opgemerkt wordt echter dat als in Figuur 1.2A een 3^e-graads polynoom zou zijn gefit, waarvan de fit bijna even goed was, dan zou de curve in Figuur 1.2B ook bij hogere lichtniveaus blijven dalen.



Figuur 1.2. Relatie tussen door model berekende vruchtgroeisnelheid (drogestof) en stralingsniveau bij tomaat (A) en de afname van de vruchtgroeisnelheid (drogestof) bij 1% lichtafname uitgerekend bij verschillende stralingsniveaus in de kas (modelstudie). De lijn in Figuur 1.2B is afgeleid van de gefitte lijn in Figuur 1.2A ($Y = A + E \cdot (R^) + B \cdot X$). Data zijn gebaseerd op gesimuleerde data van wekelijkse productiecijfers uitgezet tegen de wekelijkse stralingscijfers van een standaardjaar.*

In de modelstudie is het licht in de kas gevarieerd gedurende een heel groeiseizoen (50, 70, 90, 100, 110 en 130% straling) en is de vruchtgroei (drooggewicht) berekend. Als de productie wordt uitgezet tegen de cumulatieve straling in de kas gedurende een groeiseizoen geeft dit een lineair verband bij alle stralingsniveaus. De helling van de lijnen is verschillend en geeft de efficiëntie aan waarmee het licht gebruikt wordt om drogestof te produceren (lichtbenuttingsefficiëntie). De afname van de productie van vruchten kan berekend worden bij lichtafname op basis van deze lichtbenuttingsefficiëntie (Tabel 1.1).

Tabel 1.1. Afname van drooggewicht van vruchten (g/m2/jaar) van tomaat bij 1% lichtafname, berekend op basis van lichtbenuttingsefficiëntie (modelstudie). Data hebben betrekking op jaarproducties waarbij gedurende de gehele teelt de straling 50, 70, 90, 100, 110 of 130% bedroeg van de straling van een standaardjaar. Voor overige klimaatcondities werd steeds van dezelfde standaardwaarden uitgegaan.

Straling in de kas (%)	Afname drooggewicht vruchten/afname licht (%/%)
130 → 100	0.59
110 → 100	0.63
100 → 90	0.68
100 → 70	0.77
100 → 50	0.85

De afname van het drooggewicht van de vruchten is afhankelijk van de verandering van het stralingsniveau en varieert tussen 0.56% en 0.85% bij 1% lichtafname bij respectievelijk een lichtverandering van 150% naar 100% en bij een verandering van 100 naar 50% straling. Effecten zijn groter bij lagere lichtniveaus.

Met de modelstudie is tevens de invloed van het seizoen op effecten van lichtafname (van 100% naar 90%) op productie berekend (Tabel 1.2). Dit is uitgerekend voor de droge-stofproductie van de totale plant en niet voor de vruchtgroei. Vruchtgroei vindt pas vijf weken na planten plaats. Er is dan minder goed een uitspraak te doen over effecten van lichtafname op de vruchtgroei gedurende de eerste maanden na planten. Afname van licht in deze periode beïnvloedt de plantgroei en heeft ook later in het seizoen effecten op vruchtgroei. Om toch een uitspraak te

kunnen doen over effecten van licht op productie gedurende verschillende seizoenen is er gerekend met totale plantgroei. De cumulatieve plantgroei is uitgezet tegen de cumulatieve hoeveelheid straling (PAR) in de kas en de helling van de lijn (LBE, LichtBenuttingsEfficiëntie) is berekend. Effecten van lichtafname op plantgroei zijn verschillend gedurende verschillende seizoenen (Tabel 1.2). Bij hoge stralingsniveaus in de kas is het effect van lichtafname kleiner dan bij lage stralingsniveaus. Dit komt overeen met de hiervoor beschreven relatie tussen productieafname en lichtafname bij verschillende stralingsniveaus (Figuur 1.2). In de periode na planten (december – februari) is het gemiddelde stralingsniveau in de kas laag (0.8 MJ PAR/m²/dag), maar is de afname van het totale plantgewicht minder dan verwacht op basis van Figuur 1.2. In een groot deel van deze periode is het bladerdek van het gewas niet gesloten en is de lichtonderschepping nog niet maximaal. Dit leidt dus tot een kleiner effect op productie dan verwacht werd op basis van absolute straling.

Tabel 1.2. Afname van drooggewicht van tomaat (totale plant) bij lichtafname berekend op basis van lichtbenuttingsefficiëntie in verschillende periodes van het jaar (modelstudie). Het betreft een gewas dat op 11 december is geplant.

Periode	PAR gemiddeld in de kas (MJ/m ² /dag)	Afname drooggewicht plant/afname licht (%/%)
11 dec t/m feb	0.8	0.80
Mrt t/m mei	3.9	0.71
Juni t/m aug	5.2	0.63
Sept t/m 20 nov	2.2	0.83
Hele groeiseizoen	3.1	0.68

Uit deze modelstudie voor een tomatenteelt die in december geplant is, blijkt dat in de winter 1% lichtafname leidt tot 0.8% productieafname; in de zomer leidt 1% lichtafname tot 0.6% productieafname.

1.1.2 Invloed van licht op kwaliteit

Licht kan invloed hebben op verschillende kwaliteitskenmerken. Bij hoog licht worden meer suikers aangemaakt en relatief minder zuren, waardoor de kwaliteit van vruchtgroenten positief beïnvloed wordt (Janse, 1984). Ook voor snijbloemen geldt over het algemeen dat meer licht de kwaliteit verhoogt. De grootte, het gewicht en de kleur van de bloemen wordt positief beïnvloed en bloemabortie wordt verminderd.

Lichtintensiteit, lichtperiode en het spectrum hebben invloed op plantmorfogenese. Vooral bij potplanten is de morfologie een belangrijk kwaliteitskenmerk. Hoge lichtintensiteiten leiden over het algemeen tot afname van de LAR (bladoppervlakte per eenheid plantgewicht) en afname van de SLA (Specific Leaf Area: bladoppervlakte per eenheid bladgewicht). Ondanks deze afname kan de absolute bladoppervlakte toenemen bij toename van licht; dit is gemeten bij komkommer (Marcelis, 1992), paprika (Heuvelink & Marcelis, 1996) en radijs (Marcelis *et al.*, 1997). Hoge lichtintensiteiten leiden daarnaast tot meer vertakkingen en een meer gedrongen groei (Vonk, Noordegraaf & Welles, 1995). Een plant doorloopt verschillende stadia volgens een bepaald patroon. In sommige gevallen kan licht het ontwikkelingspatroon beïnvloeden. Bijvoorbeeld, bij daglengte gevoelige planten beïnvloedt de lengte van de donkerperiode de bloei inductie. Bloei inductie kan dus gestuurd worden door het gebruik van verduisteringsschermen of het gebruik van additionele belichting.

Het spectrum van het licht heeft ook invloed op de ontwikkeling van planten. De hoeveelheid blauw licht en de verhouding tussen de hoeveelheid rood en verrood licht beïnvloeden de ontwikkeling en de kleur van de planten. Bij een hoge verhouding rood/verrood in het licht wordt de vertakking van de plant gestimuleerd. Weinig blauw licht en een lage rood/verrood verhouding in het licht stimuleren stengelstrekking (Maas *et al.*, 2001). De spectrale samen-

stelling van het zonlicht wordt enigszins beïnvloed door zonnestand of door bewolking (Hemming *et al.*, 2003). Tijdens de ochtend- en avondschemering (invalshoek kleiner dan 10°) zijn er kleine verschuivingen in het spectrum (Hughes *et al.*, 1984). Bij toepassing van assimilatiebelichting kan het spectrum van de lampen wel degelijk invloed hebben op de plantgroei.

1.2 Lichtregel: 1% licht is 1% opbrengst

Al jaren wordt in de tuinbouw de vuistregel 1% licht is 1% opbrengst gehanteerd. Dit verband wordt veelal gevonden als de geaccumuleerde groei of opbrengst wordt uitgezet tegen de geaccumuleerde straling of geaccumuleerde onderschepte straling. Als dit namelijk een rechte lijn door de oorsprong oplevert, dan duidt het er op dat 1% licht 1% meer productie oplevert, ongeacht de hellingshoek van de lijn. Als echter de lijn niet door de oorsprong gaat dan is er een afwijking van de 1% lichtregel. Als de lijn de x-as snijdt, dan is de opbrengstdaling groter dan de lichtreductie. Als de rechte lijn echter de y-as snijdt dan is de opbrengstdaling kleiner dan de lichtdaling. De ratio is dan afhankelijk van het stralingsniveau waarbij de opbrengstdaling berekend wordt (Cockshull, 1988). Theoretisch moet de lijn door de oorsprong lopen simpelweg omdat er nog geen productie kan zijn als er geen straling is. Als er echter naar de productie van vruchten gekeken wordt kan deze lijn nooit door de oorsprong gaan, omdat vruchtzetting niet direct plaatsvindt bij het planten van een jong gewas.

Bij deze methode om de relatie tussen licht en productie te kwantificeren moeten een aantal kanttekeningen geplaatst worden. Er worden bij deze methode geen verschillende lichtniveaus vergeleken. Aangenomen wordt dat er gedurende de teelt variaties waren in straling. Als dat niet het geval was is het lastig een uitspraak te doen over effecten van licht. Een ander nadeel van deze methode is dat gerekend wordt met cumulatieve straling. Dat betekent dat kleine effecten niet gauw zichtbaar zijn en er al snel een rechte door gefit kan worden. Ook Demetriades-Shah (1992, 1994) noemen deze filtering van cumulatieven een groot nadeel. Deze ongevoeligheid is het duidelijkst te zien als de productie wordt uitgezet tegen de cumulatieve geabsorbeerde straling bij verschillende lichtniveaus. Dit levert veelal twee rechte lijnen op door de oorsprong met een verschillende helling. De helling van de curve is de lichtbenuttingsefficiëntie (LBE) en geeft aan hoeveel drogestof er geproduceerd kan worden bij een bepaalde hoeveelheid onderschepte straling.

Het feit dat beide lijnen recht zijn en door de oorsprong gaan betekent dat bij beide teelten geldt 1% licht is 1% productie. Het feit dat de LBE verschillend is bij beide lichtniveaus geeft aan dat 1% licht niet leidt tot 1% productie. Rekenen met de LBE is gevoeliger dan alleen de productie uit te zetten tegen de cumulatieve straling.

In de literatuur wordt deze LBE veel gebruikt, maar er zijn ook kanttekeningen bij geplaatst. Demetriades-Shah *et al.* (1992) maant tot voorzichtigheid als groei wordt uitgedrukt in termen van geabsorbeerde straling. Fotosynthese is afhankelijk van vele factoren en licht is er één van. Er zal al snel een goede relatie gevonden worden tussen cumulatieve straling en groei, zelfs als andere factoren beperkend zijn. En ook als er helemaal geen causaal verband is kan er een goede relatie zijn tussen groei en cumulatieve onderschepte straling. Als voorbeeld noemen ze een perfect verband tussen de groei van kippen en de onderschepte straling. Maar het heeft ook te maken met de rekenkundige benadering: cumulatieven filteren kleine afwijkingen en laten al gauw een rechtlijnig verband zien. Zelfs rondom gegenereerde getallen voor lichtonderschepping laten (cumulatief) een goede correlatie zien met groei, terwijl er bij de absolute waarden geen verband was met groei. Deze correlatie kan verklaard worden door het feit dat zowel cumulatieve straling als cumulatieve groei correleren met het aantal dagen.

De vuistregel 1% licht is 1% productie werd in 1984 al door Challa (Challa, 1984) genuanceerd. Hij bediscussieerde op theoretische gronden de relatie tussen groei en licht. Deze relatie is afhankelijk van het stadium van het gewas, het gemiddelde lichtniveau en van de hoeveelheid gewas (blad) per vierkante meter. Challa geeft aan dat de vuistregel van 1% minder licht, 1% minder opbrengst redelijk opgaat voor een gesloten gewas. Alleen bij zeer lage lichtniveaus zal het productieverlies groter zijn dan 1%. Dit komt overeen met de resultaten van de modelstudie (Figuur 1.2).

Het is niet geheel duidelijk of effecten van licht bij een jong (klein) gewas groter of kleiner zijn dan bij een oud (groot) gewas. Er zijn verschillende factoren te benoemen waardoor effecten bij een volgroeid gewas groter zijn dan bij een

jong gewas, maar er zijn ook enkele factoren te benoemen die het tegenovergestelde doen vermoeden. In een jong gewas kan lichtvermindering deels gecompenseerd worden door het maken van dunnere bladeren. Bij een gesloten gewas speelt de invloed van bladoppervlak nauwelijks meer een rol, omdat het meeste licht al opgevangen wordt. De onderhoudsademhaling kost bij een groter gewas relatief meer energie dan bij een jong gewas per m²; dit betekent dat een relatief kleiner deel van de gevormde assimilaten overblijft voor groei. Als het licht afneemt, en het onderhoud is onveranderd, dan heeft deze lichtvermindering dus relatief meer effect op groei (netto assimilatenproductie) van een groot gewas dan van een jong gewas (Challa, 1984).

Een ander aspect is dat lichtverzadiging eerder op zal treden bij afzonderlijke bladeren dan bij een gewas. Een jong gewas heeft relatief meer bladeren die een hoge lichtintensiteit ontvangen en daardoor lichtverzadigd zullen zijn. In een volgroeid gewas treedt door verstrooiing van licht nauwelijks lichtverzadiging op (Acock *et al.*, 1978). In dit geval heeft licht dus meer invloed in een groter gewas dan bij een jong gewas (Salisbury & Ross, 1991). Simulatie van de fotosynthese door kasgewassen bij verschillende LAI's toont dit ook aan. Verhoging van het licht bij een gewas met LAI van 3 verhoogt de bruto fotosynthese in grotere mate dan in een gewas met een LAI van 1 (Gijzen, 1995; Marcelis, 1987).

Er kan ook beargumenteerd worden dat effecten bij jonge planten juist groter zijn dan in een gesloten gewas. Als een jonge plant meer licht krijgt kan dit geïnvesteerd worden in meer bladvorming, waardoor er vervolgens weer meer licht onderschept kan worden. Komkommerplanten, paprika en radijs bijvoorbeeld maken meer en grotere bladeren als het lichtniveau toeneemt (Marcelis, 1992; Heuvelink & Marcelis, 1996; Marcelis *et al.*, 1997). Het gewas zal sneller gesloten zijn en daardoor meer licht onderscheppen. In een gesloten gewas speelt dit geen rol omdat al nagenoeg al het licht onderschept wordt.

Er wordt geadviseerd om, als effecten van licht op groei bestudeerd worden, onderscheid te maken tussen twee gewasstadia; periode van exponentiele groei en een gewas met een gesloten bladerdek (Challa & Schapendonk, 1984). Voor de praktijk is voor de meeste gewassen de periode dat het gewas gesloten en productief is, veel belangrijker dan de relatief korte periode van exponentiele groei (dit is veelal de opkweekperiode). Om deze reden wordt in deze studie alleen literatuur gebruikt waar gemeten werd in een gewas en niet aan jonge planten.

Van de Braak *et al.* (2002) concluderen dat toepassing van de 1% vuistregel veel meer genuanceerd zou moeten worden. Zij vonden dat een verandering van 1% in de jaarlichtsom in de kas kan leiden tot een productieverandering van 0.31% en 0.39% voor respectievelijk tomaat en roos. Data zijn gebaseerd op sectorgegevens van 1991 tot en met 1999. De auteurs concludeerden dat geen harde conclusies uit de data getrokken konden worden en dat meer kennis nodig is over de relatie tussen licht en productie. Dit vormde de aanleiding voor dit literatuuronderzoek.

1.3 Doel en aanpak van het onderzoek

Doel van het onderzoek is het vaststellen van de lichtregel voor de belangrijkste tuinbouwgewasgroepen. De volgende gewasgroepen worden bestudeerd: grondgebonden groenten (sla, radijs), vruchtgroenten (komkommer, tomaat, paprika), snijbloemen (roos, chrysant), bolbloemen (freesia, lelie), bloeiende potplanten (poinsettia, saintpaulia, kalanchoë) en niet-bloeiende potplanten (ficus, dracaena). Er wordt nagegaan welke factoren tot een afnemende meerproductie bij meer licht leiden en er zal nagegaan worden in hoeverre onderscheid in lichtregel nodig is tussen zomer en winterperiode. De lichtregel is opgesteld op basis van literatuur, praktijkdata en interviews met tuinders. Met deze lichtregel kunnen tuinders voorgenomen investeringen in energiebesparende maatregelen beter beoordelen.

Grofweg kan onderscheid gemaakt worden in twee factoren die de relatie tussen productie en licht op praktijk-bedrijven beïnvloeden: 1) de directe plantkundige relatie tussen licht en groei en 2) de ondernemer die aanpassingen in klimaatregeling of teelthandelingen uitvoert als de hoeveelheid licht in de kas verandert. Om beide factoren mee te kunnen nemen wordt in dit rapport een analyse gemaakt van experimenten uitgevoerd op onderzoeksinstellingen en van data uit de praktijk.

In dit rapport wordt de directe relatie tussen productie en licht afgeleid uit experimenteel onderzoek dat in de literatuur beschreven is. In het ideale geval wordt productie uiteengehaald in droge-stofproductie van de gehele plant,

drooggewicht oogstbare delen (droge-stofverdeling) en versgewicht (droge-stofgehalte) en aantal oogstbare plantendelen. Het oogstbare product kan de hele plant zijn (potplanten), de bovengrondse plant (sla), maar ook opslagorganen (radijs), vruchten (komkommer, tomaat, paprika), of de bloemen met steel en blad (roos, chrysant).

Voor enkele gewassen (komkommer, roos en Poinsettia) beschikken Plant Research International en PPO over data geregistreerd op praktijkbedrijven met betrekking tot productie en klimaatgegevens. Deze data worden geanalyseerd op de relatie tussen productie en licht en ook op aanpassingen van de overige klimaatfactoren aan het licht. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de variatie in lichtniveau die gedurende een jaar optreedt en van variatie tussen bedrijven.

Tenslotte worden een aantal diepte-interviews met tuinders gevoerd om te kunnen analyseren hoe een ondernemer zijn gedrag aanpast aan veranderingen in de hoeveelheid licht. Deze interviews moeten ook aangeven hoe en in welke mate hij in staat is om lichteffecten te compenseren. Aldus kan ook vastgesteld worden in welke mate de lichtregels beïnvloed worden door het ondernemersgedrag.

Dit onderzoek richt zich primair op natuurlijk licht. Er is niet gekeken naar effecten van lichtspectrum of daglengte.

2. Literatuurstudie lichtregel: 1% licht is 1% productie?

2.1 Aanpak literatuuronderzoek

Literatuur is verzameld met behulp van de CAB database vanaf 1980 tot september 2003. Ook artikelen uit vakbladen en beschikbare proefgegevens die (nog) niet gepubliceerd zijn, zijn betrokken in deze studie. Er is literatuur van zes gewasgroepen onderzocht: grondgebonden groenten, vruchtgroenten, snijbloemen, bolbloemen, bloeiende potplanten en niet-bloeiende potplanten. Van elke gewasgroep is minstens één gewas bestudeerd, vaak twee of meer bij weinig beschikbare literatuur. Conclusies die per gewasgroep getrokken zijn, zijn gebaseerd op de bestudeerde gewassen en hoeven niet voor de hele gewasgroep te gelden.

Er is geprobeerd onderscheid te maken tussen effecten van licht op de productie van het oogstbare product, op de totale biomassa (drooggewicht) van de plant en drooggewicht oogstbaar product. In veel onderzoeken is niet specifiek naar het oogstbare product gekeken en zijn alleen gegevens beschikbaar van de totale biomassa. Daarnaast is er ook literatuur die alleen het oogstbare product gekwantificeerd heeft en waarin niet de totale groei is gemeten.

In kassen zullen gelijktijdig met licht ook ander klimaatfactoren veranderen. Bij hoog licht zal de temperatuur oplopen in de kas. Om te voorkomen dat het te warm wordt in de kas zal er gelucht worden. Als er CO₂ gedoseerd wordt zal door het openen van de ramen de concentratie dalen. In dit literatuuronderzoek gaat het om directe effecten van licht. Er is zoveel mogelijk literatuur gebruikt waarbij lichtniveau de enige factor was die varieerde.

Om echt een uitspraak te kunnen doen over effecten van licht op productie (lichtregel) zijn er proefgegevens nodig waarbij geteeld is bij verschillende lichtniveaus en waarbij de andere condities gelijk waren. De LBE (LichtBenuttings-Efficiëntie in eenheid groei per eenheid licht) is te berekenen op basis van licht dat in de kas komt. Theoretisch zal de LBE bij de meest beschaduwde teelt hoger zijn dan bij de onbeschaduwde teelt. Dat betekent dat er met één eenheid licht meer productie plaats vindt bij de beschaduwde teelt. Dit kan verschillende oorzaken hebben. Ten eerste kunnen er dunnere bladeren gevormd worden en zal er relatief meer licht onderschept worden. Aan de andere kant is er een effect op de efficiëntie van de fotosynthese per eenheid onderschept licht. Bij laag licht is de absolute fotosynthese lager dan bij hoge lichtniveaus. Maar de efficiëntie van de fotosynthese is hoger bij lage lichtniveaus. Beide effecten kunnen een rol spelen als naar effecten van licht op groei gekeken wordt. Om iets te kunnen zeggen over het effect van straling op de efficiëntie van de fotosynthese kan de LBE berekend worden op basis van onderschepte straling. Effecten op lichtonderschepping worden zo buiten beschouwing gelaten. Als er dan tussen de verschillende lichtniveaus geen verschillen gevonden worden in LBE, uitgedrukt op basis van onderschepte straling, dan waren deze productieve verschillen veroorzaakt door effecten op lichtonderschepping.

Effecten van lichtafname kunnen berekend worden door de LBE te vermenigvuldigen met het relatieve stralingsniveau. Door vervolgens de afname van productie (%) te delen door de afname van licht (%) levert dit de productieafname bij 1% lichtafname.

Een andere methode om een lichtregel af te leiden is het vergelijken van productiesnelheden bij verschillende lichtniveaus. Planten worden bijvoorbeeld geteeld bij twee lichtniveaus en na een bepaalde periode wordt de productie gemeten. De afname van de productie (%) is dan te delen door de afname van het lichtniveau (%). In dit onderzoek is altijd het hoogste lichtniveau en de bijbehorende productie op 100% gesteld. Andere lichtniveaus en producties werden dan berekend als percentage van deze behandeling. Dit is consequent op deze manier in dit onderzoek gedaan. Als namelijk niet de afname maar de toename wordt uitgerekend van productie bij toenemend licht dan geeft dit een andere waarde (met name als de relatieve verandering van lichtniveau groot is), terwijl gerekend wordt met dezelfde getallen. Alleen als geldt 1% licht is 1% opbrengst dan maakt het niet uit of dit een afname of toename betreft.

Als er slechts gegevens zijn gedurende een teelt waarbij geen verschillende lichtniveaus zijn aangelegd dan kan alleen de cumulatieve straling uitgezet worden tegen de productie. Als dit een rechte (door de oorsprong) oplevert is dat een indicatie dat 1% licht 1% productie oplevert. Echter het is slechts een indicatie en geen bewijs, want er kleven een aantal bezwaren aan deze methode, zoals eerder besproken (paragraaf 1.2).

Afhankelijk van de beschikbare gegevens zijn verschillende methodes gebruikt om de relatie licht en productie te kwantificeren in dit onderzoek. In enkele gevallen zijn verschillende berekeningswijzen naast elkaar gebruikt.

2.2 Grondgebonden groenten

Grondgebonden groenten worden in dit onderzoek als één categorie beschouwd, maar de verschillen tussen bijvoorbeeld sla en radijs zijn erg groot. Bij sla wordt de hele bovengrondse plant geoogst en bij radijs is de knol het belangrijkste oogstbare product. Als licht invloed heeft op de droge-stofverdeling in de plant dan zijn de gevolgen daardoor heel anders voor beide gewassen.

2.2.1 Sla

De Pinheiro Henriques & Marcelis (2000) hebben sla geteeld in het voorjaar bij twee lichtniveaus (100% en 41% licht, aangelegd door beschaduwning) gedurende de hele teelt. De LBE (lichtbenuttingsefficiëntie) voor het versgewicht van de krop uitgerekend op basis van de hoeveelheid straling in de kas was hoger bij een beschaduwde teelt (46 g/MJ) dan bij een onbeschaduwde teelt (35 g/MJ) (Tabel 2.2.1). Bij een beschaduwde teelt werd er dus met 1 MJ licht meer geproduceerd dan in de onbeschaduwde teelt. Lichtafname met 1% leidde tot een productievermindering van 0.79%. Productie nam dus minder af dan het licht. Dit kan veroorzaakt worden doordat de lichtonderschepping minder afneemt bij lichtafname bij een beschaduwde teelt door aanpassing van de morfologie. Het blad is dunner bij een beschaduwde teelt. Vooral als het gewas nog niet gesloten is en de lichtonderschepping nog geen maximale waarde heeft bereikt speelt dit een belangrijke rol. Daarnaast kan de fotosynthese efficiënter zijn in een beschaduwde teelt. Het effect van beschaduwning kan ook uitgerekend worden op basis van geabsorbeerde straling. Effecten van verschillen van lichtonderschepping tussen de twee lichtniveaus worden dan uitgesloten. In dat geval leidde 1% lichtafname tot een verlaging van 0.84% productie (Tabel 2.2.1). Blijkbaar was ook de netto fotosynthese (per eenheid onderschept licht) efficiënter bij de beschaduwde teelt.

Effecten van beschaduwning op het drooggewicht van de plant zijn redelijk vergelijkbaar met effecten op het versgewicht van de krop (Tabel 2.2.1).

Tabel 2.2.1. LBE (lichtbenuttingsefficiëntie) van sla uitgerekend op basis van geabsorbeerde PAR straling en op basis van PAR straling in de kas (Pinheiro Henriques & Marcelis, 2000).

	LBE (g/MJ in de kas)		LBE (g/MJ geabsorbeerd)	
	Versgewicht krop	Drooggewicht plant	Versgewicht krop	Drooggewicht plant
Onbeschaduwd*	35	1.46	86	4.9
Beschaduwd	46	2.02	106	3.9
Afname productie/ Afname licht (%/%)	0.79	0.74	0.84	0.82

* Gemiddeld lichtniveau (PAR) in de kas was 2.3 MJ/m²/dag bij de onbeschaduwde teelt.

Ondanks het feit dat 1% lichtafname leidde tot een afname van het drooggewicht van de krop met circa 0.8% laat de cumulatieve droge-stofproductie uitgezet tegen de cumulatieve geabsorbeerde straling voor beide lichtniveaus een rechte lijn door de oorsprong zien, maar waarbij de helling van de twee lijnen verschillend is. Een rechte lijn door de oorsprong is een indicatie dat de lichtregel 1% licht is 1% opbrengst zou gelden in deze teelten. Zoals al vermeld in de inleiding is deze methode minder gevoelig om effecten van licht te kwantificeren.

Meinen & Marcelis (niet gepubliceerd) hebben sla geteeld van september 1998 tot januari 1999 in de kas bij twee lichtniveaus (100% en 69% aangelegd door beschaduwning). De LBE voor het versgewicht van de krop op basis van straling in de kas is hoger bij een beschaduwde teelt (56 g/MJ) dan bij een onbeschaduwde teelt (52 g/MJ) (Tabel 2.2.2). Lichtafname in de kas met 1% leidde tot een productie verlaging van 0.8%. Als dit echter uitgerekend wordt op basis van geabsorbeerde straling dan gold 1% licht is 1% opbrengst. Dat het effect van 1% lichtafname in de kas op het versgewicht van de krop minder dan 1% was, werd in dit geval dus veroorzaakt door een relatief hogere lichtonderschepping bij de beschaduwde teelt en niet door een efficiëntere netto fotosynthese.

Tabel 2.2.2. LBE (lichtbenuttingsefficiëntie) van sla uitgerekend op basis van geabsorbeerde PAR straling en op basis van PAR straling in de kas (Meinen & Marcelis, niet gepubliceerd).

	LBE (g/MJ in de kas)		LBE (g/MJ geabsorbeerd)	
	Versgewicht krop	Drooggewicht plant	Versgewicht krop	Drooggewicht plant
Onbeschaduwd*	52	2.2	106	4.7
Beschaduwd	56	2.5	106	4.8
Afname productie/ Afname licht (%/%)	0.80	0.79	1.01	0.96

* Gemiddeld stralingsniveau was 0.65 MJ PAR/m²/dag bij de onbeschaduwde teelt.

Het relatieve effect van lichtafname op de LBE, uitgedrukt per eenheid geabsorbeerde straling, was in het experiment van Meinen & Marcelis (Tabel 2.2.2) groter dan in experiment van Pinheiro Henriques & Marcelis (2000) (Tabel 2.2.1), wat mogelijk het gevolg is van het verschil in lichtniveau. Opvallend is, dat ondanks deze verschillen tussen de gemiddelde stralingsniveaus bij de proeven van de Pinheiro & Marcelis (2002) en Meinen & Marcelis, er in beide onderzoeken gevonden wordt dat 1% minder licht in de kas leidt tot een reductie van versgewicht van de krop van 0.8%.

Reist *et al.* (1988) heeft het effect van schermen gedurende de teelt onderzocht op het versgewicht van sla. Proeven werden uitgevoerd in het najaar en in de winter. Uit hun resultaten bleek dat bij 1% lichtafname het versgewicht daalde met 0.95%.

Both (1995) heeft gedurende acht maanden 35 belichtingsstrategieën met sla uitgevoerd. Na 35 dagen werd het versgewicht van de krop gemeten. Het spruitgewicht uitgezet tegen de cumulatieve geabsorbeerde straling van al deze experimenten laat een lineair verband zien. Opgemerkt moet worden dat daglengte gevarieerd was in deze proeven en dat er soms CO₂ in de kas werd toegediend. Ondanks deze klimaatvariëaties was er toch een lineair verband. Holsteijn (1980) vond dat als de droge-stofproductie uitgezet wordt tegen de cumulatieve onderschepte straling 1% licht 1% opbrengst gaf in teeltproeven met sla in voorjaar en najaar. Hier is alleen naar drooggewichten gekeken gedurende een teelt en niet naar de versgewichten. Er zijn geen verschillende lichtniveaus gelijktijdig aangelegd in deze experimenten. Zowel de data van Both (1995) als Holsteijn (1980) met betrekking tot relatie tussen groei en geabsorbeerde straling komen overeen met die in Tabel 2.2.2 (Meinen & Marcelis, ongepubliceerd).

Sanchez *et al.* (1989) hebben uitgebreid effecten van beschaduwing, tijdens verschillende momenten tijdens de teelt, op de groei van sla bestudeerd. Opgemerkt moet worden dat dit veldexperimenten waren en geen kasteelten. Maar omdat dit een uitgebreid onderzoek is naar effecten van licht op productie is dit toch opgenomen in deze studie. Er werden vier lichtniveaus aangelegd door al dan niet te schermen: 100%, 75%, 53% en 27%. In Tabel 2.2.3 is aangegeven in welke mate het versgewicht van een krop afneemt bij afnemende straling.

Tabel 2.2.3. Afname versgewicht krop sla bij afname van licht (%/%) gedurende de hele teelt. Data zijn gemiddeld van 2 tot 5 experimenten uitgevoerd in drie verschillende jaren (Sanchez et al., 1989)

Straling*	Afname versgewicht krop/afname licht (%/%)
100→75	0.75
100→53	0.60
100→27	0.76

* Het gemiddelde stralingsniveau (globale straling) van alle experimenten was 166 J/m²/s. Dit komt overeen met 4.3 MJ PAR/m²/dag aangenomen dat de daglengte 16 uur bedroeg.

De afname van het versgewicht van de krop was minder dan de afname van licht en bedroeg gemiddeld 0.70% bij 1% lichtafname.

Het moment en de duur van beschaduwing tijdens de teelt is van grote invloed op effecten van de eindopst. Tijdens een teelt van sla van 48 dagen is op verschillende momenten het lichtniveau veranderd. In Tabel 2.2.4 staat de afname van het versgewicht per krop bij afnemend licht op verschillende momenten van beschaduwing.

Tabel 2.2.4. Afname van het versgewicht van een krop sla bij afname van licht (%/%). Tijdens de teelt van 48 dagen is op verschillende momenten beschaduwd (Sanchez et al., 1989)

Periode beschaduwing Dag – dag in de teelt	Straling 100%→75%	Straling 100%→53%	Straling 100%→27%
0 - 11	0.19	0.1	0.34
0 - 22	0	0	0.49
0 - 34	0.43	0.33	0.79
34 - 48	0.16	0.43	0.33
22 - 48	0.62	0.74	0.68
11 - 48	0.62	0.75	0.79

* Het gemiddelde stralingsniveau (globale straling) was 140 J/m²/s. Dit komt overeen met 3.6 MJ PAR/m²/dag aangenomen dat de daglengte 16 uur bedroeg.

Hoe langer de periode van lichtafname duurde hoe groter de effecten waren op het versgewicht van de krop. Hoe sterker de beschaduwing hoe groter het relatieve effect op het eindgewicht; bij 27% licht was het gemiddelde effect 0.57 % versgewicht/% licht en bij 75% was dit 0.34%/%. Lichtafname in het tweede deel van de teelt had meer effect dan in het eerste deel van de teelt. Echter, Van Henten (1994) concludeert dat vooral de klimaatomstandigheden in beginfase van de teelt geoptimaliseerd moeten worden. Reden hiervoor is om zo snel mogelijk maximale lichtonderschepping te bereiken.

2.2.2 Radijs

Bij radijs is de knol het belangrijkste oogstbare product. Licht heeft een grote invloed op de vorming en de uitgroei van de knol (Smeets *et al.*, 1987). Bij weinig licht wordt de knolaanleg vertraagd (Sionit *et al.*, 1982; Craker *et al.*, 1983) en kan zelfs leiden tot geen oogstbare knol (Warrington & Norton, 1991).

In de literatuur is maar één kasexperiment gevonden waarin effecten van licht op groei van radijs zijn onderzocht (Marcelis *et al.*, 1997a). Om toch meer gegevens te verzamelen zijn voor radijs ook proeven in klimaatkamers betrokken in dit rapport.

In een kasproef hebben Marcelis *et al.* (1997a) de groei van de hele plant en van de knollen van radijs gemeten bij 100 en 60% licht (beschaduwning met kaasdoek). Het gemiddelde stralingsniveau in de kas door zonnestraling was 0.7 MJ PAR/m²/dag en er werd 1 MJ/m²/dag assimilatiebelichting gegeven. Er werd op zes momenten gedurende de teelt geoogst. De gemiddelde afname van het versgewicht van de knol tijdens de teelt was 1.54% bij afname van 1% licht. Het drooggewicht van de hele plant nam af met 1.04% bij 1% lichtafname. Aan het begin van de teelt zijn effecten van lichtafname groter dan op het einde van de teelt. Als alleen naar effecten van lichtafname op de eind-oogst wordt gekeken geldt dat 1% lichtafname het drooggewicht van de hele plant reduceert met 1%. Maar het versgewicht van de knollen bij de eindoogst is duidelijk meer gereduceerd (1.37%) bij verlaging van licht met 1%. Het versgewicht van de knol reageerde sterker op afname van straling dan het drooggewicht van de hele plant. Laag licht verhoogde de spruit/knol verhouding en dat is in het geval van radijs ongunstig voor de opbrengst van het oogstbare product. Het droge-stofpercentage van de knollen werd niet beïnvloed door het stralingsniveau.

Ook Craker *et al.* (1983) vonden een groter effect van licht op de knol dan op de hele plant. In klimaatkamer proeven varieerden ze daglengte en stralingsniveau door te schermen met verschillende lagen kaasdoek. Het versgewicht van de knollen ten opzichte van het versgewicht van de totale plant werd verhoogd bij lange dagen en bij hoge licht-niveaus.

Tabel 2.2.5. Effect van verlaging van de straling op verlaging van het versgewicht van de hele plant en van de knollen bij 3 verschillende daglengtes (oogst dag 25) (Craker et al., 1983).

Daglengte (uur)	Straling (% van hoogste niveau)*	Afname versgewicht plant/ afname licht (%/%)	Afname versgewicht knol/ afname licht (%/%)
8	100→50	0.80	1.33
	100→25	1.12	1.31
	100→12.5	1.03	1.12
	gemiddeld	0.98	1.25
16	100→50	0.07	0.17
	100→25	0.62	0.88
	100→12.5	0.78	1.02
	gemiddeld	0.49	0.69
24	100→50	0.24	0.29
	100→25	0.57	0.70
	100→12.5	0.62	0.82
	gemiddeld	0.48	0.60

* 100% licht bedroeg 3.3, 6.5 en 9.8 MJ PAR/m²/dag bij een daglengte van respectievelijk 8, 16 en 24 uur.

Bij alle daglengtes was het effect van lichtafname groter op het versgewicht van de knollen dan op het versgewicht van de totale plant (Tabel 2.2.5). Bij lage lichtniveaus duurde het langer voor de knollen werden aangelegd. Bij verlenging van de dag werd het effect van 1% lichtafname op groei van plant en knol minder sterk en is kleiner dan 1%. Dit is een opvallend verschil met de resultaten van Marcelis *et al.* (1997a). Bij Marcelis bedroeg het gemiddelde hoogste lichtniveau in de kas 1.7 MJ/m²/dag (daglengte 12 uur). Bij Craker *et al.* (1983) bedroeg het hoogste lichtniveau 3.3, 6.5 en 9.8 MJ/m²/dag bij een daglengte van respectievelijk 8, 16 en 24 uur. Het effect van lichtafname is dus relatief kleiner bij hoge dagsommen vergeleken met lage dagsommen.

Ook Warrington & Norton (1991) hebben klimaatkamerproeven gedaan met verschillende daglengtes en lichtniveaus. Zij hebben de droge-stofproductie van de hele plant gemeten na een teelt van 29 dagen.

Tabel 2.2.6. Effect van lichtafname op de afname van droge-stofproductie van radijsplanten (Warrington & Norton, 1991).

Daglengte (uur)	Dagelijkse kwantum integraal* (% van hoogste niveau)	Afname drooggewicht plant/afname licht (%/%)
8	100→88	1.85
	100→52	1.31
	gemiddeld	1.58
12	100→82	0.82
	100→35	1.12
	gemiddeld	0.97
18	100→39	0.99
	100→15	1.11
	gemiddeld	1.05
24	100→34	0.87
	100→14	1.08
	gemiddeld	0.98

* Hoogst lichtniveau bedroeg 1.3, 3, 6.3, 11.5 MJ/m²/dag bij respectievelijk een daglengte van 8, 12, 18 en 24 uur.

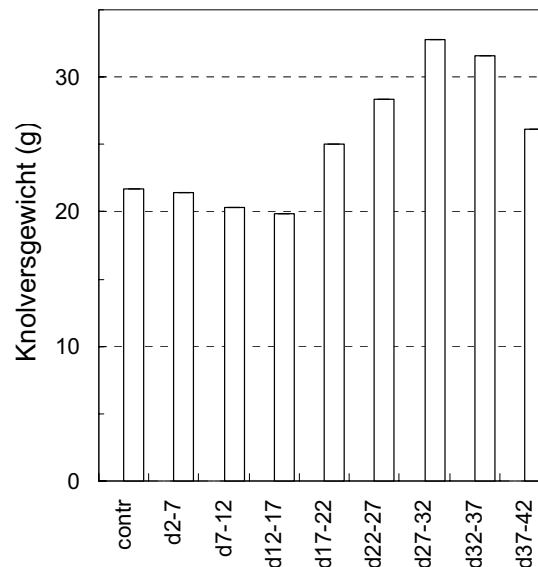
Bij daglengtes van 12, 18 en 24 uur gold de 1% licht is 1% opbrengst heel redelijk (Tabel 2.2.6). Alleen bij een daglengte van 8 uur was het effect op drooggewicht gemiddeld 1.6% en dus duidelijk groter dan 1%. Net als bij Craker *et al.* (1983) was het effect van lichtafname groter bij een korte daglengte (en dus een lagere dagsom). Warrington & Norton (1991) vonden bij geen van de laagste lichtniveaus (lager dan 15 mol/m²/dag; is circa 3 MJ/m²/dag) een oogstbare knol. In andere onderzoeken werd bij dit lichtniveau wel een oogstbare knol gevonden.

Sionit *et al.* (1982) vonden dat een lichtafname van 1% resulteerde in een verlaging van het drooggewicht van de plant van gemiddeld 0.45%. Het onderzoek werd uitgevoerd in klimaatkamers bij 100% en 46% licht en 350 ppm CO₂. Het hoogste lichtniveau bedroeg 13.9 MJ/m²/dag, en is daarmee erg hoog. Dat kan verklaren waarom het effect van lichtafname relatief klein is.

De interactie tussen licht en CO₂ is onderzocht. Bij een hoog CO₂-niveau (675 ppm) was het effect van licht groter op droge-stofproductie van radijs dan bij 350 ppm CO₂ en bedraagt 0.59%.

Evenals Marcelis *et al.* (1997a) vonden Sionit *et al.* (1982) dat verlaging van het licht de spruit/knol verhouding verhoogde; bij beide CO₂-niveaus was deze toename 26%. Lichtafname is dus ongunstig voor de opbrengst van de knollen.

Marcelis *et al.* (1997b) hebben bij radijs effecten van licht in verschillende fasen van plantontwikkeling onderzocht. In klimaatkamers werden proeven uitgevoerd waarbij in verschillende ontwikkelingsstadia de lichtintensiteit gedurende 5 dagen sterk verhoogd werd. Hoe later de hoog-licht periode werd gegeven hoe meer de knolgroei werd gestimuleerd (Figuur 2.2.1).



Figuur 2.2.1. Effect van een 5-daagse hoog-licht periode op knolgewicht bij de eind oogst van radijs. De hoog-licht behandeling werd in verschillende perioden gegeven (Marcelis *et al.*, 1997b; Figuur 5.1A).

Overeenkomstig werden in een kasproef waar gedurende perioden van 5 dagen geschermd werd, de grootste negatieve effecten op knolgroei gevonden wanneer de schermperiode later in de teelt plaatsvond. Dus ondanks het feit dat de relatieve reductie van plantgroei tijdens een periode met minder licht groter is in begin van de teelt dan op het eind van de teelt (Marcelis *et al.*, 1997a), is het effect op de uiteindelijke knolgrootte het grootst wanneer de laag-licht periode later in de teelt wordt plaatsvindt.

2.2.3 Conclusie grondgebonden groenten

Als twee lichtniveaus gedurende een teelt van sla vergeleken worden dan leidt een lichtafname van 1% tot een verlaging van het versgewicht van de krop variërend tussen 0.6 en 0.95%.

Effecten van licht op vers- en drooggewicht waren vergelijkbaar.

Onderzoek waar de cumulatieve productie uitgezet werd tegen cumulatieve geabsorbeerde straling duidde op 1% licht is 1% opbrengst. Deze methode is echter niet zo gevoelig.

Voor sla is de regel 1% licht is 1% productie een overschatting van het effect op productie; 1% licht is 0.8% productie is een meer realistische schatting.

Bij radijs is het belangrijk dat er voldoende licht is om de aanleg van knollen te laten plaatsvinden. Dus met name in een wintersteelt of voorjaarsteelt kan een lichtafname een groot effect hebben op knolvorming als het lichtniveau te laag is geweest.

Effecten van lichtafname zijn groter op de knol dan op de hele plant, als gevolg van een verhoging van de spruit/knol verhouding. Verder hebben in de eindfase van de teelt korte perioden van veel of weinig licht meer effect op eindgrootte van de knol dan in beginfase van de teelt.

In de bestudeerde onderzoeken is de afname van de productie van knollen bij afname van licht met 1% verschillend en varieert tussen 0.60 en 1.4. Uit de resultaten blijkt dat effecten van licht relatief groter zijn bij lage lichtniveaus. Voor radijs is de vuistregel 1% licht is 1% productie een redelijke benadering, maar kan een onderschatting zijn bij lage lichtniveaus (winter).

2.3 Vruchtgroenten

2.3.1 Komkommer

Marcelis (1993) heeft onderzoek gedaan naar de invloed van het lichtniveau bij komkommer op productie. In een kas waren drie lichtniveaus aangelegd door met één of meerdere lagen kaasdoek te schermen. Op deze manier werden lichtniveaus aangelegd van 100%, 50% en 30% licht. Er zijn twee experimenten uitgevoerd waarbij gedurende een langere periode (62 dagen) deze drie lichtniveaus werden gegeven of gedurende een korte periode (4 dagen). In Tabel 2.3.1 zijn resultaten op productie van de plant en van de vruchten weergegeven.

Tabel 2.3.1. Effecten van straling op drooggewicht van komkommerplanten en op droog- en versgewicht van de vruchten. Periode van lichtafname was 62 of 4 dagen (2 aparte experimenten) (Marcelis, 1993).

Periode lichtafname	Afname straling* (% van controle)	Afname drooggewicht plant**/afname licht (%/%)	Afname drooggewicht vrucht/afname licht (%/%)	Afname versgewicht vrucht/afname licht (%/%)
62 dagen	100→50	1.22	1.32	1.22
	100→30	1.16	1.23	1.19
	gemiddeld	1.19	1.28	1.21
4 dagen	100→50	0.76	0.74	0.56
	100→30	0.86	0.79	0.61
	gemiddeld	0.81	0.77	0.59

* Het gemiddelde lichtniveau in de kas bij 100% licht bedroeg 2.2 MJ PAR/m²/dag in het experiment met 62 dagen lichtafname en 3.1 MJ PAR/m²/dag (1.1 MJ/m²/dag zonnestraling en 2 MJ/m²/dag assimilatiebelichting) in het experiment met 4 dagen lichtafname.

** In het kortdurende experiment zijn de wortels niet gemeten, alleen de bovengrondse delen.

In het experiment met langdurige lichtafname was de afname van productie groter dan de afname van de straling. Het drooggewicht van de hele plant en van de vruchten namen gemiddeld met respectievelijk 1.2% en 1.3% af bij een lichtafname van 1%. Een kortdurende lichtafname liet een heel ander resultaat zien. Het totaal drooggewicht en het drooggewicht van de vruchten namen gemiddeld met 0.8% af bij een lichtafname van 1%.

De afname van het drooggewicht van de vruchten was groter dan de afname van het versgewicht van de vruchten bij beide experimenten. Dat had te maken met het feit dat het droge-stofpercentage verlaagd was bij afname van licht. In het experiment waar langdurig het lichtniveau was veranderd waren de droge-stofpercentages van de vruchten 2.7 bij 30% licht, 2.8% bij 50% licht en 3.3% bij 100% licht.

Er is dus een groot effect van de duur van de lichtafname op het effect op productie; bij langere duur is het relatieve effect groter dan bij kortdurende lichtverandering. Verlaging van het lichtniveau leidde tot minder vruchtzetting en als gevolg daarvan nam de relatieve verdeling van drogestof naar de vruchten af. Omdat vruchtzetting een relatief traag proces is, heeft dit op een termijn van enkele dagen nog geen effect op droge-stofverdeling of vruchtgroei. Echter

op de wat langere termijn neemt de droge-stofverdeling naar de vruchten sterk af. In het experiment met 62 dagen lichtafname was de droge-stofverdeling naar de vruchten 55% bij de controle en nam dit af tot 47% en 39% bij respectievelijk 50 en 30% lichtniveau. Bij de kortdurende lichtafname waren in dit experiment de vruchten al gezet en was er dus geen effect meer op het aantal bloemen. Dit verklaart het geringe effect van lichtafname op de productie van vruchten. Naast effecten op droge-stofverdeling naar de vruchten, beïnvloedt licht ook de droge-stofverdeling tussen de vegetatieve delen onderling (Marcelis, 1994). Van de vegetatieve plantendelen wordt de groei van wortels het sterkst geremd door een verlaging van licht, de stengel het minst terwijl de het effect op blad intermediair is.

In een relatief kortdurend experiment van 29 dagen hebben Warrington en Norton (1991) de effecten van lichtniveau en daglengte onderzocht op de productie van vier verschillende gewassen. Drie lichtniveaus werden aangelegd door afscherming met kaasdoek. Er is alleen gekeken naar effecten op de groei van de spruit en niet naar de vruchten van het komkommernewas. In Tabel 2.3.2 staan resultaten uitgedrukt in % van de controlebehandeling, waarbij geen lichtafscherming is toegepast. Uit dit onderzoek bleek dat het drooggewicht afnam bij lichtafname. Deze afname was een factor 0.75 tot 1.02 afhankelijk van de lichtafname en/of van de daglengte. Groei nam dus relatief iets minder tot proportioneel af met licht.

Tabel 2.3.2. Effect van straling en daglengte op het drooggewicht van de bovengrondse delen van komkommer (Warrington & Norton, 1991).

Daglengte (uur)	Straling* (%)	Afname drooggewicht spruit/afname licht (%/%)
8	100→51	1
	100→34	0.78
	gemiddeld	0.89
12	100→34	0.85
	100→14	1.02
	gemiddeld	0.94
18	100→37	0.90
	100→15	0.91
	gemiddeld	0.91
24	100→36	0.75
	100→15	0.94
	gemiddeld	0.85

* Hoogst lichtniveau bedroeg 1.3, 3, 6.3, 11.5 MJ/m²/dag bij respectievelijk een daglengte van 8, 12, 18 en 24 uur.

Tooze (1986a) trok met relatief kleine komkommerplanten een voorlopige conclusie dat 1% minder licht leidde tot 0.6% minder groei. Data zijn echter niet getoond.

Drews *et al.* (1980) vonden dat de vroege oogst van komkommers met 0.97% toenam bij een toename van 1% licht (Drews rekent met toename en niet met afname). Dit was gemiddeld over drie jaren waarbij de relatieve oogsttoename resp. 0.80, 0.79 en 1.31% bedroegen. De totale komkommeroogst nam 1.04% toe bij toename van 1% licht. Ook dit was weer een gemiddelde over 3 jaren waarbij de relatieve oogsttoename 0.89, 1 en 1.24% bedroegen. Gemiddeld gold de regel 1% licht is 1% productie, maar er was wel variatie tussen de verschillende jaren.

2.3.2 Tomaat

Cockshull *et al.* (1992) hebben een beschaduwingsproef uitgevoerd met vier tomatencultivars, waarbij gedurende de teelt 100%, 94% en 77% licht werd gegeven. De cumulatieve totale opbrengst per week is uitgezet tegen de cumulatieve straling die in de kas komt. Hieruit blijkt dat effecten van licht afhankelijk waren van het gewasstadium. Gedurende de eerste 14 weken vanaf de eerste oogst van de vruchten was er een lineair verband tussen productie en straling; tussen 16 en 28 weken (vanaf de eerste oogst van de vruchten) was er nog steeds een lineair verband maar was de helling van de curve (LBE) groter. In Tabel 2.3.3 staan de lichtbenuttingsefficiënties en de hieruit berekende afname van de productie bij 1% lichtafname.

Tabel 2.3.3. LBE (lichtbenuttingsefficiëntie, kg vruchten/MJ) tomaat en de afname van de productie vruchten bij lichtafname (%/%). Plantdatum was 28 november (Cockshull et al., 1992).

Periode weken vanaf 1 ^e oogst	Straling* (% van controle)	LBE (kg/MJ)	Afname productie/ Afname straling
Tot 14 weken	100	0.0202	
	94	0.0199	1.22
	77	0.0202	1
Van 16 tot 28 weken	100	0.0264	
	94	0.0266	0.89
	77	0.0288	0.70

* Het hoogste stralingsniveau bedraagt gemiddeld 4 MJ PAR/m²/dag.

Gedurende de eerste 14 weken vanaf eerste oogst van de vruchten daalde de productie gemiddeld met 1.1% bij 1% lichtafname. In de periode tussen 16 en 28 weken was het effect van afname van het licht op de productie minder groot. In deze periode daalde de productie gemiddeld met 0.8% bij 1% lichtafname. Gemiddeld over de gehele periode van vruchtproductie was de afname 0.95% per 1% lichtafname. Als deze afname niet op basis van LBE berekend werd maar op basis van cumulatieve gewichten op eind van teelt dan was de berekende productieafname 1.0%. Het effect van lichtafname was groter op de totale bovengrondse plantdrooggewicht (0.84% afname per 1% licht) dan op de vruchtproductie (1.0% afname)

Buitelaar (1984) heeft tomaten geteeld bij drie lichtniveaus door beschaduwing (100%, 81% en 68% licht). De andere klimaatcondities waren nagenoeg gelijk. Er was geen verschil in het tijdstip waarop de trossen in bloei kwamen en in de uitgroeiduur van de vruchten. Er werd op 4 momenten geoogst. In tegenstelling tot de resultaten van Cockshull *et al.* (1992) namen de effecten van lichtafname op productie namen toe in de loop van het experiment (Tabel 2.3.4). Bij de eerste oogst was de productieafname 0.37% bij 1% lichtafname. Bij de eindoogst (in juni) was de productieafname gemiddeld 1.1% bij 1% lichtafname. Bij 68% licht was er al direct een groot effect van lichtafname op de productie, veroorzaakt door een slechte zetting. Bij 81% licht was zetting niet nadelig beïnvloed.

Tabel 2.3.4. Afname productie tomaat bij 1% lichtafname (Buitelaar, 1984).

Oogstdatum	Licht (%)		Gemiddeld
	100 → 81%	100 → 68%	
18 april	0.37	0.91	0.64
4 mei	0.58	0.88	0.73
18 mei	0.79	0.97	0.88
8 juni	1.11	1.06	1.08
gemiddeld	0.71	0.95	0.83

De Koning (1989) vond het verband 1% licht is 1% groei (versgewicht bovengrondse delen) in een tomatenteelt in de kas. Hij vermeldt wel dat een hyperbool beter door de data fitte dan dit rechte verband. Dit heeft consequenties voor de lichtregel. Bij een hyperbool neemt de toename van productie af bij toename van licht. Dat betekent dat effecten van licht groter zijn bij lage lichtniveaus dan bij hoge lichtniveaus. Bovendien zette hij de kanttekening dat ondanks de goede correlatie er andere factoren een rol spelen, zoals leeftijd van het gewas, temperatuur en CO₂ die gerelateerd zijn aan straling.

Ditzelfde resultaat werd gevonden door Heuvelink (1995). Hij teelde tomaten in verschillende jaren en seizoenen tot circa 100 dagen na planten. De groeisnelheid van het gewas (drooggewicht van bovengrondse delen/m²/dag) vertoonde een lineair verband met het lichtniveau in de kas (MJ/m²/dag) en gaat door de oorsprong. Dit betekent dat 1% meer licht 1% meer groei geeft. Ook hij noemt dat een hyperbool iets beter fit, maar laat deze fit niet zien. In geval van een hyperbool zijn effecten van licht op productie groter bij lage lichtniveaus dan bij hoge lichtniveaus. Als redenen worden genoemd dat bij hoge lichtniveaus andere condities waarschijnlijk suboptimaal zijn, zoals CO₂, temperatuur en luchtvochtigheid. Maar ook kan de efficiëntie van de gewasfotosynthese lager geweest zijn bij hoge lichtintensiteiten door lichtverzadiging.

Van Rijssel & De Visser (1985) hebben de opbrengst van tomaten van de tweede en derde oogstmaand uitgezet tegen de stralingssom van de maand ervoor. Stralingsniveaus varieerden tussen 4 en 18 MJ/m²/dag. Gemiddeld nam de productie af met 0.61% bij 1% lichtafname. Bij lage lichtniveaus resulteerde 1% lichtafname in een productie-verlaging van 1% en bij hoge lichtniveaus daalde de productie met 0.3%.

2.3.3 Paprika

Nilwik (1981a) toonde aan dat effecten van lichtafname afhankelijk zijn van temperatuur. In een kasproef van drie maanden met paprika was er wel of niet additioneel belicht. Om daglengte effecten niet bij deze studie te betrekken zijn alleen de data gebruikt waarbij de daglengte constant gehouden is. Uit de resultaten blijkt dat als het licht verlaagd werd tot 75% (0.49 MJ/m²/dag) ook het drooggewicht van de spruit in dezelfde mate daalde bij 19° en 20° C. Hier leidde dus 1% lichtafname tot 1% afname van het drooggewicht. Bij 22° C was het effect op drooggewicht groter en nam af met 1.32% bij 1% lichtdaling.

Nilwik (1981b) heeft ook effecten van licht en temperatuur op de groei van paprika bestudeerd in klimaatkamers. Ook in dit onderzoek was de daglengte gevarieerd. Alleen de data met een zelfde daglengte zijn voor deze literatuurstudie gebruikt. Er werd een hoog licht behandeling (3.25 MJ/m²/dag) en een laag licht behandeling (0.84 MJ/m²/dag) gegeven. De laag licht behandeling was dus 26% licht ten opzichte van de hoog licht behandeling. De daglengte was bij beide behandelingen 8 uur. Bij een dagtemperatuur van 25° C was de afname van het drooggewicht van de spruit 0.92% bij een afname van 1% licht. Bij een dagtemperatuur van 21°C was de afname van het drooggewicht van de spruit 0.79% bij een afname van 1% licht (data met verschillende nachttemperaturen zijn gemiddeld). Effecten van licht waren dus afhankelijk van de temperatuur.

Dieleman *et al.* (2002) hebben fotosynthese gemeten van paprika in de kas bij verschillende klimaatcondities. Zoals verwacht mocht worden, nam de fotosynthese toe bij lichttoename. Dit verband is niet lineair maar laat een verzadiging zien bij hoge lichtniveaus. Andere condities dan licht worden dan beperkend voor verdere verhoging van de fotosynthese. Effecten van lichttoename op de fotosynthese waren groter bij hoge temperaturen. Dit kan (deels) verklaren waarom Nilwik (1981a, 1981b) bij hoge temperatuur grotere effecten van licht op productie vond dan bij lagere temperatuur. Verder lieten Dieleman *et al.* (2002) zien dat effecten van lichttoename op fotosynthese groter zijn bij hoge CO₂-concentraties.

Van Rijssel & De Visser (1985) hebben de opbrengst van paprika van de tweede, derde en vierde oogstmaand uitgezet tegen de stralingssom van de maand ervoor. Stralingsniveaus varieerden tussen 7 en 18 MJ/m²/dag. Het verband tussen stralingssom en productie was lineair; de productie nam af met 1% bij 1% lichtafname.

Bij paprika neemt de zetting sterk toe bij een toename van lichtniveau; of meer algemeen met een toename van het assimilatenaanbod in de plant (Marcelis *et al.*, 2004). Op de langere termijn (weken) leidt dit tot een toename van de droge-stofverdeling naar de vruchten en is effect van licht naar verwachting groter op vruchtgroei dan op plantgroei.

Dogliotti, Marcelis & Heuvelink (data niet gepubliceerd) hebben paprika geteeld bij drie dichtheden. Er was een lineair verband tussen de cumulatieve geabsorbeerde straling en de cumulatieve productie van bovengrondse delen en de productie van de vruchten bij alle drie dichtheden. Er geldt 1% licht is 1% opbrengst. Xue, Marcelis & Heuvelink (data niet gepubliceerd) vonden dezelfde relatie voor paprika die bij drie verschillende temperaturen is geteeld. Dit duidt op 1% licht is 1% opbrengst. Echter zoals eerder besproken is deze methode van cumulatieven niet zo nauwkeurig voor het vaststellen van de lichtregel.

2.3.4 Conclusie vruchtgroenten

Experimenteel onderzoek laat zien dat naast de factor licht ook andere factoren een rol spelen bij het effect van lichtafname op productie, zoals stadium van het gewas, temperatuur, duur en moment van lichtverandering.

Factoren die leiden tot een afnemende meeropbrengst bij meer licht in de bestudeerde literatuur zijn:

- duur van de veranderde lichtperiode: Effecten van beschaduwning op productie waren kleiner bij een kortere periode;
- temperatuur: Het relatieve effect van licht is kleiner bij lagere temperatuur (dit geldt zowel voor een lagere dagtemperatuur als voor een lagere etmaaltemperatuur; in welke mate het temperatuurverloop gedurende een etmaal een rol speelt is onvoldoende bekend);
- CO₂: Het relatieve effect van licht is kleiner bij lagere CO₂-concentraties;
- lichtniveau: Het relatieve effect van licht is kleiner bij hogere lichtniveaus.

Bij vruchtgroenten leidt een hoger lichtniveau tot een betere vruchtzetting en dit resulteert na enige tijd in toename van de droge-stofverdeling naar de vruchten (vooral bij komkommer en paprika). Hierdoor is de toename van vruchtdrooggewicht meestal groter dan de toename van plantdrooggewicht bij toename van lichtniveau, mits deze toename van licht gedurende een wat langere periode gehandhaafd blijft. Voor komkommer is duidelijk gevonden dat het droge-stofpercentage van de vruchten toeneemt bij toename van lichtniveau, waardoor de relatieve toename van vruchtversgewicht minder is dan die van vruchtdrooggewicht bij toename van lichtniveau. Of de versgewichtproductie van vruchten sterker reageert op licht dan de droge-stofproductie van de plant hangt van verschillende omstandigheden af.

Bij komkommer resulteerde 1% lichtafname in een opbrengstreductie variërend tussen 0.6 en 1.2%; bij tomaat varieerde dit tussen 0.6 en 1.1% en bij paprika tussen 0.8 en 1.3%. Paprika lijkt hiermee iets gevoeliger voor licht dan tomaat en komkommer. Echter de literatuurgegevens over lichteffecten bij paprika zijn wat beperkt om hierover een harde conclusie te trekken.

In weinig onderzoeken is er onderscheid gemaakt tussen productie van de hele plant en productie van de vruchten. Bij tomaat was het effect van lichtafname op vruchtproductie groter dan op productie van de plant (Cockshull *et al.*, 1992). Bij komkommer was er geen verschil tussen productie van vruchten en plant bij langdurige lichtafname, maar wel als er kortdurende lichtafname was. Bij kortdurende lichtafname was het effect groter op het plantgewicht (drooggewicht) dan op het versgewicht van de vruchten (Marcelis, 1993). Bij paprika is er helemaal geen literatuur gevonden die onderscheid heeft gemaakt tussen effecten van licht op totaal plantgewicht en vruchtgewicht.

Als vuistregel voor vruchtgroenten zou kunnen gelden 1% licht is 0.8 tot 1% productie.

2.4 Snijbloemen

Snijbloemen worden per stuk verkocht en niet per kilogram. Het aantal geproduceerde stelen, het aantal bloemen per steel, en de kwaliteit zoals steellengte, takgewicht en grootte van de bloem, bepalen de prijs. Seizoenen beïnvloeden de productie. In de wintermaanden is de kwaliteit over het algemeen lager dan in de zomer. Van Rijssel en de Visser (1985) geven aan dat de vuistregel 1% licht is 0.5% opbrengst beter zou kunnen gelden voor bloemgewassen, waarbij wel rekening gehouden moet worden met de mindere kwaliteit in de wintermaanden.

2.4.1 Roos

Het laatste decennium zijn er duidelijke veranderingen in teeltwijze van roos opgetreden, zoals o.a. snoeimethode (struikopbouw), raskeuze (verschuiving naar steeds grotere bloemen) en intensiever belichten. De laatste tien jaar is er echter weinig onderzoek onder Nederlandse kasomstandigheden beschreven, waar de relatie licht en productie op een kwantitatieve manier is vastgesteld.

Additioneel licht verhoogt de productie van roos. Dit geldt zowel voor additioneel zonlicht als voor additioneel kunstlicht. Zowel verhoging van de lichtintensiteit als verlenging van de dag leiden tot een verhoogde lichtsom. Effecten van licht op de productie worden ongeveer na vier weken zichtbaar. Dit is de tijd die nodig is voor de ontwikkeling van een knop (teelt van kasrozen, 1999 PBG). Licht beïnvloedt de productie en kwaliteit van roos door effecten op knopuitloop, bloemknopabortie, en de groeisnelheid van de bloemstelen (Zieslin & Mor, 1990). De okselknop van het bovenste blad van een afgesneden steel loopt zelfs in het donker uit. Maar uitloop van de knoppen eronder wordt gestimuleerd door hoog licht, door een hoge rood/verrood verhouding van het licht, en door bloemen rijper te oogsten (teelt van kasrozen, 1999 PBG).

Laag licht in een periode van scheutontwikkeling kan leiden tot bloemknopabortie (Maas & Bakx, 1997). Het meest gevoelig voor loosvorming is de jonge scheut, tien tot twintig dagen na het knippen van de bloem (teelt van kasrozen, 1999 PBG). Bloemkwaliteit wordt ook beïnvloed door licht. In de winter zijn de stelen over het algemeen wat dunner en het blad is kleiner. De bloemen hebben minder petalen (bloemblaadjes). In de zomer kunnen deze effecten echter ook optreden bij hoge temperaturen en lage luchtvochtigheden.

In de literatuur worden veelal kasproeven beschreven waarbij de invloed van additionele belichting is onderzocht. Het effect van de additionele belichting op de totale opbrengst is dan gekwantificeerd, maar de instraling van de zon is veelal niet vermeld (Gislerod & Mortensen, 1997; Bredmose, 1993). Op basis van deze gegevens is geen uitspraak te doen over de relatie tussen licht en groei, omdat het aandeel van de bijbelichting op de totale straling niet bekend is. Een andere complicerende factor is dat het spectrum van assimilatielicht anders is dan van zonlicht. Zoals al vermeld in de inleiding (paragraaf 1.1.2 invloed van licht op kwaliteit) kan dit van invloed kan zijn op de productie (Maas & Bakx, 1992).

Van Rijssel *et al.* (1994) hebben onderzoek gedaan naar de invloed van assimilatie belichting op de productie van roos in de periode van februari 1991 tot en met juli 1993. Rozen (cv. Madelon) werden additioneel belicht met drie intensiteiten en er zijn twee daglengtes gegeven van 16 en 20 uur. Effecten van licht kwamen tot uiting circa vier weken na aanvang van de belichting. Er werd een positief effect gemeten van de lichtsom op de biomassa-productie

en op het aantal takken. Als de extra productie wordt uitgezet tegen de lichtsom van het assimilatielicht dan is er een lineair verband te zien voor zowel biomassa productie als het aantal stelen; 1% meer (assimilatie) licht gaf 1% extra meeropbrengst. Zoals eerder aangegeven kan hieruit niet de lichtregel afgeleid worden, omdat de totale hoeveelheid straling niet vermeld is.

Als de productie (biomassaproduktie en het aantal stelen) werd uitgezet tegen de zonnestraling in de kas gedurende 1 jaar, dan zijn er duidelijk seizoensinvloeden te zien: bij een zelfde hoeveelheid zonnestraling is de biomassa productie in het voorjaar hoger dan in het najaar. Van Rijssel *et al.* (1994) verklaren dit door een andere knipmethode in het voor- en najaar. In het najaar bleef een deel van de tak achter op het gewas. In het voorjaar werd een deel van de onderliggende tak meegeknippt. Ook klimaatcondities spelen een rol. In het najaar was er een periode dat de lichtintensiteit afnam en er nog weinig gestookt en relatief veel geventileerd werd. De temperatuur in de kas was nog vrij hoog door een relatief hoge buitentemperatuur, en het CO₂-gehalte laag; dit was niet bevorderlijk voor de groei.

Bij hoge lichtintensiteiten had meer zonnestraling geen invloed op de biomassaproduktie. De data zijn echter niet bruikbaar om de invloed van lichtafname op de productie (biomassa en aantal stelen) te kwantificeren in een lichtregel, omdat de assimilatiebelichting niet is opgeteld bij de zonnestraling.

In een ander onderzoek van Van Rijssel & De Visser (1985) is de opbrengst van Sonia en Motrea in stuks/m²/maand uitgezet tegen de stralingssom van de maand ervoor. Hieruit blijkt dat een lichtafname van 1% leidde tot een verlaging van het aantal stelen met 0.6% en 0.5% voor respectievelijk Sonia en Motrea. Ze meldden dat het gewicht per stuk aanmerkelijk kan verschillen en lager is in donkere periodes. Dit geldt voor stralingsniveaus tussen 50 en 300 MJ/m²/maand (circa 2 en 10 MJ/m²/dag; dit betreft grofweg de maanden januari tot en met maart en half september tot en met november). Bij hogere lichtniveaus leidde meer licht niet tot meer stelen. Als oorzaak noemen ze een tekortschietend bladpakket en vorming van platkoppen bij Motrea die onverkoopbaar zijn. Er vond dus wel productie plaats, maar effecten op de kwaliteit waren zodanig dat het product niets opbracht. Er werd geconcludeerd dat bloemen minder gevoelig zijn voor licht en dat de lichtregel 1% licht is 0.5% opbrengst beter opgaat. Echter, dit betreft de opbrengst uitgedrukt in aantal stelen, maar lichtafname leidde ook tot verlaging van takgewicht en andere kwaliteitseigenschappen. De lichtregel in termen van gewichtsproductie (aantal stelen vermenigvuldigd met takgewicht) is groter dan 0.5%.

In ander onderzoek konden in juli en augustus geen opbrengstverschillen worden gemeten in kassen waar de lichttransmissie varieert tussen 55 en 72% (Van Rijssel, 1981). De rest van het jaar waren 9 tot 20% van de opbrengstverschillen tussen de kassen te verklaren door verschillen in lichttransmissie.

Garcia *et al.* (2001) hebben rozen geteeld gedurende 1 jaar, waarbij met 2 verschillende lichtintensiteiten additioneel werd belicht. Bij de hoog licht behandeling kregen de planten gemiddeld 6 MJ/m²/dag (zonlicht en additionele belichting samen) en bij de laag licht behandeling gemiddeld 5.3 MJ/m²/dag (88% van de hoog licht behandeling). Het experiment werd uitgevoerd bij 2 CO₂-niveaus, 3 kastemperaturen en 2 gewasleeftijden. Het effect van 1% lichtafname op de totale productie (stuks/m² en versgewicht takken/m²) is uitgerekend en gemiddeld over de temperaturen, CO₂-concentraties en gewasleeftijden. Bij 1% lichtafname nam het aantal stuks af met gemiddeld 1% en het versgewicht/m² met gemiddeld 1.2%.

Maas en Bakx (1997) teelden rozen in klimaatkamers bij drie lichtniveaus (270, 180 en 90 µmol/m²/s PAR). De stekken hadden 2 bladeren, waarbij de knoppen in beide oksels uitliepen. Als het lichtniveau tot 67% gereduceerd werd nam het drooggewicht met 0.6% af per % lichtafname. Als het licht fors gereduceerd was (lichtniveau 33%) was de afname van het drooggewicht van de scheut 1% bij 1% lichtafname. Reductie van licht leidde daarnaast ook tot kortere takken en het aantal takken met een bloem daalde fors.

Kim & Lee (2002) hebben proeven uitgevoerd in klimaatkamers, waarbij effecten van straling (143 en 407 µmol/m²/s PAR) zijn onderzocht op groei. Bij laag licht (143 µmol/m²/s PAR) waren er gemiddeld 45% blinde scheuten en bij hoog licht waren er gemiddeld 13% blinde scheuten. Het gemiddeld tak(vers)gewicht werd gereduceerd bij laag licht met gemiddeld 0.4% bij 1% lichtafname. In combinatie met de blindvorming, gold in dit onderzoek dat 1%

lichtafname 1% vermindering geeft van de productie van bloeiende scheuten (uitgedrukt op basis van totaal gewicht bloeiende scheuten).

Van de Berg (1987) teelde rozen (cv Sweet Promise) in kassen met 100% en 88% licht (coating van het glas) gedurende twee winters. De afname van het versgewicht van de bloemtakken was gemiddeld 0.86% bij 1% lichtafname.

Kool (1996) mat lichtonderschepping door rozen (cv Madelon) op steenwol in de kas. De rozen hadden verschillende bladoppervlaktes en steeldiktes. Het verband tussen drooggewicht en lichtonderschepping (gemeten tussen 1 en 4.5 MJ/m²/dag) was lineair. Dat duidt er op dat 1% lichtafname leidde tot 1% afname van productie. Echter, zoals eerder aangegeven is deze methoden van cumulatieven niet zo nauwkeurig om de lichtregel vast te stellen.

Dieleman *et al.* (2003) hebben een rozenexperiment (cv. Red Berlin) uitgevoerd in klimaatkamers met wekelijks wisselende lichtniveaus (150 en 300 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR). Andere klimaatcondities waren constant. De primaire scheut van stekken werd teruggeknipt en de knopuitloop en groei en ontwikkeling van de bovenste knop werd gevolgd (andere scheuten werden weggehaald). Wekelijks werden de ontwikkelende scheuten geoogst en gewogen. Tussen twee oogsten is steeds de afname van het gewicht berekend bij afname van licht. Gemiddeld over deze oogsten nam bij een lichtafname van 1% het versgewicht af met 0.86% en het drooggewicht met 1%.

Coker & Hannan (1988) hebben een beschaduwingsproef uitgevoerd met Samantha rozen op steenwol. Er was geen sprake van een gewas, maar individuele planten stonden op containers om onderlinge beschaduwing te voorkomen. De bovengrondse biomassa productie (drooggewicht) was 9% hoger bij de beschaduwde teelt (85% licht). Deze proef is in Colorado uitgevoerd; waarschijnlijk ging het hier om zeer hoge lichtniveaus bij hoge temperaturen. Het positieve effect van beschaduwing zou in dit geval wel eens verklaard kunnen worden doordat beschaduwing voorkomt dat de temperatuur te hoog oploopt.

2.4.2 Chrysant

Chrysant is een korte-dag plant. Dat betekent dat er geen bloemen gevormd worden als de donkerperiode te kort wordt. Gedurende de eerste 10 tot 25 dagen na planten wordt lange dag gegeven om het gewas vegetatief te houden en zo groei te stimuleren. Vervolgens, als het gewas de gewenste hoogte heeft bereikt, wordt de daglengte verkort om bloei-inductie en ontwikkeling te stimuleren. Deze korte daglengte wordt gehandhaafd tot de oogst en duurt 7 tot 9 weken (Carvalho, 2003).

Verlaging van licht beïnvloedt ook kwaliteitskenmerken zoals verlaging van het aantal bloemen per steel, kortere en dunnere stelen (Carvalho, 2003; Andersson, 1990; Klapwijk & Wubben, 1986).

Lee (2002) heeft twee beschaduwingsproeven met chrysant uitgevoerd in de kas in mei 1999 en juni 2000. Lichtniveaus waren 100%, 66% en 43% licht. De lichtbenuttingsefficiëntie (LBE) is uitgerekend op basis van de hoeveelheid licht in de kas gedurende de hele teelt en op basis van licht in de kas tijdens de periode dat er een gesloten bladerdek was (constante en maximale lichtonderschepping). Omdat de LBE's nagenoeg gelijk waren in beide experimenten zijn ze gemiddeld (Tabel 2.4.1).

Tabel 2.4.1. LBE (lichtbenuttingsefficiëntie) drooggewicht chrysant uitgerekend op basis van straling in de kas en op basis van straling in de kas bij gesloten bladerdek (g/MJ). Data zijn gemiddelde van 2 proeven (Lee, 2002).

Straling (%)*	LBE (straling in de kas) g/MJ	LBE (straling in de kas bij gesloten bladerdek) g/MJ
100	2.38	3.55
66	3.12	4.29
43	3.93	5.34
Afname productie/afname licht (%/%)		
100→66	0.39	0.6
100→43	0.51	0.62
gemiddeld	0.45	0.61

* Het gemiddelde stralingsniveau (PAR) in de kas bij 100% licht was 4.3 en 3.6 MJ/m²/dag in de twee proeven.

Lichtafname in de kas van 1% leidde tot een verlaging van drooggewicht van chrysant van gemiddeld 0.45%. Als het gewas gesloten is en lichtonderschepping maximaal dan is het effect van 1% lichtafname iets groter en bedraagt gemiddeld 0.6%. Dus bij een jong gewas was het effect van lichtafname kleiner dan bij een ouder gewas. Het effect van lichtafname is relatief groter bij 43% licht vergeleken met 66% licht.

Heuvelink *et al.* (2002) hebben data van één van de hierboven beschreven experimenten van Lee (2002) gebruikt om LBE van de gehele teelt (van planten tot oogst) uit te rekenen op basis van onderschepte straling door het gewas. De LBE-waarde (0.56 % drooggewicht per 1% onderschepte licht) op deze manier berekend lag vrij dicht bij de waarde die Lee heeft berekend voor inkomende straling bij een gesloten gewas. Er werd echter ook een lineair verband gevonden tussen cumulatieve drooggewichten van de planten en de cumulatieve geabsorbeerde straling voor alle drie lichtniveaus, waarbij de hellingen (LBE) van de lijnen verschilden. Gedurende een teelt lijkt dus voor alle drie lichtniveaus 1% licht is 1% opbrengst te gelden. Zoals al is aangegeven in de inleiding is deze methode niet zo nauwkeurig om lichteffecten op productie te kwantificeren.

In een ander onderzoek van Lee *et al.* (2002) zijn groeigegevens van zes experimenten met chrysant verzameld gedurende drie jaren. Teelt vond plaats gedurende verschillende seizoenen. Het totale versgewicht van de planten werd uitgezet tegen de hoeveelheid straling (PAR) in de kas. Ze vonden een lineair verband dat niet door de oorsprong gaat. Aan het begin van het groeiseizoen was bij een lichtafname van 1% de afname van het versgewicht 0.7% en aan het einde van het groeiseizoen 0.85%. Ook hier werd een groter effect van lichtafname gevonden bij een groter gewas; wat in overeenstemming is met resultaten uit het onderzoek van Lee (2002) dat hiervoor werd beschreven. In het onderzoek van Lee *et al.* (2002) was bij hogere stralingsniveaus ook de gemiddelde temperatuur in de kas hoger. In de beschaduwingsproef (Lee, 2002) was dit waarschijnlijk niet het geval geweest.

Warrington & Norton (1991) hebben proeven uitgevoerd in klimaatkamers en hebben de daglengte en de lichtniveaus varieerd. In Tabel 2.4.2 is de afname van het drooggewicht van de plant bij lichtafname weergegeven bij de vier verschillende daglengtes.

Tabel 2.4.2. Effecten van lichtafname op de afname van het drooggewicht van chrysant (Warrington & Norton, 1991).

Daglengthe (uur)	Dagelijkse kwantum integraal (% van hoogste niveau)*	Afname drooggewicht plant/afname licht (%/%)
8	100→87	0
	100→48	0.64
	gemiddeld	0.32
12	100→82	0.41
	100→34	0.83
	gemiddeld	0.62
18	100→35	1
	100→14	0.98
	gemiddeld	0.99
24	100→33	0.95
	100→14	1
	gemiddeld	0.98

* Het hoogste lichtniveau bedroeg 1.3, 3, 6.3, 11.5 MJ/m²/dag bij respectievelijk een daglengthe van 8, 12, 18 en 24 uur.

Bij daglengthes van 18 en 24 uur gold de 1% lichtregel voor wat betreft het drooggewicht, maar werden er geen bloemen geproduceerd. Bij daglengthes van 8 en 12 uur is het effect van 1% lichtafname op productie duidelijk kleiner dan 1% en bedroegen respectievelijk gemiddeld 0.32% en 0.62%

Ook Nell *et al.* (1981) vonden een afname van 0.5% droge-stofproductie bij een lichtafname van 1%. Zij voerden een beschaduwingsproef uit in de kas met 100%, 75% en 37% licht.

Gislerod *et al.* (1989) heeft proeven uitgevoerd met relatief kleine planten van 4 weken in klimaatkamers. Effecten van daglengthe (8, 18 en 24 uur) en lichtniveau (30 en 190 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$; respectievelijk 16% en 100%) werden onderzocht. De afname van drooggewicht bij afname van 1% licht bedroeg gemiddeld 0.73% voor alle daglengthes. In een ander onderzoek van Gislerod & Nelson (1997) was het effect van 1% lichtafname op afname van drooggewicht veel kleiner en bedroeg slechts 0.39%. De lichtniveaus in de klimaatkamers waren in dit onderzoek hoger (265 en 530 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) vergeleken met het eerder genoemde onderzoek (Gislerod *et al.*, 1989). Zoals eerder genoemd zijn effecten van lichtafname bij hoge lichtniveaus vaak geringer dan bij lage lichtniveaus. Dit zou ook in dit geval het geringere effect van licht op productie kunnen verklaren.

Vergelijkbare effecten van licht vonden Kageyama *et al.* (1991). Chrysanten kregen 100%, 54% of 30% licht in de kas. Oogst van de planten vond plaats in de vegetatieve fase. Gemiddeld nam het drooggewicht van de plant 0.4% af bij een lichtafname van 1%. Dit onderzoek is uitgevoerd in Japan met hoge stralingsniveaus (varieerde tussen 2 en 24 MJ/m²/dag).

Eén van de weinige onderzoeken die het versgewicht van chrysant hebben gemeten is van De Jong (1982). Er werden 46 chrysantencultivars geteeld in de kas in de zomer en in de winter bij twee lichtniveaus (door beschaduwning). Planten werden geoogst op moment van bloei. De groeiduur was 3 dagen langer (3 tot 5% van de totale groeiduur) bij de beschaduwde teelt. Er was een duidelijk effect van het seizoen op lichteffecten op versgewicht-productie. Bij afname van 1% licht was de afname van het versgewicht per dag in de winter 0.61% en in de zomer 0.30%.

2.4.3 Conclusies snijbloemen

In dit onderzoek staat de vraag centraal of 1% licht leidt tot 1% productie. Productie wordt in alle onderzoeken uitgedrukt in droog- of versgewicht per plant of per m² of in het aantal stelen. Effecten van licht op de kwaliteit van de bloemen werden niet gekwantificeerd. Maar juist voor snijbloemen is kwaliteit een zeer belangrijk aspect. Onderstaande conclusies gelden dus alleen voor productie en niet voor effecten van licht op kwaliteit.

Bij roos leidt een verlaging van licht tot minder takken, lager takgewicht en mindere kwaliteit. Bovendien kan bij een te laag lichtniveau loosvorming optreden en worden er dus geen bloemen gevormd.

Effecten van 1% lichtafname leidde tot een reductie van opbrengst variërend tussen 0.4 en 1.2% bij roos. Aangezien vaak een productiedaling van 0.8 tot 1% per 1% lichtafname gevonden is, zou als vuistregel 1% licht is 0.8-1% productie gehanteerd kunnen worden. Effecten bij weinig licht (winter) zijn wat groter en bij veel licht (zomer) zijn effecten beduidend kleiner.

Bij chrysant varieerden effecten van 1% lichtafname op opbrengst tussen 0.3 en 1%. Echter, in veel onderzoeken met chrysant wordt de lichtregel 1% licht is 0.6% productie redelijk benaderd.

2.5 Bolbloemen

2.5.1 Freesia

In de freesiateelt is een goede beheersing van de grondtemperatuur noodzakelijk om planmatig te kunnen telen. Voor een goede blad- en bloemaanleg mag de grondtemperatuur niet te hoog oplopen en wordt er onder andere om deze reden in de zomer geschermd. Tegenwoordig wordt de grond vaak gekoeld en zou er om die reden niet meer zo intensief geschermd hoeven te worden. Er zijn verschillende onderzoeken gedaan waarbij de invloed van schermen is onderzocht op de productie en de kwaliteit van freesia.

Van de Wiel-Van Son (1989) heeft freesia geteeld in kassen van eind mei tot eind oktober. In de periode tussen 26 augustus en 4 oktober werd geschermd bij twee verschillende stralingsniveaus; in de 'donkere' kas werd er bij een lager stralingsniveau geschermd dan in de 'lichte' kas. Gedurende de hele teeltperiode was het gemiddelde stralingsniveau in de lichte kas 3.3 MJ/m²/dag (100%) en in de donkere kas 2.8 MJ/m²/dag (85%). De kastemperatuur was gelijk in beide afdeling gedurende de proef. In de donkere kas werden iets minder hoofdtakken geproduceerd dan in de lichte kas; 1% lichtafname leidde tot een productieverlaging van 0.14%. Als het aantal hoofdtakken en het aantal haken (zijtakken) werd opgeteld dan was de productie in de donkere kas aanzienlijk lager dan in de lichte kas. Bij 1% lichtafname nam het totaal aantal takken af met 1.24%. Ook het takgewicht (van de hoofdtak en één haak) was lager in de donkere kas: 1% lichtafname leidde tot reductie van het takversgewicht met 0.47%. Dus, 1% lichtafname reduceerde de totale versgewichtproductie met waarschijnlijk circa 1.7%.

Doorduyn (1983) heeft de invloed van drie schermniveaus onderzocht op de productie van drie freesia cultivars in de zomer. Bij licht schermen was de lichtdoorlating (van kasdek en scherm) gemiddeld 39%, bij matig schermen 21% en bij zwaar schermen 15%.

Tabel 2.5.1. *Afname productie freesia bij lichtafname (%/%). Gemiddelde van 3 metingen op verschillende momenten gedurende de teelt (Doorduyn, 1983)*

Productie	Afname productie/afname licht (%/%)		
	Mate van schermen		gemiddeld
	licht → matig	licht → zwaar	
Plant versgewicht	0.27	0.49	0.38
Plant drooggewicht	0.35	0.64	0.49
Aantal takken	0.23	0.47	0.35
Takgewicht	0.05	0.15	0.10

* *Bij licht schermen was het gemiddelde lichtniveau 3.2 MJ PAR/m²/dag.*

De totale versgewicht productie nam gemiddeld af met 0.38% bij 1% lichtafname (Tabel 2.5.1). Dit werd hoofdzakelijk veroorzaakt door afname van het aantal takken (en dan met name van een afname van het aantal haken en niet zozeer van het aantal hoofdtakken) en in mindere mate door afname van het takgewicht. Het drooggewicht nam 0.49% af bij 1% lichtafname en reageerde dus sterker op lichtafname dan het versgewicht. Blijkbaar was het drogestofpercentage lager bij lage lichtniveaus.

In een ander onderzoek van Doorduyn (1987) is er verschillende jaren in de zomerperiode met verschillende niveaus geschermd bij drie cultivars. Bij zwaar schermen leidde 1% lichtafname tot een verlaging van het aantal takken met gemiddeld 0.39%. Matig schermen leidde tot een afname van het aantal takken met 0.28% bij 1% lichtafname in het ene jaar. In het andere jaar was er geen verschil in aantal takken bij licht en matig schermen. De kwaliteit was verminderd (lichtere takken) bij zwaar schermen. Er werd geconcludeerd dat zwaar schermen in de zomermaanden voor de herfstbloei van freesia nadelig is voor de productie.

2.5.2 Lelie

Het lichtniveau beïnvloedt de kwaliteit van lelies. De planten worden langer als het licht verlaagd wordt (Miller & Langhans, 1989; Blom *et al.*, 1995; Heins *et al.*, 1982) en het blad wordt dunner.

Blom *et al.* (1995) hebben drie lelie cultivars in de kas geteeld bij vier lichtniveaus (100, 75, 50 en 25% licht door beschaduwning). Planten werden geoogst bij opening van de eerste bloem. Gemiddeld was er geen afname van het drooggewicht van de spruit bij afname van licht. Het drooggewicht van de hele plant nam af met 0.19% bij afname van 1% licht.

Miller & Langhans (1989) vonden grotere effecten van licht op groei. Groei werd gemeten bij stralingsniveaus van 100, 80, 50 en 15%. Gemiddeld was de afname van het drooggewicht van de spruit 0.85% bij 1% lichtafname. Afname van het drooggewicht van de hele plant was 0.70% bij 1% lichtafname (Tabel 2.5.2). Een geringe lichtafname had een relatief groter effect op het drooggewicht van spruit en plant dan een forse lichtreductie.

Tabel 2.5.2. Afname van het drooggewicht van de spruit en van de hele plant van lelie bij lichtafname (Miller & Langhans, 1989).

Straling (%) [*]	Afname drooggewicht spruit/afname licht (%/%)	Afname drooggewicht plant/afname licht (%/%)
100→80	1.38	1.13
100→50	0.76	0.80
100→15	0.51	0.53
Gemiddeld	0.85	0.70

^{*} Het hoogste stralingsniveau bedroeg 2.9 MJ PAR/m²/dag.

De verschillende resultaten van Miller en Langhans (1989) en van Blom *et al.* (1995) zouden veroorzaakt kunnen zijn door verschillen in het absolute lichtniveau in de kas. In voorgaande hoofdstukken werd meerdere keren geconcludeerd dat lichtafname een groter effect heeft bij lage stralingsniveaus. De absolute straling is het artikel van Blom *et al.* (1995) niet vermeld. Proeven zijn uitgevoerd in Canada (Ontario) en gestart in december. Het zou kunnen zijn dat het stralingsniveau relatief hoog was, waardoor het gevonden effect van lichtafname op productie klein is.

2.5.3 Conclusie bolbloemen

De invloed van licht op de productie wordt hier samengevat. Naast deze effecten op productie (gewicht) heeft meer licht, net als bij snijbloemen, grote positieve invloed op kwaliteit. Deze effecten zijn echter niet goed kwantitatief bekend.

Bij freesia nam het takversgewicht af met gemiddeld 0.1% – 0.5%. Het aantal geproduceerde takken nam af bij lichtafname variërend tussen 0 en 1.24% bij 1% lichtafname. Op basis hiervan kan geschat worden dat de totale versgewichtproductie tussen 0 en 1.7% afnam bij 1% lichtafname. Dit is gebaseerd op proeven die in de zomermaanden zijn uitgevoerd. In de winterperiode kunnen effecten van lichtafname op de productie van freesia groter zijn dan in de zomer, omdat het absolute lichtniveau in de winter lager is.

Bij lelie leidde 1% lichtafname tot verlaging van het drooggewicht van de spruit variërend tussen 0 en 1.38% (versgewichten zijn niet vermeld).

Voor bolbloemen zijn de gegevens te beperkt om een algemene vuistregel te geven. In veel gevallen zal 1% lichtafname leiden tot 0.25-1.25% vermindering van productie; waarbij effecten in de winter groter zijn dan in de winter.

2.6 Bloeiende potplanten

Bij de productie van bloeiende potplanten wil de teler kwalitatief goede planten leveren die lang houdbaar zijn (Meeuwissen, 1985). In de praktijk wordt geschermd om de kwaliteit en de houdbaarheid te verhogen.

In de literatuur zijn nauwelijks experimenten beschreven die de invloed van licht op de productie bestuderen. Er is wel meer onderzoek gedaan naar effecten van licht op kwaliteit en/of houdbaarheid. Tooze (1986b) concludeert dat lichtverlies bij jonge potplanten (*saintpaulia*, *codiaeum*, *schefflera*) in de zomer geen negatief effect heeft op de groeisnelheid, en soms zelfs een positief effect heeft omdat verbranden van het blad voorkomen wordt.

2.6.1 Poinsettia (kerstster)

Bij poinsettia zijn kwaliteitskenmerken zoals de morfologie van de plant, grote schutbladeren met mooie kleuren en de houdbaarheid belangrijk.

In de literatuur zijn geen gegevens gevonden over effecten van licht op productie van vers- of drooggewicht. Alle onderzoeken over licht hebben betrekking op de kwaliteit of houdbaarheid.

Baily & Miller (1991) hadden in een kasproef drie lichtniveaus aangelegd door beschaduwing. Ze concludeerden dat licht geen invloed had op het aantal dagen tot bloei en ook niet op de hoogte van de plant. Laag licht had wel een negatieve invloed op de diameter van de schutbladeren en op het aantal bloeiwijzen. Ook de houdbaarheid werd beïnvloed door het lichtniveau. Na 30 dagen was het verlies van bloeiwijzen hoger bij laag licht en het verlies van blad juist lager. Ze adviseren om in de laatste weken van de teelt het licht te verlagen. Dit staat in contrast met het advies van Bulle (2003). Zij heeft bedrijfsvergelijkend onderzoek uitgevoerd met als doel de verbetering van de houdbaarheid van poinsettia door sturing van teeltfactoren. Zij concludeerde dat zoveel mogelijk licht, met name aan het einde van de teelt, van groot belang is voor een goede houdbaarheid.

2.6.2 Saintpaulia (kaaps viooltje)

Er zijn twee onderzoeken van Andersson (1993 en 1994) waarbij effecten van beschaduwing op saintpaulia zijn onderzocht. Beide onderzoeken zijn uitgevoerd in de zomer. Bij het eerste onderzoek zijn er drie niveaus van beschaduwing gegeven (64%, 76% en 84%) als het licht hoger was dan 350W/m². Het is geen kwantitatief onderzoek; lichtsommen zijn niet vermeld. Beschaduwing leidde tot verkorten van de periode tot bloei. Beschaduwing had geen effect op het aantal bladeren en bloemen. Teveel licht leidt tot bladeren met een te lichte kleur en daarmee tot een onverkoopbaar product.

In het tweede onderzoek van Andersson (1994) werd er beschaduwd (76%) als het licht boven drie verschillende niveaus kwam (200, 350 en 500 W/m²). Ook hieruit bleek dat de planten met de laagste lichtsom de beste bladkleur hadden en de meeste bladeren.

2.6.3 Kalanchoë

Gislerod *et al.* (1989) heeft het effect van lichtintensiteit en van daglengte onderzocht op de groei van kalanchoë in de kas. Bij elke daglengte is het effect van lichtafname op de afname van het drooggewicht van de plant uitgerekend. (Voor de start van de behandeling hadden de planten 3 weken een korte-dag gehad). Gemiddeld leidde 1% lichtafname tot 0.77% afname van het drooggewicht van de plant. Effecten waren het grootst bij de kortste daglengte van 16 uur: 1% lichtafname leidde tot een afname van 0.97% van het drooggewicht. Ook kwaliteitskenmerken werden negatief beïnvloed. Bij het laagste lichtniveau waren de planten korter, waardoor de bloemen minder goed zichtbaar waren. Het aantal dagen tot bloei was niet beïnvloed.

Mortensen (1994) heeft effecten van allerlei klimaatfactoren op de groei van kalanchoë onderzocht in klimaatkamers. Er werden twee lichtniveaus gegeven: 130 en 85 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Lichtafname had een kleiner effect op het versgewicht dan op het drooggewicht; 1% lichtafname leidde tot een verlaging van het versgewicht van 0.57% en tot een verlaging van het drooggewicht van 0.82%. Planten die bij laag licht groeiden waren kleiner, het duurde langer voor ze in bloei kwamen en het versgewicht van de bloemen was lager.

2.6.4 Conclusie bloeiende potplanten

In de bestudeerde literatuur zijn weinig kwantitatieve gegevens te vinden over het effect van licht op groei. Alleen bij kalanchoë is gevonden dat bij 1% lichtafname het drooggewicht afneemt met circa 0.8%. Echter, bij bloeiende potplanten zijn andere factoren belangrijker dan het gewicht, zoals morfologie, bladkleur, periode tot bloei en houdbaarheid. Uit de literatuur blijkt dat licht invloed heeft op deze factoren. Saintpaulia heeft bij teveel licht een te lichte bladkleur en is daardoor onverkoopbaar. Te weinig licht bij poinsettia en kalanchoë leidt juist tot minder bloemen. Bij potplanten zijn deze kwaliteitskenmerken belangrijker dan het gewicht van de planten. Effecten zijn gewasafhankelijk en afhankelijk van kwaliteitskenmerken. Licht zal dus hierop afgestemd moeten worden en niet zo zeer op gewicht.

Effecten van licht kunnen anders zijn in de zomer dan in de winter. Over het algemeen is blad lichter van kleur bij laag licht, omdat het blad dunner is. Lichtafname in de winter kan dus nadelig zijn voor zowel de productie als voor de bladkleur.

Om bovengenoemde redenen is het opstellen van een vuistregel voor bloeiende potplanten over de invloed van licht op productie niet zinvol.

2.7 Niet-bloeiende potplanten

2.7.1 Ficus benjamina

Ficus benjamina is de meest geteelde niet-bloeiende potplant in Nederland. Belangrijke kwaliteitskenmerken zijn een mooie vorm en een gelijkmatige verdeling van de bladeren.

Sarracino *et al.* (1992) hebben ficus geteeld in de winter gedurende 135 dagen bij vier lichtniveaus in de kas. De lichtniveaus waren gecreëerd door beschaduwing. Lichtniveaus bedroegen 100%, 68%, 37% en 8%.

Tabel 2.7.1. Afname vers- en drooggewicht *Ficus benjamina* gedeeld door de afname van het lichtniveau (Sarracino *et al.*, 1992).

Straling* (%)	Afname versgewicht/afname licht (%/%)	Afname drooggewicht/afname licht (%/%)
100→68	0.66	0.40
100→37	0.67	0.73
100→8	0.65	0.69
gemiddeld	0.66	0.61

* Het hoogste stralingsniveau bedroeg 1.9 MJ/m²/dag.

Bij 1% lichtafname nam het versgewicht gemiddeld af met 0.66% en het drooggewicht met 0.61% (Tabel 2.7.1). Lichtafname, al vanaf een lichtniveau van 68%, leidde tot kleinere planten met een geringere breedte. Het blad was dunner bij het laagste lichtniveau.

Vergelijkbare resultaten werden gevonden door Mortensen en Grimstad (1990). Zij teelden ficus gedurende twee maanden in een kas met twee niveaus van bijbelichting. De planten kregen gemiddeld lichtniveaus van 1.4 MJ/m²/dag (100%) en 0.98 MJ/m²/dag (70%). Lichtafname van 1% leidde tot een verlaging van drooggewicht van 0.72%. De hoogte van de planten en het aantal bladeren was gereduceerd bij 70% licht.

Johnson *et al.* (1982) vonden dat lichtafname een groter effect had op het de hele plant dan op alleen de bovengrondse delen van de plant. Lichtafname had dus het grootste effect op wortelgroei. Dit effect op wortelgroei is vrij algemeen geldig voor de meeste plantsoorten. Ficus werd geteeld bij 100% ($1085 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) en 53% licht. Lichtafname van 1% leidde tot een verlaging van het drooggewicht van de spruit met 0.39%. Het drooggewicht van de hele plant reduceerde met 0.74%.

Fails *et al.* (1982) vonden dat het drooggewicht van ficus daalde met 0.89% bij 1% lichtafname. Planten werden 12 weken geteeld bij 100% en 25% licht. Absolute lichtniveaus zijn niet vermeld.

Beel *et al.* (1997) hebben verschillende belichtingsstrategieën in de kas getest op de groei van Ficus gedurende de winter. Ficus werd additioneel belicht als de stralingssom onder een bepaald niveau kwam. Alleen de behandelingen met gelijke daglengte zijn vergeleken om daglengte effecten uit te sluiten. Bij de behandelingen 100% licht ($1.2 \text{ MJ}/\text{m}^2/\text{dag}$) en de behandeling met 93% licht werd niet additioneel belicht. De afname van het drooggewicht van de plant ten opzichte van de lichtafname bedroeg 0.70.

Resultaten van Joiner *et al.* (1980) zijn tegenstrijdig met bovenstaande onderzoeken. Zij vonden dat minder licht leidde tot een hoger versgewicht, grotere planten met meer bladeren. Bovendien was het blad donkerder van kleur en dunner. Het absolute lichtniveau buiten varieerde gedurende de proef tussen 8.4 tot $25 \text{ MJ}/\text{m}^2/\text{dag}$ (Florida). Blijkbaar was dit lichtniveau zo hoog (en daarmee naar verwachting de temperatuur) dat het negatieve effecten had op de groei van ficus.

2.7.2 Dracaena

In twee verschillende onderzoeken werd gevonden dat te hoge lichtniveaus de groei van Dracaena negatief beïnvloedt. Vladimirova *et al.* (1997) heeft Dracaena geteeld bij vier lichtniveaus (53%, 37%, 20% en 9% licht door beschaduwing) in de zomer in Florida. Uit dit onderzoek bleek dat Dracaena het beste groeide bij 20% licht (500 tot $600 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$). Bij de twee hogere lichtniveaus werd zowel vers- als drooggewicht van de bovengrondse delen gereduceerd. Bij 9% licht was de groei gereduceerd ten opzichte van 20% licht. Vers- en drooggewicht namen af met 0.7% bij 1% lichtafname voor de bovengrondse delen en met 0.66% voor de hele plant (effect op wortelgroei is iets sterker). Het laagste lichtniveau leverde planten met het meest bonte blad. Ook Conover & Poole (1980) vonden dat teveel licht ($1394 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) de hoogte en kwaliteitskenmerken zoals uniformiteit en kleur van Dracaena negatief beïnvloedt. Vermindering van licht tot 67% leidde tot grotere planten van betere kwaliteit. In dit onderzoek is geen productie gemeten zodat er geen uitspraak gedaan kan worden over de invloed van licht op productie.

Verberkt (1990) heeft dracaena bij verschillende stralingsniveaus geschermd in een zomerexperiment. Dracaena had de beste bladkleur bij de behandeling waar bij het laagste stralingsniveau al geschermd is (scherm dicht als globale straling $> 350 \text{ W}/\text{m}^2$). Teelt onder lichtere omstandigheden leidde tot een fletse bladkleur.

In tegenstelling tot Dracaena geldt bij Codiaeum meer licht (en hoge temperaturen) de bladkleur (bontkleuring) verbetert door meer anthocyaanvorming (Preissel *et al.*, 1980).

2.7.3 Conclusie niet-bloeiende potplanten

Net als bij snijbloemen, bolbloemen en bloeiende potplanten is de kwaliteit (morfologie, bladkleur en eventueel bontkleuring van het blad) en houdbaarheid van niet-bloeiende potplanten belangrijk voor de opbrengst van het product. Uit verschillende onderzoeken blijkt dat laag licht in veel gevallen een positieve invloed heeft op de bladkleur en op de bontkleuring van dracaena.

In alle onderzoeken met Ficus benamina en Dracaena, één onderzoek uitgezonderd, is gevonden dat een lichtafname van 1% resulteert in een verlaging van het gewicht met minder dan 1%. In twee onderzoeken is zowel het versgewicht als drooggewicht bepaald; hieruit bleek dat effecten van lichtafname nagenoeg gelijk waren op vers- en

drooggewicht. Het drooggewicht neemt af variërend tussen 0.4 en 0.9% bij een lichtafname van 1%. Het absolute lichtniveau lijkt van invloed te zijn op het effect van lichtafname op groei. Veel licht heeft zelfs een negatief effect op de groei; dit is gemeten bij ficus en dracaena.

Als vuistregel zou gehanteerd kunnen worden dat 1% lichtafname leidt tot gemiddeld 0.65% productie. Alleen bij hoge lichtniveaus (zomer) kan het effect kleiner zijn en bij lage lichtniveaus (winter) kan het effect groter zijn en oplopen tot 0.9%.

2.8 Conclusies

De doelstelling van deze literatuurstudie was om de veelgebruikte lichtregel '1% licht is 1% productie' te toetsen en om deze eventueel aan te passen voor verschillende gewasgroepen in de tuinbouw.

De vuistregel '1% licht is 1% opbrengst' geeft voor de meeste gewassen die in deze literatuurstudie zijn bestudeerd een overschatting van het effect van licht op productie. In Tabel 2.8.1 is voor de verschillende bestudeerde gewassen aangegeven wat het effect is van 1% lichtafname op de productie. In de laatste kolom is aangegeven of er verschillen gevonden zijn tussen effecten van lichtafname op het oogstbare product en op het totale plantgewicht, en of er verschillen gemeten zijn tussen vers- en drooggewichten.

Over het algemeen werd gevonden dat effecten van lichtafname op productie in de winter groter zijn dan in de zomer. In de winter is licht vaak de meest beperkende factor voor groei, terwijl in de zomer andere factoren dan licht beperkend kunnen zijn. Dat betekent dat het in feite niet mogelijk is een algemene lichtregel op te stellen die geldig is onder alle omstandigheden. Wel is het mogelijk een algemeen vuistgetal te geven voor de lichtregel, waarbij in het achterhoofd gehouden moet worden dat die in de winter een onderschatting, en in de zomer een overschatting kan zijn van effecten van licht op productie. Naast effecten van licht op productie heeft licht ook invloed op de kwaliteit. In dit onderzoek is dit wel beschreven voor verschillende gewasgroepen, maar niet 'verrekend' in de lichtregel. Over het algemeen leidt meer licht tot een betere kwaliteit van snijbloemen. Maar bij bijvoorbeeld saintpaulia kan extra licht leiden tot extra productie (kwantiteit), maar wordt de bladkleur te flets en is daarmee onverkoopbaar. Daarnaast zijn er gewasafhankelijke factoren die een rol kunnen spelen bij effecten van lichtafname op productie. Bij bijvoorbeeld roos kan te weinig licht leiden tot bloemknopabortie en tot loosvorming. Bij radijs worden er bij te weinig licht geen knollen aangelegd. Bij het toepassen van de lichtregel (zoals weergegeven in Tabel 2.8.1) zal dus met al deze bovengenoemde factoren rekening gehouden moeten worden.

Tabel 2.8.1. Afname van de productie bij 1% lichtafname voor verschillende gewassen op basis van literatuurstudie.

Gewasgroep	Gewas	Afname productie bij 1% lichtafname	Opmerkingen
Grondgebonden groenten	Sla	0.8%	Effecten van lichtafname gelijk voor vers- en drooggewicht.
	Radijs	1%	Licht beïnvloedt de spruit/knol verhouding. Effecten van lichtafname op de knol zijn groter dan op de spruit en kunnen bij lage lichtniveaus groter worden dan 1%.
Vruchtgroenten	Komkommer	0.8 – 1%	Droge-stofpercentage van de vrucht wordt verlaagd bij lichtafname; effecten van lichtafname op versgewicht zijn dan kleiner dan op het drooggewicht van vruchten.
	Tomaat	0.8 – 1%	Lichtafname heeft een groter effect op het versgewicht van de vruchten dan op het drooggewicht van de plant.
Snijbloemen	Paprika	0.8 – 1%	
	Roos	0.8 – 1%	Licht beïnvloedt zowel het aantal stelen als de biomassa (één onderzoek uitgezonderd). Effecten van 1% lichtafname zijn in de winter groter en in de zomer beduidend kleiner.
Bolbloemen	Chrysant	0.6%	Alleen informatie van licht op de totale biomassa en niet op het aantal stelen.
	Freesia	0.25-1.25%	Gegevens waren te beperkt voor een algemene lichtregel.
	Lelie	0.25-1.25%	Gegevens waren te beperkt voor een algemene lichtregel.
Bloeiende potplanten	Poinsettia, saintpaulia, kalanchoë		Lichtregel niet op te stellen door gebrek aan literatuur. Daarnaast beïnvloedt licht de kwaliteit. Kwaliteit is minstens zo belangrijk als biomassa productie, maar is niet uit te drukken in een algemene lichtregel.
Niet-bloeiende potplanten	Ficus benjamina, dracaena	0.65%	Effecten van lichtafname zijn gelijk voor vers- en drooggewicht.

3. Analyse van praktijkgegevens

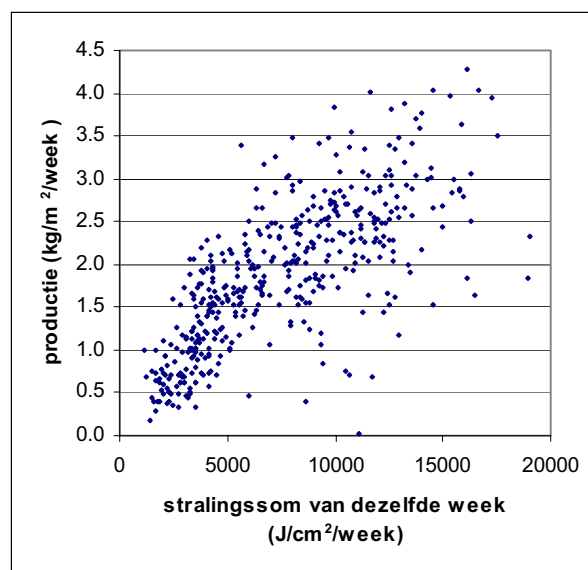
Voor de gewassen komkommer, roos en Poinsettia zijn data uit de praktijk geanalyseerd om de relatie tussen licht en productie vast te stellen.

3.1 Komkommer

Een dataset van 14 komkommertuinders (provincies Zuid Holland en Utrecht) over de periode 1996 week 1 tot en met 1997 week 19 is gebruikt in deze studie. De dataset betreft weekwaarden van versgewichtproductie ($\text{kg}/\text{m}^2/\text{week}$) en kasklimaat, welke gegevens door de tuinders waren geregistreerd.

De factor licht was beschikbaar als weekommen globale straling buiten de kas in $\text{J}/\text{cm}^2/\text{week}$. Daarnaast waren er weekgemiddelden van de etmaaltemperatuur in de kas, en weekgemiddelden CO_2 -concentraties overdag.

Bij het telen van komkommers wordt er twee of drie keer per jaar een nieuw gewas opgezet. De plantdatum van de eerste teelt valt meestal in december. Bij drie teelten wordt de tweede teelt veelal gestart in mei. Zijn er maar twee teelten dan kan de eerste teelt doorlopen tot begin juli. Het komkommerseizoen eindigt meestal rond begin november. Van een productief gewas wordt meerdere malen per week geoogst. Per teelt is er dus sprake van een doorlopende reeks weekproductiecijfers. De eerste en de laatste oogstweek van een teelt kunnen betrekking hebben op de productie van minder dan een week, bijvoorbeeld maar één oogstdag. De eerste en laatste weekproductie van iedere teelt zijn daarom buiten de analyse gehouden.



Figuur 3.1.1. Wekelijkse versgewicht van geoogste komkommervruchten uitgezet tegen de globale straling van die week. Data afkomstig van 14 tuinders in de periode week 1 van 1996 tot en met week 19 van 1997.

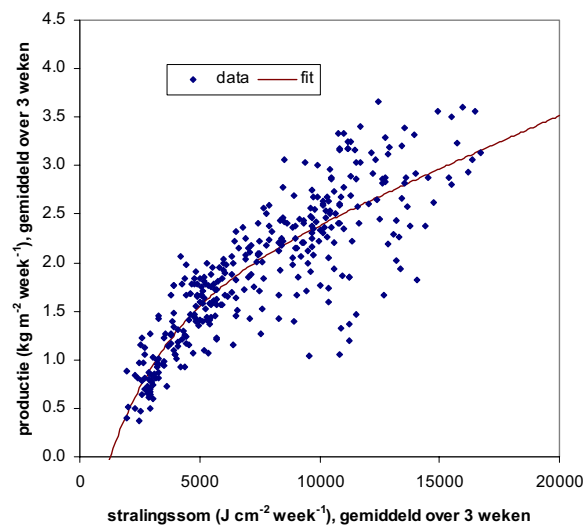
Als weekproductiecijfers uitgezet worden tegen de stralingssom van dezelfde week, dan ontstaat een brede puntenwolk (Figuur 3.1.1). Desondanks is een positieve correlatie tussen productie en straling wel duidelijk. Vervolgens is nagegaan of de spreiding op deze relatie tussen productie en straling minder wordt als de straling van een of meerdere van de voorafgaande weken wordt gebruikt.

De weekproductie uitzetten tegen de stralingssom van één week eerder of de stralingssom van twee weken eerder geeft geen verbetering (data niet getoond).

De weekproductie uitzetten tegen het voortschrijdend gemiddelde van 2 of 3 weekssommen straling geeft enige verbetering (data niet getoond). Het wordt nog iets beter als ook van de weekproductie een voortschrijdend gemiddelde wordt berekend over 2 of 3 weken (Figuur 3.1.2). Voor de verdere analyse is gebruik gemaakt van voortschrijdende gemiddelden over 3 weken van zowel productie als klimaat.

Nagegaan is welke functie het beste de relatie tussen productie en licht kan beschrijven. Diverse curven zijn gefit op de data van Figuur 3.1.2. Tabel 3.1.1 geeft hiervan een overzicht. Een exponentiële functie met een lineaire term (optie 5), voldoet het beste. Weliswaar is de verklaarde variantie bij een derdemachts polynoom (optie 3) even goed, maar de derdemachtsfunctie is moeilijk te extrapoleren buiten het meetbereik van de x-waarden.

In Figuur 3.1.2 is de gefitte curve op basis van exponentiële functie met lineaire term weergegeven.



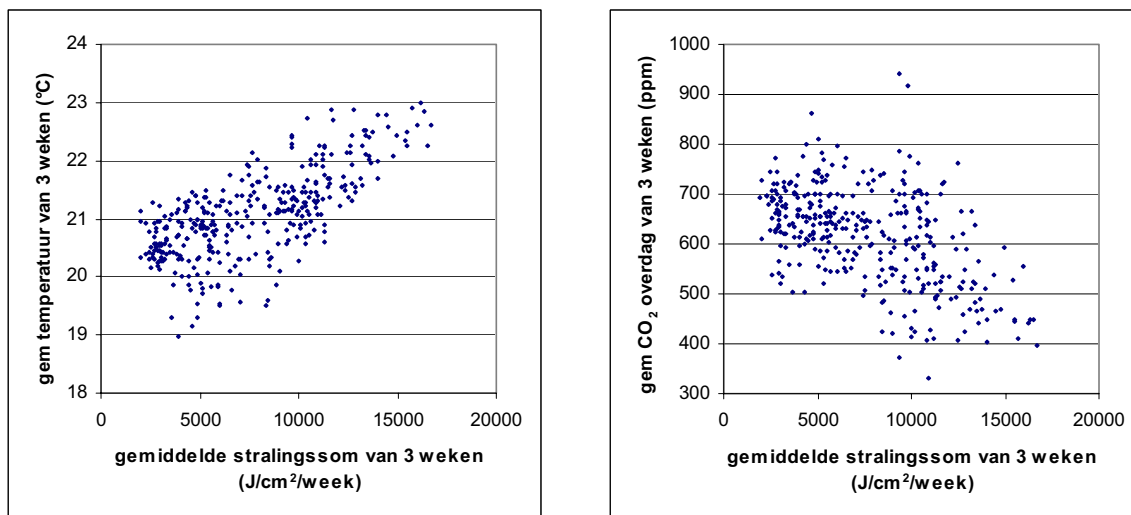
Figuur 3.1.2. Vergewichtproductie van geoogste komkommervruchten uitgezet tegen de globale straling van dezelfde periode. Elk datapunt is voortschrijdend gemiddelde van 3 weken. Data zijn gefit door de functie $Y=1.338-2.4465 \cdot 0.9996^X + 0.000109 \cdot X$, $R^2=0.745$ (zie Tabel 3.1.1). Data afkomstig van 14 tuinders in de periode week 1 van 1996 tot en met week 19 van 1997.

Tabel 3.1.1. Gefitte functies op de data van Figuur 3.1.2. Y is de gemiddelde productie van 3 weken ($\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{week}^{-1}$), X de gemiddelde stralingssom van 3 weken ($\text{J} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{week}^{-1}$).

Regr modelnr	Functie	Verklaarde variantie (%)
1	$Y = A + B \cdot X$	71.1
2	$Y = A + B \cdot X + C \cdot X^2$	73.8
3	$Y = A + B \cdot X + C \cdot X^2 + D \cdot X^3$	74.5
4	$Y = A + E \cdot (R^X)$	74.2
5	$Y = A + E \cdot (R^X) + B \cdot X$	74.5

Gelijktijdig met lichtintensiteit veranderen in een praktijkkas ook andere klimaatcondities. Eerst is nagegaan in welke mate temperatuur en CO₂-concentratie correleren met veranderingen in licht en vervolgens is geanalyseerd in welke mate de relatie tussen productie en licht beïnvloed is door variaties in temperatuur en CO₂.

De gerealiseerde etmaaltemperaturen (gemiddeld over perioden van 3 weken) vertoonden een positieve correlatie met de lichtsom (Figuur 3.1.3A). Deze positieve correlatie is waarschijnlijk het gevolg van opwarming van de kas door de zon en door verhoging van temperatuursetpoints bij toenemende straling. De gerealiseerde CO₂-concentratie overdag daarentegen vertoonde een negatieve correlatie met lichtsom (Figuur 3.1.3B), waarschijnlijk als gevolg van het feit dat bij meer licht minder gestookt wordt en daardoor minder CO₂ beschikbaar is en dat de ramen verder opengaan waardoor CO₂ verloren gaat.



Figuur 3.1.3. Correlatie tussen gemiddelde gerealiseerde etmaaltemperatuur en stralingssom (A) en tussen gemiddelde CO₂-concentratie overdag en stralingssom (B). Elk datapunt is voortschrijdend gemiddelde van 3 weken. Data afkomstig van 14 tuinders in de periode week 1 van 1996 tot en met week 19 van 1997.

Om na te gaan in welke mate de gevonden relatie tussen productie en straling beïnvloed is, door de variatie in temperatuur en CO₂-concentratie, is een regressie-analyse uitgevoerd. Hierbij werden termen voor temperatuur en CO₂-concentratie aan Regressiemodel 5 ($Y = 1.338 - 2.4465 \cdot 0.9996^X + 0.000109 \cdot X$; waarbij X is straling en Y is productie) toegevoegd (Tabel 3.1.2). Tevens is nagegaan of de gewasleeftijd (weeknummer vanaf planten) een belangrijke factor was. Toevoeging van een term voor temperatuur aan het regressiemodel, gaf geen verbetering van de verklaarde variantie (R² werd niet groter; Tabel 3.1.2). Waarschijnlijk was de temperatuur zo nauw aan straling gecorreleerd dat eventuele directe effecten van temperatuur op productie al in het regressiemodel (Model 5) met alleen licht verdisconteerd waren. Toevoeging van termen voor CO₂-concentratie en gewasleeftijd gaf wel enige verbetering van de verklaarde variantie (iets hogere R²; Tabel 3.1.2).

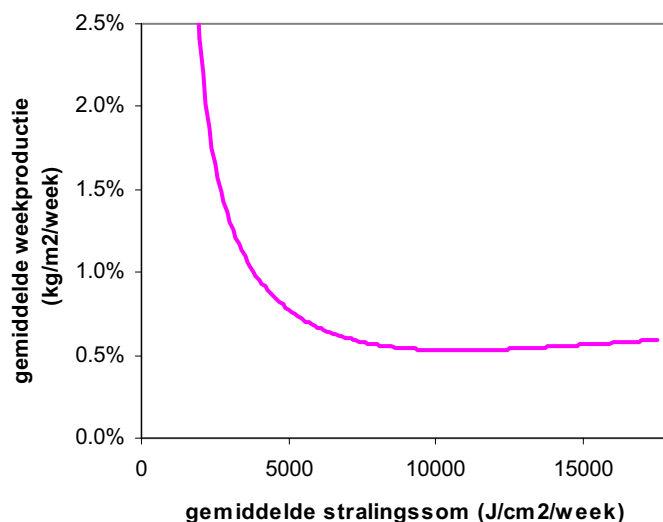
Met de genoemde regressiemodellen (Tabel 3.1.2) blijft nog steeds circa 25% van de gevonden variantie van productie (driewekelijkse oogstgegevens) onverklaard. Als in plaats van geoogste vruchten de vruchtgroei of plantgroei was bestudeerd als maat voor productie, dan zou waarschijnlijk een groter percentage van de variantie verklaard kunnen worden. Verder kan meespelen dat klimaatgegevens over een langere periode (3 weken) gemiddeld waren, terwijl er grote variaties tussen dagen en tussen het verloop binnen de dag zullen zijn geweest. Zo kan bijvoorbeeld niet uitgesloten worden dat verschillen tussen dag en nachttemperatuur een rol hebben gespeeld of dat het aanpassen van de temperatuur aan de instraling een factor is die de relatie tussen licht en productie kan beïnvloeden; bijvoorbeeld om verbruik van assimilaten in balans te laten zijn met de aanmaak van assimilaten zou op donkere dagen een lagere temperatuur aangehouden kunnen worden.

Tabel 3.1.2. Parameterwaarden van gefitte functies op de data van Figuur 3.1.2, waarin behalve termen met licht, extra termen voor temperatuur en/of CO₂ en/of weken na planten zijn opgenomen (vanaf Regressie-model 6).

Regr Modelnr	Verklaarde variantie (%)	Constance (A)	Licht			Temperatuur (D)	CO ₂ (E)	Week na planten (F)
			(B)	(R)	(C)			
5	74.5	1.3384	-2.4465	0.99960	0.000109			
6	74.4	1.0446	-2.4742	0.99961	0.000105	0.01556		
7	75.4	0.5688	-2.3362	0.99957	0.000131		0.000900	
8	75.2	1.1058	-2.3075	0.99958	0.000111			0.01312
9	75.5	0.6524	-2.2913	0.99956	0.000126		0.000648	0.00754

Maximale model: productie = A + B*(R^{licht}) + C*licht + D*temp + E*CO₂ + F*week_na_planten.

Alleen de termen, waarvan de parameterwaarden zijn ingevuld, maken deel uit van de verschillende regressiemodellen.



Figuur 3.1.4. Het relatieve effect van 1% lichttoename op de procentuele toename van versgewicht oogst van komkommers. Data zijn afgeleid uit de regressielijn in Figuur 3.1.2 (regressiemodel 5; zie Tabel 3.1.2)

Op basis van het regressiemodel (Model 5) kan berekend worden hoe groot het effect van licht is op productie (Figuur 3.1.4). Het relatieve effect op productie is veel groter bij een laag lichtniveau (winter) dan bij een hoog lichtniveau (zomer). Bij lage globale instraling van bijvoorbeeld 2500 J/cm²/week (waarde die vaak in februari voorkomt) gaf 1% lichttoename circa 1% meerproductie. Bij meer dan 10000 J/cm²/week gaf 1% lichttoename nog maar circa 0.5% meerproductie. Op basis van stralingscijfers van een standaardjaar, leidt 1% lichttoename op basis van het regressiemodel (Model 5) tot circa 0.7% verhoging van de jaarproductie.

In deze effecten van licht op productie zijn de indirecte effecten van licht via verandering van temperatuur en CO₂-concentratie verdisconteerd. Het directe effect van licht op de productie (dus lichteffect bij gelijkblijvende overige klimaatcondities) zal daarom een iets andere waarde hebben dan de hiervoor genoemde getallen. Het regressiemodel (Model 7) waar ook een term voor CO₂-concentratie is toegevoegd, biedt nu de mogelijkheid om effecten van CO₂ op de lichtregulering te schatten. Als het effect van lichttoename gecorrigeerd wordt voor CO₂-effecten, leidt 1%

lichtverhoging volgens Regressiemodel 7 tot 0.9% verhoging van de jaarproductie (ten opzichte van 0.7% wanneer niet gecorrigeerd voor CO₂). Dit betekent dat als bij toepassing van een energiebesparende maatregel de correlatie tussen licht en CO₂ gelijk blijft er met een lichtregel van 1% licht is 0.7% productie moet worden gerekend. Echter als de maatregel alleen het lichtniveau en niet de CO₂-concentratie beïnvloedt (en dus de correlatie tussen CO₂ en licht verandert), dan moet worden gerekend met een lichtregel van 1% licht is 0.9% productie.

3.2 Roos

Bedrijven

Bij 40 bedrijven zijn gedurende drie perioden van vier weken, 5-minuuts kasklimaatgegevens met een geïntegreerde sensor/datalogger-unit (squirrel) gelogd, zoals het lichtniveau boven het gewas ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$), de kasttemperatuur ($^{\circ}\text{C}$) en het CO₂-niveau (in ppm gemiddeld over de tijd met meer dan 4 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ aan licht). Ook zijn er gewasmetingen (o.a. aantal takken, tagewicht, lengtegroei, knopdiameter) verricht.

Periode 1: van 16 oktober tot en met 12 november 2000

Periode 2: van 13 november tot en met 10 december 2000

Periode 3: van 11 december tot en met 7 januari 2001

In onderstaande tabel zijn de voornaamste kenmerken van de bemeten bedrijven genoemd.

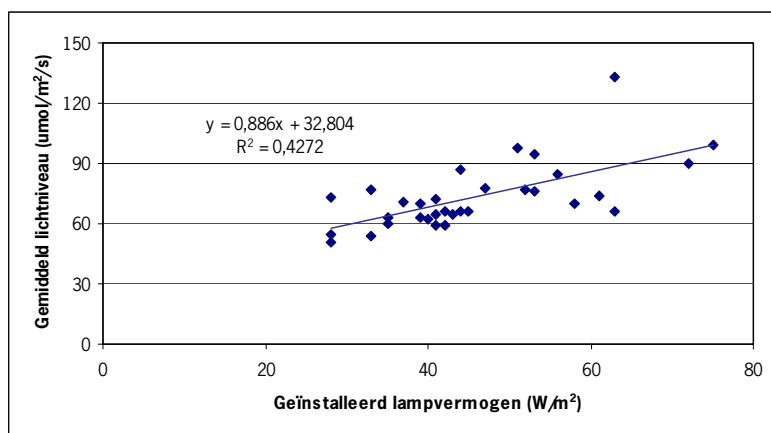
Bedrijf	Ras	Leeftijd gewas	Vermogen (W/m ²)	Gem. lichtniveau ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	CO ₂ (ppm)	Temp ($^{\circ}\text{C}$)	Groei (g/dag/m ²)
1	First Red	jan-96	39	63	556	19,0	25,6
2	Red Berlin	jan-00	47	78	627	21,6	45,8
3	Bianca	jan-98	28	51	605	18,0	24,1
4	Sacha	nov-98	45	66	380	19,3	40,6
5	Bianca	jul-98	44	66	376	19,0	37,0
6	Sacha	aug-99	28	55	524	18,9	24,4
7	Red Berlin	aug-00	58	70	581	21,1	23,8
8	Sacha	nov-99	75	99	445	21,2	17,5
9	Red Berlin	sep-97	41	72	647	18,7	38,6
10	First Red	okt-97	39	70	520	20,9	20,3
11	First Red	sep-97	28	73	921	20,2	33,1
12	Bianca	jun-98	42	59	646	19,0	40,2
13	First Red	sep-97	56	85	738	19,8	19,6
14	First Red	dec-94	63	66	567	20,7	19,0
15	Sacha	dec-98	35	60	1024	20,8	41,3
16	Sacha	sep-98	40	62	565	18,0	30,1
17	Bianca	mrt-98	42	66	623	17,5	45,4
18	Red Berlin	dec-97	44	87	566	19,7	38,8
19	Bianca	jun-98	52	77	978	22,1	37,3
20	Red Berlin	dec-96	63	133	786	20,5	50,0
21	First Red	jan-99	61	74	926	20,5	32,5
22	Sacha	nov-96	53	76	1140	19,9	37,7
23	Red Berlin	aug-00	72	90	632	21,6	47,6
24	Sacha	nov-97	33	54	488	18,6	27,8
25	Sacha	jun-98	37	71	677	19,5	47,9
26	Red Berlin	nov-98	51	98	661	20,0	47,9
27	Sacha	dec-97	53	95	439	19,6	38,3
28	Red Berlin	jan-98	41	59	607	20,0	31,5
29	Bianca	jan-98	41	65	544	18,1	36,2

Bedrijf	Ras	Leeftijd gewas	Vermogen (W/m ²)	Gem. lichtniveau ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	CO ₂ (ppm)	Temp (°C)	Groei (g/dag/m ²)
30	Red Berlin	jun-99	43	65	629	19,4	31,0
31	Bianca	dec-97	35	63	725	17,2	44,1
32	First Red	jul-97	33	77	943	19,9	29,3
33	Bianca	dec-98	77	75	454	16,0	23,8
34	First Red	aug-97	56	84	762	18,8	17,1
35	Sacha	jan-99	61	64	548	19,8	32,1
36	Bianca	jan-99	30	59	467	16,5	28,3
37	Bianca	mrt-98	56	76	438	17,0	41,3
38	First Red	dec-97	32	61	671	19,6	26,4
39	Red Berlin	dec-98	44	91	666	19,6	nb
40	First Red	jun-98	51	88	833	19,5	34,6

Vanwege ontbrekende productiegegevens is bedrijf 39 in dit onderzoek weggelaten.

Licht

Aangezien er is gemeten in een donkere periode (16 oktober - 7 januari), heeft het geïnstalleerd vermogen van de lampen een grote invloed op de totale hoeveelheid licht die de planten hebben gehad. Figuur 3.2.1 toont dat er tussen de bedrijven grote verschillen zijn in de hoeveelheid licht. Deze verschillen kunnen zijn veroorzaakt door verschil in efficiency van de lampen, lichtdoorlatendheid van de kas en het aantal belichte uren. De trendlijn geeft aan dat het zonlicht een intensiteit van gemiddeld 33 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (dag en nacht) op het gewas heeft gehad en dat assimilatiebelichting hier 10 - 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (dag en nacht) aan heeft toegevoegd.

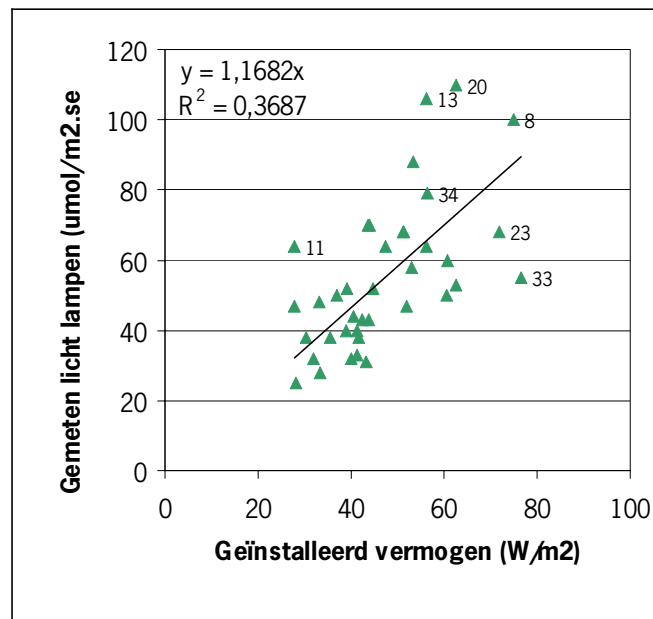


Figuur 3.2.1. Verhouding tussen het geïnstalleerd vermogen van de lampen en het gemiddelde lichtniveau (zon- en lamplicht).

Figuur 3.2.2 geeft de verhouding tussen het geïnstalleerde vermogen en het in de nacht gemeten lichtniveau. Opvallend is dat het lichtniveau van de lampen niet altijd dezelfde verhouding heeft met het geïnstalleerde vermogen. Dit kan zijn veroorzaakt doordat:

- lampen kunnen verschillen in efficiency;
- het lichtniveau niet goed verdeeld is en dat de fotocel op een donker of juist licht punt is geplaatst;
- de lichtcel een meetafwijking heeft.

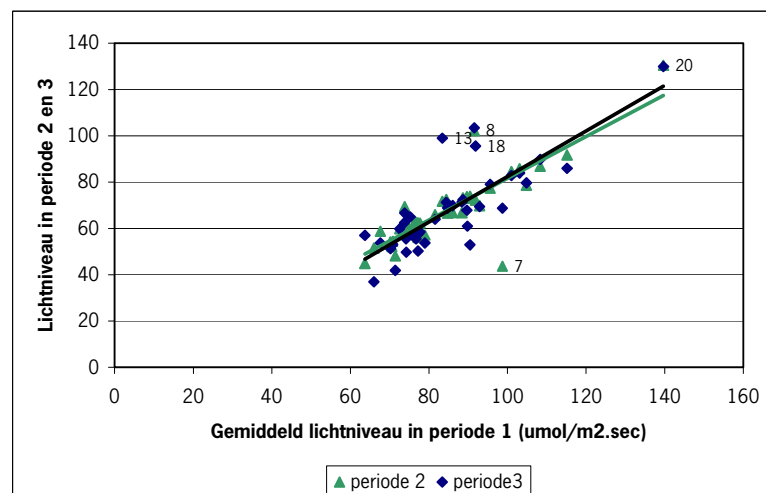
In de laatste twee gevallen zouden bij de bedrijven boven de regressielijn (met name 11 en 13 en 20) een te hoog lichtniveau en bij de bedrijven onder de regressielijn (met name 33) een te laag lichtniveau zijn gemeten. Vooral nog wordt er uitgegaan van verschillen in lichtefficiency van de lampen. In de discussie wordt hier verder op ingegaan.



Figuur 3.2.2. Gemeten lichtniveau in de nacht, uitgezet tegen het geïnstalleerde vermogen. Nummers bij datapunten refereren aan de bedrijfsnummers.

De verhouding in de hoeveelheid licht van periode 2 en 3 ten opzichte van periode 1 (zie Figuur 3.2.3) is lineair te noemen. Uitzonderingen zijn bedrijf 7 (laag) en 8, 13 en 18 (hoog). Bedrijf 20 heeft in beide perioden verreweg het meeste licht.

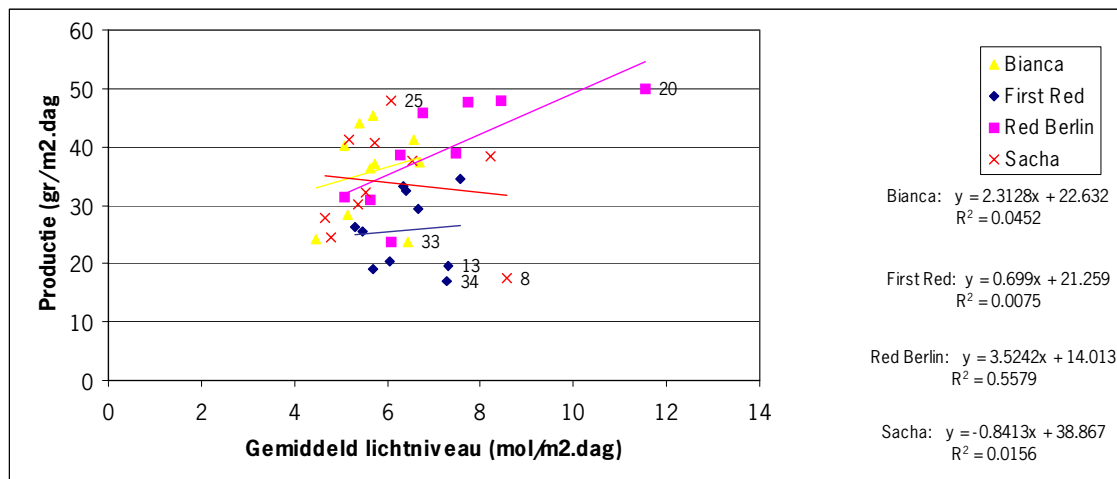
Ook de verhouding in de hoeveelheid licht bij perioden 2 en 3 zijn lineair. Bedrijven 7, 13 en 18 hebben in periode 3 relatief meer licht gemeten en bedrijven 9 en 3 hebben minder licht gemeten in periode 3. Verder valt op dat het gemiddelde lichtniveau in de drie perioden niet veel verschillen.



Figuur 3.2.3. Verhouding in gemiddeld lichtniveau (dag en nacht) tussen periode 1 en periode 2 en 3 ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$). Nummers bij datapunten refereren aan de bedrijfsnummers.

Productie en lichtniveau

De productie is gemeten in aantal takken en het aantal grammen geoogst versgewicht per periode. Om effecten van licht op de productie te bepalen moet rekening worden gehouden met verschillen in ras. In Figuur 3.2.4 is de productie (geoogst versgewicht per m²) van vier verschillende rassen gedurende de drie gemeten perioden (in grammen per dag) uitgezet tegen het gemiddelde lichtniveau (zonlicht + assimilatiebelichting in mol per m² per dag) op de bedrijven. Alleen de trendlijn van Red Berlin geeft een redelijk hoge R² van 0,56. Uit de trendlijn van Red Berlin kan afgeleid worden dat bij de gemeten lichtniveaus 1% meer licht 0,5 tot 0,7% meer productie geeft. Bij geen van de andere rassen wordt een duidelijke relatie tussen licht en productie gevonden en blijken er meer invloeden te zijn op de productie dan alleen de lichthoeveelheid.

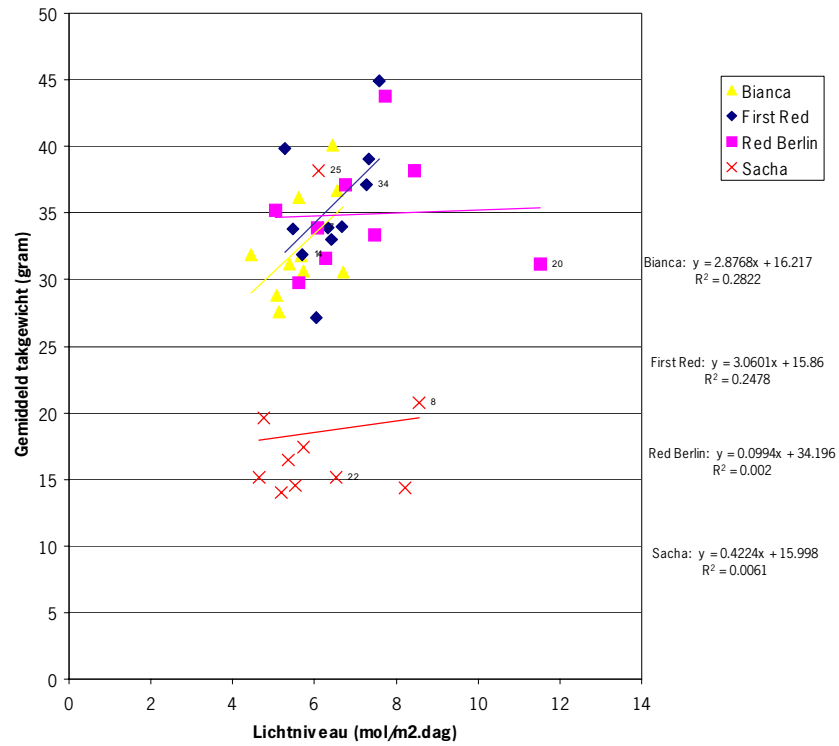


Figuur 3.2.4. Productie (versgewicht van geoogste takken) per cultivar uitgezet tegen het gemiddelde lichtniveau. Nummers bij datapunten refereren aan de bedrijfsnummers.

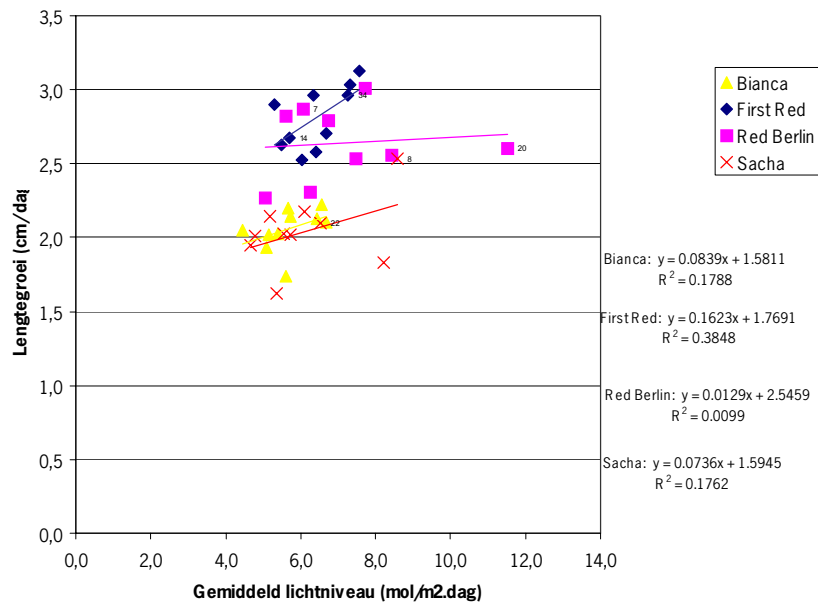
Kwaliteit en lichtniveau

Op het gebied van kwaliteit is het takgewicht, de lengtegroei, het aantal loze scheuten en de knopdiameter gemeten. Hiervan bleken alleen het takgewicht en de lengtegroei een verband met licht te hebben. In Figuur 3.2.5 is het gemiddelde takgewicht uitgezet tegen het gemiddelde lichtniveau. Hierbij blijkt er een positief verband te zijn voor de vier rassen. Bij Red Berlin en Sacha is dit verband echter zeer gering ($R^2 < 1\%$), wat wordt veroorzaakt door de uitzonderlijke waarden van het takgewicht bij bedrijf 20 en 25.

De lengtegroei heeft minder variatie dan de productie (zie Figuur 3.2.6). De lengtegroei nam toe bij hogere lichtniveaus.



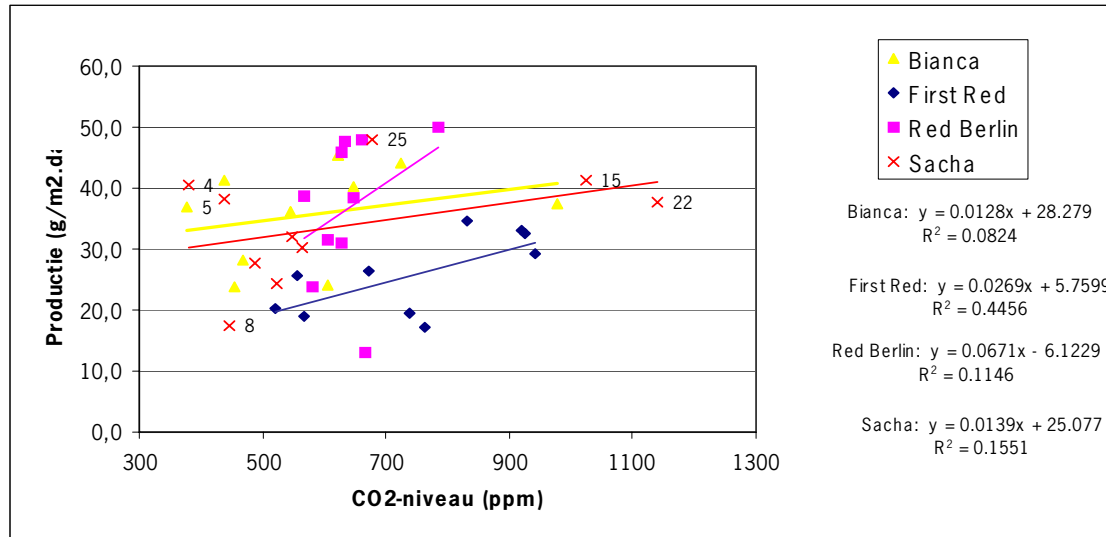
Figuur 3.2.5. Gemiddeld takgewicht uitgezet tegen het gemiddelde lichtniveau in de kas. Nummers bij datapunten refereren aan de bedrijfsnummers.



Figuur 3.2.6. Lengtegroei als functie van het lichtniveau. Nummers bij datapunten refereren aan de bedrijfsnummers.

CO₂-niveau

Het CO₂-niveau heeft een duidelijke invloed op de productie. Alle rassen geven een positief verband te zien. Bij First Red ($R^2=0,45$) en bij Red Berlin ($R^2=0,39$) is dat het duidelijkst (Figuur 3.2.7).



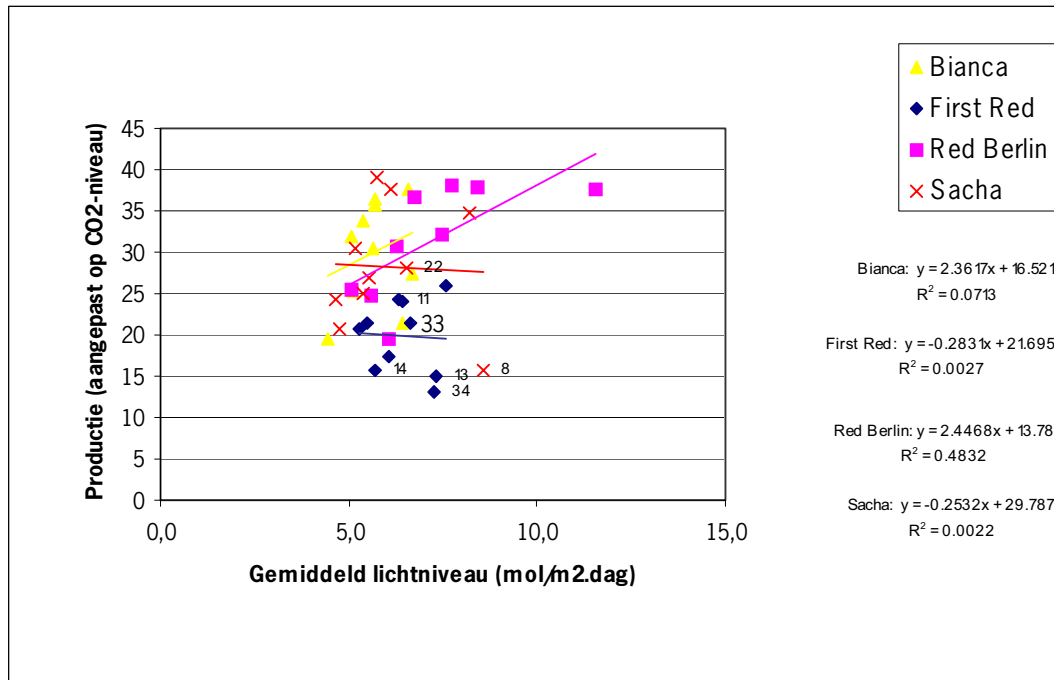
Figuur 3.2.7. Productie per cultivar uitgezet tegen het gemiddelde CO₂-niveau. Nummers bij datapunten refereren aan de bedrijfsnummers.

Als CO₂-regel zou de relatie van Nederhoff (1994; opgesteld voor vruchtgroenten) gehanteerd kunnen worden:

$$R = (1000/C)^2 \cdot 1.5$$

waarbij R staat voor de relatieve productieverhoging bij 100 ppm verhoging van het CO₂-niveau en waarbij C staat voor het huidige CO₂-niveau in ppm.

Als de productie wordt gecorrigeerd op deze CO₂-regel ontstaat Figuur 3.2.8. Hierin blijkt dat alleen bij Red Berlin een lineaire relatie tussen licht en productie is gevonden ($R^2=0,48$). De regressielijn geeft hier bij 1% meer licht 0,4-0,7% meer productie aan. Zonder bedrijf 20 zou de regressielijn steiler zijn en de R^2 groter zijn. Bij Sacha wijkt bedrijf 8 zo veel van de andere bedrijven af dat een lineair verband niet kan worden aangetoond. Zonder bedrijf 8 zou de regressielijn de Y-as bijna bij 0 snijden met een R^2 van 31. Bij Bianca is bedrijf 33 het meest afwijkend van de regressielijn. Zonder dit bedrijf zou de regressielijn van Bianca de Y-as vrijwel door 0 snijden met een R^2 van 29. Bij First Red wijken zowel bedrijf 13 als 34 af.

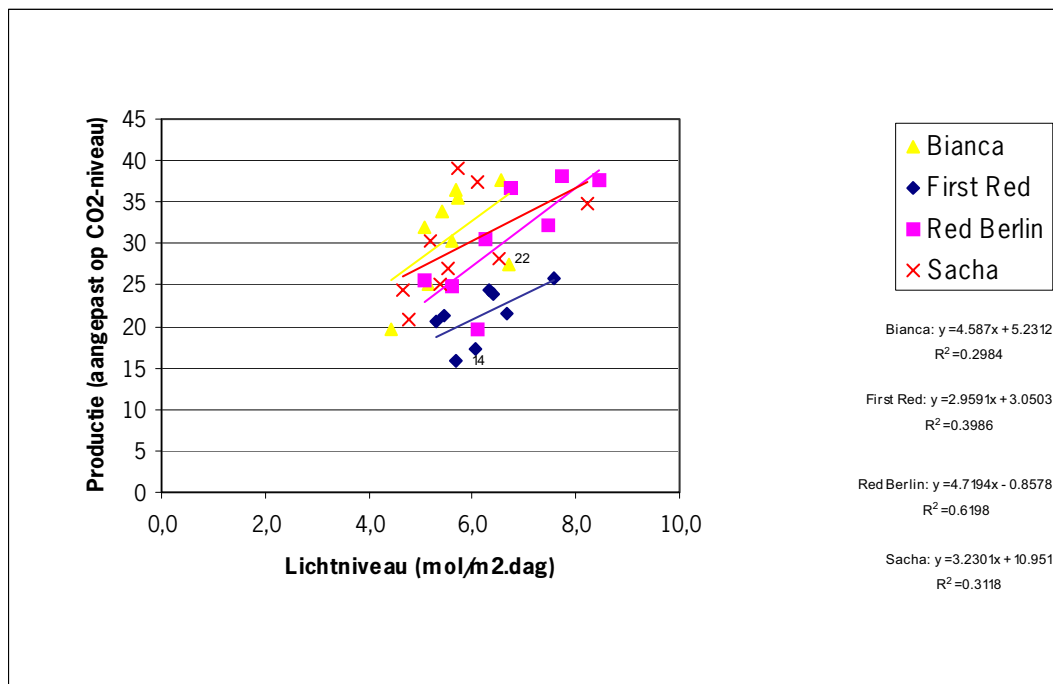


Figuur 3.2.8. Productie, aangepast aan het CO₂-niveau, uitgezet tegen het gemiddelde lichtniveau. Nummers bij datapunten refereren aan de bedrijfsnummers.

Evaluatie afwijkende bedrijven

Het is niet duidelijk waarom de bedrijven 20, 8, 33, 13 en 34 een lagere productie hebben dan op basis van de hoeveelheid licht mag worden verwacht. Wel is opvallend dat deze bedrijven een hoog geïnstalleerd vermogen aan lampen hebben (zie Figuur 3.2.2) en dat bedrijven 8, 13, 20 en 34 in deze figuur boven de regressielijn zitten. Aangezien bedrijf 11 dat echter ook is en deze juist een relatief hoge productie heeft lijkt het niet verantwoord om deze bedrijven zonder meer buiten de analyse te laten, zoals in Figuur 3.2.9.

Wel is duidelijk dat een paar bedrijven de gevonden relatie tussen productie en licht sterk beïnvloeden (vergelijk Figuur 3.2.4 met 3.2.9). Dit geeft aan dat de data van deze studie zich niet zo goed lenen voor het trekken van conclusies over het verband tussen licht en productie. Het geeft ook aan dat er nog andere factoren dan licht zijn die de productie sterk beïnvloeden.



Figuur 3.2.9. Aangepaste productie (zonder bedrijven 8,13,20,33 en 34), uitgezet tegen het gemiddelde lichtniveau.

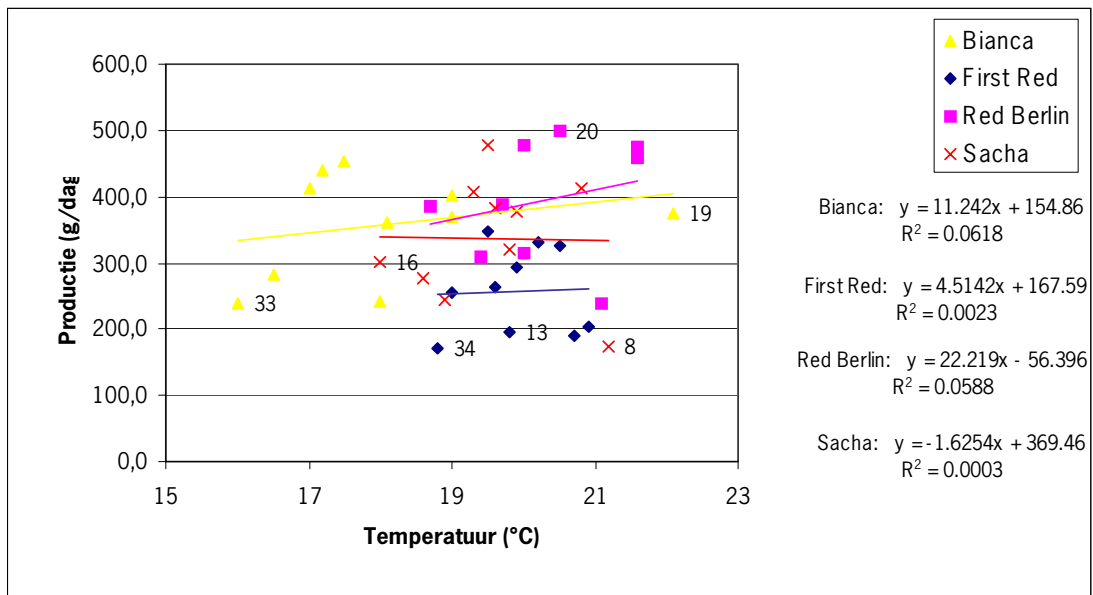
Ook als wordt verondersteld dat het gemeten lichtniveau afwijkt (zie Figuur 3.2.2) en deze wordt aangepast aan het geïnstalleerd vermogen wordt de R^2 van alle regressielijnen alleen maar lager (figuur niet opgenomen). Eventuele afwijkingen in de lichtmetingen worden hier dan ook verder verwaarloosd.

Op zoek naar overige invloeden op de productie worden verder nog de volgende aspecten bekeken:

- kasttemperatuur
- leeftijd van het gewas
- snee-effecten

Kasttemperatuur

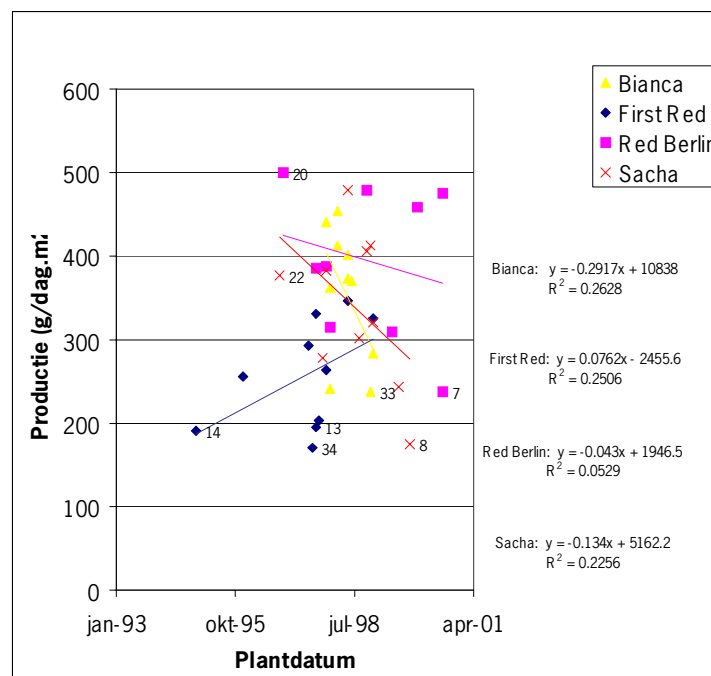
De invloed van de temperatuur op de productie is niet duidelijk (Figuur 3.2.10). Er is bij alle rassen een licht stijgende lijn waarneembaar, maar die is gezien de lage R^2 nergens significant. Wel is opvallend dat Bianca bij een lagere temperatuur wordt geteeld, behalve door bedrijf 19. Verder valt op dat bedrijven 33 en 34 een lage temperatuur hebben en bedrijf 8 een hoge temperatuur.



Figuur 3.2.10. Invloed van de kasttemperatuur op de productie. Nummers bij datapunten refereren aan de bedrijfsnummers.

Leeftijd gewas

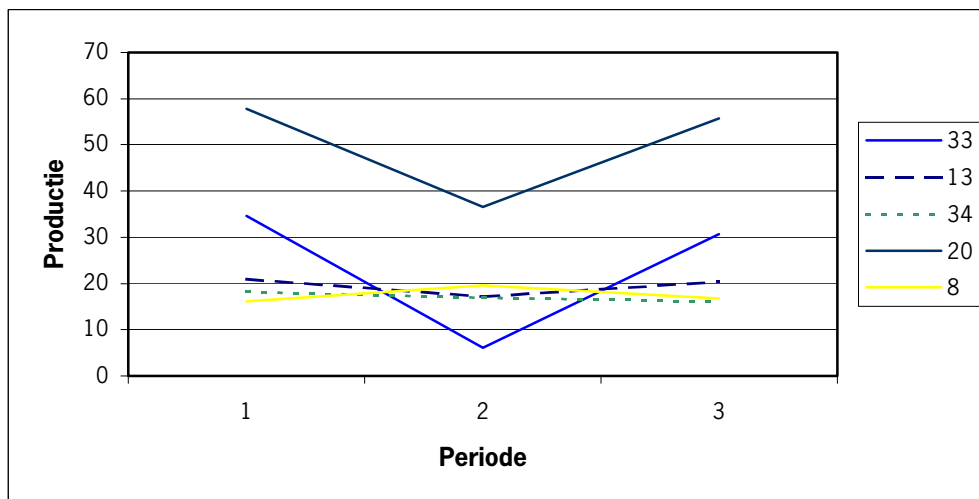
De invloed van leeftijd op de productie lijkt niet groot (Figuur 3.2.11). Bij First Red lijken oudere gewassen minder te produceren, terwijl bij Sacha juist de jongere gewassen minder produceren. Bij Bianca is er nauwelijks verschil in leeftijd en bij Red Berlin is de R^2 klein (0,05) om iets te zeggen over de invloed van leeftijd op de productie.



Figuur 3.2.11. Invloed van de leeftijd van het gewas op de productie. Nummers bij datapunten refereren aan de bedrijfsnummers.

Snee-effecten

Een rozengejas produceert in golven. De duur tussen deze golven is 45 tot 60 dagen. Een bedrijf met een lagere productie in periode 2 heeft gedurende drie perioden mogelijk twee pieken in de productie, terwijl een bedrijf met een hogere productie in periode 2 mogelijk twee dalen in de productie gedurende de drie perioden heeft. Van de vijf afwijkende bedrijven geldt alleen bij de bedrijven 33 en 20 een snee-effect. Aangezien het hier gaat om een dal in periode 2 zou dit snee-effect juist positief moeten zijn op de totale productie in de drie perioden (Figuur 3.2.12).



Figuur 3.2.12. Productie tijdens de drie perioden van bedrijven 8, 13, 20, 33 en 34.

Conclusies

- Een paar bedrijven hadden zeer sterke invloed op de gevonden relaties tussen productie en licht. Dit geeft aan dat de data van deze studie zich niet zo goed lenen voor het trekken van conclusies over het verband tussen licht en productie. Het geeft ook aan dat er nog andere factoren dan licht zijn die de productie sterk beïnvloeden.
- Als alleen het totale geogoste gewicht als maat voor productie wordt genomen is alleen bij Red Berlin een verband tussen licht en productie aangetoond. 1% meer licht gaf daar 0,5 tot 0,7% meer productie. Aangezien de lichtere bedrijven bij Red Berlin vaak ook een hoger CO₂-niveau aan hebben gehouden geldt deze regel iets minder als ook rekening wordt gehouden met de invloed van CO₂ op de productie volgens de CO₂-regel van Nederhoff ($R=(1000/C)^2 \cdot 1,5$).
- Bij de vergelijking van het gemiddelde lichtniveau en het gemiddelde takgewicht is juist bij Bianca en First Red een positief verband gevonden.
- Bij zowel de rassen Sacha, Bianca als First Red is een verband gevonden tussen de taklengte en het gemiddelde lichtniveau.
- Een hoger CO₂-niveau gaf bij zowel Red Berlin als bij First Red en in mindere mate bij Sacha en Bianca een hogere productie.
- Naast lichtniveau, CO₂-niveau en ras zijn er waarschijnlijk nog meer factoren die de productie bepalen. Deze factoren zijn in dit onderzoek niet gevonden.
- De gehanteerde temperatuurverschillen gaven geen aantoonbaar verschil in productie.
- Gezien de geringe leeftijdsverschillen wordt dit niet als oorzaak van de productieverschillen verwacht.
- Snee-effecten geven geen verklaring voor bedrijven die afwijken van het te verwachten productieniveau.
- Over het algemeen is een hoog lichtniveau in de kas gedurende 1 periode representatief voor het lichtniveau in andere perioden.
- In de geanalyseerde periode is het lichtniveau met name bepaald door het geïnstalleerde vermogen (42%).

3.3 Poinsettia

Bedrijven

Bij 33 Poinsettiabedrijven zijn in 2001 gedurende drie perioden 5-minuuts kasklimaatgegevens met een geïntegreerde sensor/datalogger-unit (squirrel) gelogd, zoals het lichtniveau boven het gewas ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$), de kastemperatuur ($^{\circ}\text{C}$) en het CO_2 -niveau (ppm).

Aan het eind van elke periode zijn gewasmetingen (o.a. drooggewicht, versgewicht, breedte, hoogte) verricht in de volgende weken:

1. week 38
2. week 44
3. einde van de teelt (rond week 49)

Ook zijn de plantdichtheden en de data van wijder zetten bijgehouden.

Alle planten zijn opgepot rond week 31 (7-16 augustus). Wegens onvoldoende gegevens zijn de bedrijven 19, 21 en 22 buiten beschouwing (b.b.) gelaten. Aangezien bedrijven 27 en 32 uitzonderlijk vroeg geoogst hebben zijn deze ook buiten beschouwing gelaten.

Bedrijf	Datum 1	Datum 3	Duur 2+3 dagen	Breedte 1 cm	Groei 2+3 gr d.s./plant	Groei 2+3 gram/plant	Lichtsom 2+3 mol/ m^2	Lichtsom 2+3 mol/plant	b.b.
1	19-9	6-12	78	26.3	15.4	109	394	39	
2	21-9	5-12	75	35.3	15.9	113	320	27	
3	19-9	11-12	83	32.5	15.1	102	348	31	
4	19-9	4-12	76	24.4	13.0	94	472	33	
5	19-9	5-12	77	22.5	11.4	77	337	23	
6	19-9	22-11	64	31.1	11.7	83	393	38	
7	19-9	5-12	77	32.2	20.2	133	480	47	
8	19-9	5-12	77	30.2	18.6	131	434	42	
9	19-9	29-11	71	31.5	14.1	100	420	27	
10	19-9	5-12	77	29.6	18.2	121	436	39	
11	18-9	11-12	84	29.3	23.5	164	476	53	
12	18-9	11-12	84	26.8	15.2	108	424	37	
13	18-9	22-11	65	29.1	14.3	99	426	29	
14	18-9	6-12	79	29.4	9.1	69	404	39	
15	18-9	11-12	84	28.1	9.9	66	465	37	
16	18-9	6-12	79	27.9	20.0	140	439	40	
17	18-9	15-11	58	28.7	12.6	86	420	38	
18	18-9	11-12	84	24.8	9.1	72	380	11	
19	18-9	11-12	84	28.0		-	0	28	x
20	21-9	11-12	81	22.9	9.6	68	414	19	
21	21-9	11-12	81	27.1	10.4	68	430	0	x
22	21-9	6-12	76	29.8	16.6	119	0	0	x
23	21-9	6-12	76	29.8	17.2	119	413	34	
24	20-9	28-11	69	34.8	16.1	107	364	39	
25	20-9	4-12	75	27.2	11.7	80	303	18	

Bedrijf	Datum 1	Datum 3	Duur 2+3 dagen	Breedte 1 cm	Groei 2+3 gr d.s./plant	Groei 2+3 gram/plant	Lichtsom 2+3 mol/m ²	Lichtsom 2+3 mol/plant	b.b.
26	20-9	28-11	69	28.8	11.3	79	390	29	
27	20-9	1-11	42	26.3	6.2	43	270	10	x
28	20-9	4-12	75	30.3	12.5	74	298	14	
29	20-9	5-12	76	27.7	14.0	104	354	32	
30	20-9	5-12	76	30.2	14.8	101	381	37	
31	20-9	30-11	71	35.1	16.1	112	438	39	
32	20-9	1-11	42	30.3	10.2	78	320	26	x
33	19-9	28-11	70	20.8	8.9	62	398	24	

Methode

Om te bepalen of 1% meer licht ook 1% meer productie geeft, moet eerst worden vastgesteld hoe de productie wordt bepaald. Het ligt voor de hand om aan te nemen dat licht in eerste instantie invloed heeft op de toename van het droge-stofgewicht en indirect op de toename van het versgewicht. Aangezien de toename van het versgewicht en de toename van het drooggewicht vrijwel synchroon lopen en het versgewicht een betere indicatie voor de productie geeft dan het drooggewicht is gekozen voor de toename van het versgewicht als indicatie voor de productie. Aangezien aan het begin van periode 1 geen gewasmeting is gedaan, zullen in dit onderzoek alleen de klimaatomstandigheden van periode 2 en 3 worden vergeleken met de toename in het versgewicht van het einde van periode 1 tot en met het einde van periode 3.

Door de gemeten hoeveelheid licht in periode 2 en periode 3 met elkaar te vergelijken zal de gemeten hoeveelheid licht worden gecontroleerd of er eventueel tijdelijke meetafwijkingen zijn opgetreden.

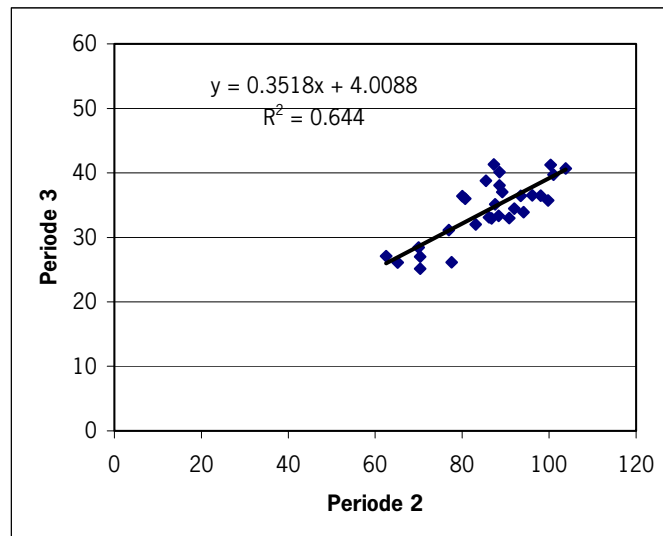
Indien het lichtniveau de groei niet voldoende kan verklaren worden ook de volgende groeifactoren bekeken.

1. CO₂-niveau
2. Kasttemperatuur
3. Beginbreedte van de planten
4. Plantdichtheid

Vervolgens zal voor de meest relevante factoren een multiële regressie worden uitgevoerd.

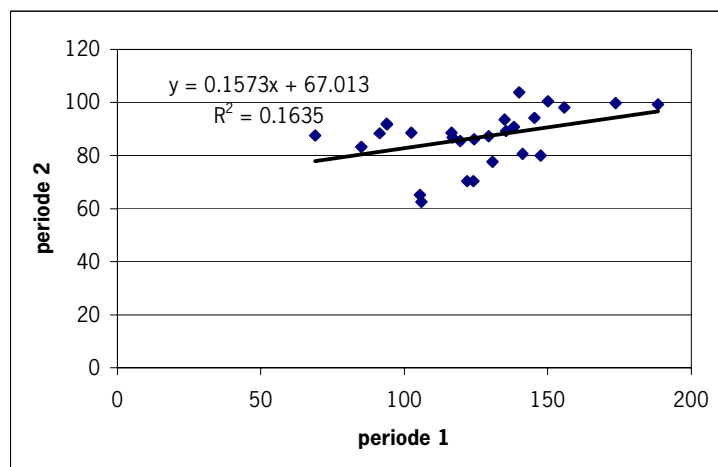
Licht per periode

De verhouding in lichtinval tussen periode 2 en 3 (bedrijven 17, 22, 27 en 32 zijn niet meegenomen) is redelijk lineair te noemen (Figuur 3.3.1). Afwijkingen kunnen met name veroorzaakt zijn door verschil in ligging van het bedrijf.



Figuur 3.3.1. Verhouding in lichtniveau tussen periode 2 en 3.

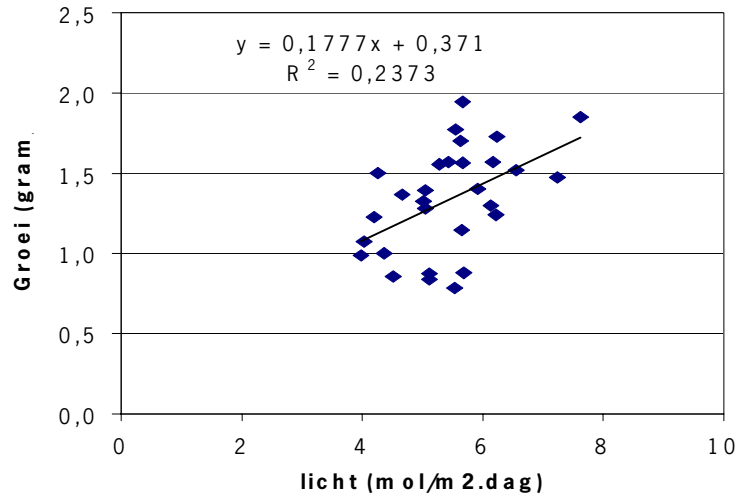
De verhouding in lichtinval tussen periode 1 en 2 (bedrijven 4, 5, 15, 18 en 27 zijn niet meegenomen) is veel minder duidelijk (Figuur 3.3.2). Dit komt doordat sommige bedrijven (1, 20, 23 en 26 en 32) tot begin september hebben geschermd (krijt of doek) en sommige niet.



Figuur 3.3.2. Verhouding in lichtniveau tussen periode 1 en 2.

Lichtsom en groei

De verhouding tussen de gemiddelde lichtsom per dag gedurende periode 2 en 3 enerzijds en de groei (toename versgewicht per plant) anderzijds is weergegeven in Figuur 3.3.3. Hieruit blijkt dat de regressielijn weliswaar stijgend is, maar dat de groei slechts voor 24% kan worden verklaard door deze regressielijn.



Figuur 3.3.3. Gemiddelde toename in versgewicht per dag per plant uitgezet tegen de gemiddelde lichtsom per dag in periode 2&3

CO₂-niveau en groei

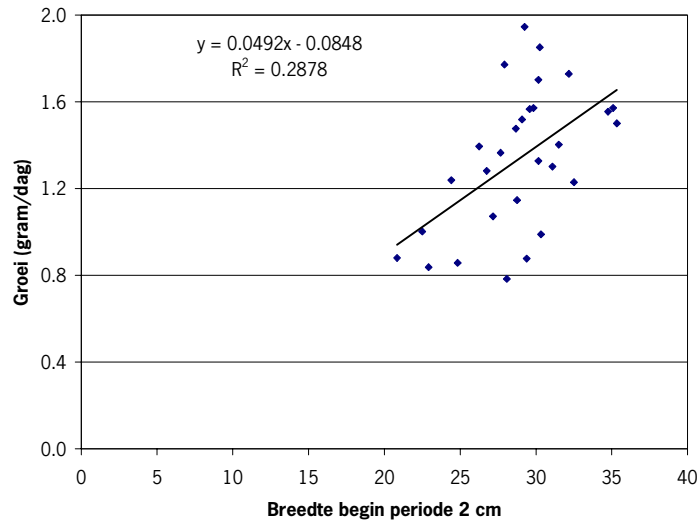
Het gemiddelde CO₂-niveau is bepaald voor de momenten dat het lichtniveau hoger was dan 4 μmol/m²/s. CO₂ werd nauwelijks gedoseerd. Daar waar wel gedoseerd is gaf dit niet aantoonbaar meer groei. De regressielijn is vrij vlak en heeft een R² van 2% (data niet getoond).

Kastemperatuur en groei

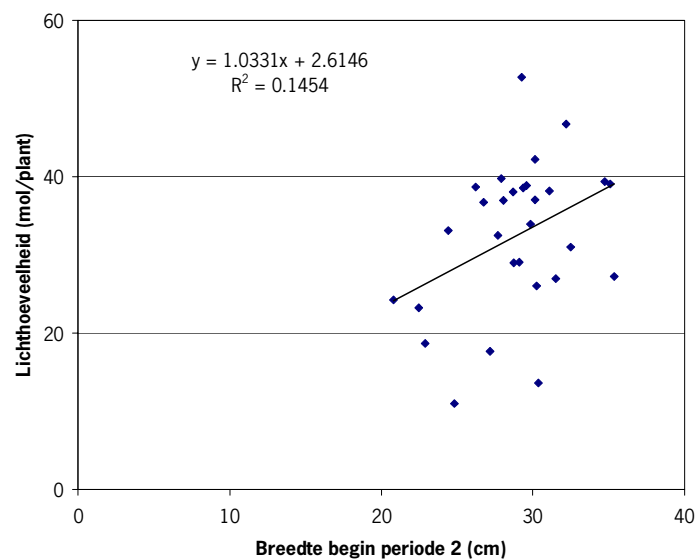
De temperatuur heeft ook geen aantoonbare invloed op de groei (toename versgewicht per dag). De regressielijn is licht dalend, maar de R² ervan is slechts 3% (data niet getoond).

Beginbreedte en groei

De breedte van de plant aan het begin van periode 2 bepaalt voor een belangrijk deel (29%) de mate van groei (toename van versgewicht per dag) in periode 2 en 3 (Figuur 3.3.4). Dit kan voor een deel (15%) verklaard worden doordat de brede planten (eerder) wijder zijn gezet en daardoor per plant meer licht hebben gekregen (Figuur 3.3.5).



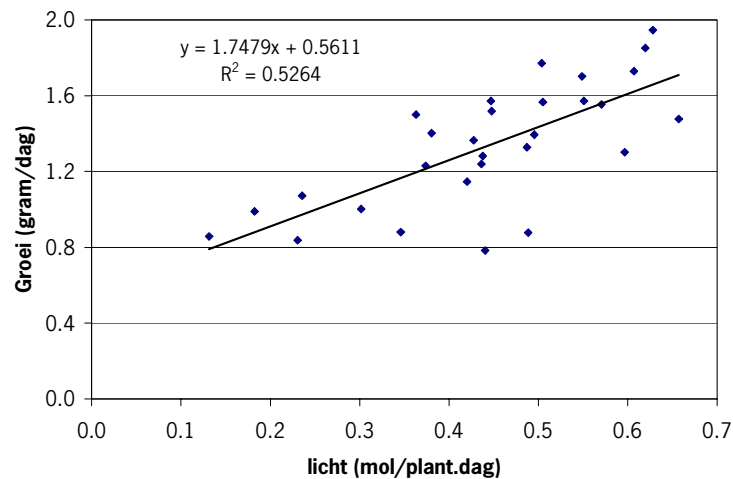
Figuur 3.3.4. Gemiddelde toename in versgewicht per dag per plant in periode 2&3 uitgezet tegen de breedte aan het begin van periode 2



Figuur 3.3.5. Invloed breedte begin periode 2 op de lichtsom per plant in periode 2 en 3.

Lichtsom per plant en groei

Aangezien de poinsettia's gedurende de teelt worden wijder gezet is een correctie op de plantdichtheid aangebracht. In Figuur 3.3.6 is de toename in het versgewicht per dag (groei) uitgezet tegen de lichthoeveelheid per plant in plaats van per m², zoals in Figuur 3.3.3. De R² is hierbij 53%, en de regressielijn snijdt de Y-as bij 0,56 gram. Dit geeft aan dat de productieverhoging per eenheid lichttoename lager is dan 1. Uit de regressielijn kan afgeleid worden dat 1% meer licht, afhankelijk van de uitgangshoeveelheid licht, 0,5% tot 0,7% meer groei.



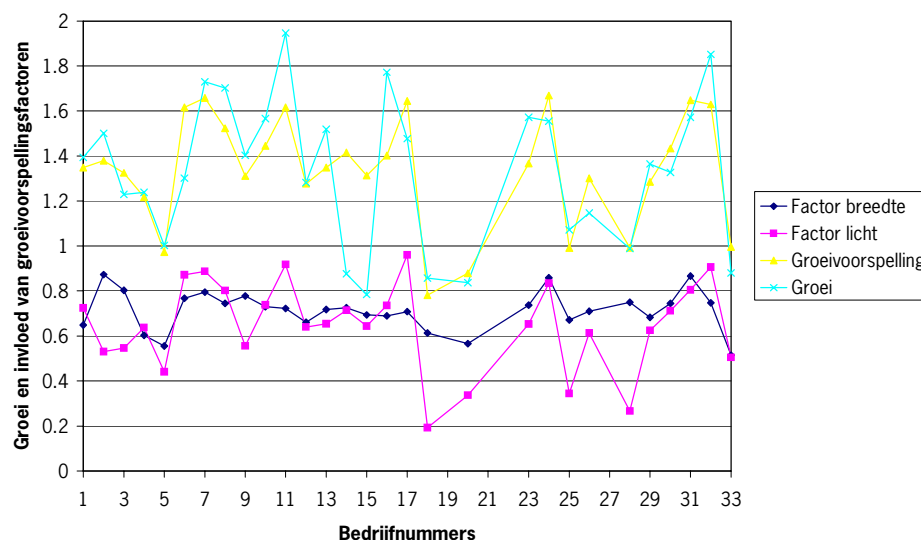
Figuur 3.3.6. Gemiddelde toename in versgewicht (g/plant.dag) uitgezet tegen de lichtsom per plant per dag in periode 2&3

Lichtsom per plant, beginbreedte en groei

Gezien de onderlinge afhankelijkheid van de lichtsom per plant en de beginbreedte is een multiële regressieanalyse uitgevoerd. Hieruit is gebleken dat de groei voor bijna 47% is te verklaren met de formule

$$\text{Groei (gram/dag)} = 0.0247 * \text{beginbreedte (cm)} + 1.462 * \text{lichtsom per plant (mol/plant.dag)} - 0.024$$

Deze groeivoorspelling wordt weergegeven in Figuur 3.3.7. Met name bij de bedrijven 14 en 15 week de voorspelde groei af van de werkelijke groei. Bij bedrijf 14 kan dit worden verklaard doordat het gewicht aan het einde van periode 1 het laagste van alle bedrijven was. De lage groei van bedrijf 15 is niet te verklaren uit de gegeven cijfers. Ongeveer 50% van de groeisnelheid van de plant werd bepaald door de beginbreedte en ongeveer 50% door de lichtsom per plant.



Figuur 3.3.7. De groeivoorspelling met de factoren lichtsom per plant en beginbreedte in vergelijking met de gerealiseerde groei. Tevens zijn de bijdragen van de factor licht en de factor breedte aan de groeivoorspelling weergegeven.

Conclusies

- Bij de bemeten Poinsettiabedrijven geeft 1% meer licht per plant in het najaar 0,5% tot 0,7% meer groei. Volgens een lineaire regressielijn verklaart de lichtsom per plant bijna 47% van de groei.
- Volgens een multiële regressie analyse blijkt bij een gegeven beginbreedte 1% meer licht per plant minstens 0,5% meer versgewicht te geven. De beginbreedte en het gemiddelde lichtniveau per plant voorspellen volgens de multiële regressie 55% van de mate van groei.
- De invloed op de groei is noch van temperatuur noch van het CO₂-niveau aangetoond. De gemiddelde temperatuur lag bij de bedrijven tussen 18 en 23°C. Er werd slechts bij enkele bedrijven CO₂ gedoseerd.
- De breedte aan het begin van de periode is voor een groot deel bepalend voor de groei per plant. Dit kan voor een deel worden verklaard doordat bredere planten eerder wijd worden gezet.
- Aangezien sommige bedrijven in de zomer krijten of schermen kan de verhouding in lichtniveau tussen bedrijven per periode verschillen.

3.4 Conclusies

Uit de analyse van wekelijkse praktijkdata van komkommer is duidelijk gebleken dat de lichtregel sterk afhangt van het lichtniveau. Deze relatie kwam overigens goed overeen met modelberekening zoals in hoofdstuk 1 voor tomaat getoond. In deze relaties zitten ook effecten van temperatuur en CO₂ verdisconteerd; dit bleken factoren die een sterke correlatie met het lichtniveau vertoonden. Zoals ook uit de literatuurstudie (hoofdstuk 2) bleek, neemt het relatieve effect van licht op productie toe bij hogere CO₂-concentraties. Op basis van de praktijkgegevens kon afgeleid worden dat 1% lichttoename leidt tot een verhoging van de jaarproductie van komkommer met circa 0.7%. Dit is iets lager dan de waarde van 0.8-1% volgens de literatuurstudie. Echter de literatuurstudie ging zoveel mogelijk uit van het zuivere effect van licht op productie. In de praktijk correleren ook andere groeicondities met de lichtintensiteit. Met name de negatieve correlatie tussen CO₂-concentratie en instraling, heeft er toe geleid dat een waarde lager dan die van de literatuurstudie is gevonden. Werd gecorrigeerd voor CO₂-concentratie dan leidde ook in de praktijkgegevens 1% lichttoename tot verhoging van jaarproductie met 0.9%, wat heel goed overeenkomt met de literatuurstudie.

Terwijl bij de beschikbare komkommerdata de variatie in lichtniveau vooral werd veroorzaakt door wekelijkse veranderingen van het weer, was de aanwezige variatie bij roos en Poinsettia het gevolg van verschillen tussen bedrijven. Bij roos bleken enkele bedrijven een zeer sterke invloed te hebben op de gevonden relaties tussen productie en licht. Dit geeft aan dat de data van deze studie zich niet goed lenen voor het trekken van conclusies over het verband tussen licht en productie. Het geeft ook aan dat er nog andere factoren dan licht zijn die de productie sterk beïnvloeden. Bij de bemeten Poinsettiabedrijven geeft 1% meer licht per plant in het najaar 0,5% tot 0,7% meer groei. Volgens een lineaire regressie-analyse verklaart de lichtsom per plant bijna 47% van de groei.

4. Interviews met tuinders

Er zijn diepte-interviews met tuinders gevoerd om het gedrag van ondernemer te analyseren in relatie tot veranderingen in straling. Dit betreft veranderingen in straling als gevolg van zowel weersfluctuaties als een veranderde lichtdoorlatendheid van de kas. Geanalyseerd is wat de invloed van licht is op instellingen door de tuinder van het kasklimaat en de invloed op het nemen van overige teeltmaatregelen.

Voor zes gewassen (sla, komkommer, roos, freesia, Poinsettia en Ficus) zijn interviews gehouden. Per gewas zijn drie vooruitstrevende tuinders in de provincies Zuid en Noord Holland geïnterviewd, door ze persoonlijk te bezoeken. Van te voren is door de onderzoekers een vragenlijst opgesteld (zie Bijlage I). Deze vragenlijst is door de onderzoekers als hulpmiddel gebruikt bij de gesprekken met de tuinders.

4.1 Sla

Twee van de drie slatelers telen jaarrond sla, één teler teelt in de zomer ook courgette. Voor sla is de lichtdoorlatendheid van de kas erg belangrijk, voornamelijk in de winter. Bij een lichtere kas kan dichter geplant worden en kan sla worden geteeld in de moeilijkste periode (oogst in januari). Eén teler geeft aan dat bij 5 tot 10% meer licht 14,5 in plaats van 14 planten per m² per teelt kunnen worden geplant. In een kas met een andere lichtdoorlatendheid wordt alleen de plantdichtheid aangepast, hoewel ook de productiesnelheid zal variëren.

De leeftijd van de venlokassen loopt sterk uiteen; de oudste kas is uit 1978, de jongste uit 1996. De lichtdoorlatendheid van de kas en/of van het glas is bij de telers niet bekend.

De ruitmaat loopt van 73 tot 100 cm. Glasvervuiling heeft zeker effect, maar omdat in het voorjaar wordt gekrijt, is het in de zomer niet belangrijk. Bij 2 van de 3 telers wordt de buitenkant van het dek jaarlijks gereinigd, evenals de gevels aan de binnen- en buitenkant.

De slatelers gebruiken heteluchtkachels voor verwarming en CO₂-dosering.

Bij de aanschaf van een nieuwe kas is licht erg belangrijk, maar de (aller)lichtste kas geeft te veel risico in verband met breuk door bijvoorbeeld stormschade. Het is ook sterk afhankelijk van de benodigde investering, deze mag niet te hoog zijn. Doordat bij een nieuwe kas behalve meer licht ook een buisverwarming en 1 of 2 schermen worden aangelegd, is er meer lichtonderschepping dan in de oude situatie met heteluchtkachels. Je moet dus niet alleen naar de kas, maar ook naar de inrichting ervan kijken.

Voor één van de telers mag een grotere ruitmaat (minimaal 1,12m) 5€ per meter kosten. Omdat er niet belicht wordt is het natuurlijk licht zó belangrijk voor sla dat er zo veel mogelijk zonlicht in de kas moet komen.

Gevelisolatie wordt verschillend toegepast; één teler heeft dubbel glas op de O en N zijgevel. Een teler had dubbel glas in de zijgevels, maar dit heeft hij weggehaald. Hij hangt in de winter folie en haalt dit voor de zomer weer weg.

Alle telers verwachten een meerproductie bij een lichtere kas, maar niet jaarrond. In de winter zal 1 % meer licht wel 3% meer productie (= groeisnelheid) geven. In de zomer geldt dit niet, want er wordt vanaf mei gekrijt, wat er pas in juli af is geregend. Volgens een van de andere telers is de lichtere kas vooral in de winter van belang om de groei erin te houden. In een nieuwe, lichtere kas kun je dichter planten, want bij sla gaat het om het aantal per m² en niet om het gewicht. Bij 10% meer licht kun je misschien 5% meer planten, maar 1% meer licht merk je niet. Ook de nokrichting is van belang.

De kwaliteit wordt ook beïnvloed, meer licht geeft een beter gevormde krop. Over de invloed van licht op de ziektedruk zijn de meningen verdeeld; volgens een teler is er geen invloed. Volgens een andere teler zorgt licht voor een actievere plant die sterker is en daardoor minder gevoelig voor ziekten.

Geen van de slatelers heeft belichting. Bij nieuwbouw zou één teler hier wel aan denken, zodat hij door een constante aanvoer meer met vaste afnemers zou kunnen werken en meer contracteren.

Een scherm is niet aanwezig, dat is bij de huidige gasprijs te duur. In een proefkas van één van de tuinders hangt LS10 voor energiebesparing en vochtregeling. Het voordeel van een scherm ten opzichte van krijt is dat bij somber

weer in de zomer het scherm kan worden geopend. Voor sla zou een dubbel scherm ideaal zijn. Met het scherm kun je dan het oogsttraject zo beïnvloeden dat de afgesproken datum bij contractteelt gehaald wordt.

Er wordt bij twee van de drie slatelers altijd gekrijt, bij de derde teler is het afhankelijk van het teeltplan. Hij heeft het dit jaar niet gedaan en heeft daar spijt van omdat hij vorig jaar de hele zomer zwaardere sla had. In april of mei wordt er gekrijt en het blijft liggen tot eind augustus of september, dan is er al veel afgeregend, maar wordt ook het dek schoongemaakt. Bij één van de telers wordt het dek niet schoongemaakt, maar is het krijt er in juli al afgeregend. Het voordeel van krijten ten opzichte van schermen is dat het in de kas koeler is, met een scherm is het klimaat lastig te regelen en er is toch genoeg licht. Ook in het voorjaar bij scherpe dagen en koude nachten is de temperatuur met krijt goed. Als het dek net gekrijt is, wordt er naar schatting van een teler 50% licht weggevangen.

CO₂ wordt gedoseerd met heteluchtkachels, maar vooral in de winterperiode, bij warmtevraag.

De lichtverhoging en lichtsom wordt wisselend toegepast:

- Er wordt niet meer gestookt bij veel licht, want de zon doet dan zijn werk. Er wordt geen lichtsomverhoging ingesteld. Bij donkere perioden wordt er meer gelucht om vocht af te voeren en om de plant rustiger te laten groeien. De ventilatietemperatuur krijgt een lichtverhoging om vocht vast te kunnen houden bij zonnig en schraal weer.
- Licht(som)verhoging van 2 tot 3°C.
- Een licht(som)verhoging wordt soms toegepast, afhankelijk van het gewasstadium; bij een zwak gewas tegen de oogst niet, bij een gezond gewas wel, maar in januari niet en in februari wel. Het is meer temperatuur integratie.

Na een langere periode met meer of juist minder instraling wordt de temperatuur aangepast om de plant in balans te houden. Bij een lichtere kas verwacht één teler een sterker gewas, waardoor je eerder een lichtverhoging kunt toepassen.

De dagtemperatuur ligt gemiddeld zo'n 5 tot 6°C hoger dan de nachttemperatuur, afhankelijk van de stand van het gewas.

In de winter is veel afhankelijk van het gewas en de oogstafspraken.

Conclusie

1. Licht is belangrijker dan energiebesparing! Vooral in de winter, maar ook afhankelijk van de gasprijs en contract e.d. Omdat sla een 'koude' teelt is, is energiebesparing minder belangrijk. Bovendien is het handhaven van een temperatuurverschil tussen dag en nacht nodig.
2. Bij energiebesparing in een koude teelt wordt de energieprijs te hoog. Met meer energie wordt een lagere gasprijs verkregen, dus voor een rendabele teelt moet energie-intensiever worden geteeld.
3. Een nieuwe kas betekent (10 – 15%) meer licht maar als je meer uitrusting in de kas hangt valt het netto resultaat tegen.
4. Plantdichtheid wordt aangepast aan lichtniveau in de kas.

4.2 Komkommer

Voor komkommer is licht even belangrijk of belangrijker dan voor andere groentegewassen. Het gaat erom hoe het gewas verdeeld is in de ruimte. Ook de gewasstand en het klimaat zijn belangrijk.

Wanneer er 5 of 10% meer licht zou zijn dan zou één van de drie telers een ander ras en een andere plantdichtheid kiezen. Een andere teler niet, raskeuze is niet alleen afhankelijk van de hoeveelheid licht. Volgens de derde teler is voornamelijk de plantdichtheid van belang, bij een 'lichtere' start krijg je een sterker gewas met sterkere wortels.

Rassenkeuze lijkt niet erg afhankelijk van de mate van lichtdoorlatendheid van de kas. Misschien dat wit-(meeldauw)-tolerante rassen in een lichtere kas belangrijker zijn. De indruk bestaat dat bij meer licht de planten gevoeliger zijn voor meeldauw, al hangt dit van meer factoren af dan alleen licht (bijvoorbeeld daglengte).

Tijdens en na een lichte periode wordt de streefwaarde voor de etmaaltemperatuur 0,5 tot 0,7 °C hoger ingesteld. Bij een donkere kas zal dit voorzichtiger worden gedaan.

Na een langere periode met meer of juist minder licht wordt bijgestuurd, afhankelijk van de gewasontwikkeling. Na een donkere periode wordt de etmaaltemperatuur aangepast. Huidige rassen zijn te groeikrachtig voor het huidige teeltsysteem. Misschien zou bij een hoge draadsysteem wel dezelfde temperatuur kunnen worden aangehouden na een lichte periode.

Voor een donkere kas zou een ander ras gekozen zijn, maar zou ook de etmaaltemperatuur worden aangepast. Bij een lichtere kas heb je een vegetatiever gewas, dus moet je harder stoken.

Ook de ligging van de kas is belangrijk, bij een nok op het ZW is het licht in het pad als de zon het sterkst is, alle planten krijgen dan evenveel licht.

Huidige kas

Alle kassen zijn venlokassen, gebouwd in 1989, 1996 en in 2000, de laatste is 5 meter hoog. De lichtdoorlatendheid van de kassen is niet bij alle telers bekend. De teler met de jongste kas schat dat zijn kas, gebouwd in 2000, tussen 75 en 80% licht doorlaat. Twee van de drie telers hebben het glas door laten meten, de lichtdoorlatendheid varieert van 89,8 tot 91%. De teler met de oudste kas schat dat het glas 90,5% licht doorlaat.

De glasbreedte is 1,125 m, de ruitmaat varieert van 2,14 tot 2,55 m.

Er is zeker effect van glasvervuiling op de lichtdoorlatendheid. Bij twee telers worden de ruiten twee keer per jaar aan de buitenkant gewassen, bij de andere teler één keer. De binnenkant wordt meestal één keer schoongemaakt, tijdens de teeltwisseling.

Zoals bij iedere komkommerteelt is er een buisrail onderin met een groeibuis tussen het gewas. De buizen hangen zo veel mogelijk laag in verband met de lichtonderschepping en het klimaat.

Bij nieuwbouw zijn er behalve het verschil in lichtdoorlatendheid vaak nog veel andere veranderingen, zoals ruimere paden, betere lichtbenutting, hogere plantdichtheid en een betere arbeidsverdeling. Hierdoor is het moeilijk te bepalen wat precies de opbrengstverhoging is als gevolg van de hogere lichtdoorlatendheid van het nieuwe kasdek. In een lichtere kas kan een hogere temperatuur worden aangehouden door de betere lichtbenutting. Hierdoor kan de productie stijgen en is de kwaliteit beter.

Bij de aanschaf van een nieuwe kas wordt bij een teler de prijs/prestatie-vergelijking de 1% lichtregel als vuistregel genomen, al wordt dan wel rekening gehouden met een lagere productieverhoging in de zomer.

Een van de andere telers zoekt steeds verder naar de benutting van het licht. 1% extra productie is ongeveer 1 kg/m², hoeveel kun je voor deze €0,50 extra investeren?

Niet alleen licht is belangrijk voor de derde teler. Hij geeft liever meer geld uit voor praktische dingen die bijvoorbeeld het werk verlichten. Ook vindt hij het belangrijk dat de kas zó wordt ingericht dat er ook een ander gewas in kan worden geteeld. Je bent dan flexibeler, bijvoorbeeld bij verkoop. Licht is een onderdeel in de besluitvorming, het is niet het belangrijkste.

In het voorjaar is 1% meer licht 1,2% meer productie. Boven 800 W/m² haal je licht weg omdat het blad te warm wordt. In de zomer is de verwachting van 1% meer licht 0,6-0,7% productie of minder. Niet al het licht kan optimaal worden benut door gebrek aan CO₂. In de winter geldt de 1% licht-productieregel zeker. Veel is ook afhankelijk van de balans van het gewas; bij een sterke vrucht kun je zo veel mogelijk licht toelaten. Is de plant wat ouder of zwakker dan moet je in de zomer eerder schermen. Misschien kun je dan met een hortiplus kas het licht meer benutten. Wanneer er veel licht en dus ook warmte is, is het moeilijk om het evenwicht in de plant te bewaren. Het stuksgewicht is erg rasafhankelijk, waarbij stamvruchten altijd langer zijn dan de rankvruchten. Hoe meer licht er is, hoe korter de vruchten (misschien heeft dit ook met de temperatuur te maken). Verder wordt verwacht dat in een lichtere kas eerder meeldauw op zal treden.

Er is bij de meeste telers geen dubbel glas of gevelisolatie aanwezig. Eén van de telers heeft een beweegbaar gevelschem, dit gaat zo snel mogelijk open anders wordt het te warm langs de gevels.

Belichting

Er is geen belichting aanwezig, maar als het economisch rendabel te rekenen is, zou een van de telers het graag willen hebben. Drempels hierbij zijn de lage kas en de onzekerheid over de opvolging van het bedrijf.

Een van de andere telers geeft aan dat het voor hem rendabel zou zijn doordat belichting zorgt voor een vlakke arbeidsfilm. Omdat de markt voor komkommer echt een dagmarkt is lijkt het hem niet interessant om voor de markt met belichting te starten. Bij nieuwbouw zou mobiele belichting voor de derde teler een optie zijn.

Schermen

Er is bij alle telers een enkel scherm aanwezig (SLS10 ultra plus of formilux) voor energiebesparing en vochtregeling. Het scherm wordt hoofdzakelijk in de winter gebruikt en in de zomer alleen in de eerste week bij de jonge aanplant als de globale straling buiten boven de 800 W/m^2 is. In een lichtere kas kun je eerder schermen, maar ook het gewasstadium is belangrijk. Bij een hoge-draadsysteem, assimilatiebelichting en in elke oksel een vrucht hoeft minder snel te schermen. Je hebt dan gewasbevochtiging nodig om het blad te koelen en daksproeiers voor de kasttemperatuur. Op een erg hete dag heb je alles nodig; scherm, gewasbevochtigers en daksproeiers en het liefst een generatief ras. De breedte van het schermpakket is 15 cm en meestal gaat het scherm dicht boven 700 tot 800 W/m^2 .

Sinds er geschermd wordt, wordt er niet meer gekrijt bij de meeste komkommertelers. Wanneer er bij de jonge plant te veel licht en een erg hoge temperatuur is ($>30^\circ\text{C}$), wordt er bij één teler gekrijt. Het krijt wordt weggehaald als de weersomstandigheden weer veranderen. Krijten is koeler dan schermen, geschat wordt dat het ongeveer 25% licht wegneemt.

CO₂

Door de telers wordt op diverse manieren CO₂ gedoseerd; één van de telers is aangesloten op de ROCA. Hij krijgt hiervan zuivere CO₂ en gebruikt verder zonodig de ketel. Er wordt 100 kg/ha van de ROCA gebruikt en 120 kg/ha van de ketel. De zuivere CO₂ van de ROCA is standaard, de ketel wordt eventueel gebruikt om bij te bufferen. De buffer is in de praktijk nooit te vol geweest.

Een van de andere telers gebruikt zuivere CO₂ en de ketel. Er wordt maximaal $85\text{--}100 \text{ m}^3/\text{h}$ aan CO₂ gedoseerd, afhankelijk van de mate waarin de buffer nuttig kan worden geleegd. Als streefwaarde wordt 1000 ppm aangehouden, ondanks dat sommige komkommertelers wat voorzichtiger zijn met het doseren van CO₂. Als het blad sterk genoeg is, bijvoorbeeld in april dan kan dat. 's Ochtends wordt pas begonnen met doseren als de plant goed actief is. Bij hoge streefwaarden kunnen de ramen zo veel mogelijk dicht blijven door het gebruik van daksproeiers. Alle telers hebben een buffer.

Kastemperatuur

De dag-nachttemperatuur is in de winter $21\text{--}20^\circ\text{C}$, in het voorjaar $21\text{--}20,5^\circ\text{C}$ en in de zomer $24\text{--}18,5^\circ\text{C}$. Ondanks dat het scherm vooral in de nacht wordt gebruikt wordt dan niet een extra hoge temperatuur aangehouden, omdat dan de plantbalans wordt verstoord.

In het voorjaar wordt er een lichtverhoging op de kasttemperatuur ingesteld van 1°C gedurende het stralingstraject van $100\text{--}600 \text{ W/m}^2$ of 2°C bij $300\text{--}650 \text{ W/m}^2$. Er wordt in de zomer een lichtverlaging ingesteld en een lichtsomverlaging om de etmaaltemperatuur in de hand te houden tijdens zonnige dagen. Van $1500\text{--}2500 \text{ J/cm}^2/\text{d}$ wordt een lichtsomverlaging van 2°C ingesteld, de nacht wordt dan kouder. Dit is ook rasafhankelijk.

Het temperatuurverschil dag/nacht is afhankelijk van de gewasstand, op één bedrijf is de dagtemperatuur meestal hoger dan de nachttemperatuur, maar soms gelijk. In de winter is de lijn vlakker. Bij een andere teler is het temperatuurverschil $1,5^\circ\text{C}$. Bij veel licht en hoge temperaturen is dit verschil groter.

Conclusie

Licht is zeker belangrijk voor komkommer, al wordt het in de zomer niet optimaal benut. Een gesloten kas kan hierin verandering brengen omdat dan het CO₂ op niveau wordt gehouden. Punten van aandacht zijn de korte vruchten en de witgevoeligheid van komkommer tijdens perioden met veel licht. Plantdichtheid en ras zouden door een tuinder aangepast kunnen worden aan de lichtdoorlatendheid van het kasdek. Eén van de telers vindt zekerheid het belangrijkste punt. Hij wil een hoge productie en een goede kwaliteit, maar met de zekerheid dat het personeel blijft en er geen gekke dingen gebeuren. Licht is een onderdeel van een groot geheel met veel factoren om mee te sturen. De andere teler vindt de lichtregel erg belangrijk, maar alleen als de randvoorwaarden optimaal zijn. Met een hogedraadsysteem, optimale teelt, minder groeikrachtige rassen etc. is meer dan 1% productieverhoging mogelijk bij 1% meer licht. Het belangrijkste is het in balans houden van het gewas voor een optimale (hoge) productie van goede kwaliteit. Dat wil zeggen het licht zo veel mogelijk benutten, schermen als er te veel licht is en de plant niet sterk genoeg is. In de huidige situatie zijn er te veel bladeren en wordt het licht niet optimaal opgevangen.

4.3 Roos

Teelt

Voor roos is licht erg belangrijk, net zoals voor elk ander gewas volgens één van de rozentelers. Een andere teler vindt licht voor roos belangrijker dan voor andere gewassen.

Als er 5 of 10% meer of minder licht was zou één van de telers het lichtste kastype kiezen qua constructie, maar geen teeltmaatregelen toepassen. Een van de andere zou een ander ras kiezen (dat minder of makkelijker knoppen zet) en de derde teler zou de kleur (dus ras) aanpassen; rood is het meest rendabel met veel licht; voor kerst en moederdag (winter).

Huidige kas

De leeftijd van de kassen loopt sterk uiteen. Alle bedrijven hebben oude en nieuwe kassen, gebouwd van 1975 tot nu. De lichtdoorlatendheid is bij één van de telers niet bekend. Eén van de telers heeft gebouwd met groenlabel, dus de lichtdoorlatendheid zal aan de norm voldoen (75-76%). De derde teler heeft hortiplus. Dit dekmateriaal heeft een diffuse transmissie van 80%. De andere telers noemen een transmissie van het glas van 89 en 90% bij de nieuwe kassen. Alle kassen zijn van hetzelfde type: venlo. Voor een 8 meter tralie zijn de ramen 212 bij 112,5, 125 of 112,5 breed en 208 bij 212,5 voor de nieuwere kassen. Eén teler noemt 165 bij 73 bij de oude kassen.

De drie telers geven aan dat glasvervuiling licht kost, daarom wordt het dek aan de binnenkant 1 keer per jaar gereinigd. De buitenkant wordt 1 keer, 1 of 2 keer en zelfs 3 keer gereinigd.

Bij twee van de drie telers liggen alle verwarmingsbuizen onderin vanwege klimaat én lichtinval. Door de lampen is bovendien bovenin al genoeg warmte. Bij de derde teler hangen op één van zijn drie bedrijven 2 buizen bovenin vanwege de gebruikte hangende spuitrobot.

Uit een pasgebouwde kas komt een hogere productie en een betere kwaliteit door meer licht en een goede CO₂-voorziening. Bij een hogere kas (5m) is de lichtverdeling uniformer en het klimaat gelijkmatiger waardoor er meer buffer is. Bij een lichtere kas kun je harder stoken en meer water geven doordat je meer groei hebt. Verschil in licht heeft invloed op productie en kwaliteit door aanleg van dikkere knoppen. Wanneer er in de zomer minder licht is, kan de productie wel 50% zakken. Ook de RV is belangrijk.

Aanschaf nieuwe kas

Hortiplus geeft 8% minder licht, scherm geeft 4% minder licht, dus 1% meer licht door de kas heeft misschien minder effect dan wordt gedacht?

Voor 5% meer licht heeft één teler € 10 over, volgens de andere teler brengt 1% meer licht € 0,60 op, dit mag het ook kosten. De kassen kunnen nu niet meer lichter want dan is er te veel kans op breuk.

Het is erg belangrijk dat een kas meer zonlicht doorlaat, maar bij nieuwbouw is in verband met automatisering toch gekozen voor een iets minder lichte kas.

Twee telers hebben een gevelschermbouw, ook in verband met afschermen van de belichting. De teler met het hortiplus dek heeft dit ook aan de zijkant en de onderste 1,80 meter noppenfolie.

1% extra licht geeft in de winter ook 1% meer productie, maar niet in de zomer volgens één van de telers. Hij knipt in zijn oude kas 14 stuks en in de nieuwe 35 stuks! Deze productieverhoging wordt niet alleen veroorzaakt door een lichtere kas. Bij de nieuwe kas zijn meer onderdelen geoptimaliseerd. Licht is niet de beperkende factor, er kan nog veel meer licht bij, maar het wordt te warm. Volgens een ander geeft het meer dan 1% productieverhoging in de winter. Vroeger was het: wel/geen licht is wel/geen knop: zonder belichting kun je in Nederland geen rozen telen. In de winter is 1% licht veel meer dan 1% productie, in de zomer minder dan 1%.

Met het regelen van het klimaat stuur je op stuks óf gewicht en kwaliteit.

Licht heeft geen invloed op de ziektedruk, behalve misschien op wortelziekten.

Belichting

Alle telers hebben assimilatiebelichting, variërend van 6500 tot 12000 lux. Er zijn 400 en 750 W lampen, dus de hoeveelheid per m² varieert. Voor 6500 lux hangen 3 lampen per 36 m. Bij één van de telers hangt op één locatie 1 lamp per 13 m², op de andere locatie 1 lamp per 12 m². Er zijn 2 installaties, als het te warm wordt gaat er 1 uit. De helft van de stroom wordt ingekocht, de andere helft wordt zelf gemaakt. Deze laatste helft brandt 4000 uur, de andere helft 2000 uur per jaar. Hier wordt in de winter 20 uur per dag belicht en is de donkerperiode 4 uur. Het afschakelniveau overdag is 250 W/m². Van half oktober tot half maart zijn er 2000 belichte uren, de rest van de uren zijn verdeeld over het hele jaar.

In de winter is de belichting bij een van de andere telers altijd aan, met uitzondering van 4 uur donker. Van half mei tot half juli wordt er niet belicht. Er is een WKK aanwezig, als de warmte gebruikt kan worden, wordt er belicht.

De laatste teler belicht 5500 uur per jaar. Hij heeft geen vaste donkerperiode, maar dit varieert met gewasstadium en buitentemperatuur. Bij een jonge aanplant of wanneer het erg koud is wordt er 24 uur per dag belicht (en afgeschermd). Het afschakelniveau overdag is ca 300 W/m². In de winter wordt gemiddeld 20 uur per etmaal belicht, in de zomer 's ochtends en op regenachtige dagen. Als de hoeveelheid gas nog niet aan de grens zit wordt er belicht, omdat teruglevering erg weinig oplevert.

Schermen

Eén van de telers heeft geen scherm, maar er wordt wel gekrijt in de laatste week van april, soms in mei. In de tweede of derde week van augustus gaat het er weer af. Het voordeel van krijten is dat het langer koel blijft en het voordeel van schermen dat het scherm op een donkere dag open kan. De tweede teler heeft een enkel scherm (open doek USL 13). Dit geeft iets energiebesparing en schermt veel licht weg, zodat de bladtemperatuur niet te hoog wordt. Het schermpakket is erg smal en er wordt overdag geschermd als er te veel zon is. Bij 400 W/m² instraling gaat het scherm dicht. Op één van de locaties gaan de daksproeiers ook aan als het te warm is. Van april tot begin september wordt er gekrijt (boven 700 W/m²). Met krijt is het koeler in de kas, en de warmte komt er later in, dit geeft prettigere arbeidsomstandigheden. Het open doek schermt 20% licht weg, het krijt 35%.

De derde teler heeft een dubbel scherm; energie en schermdoek. De breedte van het schermpakket is 15cm (te breed). Wanneer het in de winter erg koud is, is het scherm 24 uur per dag dicht. In de zomer is het overdag dicht bij de overgang naar ander weer. Het scherm gaat bij een instraling van 400 W/m² dicht, afhankelijk van wat de plant gewend is wordt het aangepast aan de omstandigheden. Dit is ook rasafhankelijk. Voor de koelte wordt er ook gekrijt van moederdag tot begin augustus. Voor temperatuur is alleen schermen onvoldoende en moet er ook gekrijt worden. Er wordt ca 15% licht weggeschermd met krijt.

CO₂

CO₂ wordt gedoseerd met de ketel, voorzien van een condensor of met de WKK met een rookgasreiniging. Maximaal 100 m³ per uur. De streefwaarde is 1000 ppm bij het bedrijf met WKK. De WKK draait toch en blijft dus geven. In de zomer of bij open ramen hanteert een van de andere telers als streefwaarde de buitenwaarde, met dichte ramen in de winter 1000 ppm, in de zomer 1500 ppm. De laatste teler heeft geen buffer en heeft als streefcijfer voor de zomer de buitenwaarde en voor de winter 800 ppm. Twee van de drie telers hebben een buffer. Wanneer er weinig warmtevraag is en veel licht is er bij de teler zonder buffer geen CO₂-dosering. Bij de telers met buffer, wordt eerst de buffer gevuld.

Kastemperatuur

Afhankelijk van seizoen wordt er ca 2 of 5°C lichtverhoging ingesteld. Bij één van de telers is er in de winter een lichtverhoging van 2°C en in de zomer een lichtverlaging. Deze teler heeft ook als enige een lichtsomverhoging van 500-800 J.

Na een langere periode van minder instraling wordt er eerder belicht en het luchten wordt beperkt. Na een periode met meer instraling kan bij een sneller ras vaker worden geoogst. Dit is afhankelijk van het gewas voornamelijk in de zomer van het eerste jaar.

Het temperatuurverschil dag/nacht is bij de roos 4°C, in de winter 2°C. Bij één van de telers is het verschil in de winter gelijk en in de zomer 10-11°C.

Conclusie

Licht is érg belangrijk voor roos. Bij nieuwbouw kies je een zo licht mogelijke kas. Aanpassingen ten koste van licht wil je als kweker nooit, alleen als het echt niet anders kan. Energiebesparing mag geen licht kosten, je kijkt wel naar de kosten/baten verhouding. Je hebt in de zomer te veel licht en in de winter te weinig. De assimilatiebelichting beïnvloedt veel en daardoor maak je soms andere keuzes. Bij een nieuwe, lichte kas heb je een veel hogere productie maar behalve de lichtdoorlatendheid veranderen ook alle andere omstandigheden; afmeting, hoogte, CO₂-voorziening. Alle omstandigheden worden beter, dus je kunt niet alles naar het licht toerekenen. De combinatie van diverse maatregelen levert het meest op. Voor de toekomst wordt vergaande automatisering erg belangrijk.

Er wordt op naam geveild dus kwaliteit betaalt zich!

4.4 Freesia

Teelt

Licht is voor freesia erg belangrijk. Bij een kas met minder licht moet je ruimer planten, is er meer licht dan kun je dichter planten en evt. een hogere temperatuur aanhouden.

Huidige kas

De leeftijd van de venlokassen van de geïnterviewde tuinders loopt van 1975, '76, '85, '90, '99 tot 2001. De lichtdoorlatendheid van de kas uit 1975 is 55% en die van 1999 is 78%. Van de andere is dit niet bekend. De transmissie van het glas is bij de nieuwere kassen 89/89,5%. Voorkomende ruitmaten zijn 79 bij 1,64, 112,5 bij 254 en 112,5 breed.

Vervuiling van het glas is zeker in de winter van invloed, dus het kasdek moet goed schoon blijven. Binnen- en buitenkant worden 1 maal per jaar gereinigd, tegelijk met het verwijderen van het krijt.

De buizen hangen onder het gewas vanwege het klimaat en de lichtinval, bij de oude kassen hangen ze soms ook bovenin.

Een nieuwere kas laat meer licht door, bespaart meer energie en de benutting is beter (iets bredere paden, dichter planten is mogelijk door meer licht). Het is praktischer qua arbeid. Bij één bedrijf heeft de nieuwe kas 20-25% meer productie (stuks), het gewas is later 'uit' de groei en veel eerder weer in de groei. Bij een lichtere kas kan een hogere temperatuur worden aangehouden; teelt gaat sneller. Productie is 10-15% hoger door meer licht, hogere temperatuur en meer CO₂.

Aanschaf nieuwe kas

Voor één van de telers mag de kas niets meer kosten voor 1% extra licht. Een van de andere zou bij nieuwbouw dezelfde kas bouwen als wat hij nu heeft, en heeft er 'wat' (weinig) voor over als deze meer licht zou doorlaten. De derde teler vindt de lichtdoorlatendheid niet het belangrijkste, maar 1% meer licht mag 1 tot 2€ per m² meer kosten.

Het is belangrijk dat de kas meer zonlicht doorlaat, maar het hoeft niet tot het uiterste te gaan. Twee telers hebben gevelschermen, de derde heeft geen gevelisolatie. Bij nieuwbouw is 1% meer licht wel 1% meer productie, maar er zijn meer factoren. In de winter en het voorjaar is 1% meer licht, 1,25% meer productie volgens één teler. De laatste teler vindt dit alleen in de winter belangrijk, dan is 1% meer licht wel 2% meer productie (1 oktober tot 1 maart). Hierbij is vooral het stuksgewicht het belangrijkste. Over de kwaliteit zijn de meningen verdeeld; door meer licht is de plantopbouw en de groei beter, kwaliteit en productie gaan gelijk op. Een van de geïnterviewde telers verwacht van meer licht geen betere kwaliteit.

Bij donker weer zijn freesia's gevoeliger voor botrytis.

Belichting

Alle geïnterviewde freesiatelers hebben belichting, één van hen zou bij nieuwbouw mobiele belichting installeren. De intensiteit loopt van 3000 tot 3200 lux en er wordt zo'n 16 uur per dag belicht of iets minder. De donkerperiode is 8 uur. Bij één bedrijf wordt al belicht tijdens de knopaanleg voor de lengte en zwaarte van de haken. Het afschakelniveau is 200 of 350 W/m². Er wordt alleen in de winter belicht, van oktober tot ongeveer eind februari/1 maart, afhankelijk van de lichtsom (250J/cm²). In het voor- en naseizoen wordt er op het laatste bedrijf met de dag mee belicht, van december tot en met februari wordt er volledig belicht.

Schermen

De telers hebben allen een open doek scherm en zijn daar wisselend tevreden over. Eén van hen zou een dichter doek willen om meer energie te besparen. De breedte van het schermdoek is 10 of 12 cm en er wordt ook overdag geschermd. Het scherm sluit bij 400, 500 of 600 W/m². Wanneer de straling te veel wordt en de temperatuur te hoog gaat het scherm dicht. Er wordt overal ook gekrijt, behalve bij de nieuwe kas van één teler. In deze kas komt één lange teelt, planten 1 juni, oogst in maart en korte freesia teelt geplant in week 6. Dit is een teelt van 19 weken en het gaat met alleen een scherm net goed.

Vanaf eind maart (heel licht) of april wordt er gekrijt, in september wordt het dek schoongemaakt en gaat het restant eraf. Krijt is koeler dan een scherm, maar een scherm kun je open doen. In een nieuwe kas is het scherm tot 10:00 uur en na 16:30 uur altijd open. De hoeveelheid licht die wordt weggeschermd met krijt verschilt per jaar bij één bedrijf. Hier wordt een aantal keren gekrijt, afhankelijk van de weersomstandigheden eerst erg licht (20% scherming), later of na veel regen dikker. Soms wordt er wel 4 x gekrijt. Eén van de andere denkt dat scherm en krijt beide 50% licht wegnemen. Er is een nieuw soort krijt dat de warmte buiten houdt en minder licht weg schermt. Dan zou een gesloten doek in plaats van open doek en 's zomers dit krijt beter zijn. Bij echte koude is een open doek onvoldoende, bij een gesloten doek bespaar je veel meer energie.

CO₂

CO₂ wordt centraal en/of met een heteluchtkanon gedoseerd. Eén van de telers doseert 80 m³/uur, een andere doseert van september tot februari van 9:00 tot 16:00 uur 18 m³/uur met heteluchtkachels. Streefwaarden worden bij één bedrijf nooit gehaald, behalve 's winters met heteluchtkachels. Het is al fijn als de buitenwaarde wordt bereikt. Slechts één bedrijf heeft een warmtebuffer, hier wordt niet gedoseerd als er weinig warmtevraag en veel licht is. In deze situatie wel doseren komt ook voor, de warmte wordt dan als minimum buis gebruikt in een ander vak als grondverwarming.

Kastemperatuur

Bij een teler wordt in februari/maart een lichtverhoging ingesteld van 1 à 2°C. In september is de lichtsomverhoging 3-5°C. In het voorjaar moet je de plant activeren, dus 's avonds gaat de temperatuur omhoog.

Als er een langere periode is met meer of minder instraling komt er op één bedrijf een lichtverhoging, na de tweede nacht wordt de temperatuur aangepast afhankelijk van het ontwikkelingsstadium van het gewas. Het andere bedrijf laat bij donker weer wat hogere temperaturen toe, bij licht weer wat lagere temperaturen; de knopaanleg is belangrijk (15-17°C). De laatste teler neemt geen maatregelen.

Het temperatuurverschil dag/nacht bij een bedrijf is 2°C, in de zomer zo koud mogelijk. Bij de andere twee bedrijven is dit sterk afhankelijk van het seizoen; in de winter is het temperatuurverschil dag/nacht 2°C, in het voorjaar 2°C met een lichtverhoging van 5-6°C, in de zomer buitentemperatuur, in het najaar is de temperatuur overdag en 's nachts gelijk met evt. een lichtverhoging van 5-6°C.

Conclusie

Voor freesia is licht erg belangrijk, vooral in de winter, veel belangrijker dan vroeger werd gedacht. Omdat bij freesia allemaal verschillende stadia en verschillende rassen bij elkaar staan is het erg moeilijk om het klimaat zó aan te passen dat het voor elk vakje goed is. Voor 1 of 0,5 % meer licht hoeft je geen nieuwe kas te bouwen. Bij nieuwbouw is de lichtdoorlatendheid veel beter, maar je moet niet tot het uiterste gaan. Eén teler verwacht geen opbrengstverhoging bij nóg meer licht in de kas.

Bovendien is de mogelijke energiebesparing voor verwarming bij freesia maar klein; het is een teelt bij relatief lage temperatuur; 1/3 is voor stomen, 1/3 voor 'klimaat maken' en 1/3 voor verwarming.

Met mobiele belichting verwacht één teler met de helft van het stroomverbruik hetzelfde resultaat te krijgen als met vaste belichting.

Veel / meer licht en energiebesparing kan best samen!

4.5 Poinsettia

Voor poinsettia (kerstster) zijn slechts twee telers geïnterviewd. Het was lastig om telers te vinden die mee wilden werken aan het onderzoek, het is nu niet de goede tijd en ze hebben het allemaal druk met andere gewassen. Omdat we al zoveel informatie hadden verzameld bij de andere gewassen en er geen wezenlijk andere dingen naar voren kwamen bij de twee poinsettia telers is dit waarschijnlijk niet van invloed op de antwoorden.

Teelt

De poinsettiatelers telen ook andere gewassen; één van hen teelt ook tomaat, de andere teler diverse potplanten, kuipplanten en perkgoed.

Omdat poinsettia's worden opgepot als het licht afneemt en worden afgeleverd in de donkerste tijd van het jaar is licht voor poinsettia erg belangrijk. Meer licht in de kas beïnvloedt alleen de snelheid van de teelt en de kwaliteit.

Huidige kas

De leeftijd van de venloossen van de geïnterviewde tuinders loopt van 1977 tot 1993. De lichtdoorlatendheid van de oudste kassen is 72 tot 82%, dit is bij de bouw berekend. De transmissie van het oude (Oost Duitse) glas is 91 – 92%, van de kas uit 1993 is dit 90%. De glasbreedte loopt bij de oude kassen van 72 tot 100 cm, de kas uit 1993 heeft 1,125 m breed glas. Glasvervuiling heeft zeker effect, een paar jaar oude kas laat 10% minder licht door. Bij één bedrijf wordt het kasdek aan de buitenkant 3 keer per jaar gereinigd, de binnenkant 1 keer. Bij het andere bedrijf wordt de binnenkant 1x per jaar na de kerststerren gereinigd en de buitenkant gemiddeld 1x per 2 jaar. Dit zou beter vóór de kerststerren kunnen gebeuren maar dat komt organisatorisch niet uit.

De verwarmingsbuizen hangen boven en tussen het gewas en één bedrijf heeft vloerverwarming. De buizen hangen zo vanwege het klimaat en de straling en schaduw.

Bij poinsettia zijn veranderingen in de lichthoeveelheid niet aan het gewas te zien; na opkweek worden de planten wijder gezet, ze staan telkens ergens anders. Door verschil in lichthoeveelheid krijg je een zwaardere of lichtere plant, maar dat is dus niet terug te vinden. Bij een 'dunner' gewas kan de temperatuur naar beneden.

Nieuwbouw

Een kas die 1% meer licht doorlaat mag 1€ meer kosten volgens één van de telers. De andere teler vindt 1% niet de moeite, bij 5% meer licht mag de kas enkele euro's m² extra kosten mits de kas stevig genoeg is. Licht en degelijkheid is belangrijk bij nieuwbouw.

Er zijn gevelschermen aanwezig en dubbel glas als gevelisolatie.

Bij 1% meer licht krijg je een zwaardere plant, maar behalve kwaliteit zijn er nog veel andere factoren van belang. Het is volgens één van de telers daardoor niet te zeggen hoeveel meer productie dit oplevert. Het marktsegment is heel anders dan bij groente. Donkere kassen worden vaak voor potplanten gebruikt.

De andere teler schat dat 1% meer licht, ¾ % meer productie in de winter geeft. Ook de kwaliteit, het droge-stofgehalte en de houdbaarheid worden beïnvloed door de hoeveelheid licht. Bij een betere groei en een hoger droge-stofgehalte is de ziektedruk kleiner.

Belichting

De bedrijven hebben voor poinsettia geen belichting.

Schermen

Beide bedrijven hebben een enkel scherm, LS10 en formium 66. Bij nieuwbouw zou een dubbel scherm de voorkeur hebben; een energiescherm en een zonnescherm. Bij 1 doek moet je de keuze maken voor energie besparen of schermen en bij 2 doeken gebruik je precies wat je nodig hebt. De breedte van de scherm pakketten zijn 9 en 12 cm. Het is belangrijk om goed na te lopen of het pakket overal klein is. Overdag wordt niet geschermd, behalve bij één teler als het te koud is voor wat betreft gascontract. Daar gaat in de opkweekfase (week 30 – 40) het scherm boven 800 W/m² dicht.

Er wordt gekrijt, maar alleen in de eerste 3 weken (week 27) bij het stek steken tot aan het wortelen. Afhankelijk van het licht worden de krijtresten ook weer verwijderd (week 32). Voordeel van krijten ten opzichte van schermen is de temperatuur. Een niet geschermd lege kas is 40°C, een geschermd kas 31°C.

CO₂

Eén van de telers doseert CO₂ via de ketel met darmen. Het andere bedrijf krijgt warmte van een rozenteler uit zijn WKK. Deze heeft een rookgasreiniger en ook de CO₂ komt hier vandaan. Als WKK onvoldoende is wordt er met de ketel CO₂ gedoseerd. Streefwaarde bij dichte ramen is 600 ppm, bij open ramen de buitenwaarde.

Beide bedrijven hebben een buffer. Als er weinig warmtevraag en veel licht is wordt er CO₂ gedoseerd totdat de buffer een bepaalde vulling heeft. Is dit niveau bereikt dan wordt er niet meer gedoseerd.

Kastemperatuur

Alle klimaatinstellingen zijn afhankelijk van de stand van het gewas. Bij één bedrijf wordt er geen lichtverhoging ingesteld, behalve als er te weinig lengtegroei is. Er is geen lichtsomverhoging. Bij het andere bedrijf is er wel een licht(som)verhoging van 1 of 2°C in najaar/winter als er te weinig groei is.

Na een langere periode met meer of juist minder instraling wordt de temperatuur en evt. de watergift aangepast. In de winter is het temperatuurverschil op één bedrijf 2°C. Bij het andere bedrijf is geen temperatuurverschil. Elke dag wordt het gewas beoordeeld en zo nodig worden de instellingen aangepast.

Conclusie

Energiebesparing mag niet ten koste gaan van de teelt!

Licht is erg belangrijk, één teler is eigenlijk groenteteler; er wordt voortdurend gestuurd, afhankelijk van de gewasstand en het klimaat. Binnen de mogelijkheden van het gascontract wordt er voor gezorgd zo veel mogelijk licht te pakken.

De andere teler vindt licht ook erg belangrijk, maar het moet wel praktisch blijven; te lichte kas geeft risico op ruitbreuk. Bij potplanten is licht minst belangrijk, door scherm en dergelijke is er wel energiebesparing, alles hangt ook af van het kostenplaatje. Soms kan de kwaliteit omhoog door iets meer gas te gebruiken.

4.6 Ficus benjamina

Teelt

Voor bladplanten is licht heel belangrijk. Voor bloeiende natuurlijk ook, maar daar komt ook meer groeisturing bij kijken: hoe zorg ik ervoor dat de assimilaten op de juiste plaats komen. Bij Ficus is bladval in de winter een groot probleem. Dit wordt veroorzaakt door te weinig licht. Vooral bontbladige en zware planten hebben hier last van. In een donkere kas zijn die bijna niet te telen in de winter.

Als het lang donker is dan wordt de kastemperatuur iets getemperd omdat het gewas anders alleen maar inteert.

Kas

De bouwjaren van de kassen (Venlo) van de geïnterviewden variëren van 1980 tot 2000. De opkweek vindt vaak plaats in de lichtste kas. Eén kwekerij heeft lichtmetingen laten doen, waaruit bleek dat de nieuwe kas (bouwjaar 2000 ten opzichte van 1980) wel 15-20% meer licht doorliet. In deze kas kan de teler een hogere temperatuur aanhouden, wat hiermee tot 15-20% meer productie heeft geleid. Het glas wordt jaarlijks schoongemaakt. In ieder geval van binnen, zodra een vak leeg komt te staan. Van de buitenkant is het niet altijd mogelijk om een dekwasser te gebruiken, anders zou het wel ieder jaar worden gereinigd. Ongeveer 60% van de verwarming komt van de vloer. Hierdoor is het niet nodig om veel buizen boven het gewas te hebben. Soms liggen die er echter wel (vanwege de historie van de kas) en zijn niet weggehaald voor meer licht in de kas.

Een nieuwe kas moet gewoon zo licht mogelijk zijn (bij wijze van spreken tegen alle kosten), want een lichtere kas geeft een betere kwaliteit (minder bladval) en een snellere teelt. Alle drie de bedrijven hebben een enkelglazige gevel met een gevelscherm.

Belichting

Bij Ficus wordt (nog) niet veel belicht. Bij één van de telers is wel een installatie van 4000 lux aanwezig, maar idealiter zou dit meer moeten zijn. Er wordt 16 uur belicht (dus 8 uur donker) per etmaal en de belichting schakelt af bij 150-200 W/m². Er is veel interesse bij Ficustelers naar assimilatiebelichting.

Schermen

De gebruikte schermen zijn LS10, LS15 (zonwering) en formilux. Het scherm wordt naast de energiebesparing ook gebruikt voor zonwering en wordt gesloten boven een globale straling van 500, 700 en 800 W/m². Hierbij dient te worden aangetekend, dat de lichtmeters niet overal zuiver zijn en dat de genoemde 500 W/m² in werkelijkheid waarschijnlijk hoger zal zijn.

Alleen boven het stekmateriaal wordt gekrijt.

CO₂

Bij alle bedrijven wordt CO₂ centraal gedoseerd. Het is echter niet bekend hoeveel CO₂ er wordt gedoseerd. Bij twee van de drie bedrijven is een buffer aanwezig en er wordt geen warmte vernietigd.

Kastemperatuur

Er wordt een lichtverhoging ingesteld van 1,5 -2 °C. Ook kan een lichtsomverhoging worden ingesteld, maar dit gebeurt niet altijd (bijvoorbeeld niet op warme dagen).

Conclusie

Licht is heel belangrijk voor een snelle teelt en een goede winterkwaliteit. In de winter is voldoende licht essentieel om bladval te voorkomen. In de zomer wordt echter het zonlicht soms weggeschermd. Voor de tuinders is de vraag of meer licht in de winter moet worden gerealiseerd door een lichtere kas of door assimilatiebelichting.

4.7 Conclusies

Vrijwel alle tuinders van de verschillende gewassen vinden het heel belangrijk om zoveel mogelijk licht in de kas te hebben. Over de mate waarin een verhoging van de hoeveelheid licht de productie verbetert lopen de meningen uiteen. Vrijwel alle tuinders geven aan dat het relatieve effect van licht op productie in de winter groter is dan in de zomer. Bij enkele gewassen wordt door een aantal tuinders in de zomer bij veel licht geschermd of gekrijt. Dit wordt met name gedaan om te hoge temperaturen te voorkomen. Dit geeft aan dat onder zomerse omstandigheden extra licht minder gewenst is.

Op hoofdlijnen geven de interviews bij de verschillende gewassen een zelfde beeld. Licht is niet alleen belangrijk voor de kwantiteit van productie maar ook voor de kwaliteit. Om welke kwaliteitsaspecten het gaat is weliswaar gewas-specifiek.

Veel tuinders passen hun teelt aan aan de hoeveelheid licht die er is. Zo wordt vaak genoemd om de plantdichtheid te verhogen, raskeuze aan te passen en bij hogere temperaturen te telen als lichtniveaus toenemen. Dit betekent dat de relatie tussen productie en licht in de tuinbouwpraktijk zal afwijken van de relatie die gevonden wordt in proeven waarbij alleen de lichtfactor gevarieerd wordt. Licht moet niet als losstaande factor beschouwd worden. Een combinatie van diverse maatregelen levert het meest op.

Veel tuinders vinden dat energiebesparing geen licht mag kosten.

5. Conclusies

Doel van dit project was om de lichtregel (relatieve effect van 1% meer licht op de productie) vast te stellen. Op basis van literatuur- en praktijkgegevens blijkt de vuistregel 1% licht is 1% opbrengst voor veel gewassen een overschatting te geven van het lichteffect op productie. Voor de meeste gewassen leidt 1% afname van het lichtniveau tot een afname van de productie (oogstbare biomassa) met 0.5 tot 1%. In Tabel 5.1 staan per gewasgroep de schattingen voor de gemiddelde afname van productie bij 1% lichtafname, welke als vuistgetallen gehanteerd zouden kunnen worden. Bij deze vuistgetallen zijn overigens wel enkele kanttekeningen te plaatsen. Het zijn schattingen van gemiddelden die in specifieke situaties niet op hoeven te gaan. Het effect van licht op productie wordt namelijk door verschillende teeltfactoren beïnvloed. Voor meer gedetailleerde schattingen waarbij rekening gehouden kan worden met interacties van andere teeltfactoren kunnen gewasgroeimodellen een goed hulpmiddel zijn. De vuistgetallen in Tabel 5.1 hebben betrekking op effecten van licht op de productie. Naast effecten op kwantiteit van de productie zijn er belangrijke effecten op kwaliteit. In de meeste gevallen heeft meer licht een positieve invloed op de kwaliteit. Deze effecten zijn niet goed kwantitatief bekend.

In veel gevallen zullen vuistgetallen zoals in Tabel 5.1 weergegeven, goed gebruikt kunnen worden. Als echter de effecten van licht nader geanalyseerd worden blijkt het effect van licht op productie af te hangen van verschillende teeltcondities. Zo neemt het relatieve effect veelal toe bij lagere lichtniveaus, hogere CO_2 -concentraties en hogere temperatuur. De toename van het relatieve effect bij lagere lichtniveaus kan verklaard worden door een lagere efficiëntie van de gewasfotosynthese bij hoge lichtintensiteiten door lichtverzadiging. Tevens zijn bij hoge lichtniveaus andere condities waarschijnlijk suboptimaal, zoals CO_2 , temperatuur en luchtvochtigheid. Als gevolg van het feit dat het relatieve effect van licht toeneemt bij lage lichtniveaus (en hoge CO_2 -concentraties), is het relatieve lichteffect in de winter groter dan in de zomer. De gegevens maken het niet mogelijk betrouwbare vuistregels apart voor zomer of winter op te stellen. Waarschijnlijk is het effect van 1% licht op productie een paar tienden van een procentpunt hoger in de winter en een paar tienden van een procentpunt lager in de zomer ten opzichte van het vuistgetal gemiddeld voor het hele jaar.

In de zomer kan extra licht minder gewenst zijn, met name in verband met teveel oplopen van de temperatuur. Als het oplopen van de temperatuur meer in de hand gehouden kan worden, dan zou de lichtbenutting in de zomer waarschijnlijk verbeterd kunnen worden.

Gelijktijdig met lichtintensiteit veranderen in een praktijkkas ook andere klimaatcondities. Op veel bedrijven is er een negatieve correlatie tussen licht en CO_2 -concentratie, omdat bij meer licht meestal minder CO_2 als restgas van de ketel beschikbaar komt en omdat de ramen meer geopend worden. Daarnaast is er een positieve correlatie tussen licht en kastemperatuur als gevolg van opwarming van de kas onder invloed van de zon en door verhoging van temperatuursetpoints bij toenemende straling. Met name de negatieve correlatie tussen CO_2 en licht, leidt er toe dat de positieve effecten van lichttoename in de praktijk wat kleiner zijn dan verwacht zou worden op basis van proeven waarin alleen de factor licht gevarieerd wordt.

Effecten van licht op versgewicht van de oogstbare delen zijn soms groter en soms gelijk aan die op drooggewicht van de plant, afhankelijk van gewas en periode van lichtverandering. Bijvoorbeeld bij sla en de niet-boeiende potplanten *Ficus* en *Dracaena* is nagenoeg geen verschil gevonden tussen lichteffecten op vers- en drooggewicht. Bij tomaat daarentegen is een groter effect van lichtafname op versgewicht van de vruchten dan op drooggewicht van de plant gevonden, waarschijnlijk als gevolg van een slechtere zetting en daardoor een afname van de drogestofverdeling naar de vruchten. Gedurende langdurige perioden van weinig licht neemt ook bij komkommer de zetting af en daardoor tevens de verdeling van drogestof naar de vruchten. Echter het effect van licht op versgewicht van de komkommervruchten is kleiner dan dat op drooggewicht van de vruchten, omdat het droge-stofgehalte van de vruchten afneemt (watergehalte toeneemt) bij verlaging van het lichtniveau.

Licht moet niet als losstaande factor beschouwd worden. Het vormt een onderdeel, weliswaar een belangrijke, van de totale bedrijfsvoering. Een combinatie van diverse maatregelen levert voor een tuinder het meest op. Uit de interviews blijkt dat veel tuinders hun teelt aanpassen aan de hoeveelheid licht die er is. Zo zullen tuinders in veel gevallen de plantdichtheid verhogen, raskeuze aanpassen en bij hogere temperaturen telen als lichtniveaus toenemen. Ook dit betekent dat de relatie tussen productie en licht in de tuinbouwpraktijk zal afwijken van de relatie die gevonden wordt in proeven waarbij alleen de lichtfactor gevarieerd wordt.

Tot nu toe werd vaak de vuistregel 1% licht is 1% opbrengst gehanteerd. Voor veel gewassen is dit een overschatting van het lichteffect op productie. Als de vuistregels zoals die in Tabel 5.1 staan, gehanteerd worden kan dat de nodige consequenties hebben bij beslissingen over investeringen in energiebesparende maatregelen, zoals kasdek en scherm. In een aantal gevallen zal dit betekenen dat tuinders eerder geneigd zijn om energiebesparende maatregelen te treffen dan in het geval ze uit gaan van de oude lichtregel dat 1% licht 1% productie zou zijn.

Hoewel aan de ene kant blijkt dat 1% licht is 1% opbrengst een overschatting is het van het lichteffect, maakt deze studie ook duidelijk dat het in vrijwel alle situaties meer licht nog steeds een behoorlijke productiestijging kan geven. Dus steeds streven naar zo veel mogelijk licht in de kas is vanuit productieoogpunt zinvol. Uitzondering hierop vormen bijvoorbeeld potplanten waar teveel licht in met name de zomer tot kwaliteitsproblemen kunnen leiden.

Op zonnige dagen kan een tuinder de plant het licht beter laten benutten als hij de CO₂-concentratie op een hoger niveau zou kunnen handhaven en tevens de temperatuur meer in de hand kan houden; mogelijk geldt dit ook voor handhaven van luchtvochtigheid.

Om enerzijds nadelige effecten van minder licht te verminderen danwel om de positieve effecten van meer licht beter te benutten kan een tuinder bij meer licht een hogere kastemperatuur aanhouden, de plantdichtheid vergroten en raskeuze aanpassen.

Tabel 5.1. Afname van de productie bij 1% lichtafname voor verschillende gewassen op basis van literatuurstudie, praktijkgegevens en tuinderinterviews.

Gewasgroep	Gewas	Afname productie bij 1% lichtafname	Opmerkingen
Grondgebonden groenten	Sla	0.8%	Effecten van lichtafname gelijk voor vers- en drooggewicht.
	Radijs	1%	Licht beïnvloedt de spruit/knol verhouding. Effecten van lichtafname op de knol zijn groter dan op de spruit en kunnen bij lage lichtniveaus groter worden dan 1%.
Vruchtgroenten	Komkommer	0.7 – 1%	Droge-stofpercentage van de vrucht wordt verlaagd bij lichtafname; effecten van lichtafname op versgewicht zijn dan kleiner dan op het drooggewicht van vruchten.
	Tomaat	0.7 – 1%	Lichtafname heeft een groter effect op het versgewicht van de vruchten dan op het drooggewicht van de plant.
	Paprika	0.8 – 1%	
Snijbloemen	Roos	0.8 – 1%	Licht beïnvloedt zowel het aantal stelen als het takgewicht (één onderzoek uitgezonderd). Effecten van 1% lichtafname zijn in de winter groter en in de zomer beduidend kleiner.
	Chrysant	0.6%	
Bolbloemen	Freesia	0.25-1.25%	Gegevens waren te beperkt voor een algemene lichtregel.
	Lelie	0.25-1.25%	Gegevens waren te beperkt voor een algemene lichtregel.
Bloeiende potplanten	Poinsettia, saintpaulia, kalanchoë	0.5-0.7 (Poinsettia)	Met uitzondering van Poinsettia is voor deze gewasgroep de lichtregel niet goed op te stellen door gebrek aan literatuur. Daarnaast beïnvloedt licht de kwaliteit. Kwaliteit is minstens zo belangrijk als biomassa productie, maar is niet uit te drukken in een algemene lichtregel.
Niet-bloeiende potplanten	Ficus benjamina, dracaena	0.65%	Effecten van lichtafname zijn gelijk voor vers- en drooggewicht. In winter is bij Ficus voldoende licht essentieel om bladval te voorkomen.

6. Literatuur

- Acock, B., D.A. Charles-Edwards, D.J. Fitter, D.W. Hand, L.J. Ludwig, J.W. Wilson & A.C. Withers, 1978.
The contribution of leaves of different levels within a tomato crop canopy to photosynthesis: an experimental examination of two canopy models. *Journal of Experimental Botany* 29: 815-827.
- Andersson, N.E., 1990.
Effects of level and duration of supplementary light on development of chrysanthemum. *Scientia Horticulturae* 44: 163-169.
- Andersson, N.E., 1993.
Effects of mobile shade on growth and development of pot plants. *Acta Agriculturae Scandinavica. Section B, Soil and Plant Science* 43(2): 125-128.
- Andersson, N.E., 1994.
Effects of duration of shading on growth and development of flowering pot plants. *Acta Agriculturae Scandinavica. Section B, Soil and Plant Science* 44(4): 244-247.
- Arkebauer, T.J., A. Weiss, T.R. Sinclair & A. Blum, 1994.
In defense of radiation use efficiency: a response to Demetriades-Shah *et al.* (1992). *Agricultural and Forest Meteorology* 68: 221-227.
- Bailey, D.A. & W.B. Miller, 1991.
Poinsettia developmental and postproduction responses to growth retardants and irradiance. *HortScience* 26(12): 1501-1503.
- Beel, E. & A. Schelstraete, 1985.
Influence of energy saving on the quality and salability of hothouse plants (II). *Verbondsnieuws voor de Belgische Sierteelt* 29(11): 490-494.
- Berg, G.A. van de, 1987.
Influence of temperature on bud break, shoot growth, flower bud atrophy and winter productin of glasshouse roses. *Proefschrift Landbouwniversiteit Wageningen*.
- Blom, T.J., M.J. Tsujita & G.L. Roberts, 1995.
Far-red at end of day and reduced irradiance affect plant height of Easter and Asiatic hybrid lilies. *HortScience* 30(5): 1009-1012.
- Both, A., 1995.
Dynamic simulation of supplemental lighting for greenhouse hydroponic lettuce production. *Dissertation Cornell University*.
- Braak, N.J. van de, J.J.G. Breuer, F.L.K.Kempkes, C. Stanghellini & H.F. de Zwart, 2002.
Gevoeligheidsanalyse productiefactoren licht en CO₂. *IMAG rapport P2002-18*.
- Bredmose, N., 1993.
Effects of year-round supplementary lighting on shoot development, flowering and quality of two glasshouse rose cultivars. *Scientia Horticulturae* 54(1): 69-85.
- Bruggink, G.T. & E. Heuvelink, 1987.
Influence of light on the growth of young tomato, cucumber and sweet pepper plants in the greenhouse: effects on relative growth rate, net assimilation rate and leaf area ratio. *Scientia Horticulturae* 31: 3-4.
- Buitelaar, K., 1984.
Invloed van licht op productie tomaat. *Groenten en Fruit* 40(13): 34-35.
- Bulle, A., 2003.
Houdbaarheid poinsettia met teeltfactoren te verbeteren. *Vakblad voor de Bloemisterij* 35: 58-59.
- Carvalho, S.M.P. de, 2003.
Effects of growth conditions on external quality of cut chrysanthemum: analysis and simulation. *Proefschrift Wageningen University and Research Centre*.
- Challa, H., 1984.
Licht en groei. De 1%-regel. *Groenten en Fruit* 40(7): 30-33.
- Challa, H. & A.H.C.M. Schapendonk, 1984.
Quantification of effects of light reduction in greenhouses on yield. *Acta Horticulturae* 148: 501-510.

Cockshull, K.E., 1988.

The integration of plant physiology with physical changes in the greenhouse climate. *Acta Horticulturae* 299: 113-123.

Cockshull, K.E., C.J. Graves & R.J. Cave, 1992.

The influence of shading on yield of glasshouse tomatoes. *Journal of Horticultural Science* 67(1): 11-24.

Coker, F.A. & J.J. Hanan, 1988.

The effect of shading on 'Samantha' roses. *Research Bulletin, Colorado Greenhouse Growers' Association* (455): 1-5

Conover, C.A. & R.T. Poole, 1980.

Interior quality of *Dracaena angustifolia* Roxb. 'Honoriae' as influenced by light and fertilizer during production. *HortScience* 15(1): 24-26.

Craker, L.E., M. Seibert & J.T. Clifford, 1983.

Growth and development of radish (*Raphanus sativus*, L.) under selected light environments. *Annals of Botany* 51(1): 59-64.

Demitriades-Shah, T.H., M. Fuchs, E.T. Kanemasu & I.D. Flitcroft, 1992.

A note of caution concerning the relationship between cumulated intercepted solar radiation and crop growth.. *Agricultural and Forest Meteorology* 58: 193-207.

Demitriades-Shah, T.H., M. Fuchs, E.T. Kanemasu & I.D. Flitcroft, 1994.

Further discussions on the relationship between cumulated intercepted solar radiation and crop growth. *Agricultural and Forest Meteorology* 68: 231-242.

Dieleman, J.A., E. Meinen, G. Trouwborst & L.F.M. Marcelis, 2003.

Temperatuurintergratie bij roos. Fysiologische beperkingen en mogelijkheden. *Plant Research International B.V. Wageningen. Nota* 279.

Dieleman, J.A., E. Meinen, A. Elings, D. Uenk, A.G.M. Broekhuijsen, P.H.B. de Visser & L.F.M. Marcelis, 2003.

Effecten van langdurig hoog CO₂ op groei en fotosynthese bij paprika.. *Plant Research International B.V. Wageningen. Nota* 274.

Doorduyn, J.C., 1983.

Invloed van schermen en temperatuurbehandeling van het plantmateriaal op de groei en bloei van 3 freesia-rassen bij de teelt voor herfstbloei. Proefstation voor Tuinbouw onder Glas Naaldwijk, intern verslag 6.

Doorduyn, J.C., 1987.

Meer licht in de zomer geeft meer en betere freesia. *Vakblad voor de Bloemisterij* 12: 20-23.

Draws, M., A. Heissner & P. Augustin, 1980.

Die Ertragsbildung der Gewächshausgurke beim Frühanbau in Abhängigkeit von der Temperatur und Bestrahlungsstärke. *Arch. Gartenbau* 28: 17-30.

Gijzen, H., 1995.

Short-term crop responses; CO₂ uptake by the crop. In: *Greenhouse climate control*. J.C. Bakker, G.P.A. Bot, H. Challa & N.J. van de Braak (eds.), Wageningen Pers: 92 – 97.

Gislerod, H.R., I.M. Eidsten & L.M. Mortensen, 1989.

The interaction of daily lighting period and light intensity on growth of some greenhouse plants. *Scientia Horticulturae* 38: 3-4.

Gislerod, H.R. & L.M. Mortensen, 1997.

Effects of light intensity on growth and quality of cut roses. *Acta Horticulturae* 418: 25-31.

Heins, R.D., H.B. Pemberton & H. Wilkins, 1982.

The influence of light on lily (*Lilium longiflorum* thunb.). I. Influence of light intensity on plant development. *Journal of American Horticultural Science* 107(2): 330-335.

Hemming, S., N.J. van der Braak, F.L.K. Kempkes, L.F.M. Marcelis & A. Elings, 2003.

Haalbaarheidsstudie fluorescerend energiescherm. Conceptrapport Agrotechnology and Food Innovations.

Henten, E.J. van, 1994.

Greenhouse climate management: an optimal control approach. PhD Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands, 329 p.

Heuvelink, E., 1995.

Growth analysis: time courses for crop growth and crop characteristics. In: *Tomato growth and yield: quantitative analysis and synthesis* (proefschrift Wageningen University and Resaerch Centre): 11-32.

- Heuvelink, E. & L.F.M. Marcelis, 1996.
Influence of assimilate supply on leaf formation in sweet pepper and tomato. *Journal of Horticultural Science* 71(3): 405-414.
- Heuvelink, E., J.H. Lee, R.P.M. Buiskool & L. Ortega, 2002.
Light on cut chrysanthemum: measurement and simulation of crop growth and yield. *Acta Horticulturae* 580: 197-202.
- Holsteijn, H.M.C. van, 1980.
Growth of lettuce. II. Quantitative analysis of growth. *Mededelingen Landbouwhogeschool Wageningen*: 80-13.
- Janse, J., 1984.
Invloed van licht op de kwaliteit van tomaat en komkommer. *Groenten en Fruit* 40 (18): 28-31.
- Johnson, C.R., T.A. Nell, S.E. Rosenbaum & J.A. Lauritis, 1982.
Influence of light intensity and drought stress on *Ficus benjamina* L. *Journal of American Society of Horticultural Science* 107(2): 252-255.
- Joiner, J.N., C.R. Johnson & J.K. Kranz, 1980.
Effect of light and nitrogen and potassium levels on growth and light compensation point of *Ficus benjamina* L. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 105(2): 170-173.
- Kageyama, Y., M. Takahashi & K. Konishi, 1991.
Effects of nitrogen concentration, temperature and light intensity on growth and nitrogen uptake of young chrysanthemum plants grown hydroponically. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 60(1): 133-139.
- Kim, W.S. & J.S. Lee, 2002.
Evaluation of photosynthate accumulation and distribution and radiation use efficiency in roses in relation to irradiance and night temperature. *Acta Horticulturae* 593: 129 – 136
- Kiniry, J.R., 1994.
A note of caution concerning the paper by Demetriades-Shah *et al.* (1992). *Agricultural and Forest Meteorology* 68: 229-230
- Klapwijk, D. & C.F.M. Wubben, 1986.
Zonlicht heeft grote invloed op vegetatieve groei chrysant. *Vakblad voor de Bloemisterij* 35: 44-45.
- Koning, A.N.M. de, 1989.
Development and growth of a commercially grown tomato crop. *Acta Horticulturae* 260: 267-273.
- Kool, M.T.N., 1996.
Rose crop growth and allocation of assimilates as affected by plant architecture and light interception. In: *System development of glasshouse roses (proefschrift Landbouwniversiteit Wageningen)*.
- Lee, J.H., 2002.
Using the expolinear growth equation for modelling crop growth in year-round cut chrysanthemum. In: *Analysis and simulation of growth and yield of cut chrysanthemum. Thesis Wageningen Universiteit*: 29-49.
- Lee, J.H., E. Heuvelink & H. Challa, 2002.
Effects of planting date and plant density on crop growth of cut chrysanthemum. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 77(2): 238-247.
- Maas, F.M. & E. Bakx, 1992.
Roos efficiënter belichten. Licht reguleert groei en bloemknopvorming. *Vakblad voor de Bloemisterij* 22: 32-33.
- Maas, F.M. & E.J. Bakx, 1997.
Growth and flower development in roses as affected by light. *Acta Horticulturae* 418: 127-134.
- Maas, F.M., L.F.M. Marcelis & J.A. Dieleman, 2001.
Perspectieven voor sturing van groei van glastuinbouwgewassen door lichttransmissie-eigenschappen van het kasdek. Literatuuronderzoek ten behoeve van DLO Strategisch Expertise Onderzoeksproject Materiaaltechnologie. Plant Research International B.V., Wageningen
- Marcelis, L.F.M., 1987.
Simulatie van de waterhuishouding en de fotosynthese van kasgewassen. Doctoraalonderzoek theoretische teeltkunde, Landbouwniversiteit Wageningen (Wageningen University and Research Centre).
- Marcelis, L.F.M., 1992.
Leaf formation in cucumber (*Cucumis sativus* L.) as influenced by fruit load, light and temperature. *Gartenbauwissenschaft* 58(3): 124-129.

- Marcelis, L.F.M., 1993.
Fruit growth and biomass allocation to the fruits in cucumber. 2. Effect of irradiance.
Scientia Horticulturae 54(2): 123-130.
- Marcelis, L.F.M., 1994.
Effect of fruit growth, temperature and irradiance on biomass allocation to the vegetative parts of cucumber.
Netherlands Journal of Agricultural Science 42: 115-123.
- Marcelis, L.F.M., E. Heuvelink & D. van Dijk, 1997.
Pithiness and growth of radish tubers as affected by irradiance and plant density. *Annals of Botany* 79(4): 397-402.
- Marcelis, L.F.M., M. Wijnhuizen & D.R. Verkerke, 1997.
Fysiologisch onderzoek naar voosheid bij radijs. Instituut voor Agrobiologisch en Bodemvruchtbaarheids-onderzoek Wageningen, Rapport 79.
- Marcelis, L.F.M., F.M. Maas & E. Heuvelink, 2002.
The latest developments in the lighting technologies in Dutch horticulture. *Acta Horticulturae* 580: 35-42.
- Marcelis, L.F.M., E. Heuvelink, L.R. Baan Hofman-Eijer, J. den Bakker & L.B. Xue, 2004.
Flower and fruit abortion in sweet pepper in relation to source and sink strength. *Journal of Experimental Botany* (aangeboden voor publicatie).
- Meeuwissen, G., 1985.
Potplanten behoeven meer licht. *Vakblad voor de Bloemisterij* 19: 30-33.
- Miller, W.B. & R.W. Langhans, 1989.
Reduced irradiance affects dry weight partitioning in Easter lily. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 114(2): 306-309.
- Monteith, J.L., 1994.
Validity of the correlation between intercepted radiation and biomass. *Agricultural and Forest Meteorology* 68: 213-220.
- Mortensen, L.M., 1994.
Effects of day/night temperature variations on growth, morphogenesis and flowering of *Kalanchoe blossfeldiana* v. Poelln. at different CO₂ concentrations, daylengths and photon flux densities.
Scientia Horticulturae 59: 3-4.
- Mortensen, L.M. & S.O. Grimstad, 1990.
The effect of lighting period and photon flux density on growth of six foliage plants.
Scientia Horticulturae 41(4): 337-342.
- Nederhoff, E.M., 1994.
Effects of CO₂ concentration on photosynthesis, transpiration and production of greenhouse fruit vegetable crops. Proefschrift Wageningen.
- Nell, T.A., J.J. Allen, J.N. Joiner & L.G. Albrigo, 1981.
Light, fertilizer, and water level effects on growth, yield, nutrient composition, and light compensation point of chrysanthemum. *HortScience* 16(2): 222-224.
- Nilwik, H.J.M., 1981a.
Growth analysis of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). I. The influence of irradiance and temperature under glasshouse conditions in winter. *Annals of Botany* 48(2): 129-136.
- Nilwik, H.J.M., 1981b.
Growth analysis of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). II Interacting effects of irradiance, temperature and plant age in controlled conditions. *Annals of Botany* 48(2): 137-145.
- Pinheiro Henriques, A.R. de & L.F.M. Marcelis, 2000.
Regulation of growth at steady-state nitrogen nutrition in lettuce (*Lactuca sativa* L.): interactive effects of nitrogen and irradiance. *Annals of Botany* 86(6): 1073-1080.
- Preissel, H.G., G. Schmidt-Stohn & O. Krebs, 1980.
Untersuchungen an *Codiaeum variegatum* var. *pictum* III. Der Einfluss von temperatur, licht und blattalter auf den pigmentgehalt und die anfärbung der blätter. *Gartenbauwissenschaft* 45(4): 164-169.

- Reist, A., C. Darbellay, F. Calame, A. Mercier, S. Lutz, L. Danloy, O. Joliet, J.B. Gay, C. Moncousin, J.P. Baumgartner & J. Burnier, 1988.
Effects of energy saving techniques on the growth and quality of glasshouse lettuce.
Acta Horticultrae 229: 387-392
- Rijssel, E. van, 1981.
Oorzaken van verschillen in opbrengsten van kasrozen. Landbouw-Economisch Instituut, rapport 4.97.
- Rijssel, E. van & A. J. de Visser, 1985.
Licht als bron van inkomsten. *Groenten en Fruit* 41(4): 27- 29.
- Rijssel, E. van, J. Vogelesang, G. van Leeuwen & A. van de Wiel, 1994.
Optimaal belichten. Effecten van assimilatiebelichting op opbrengsten en kosten bij roos. Proefstation voor de Bloemisterij in Nederland Aalsmeer, rapport 188.
- Salisbury, F.B. & C.W. Ross, 1991.
Photosynthesis: Environmental and Agricultural aspects (chapter 12): 249 – 265. Wadsworth publishing company Belmont, California.
- Sanchez, C.A., R.J. Allen & B. Schaffer, 1989.
Growth and yield of crisphead lettuce under various shade conditions. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 114(6): 884-890.
- Sarracino, J.M., R. Merritt & C.K. Chin, 1992.
Morphological and physiological characteristics of *Leea coccinia* and *Leea rubra* in response to light flux. *HortScience* 27(5): 400-403.
- Sionit, N., H. Hellmers & B.R. Strain, 1982.
Interaction of atmospheric CO₂ enrichment and irradiance on plant growth. *Agronomy Journal* 74(4): 721-725.
- Smeets, I. & S. van Holsteyn, 1987.
Licht en temperatuur belangrijk voor groei van radijs. *Groenten en Fruit* 43(18): 36-37.
- Teelt van kasrozen, 1998.
Proefstation voor bloemisterij en glasgroente. Hoofdstuk 7.5 Kasklimaat; licht: 154-156.
- Tooze, S.A., 1986a.
Invloed van licht op de groei van jonge komkommerplanten. *Groenten en Fruit* 42(24): 34-36.
- Tooze, S.A., 1986b.
Lichtverlies in zomer heeft weinig invloed op groeisnelheid. Schermproof bij jonge Saintpaulia, *Codiaeum* en *Schefflera*. *Vakblad voor de Bloemisterij* 17: 56-59.
- Verberkt, H., 1990.
Betere bladkleur potplant *Cordyline 'Red Edge'*. Geen groeivoordelen door combinatie nevel en meer licht. *Vakblad voor de Bloemisterij* 45(28): 42-44.
- Vladimirova, S.V., D.B. McConnell, M.E. Kane & R.W. Henley, 1997.
Morphological plasticity of *Dracaena sanderiana* 'Ribbon' in response to four light intensities. *HortScience* 32(6): 1049-1052.
- Vonk-Noordegraaf, C. & G.W.H. Welles, 1995.
Product quality. In: *Greenhouse climate control*. J.C. Bakker, G.P.A. Bot, H.Challa & N.J. Van de Braak (eds.), Wageningen Pers: 92 – 97.
- Warrington, I.J. & R.A. Norton, 1991.
An evaluation of plant growth and development under various daily quantum integrals. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 116(3): 544-551.
- Wiel-van Son, A. van de, 1989.
De invloed van grondtemperatuur en licht op het duimen, het bloeitijdstip, de productie en de kwaliteit van freesia. Stichting Proeftuin 'Noord-Limburg' afdeling glasteelten Horst, verslag 13.
- Zieslin, N., Y. Mor, 1990.
Light on roses. A review. *Scientia horticultrae* 43: 1-14.

Bijlage I.

Vragenlijst ten behoeve van interviews

Vragenlijst die de onderzoekers voor zichzelf als hulpmiddel gebruiken bij het interviewen van de tuinders.

Teelt

- Welk(e) gewas(sen) teelt u?
- Denkt u dat voor uw gewas licht belangrijker is of juist minder belangrijk dan bij andere gewassen (bijv. tomaat)? [Mogelijk dat dit type vraag wat meer gedachten bij tuinder losmaakt.]
- Zou u een ander ras kiezen als er 5 of 10% meer of minder licht was? Ook andere plantdichtheid, plantdatum, oogstfrequentie, etc.?
- Past u de klimaatinstelling of teelthandelingen aan als er een langere periode met meer of juist minder instraling is. Zo ja, hoe?
- Geldt hetzelfde als u in een kas met meer of minder lichtdoorlatendheid zou telen?

Huidige kas

- Hoe oud is (zijn) uw kas(sen)?
- Weet u de lichtdoorlatendheid van uw kas(sen)?
- Hangen de verwarmingsbuizen boven, tussen of onder het gewas?
- Hangen de buizen laag vanwege het klimaat of vanwege de lichtinval?
- Hoe vaak wordt het kasdek gereinigd? Van binnen en van buiten?

Bij meerdere kassen of bij pasgebouwde kas

- Wat verandert er gelijktijdig met verschil in lichtdoorlatendheid (vergelijking tussen 2 bestaande kassen of nieuwe versus de oude kas).
- Wat betekent verschil in licht voor teeltwijze en productie (met name van belang om te weten wat de tuinder voor aanpassingen doet n.a.v. verschil in licht).

Aanschaf nieuwe kas

Hoeveel mag een kas meer kosten als deze 1% meer licht doorlaat?

Hoe belangrijk vindt u het dat kas meer zonlicht zou doorlaten?

- Productie verwacht u van 1% extra licht en waar is deze verwachting op gebaseerd [doorvragen of dit antwoord zowel voor zomer als winter geldt].
- Kwaliteit.
- Ziekten.

Kiest u voor dubbel glas in de gevel of een andere vorm van gevelisolatie?

Belichting

Kiest u voor assimilatiebelichting?

- Zo ja, hoeveel?
- En hoeveel uren zou u belichten?

Schermen

- Kiest u voor geen / een / dubbel scherm?
- Wat voor type scherm(en) (helder, schaduw, open doek)?
- Schermt u ook overdag?
- Bij welke instraling gaat scherm dicht.
- Waarom gaat het dan dicht.
- Wordt er gekrijt? Zo ja, wanneer en hoe lang blijft het dan liggen?
- Wat is het voor- of nadeel van krijten ten opzichte van schermen?

CO₂

- Hoe doseert u CO₂?
- Hoeveel m³/uur?
- Wat zijn de streefwaarden bij open ramen en dichte ramen?
- Hebt u een warmtebuffer?
- Wat doet u met CO₂ doseren als er weinig warmtevraag en veel licht is?

Kastemperatuur

- Wordt er een lichtverhoging ingesteld? Waarom?
- Wordt er een lichtsomverhoging ingesteld?