

TNO Bouw

Gezonde Gebouwen en Installaties
Van Mourik Broekmanweg 6
Postbus 49
2600 AA Delft

www.tno.nl

T 015 276 30 00
F 015 276 30 23

TNO-rapport

2004-BC-R0045

Eindrapport Nieuw Licht op Groei

Datum	10 juni 2004
Auteur(s)	drs L. Zonneveldt TNO Bouw ir M.P.J. Aarts TU/e ir E.G.O.N. Janssen TNO Bouw F. Sools Lights Interaction Agro
Exemplaarnummer	
Oplage	
Aantal pagina's	52
Aantal bijlagen	
Opdrachtgever	GLAMI
Projectnaam	Nieuw Licht op Groei
Projectnummer	006.31126/01.01

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksovereenkomsten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belang-hebbenden is toegestaan.

© 2004 TNO

Samenvatting

Het GLAMI project Nieuw Licht op Groei heeft tot doel de mogelijkheden aan te geven om op korte termijn een energiebesparing van 20% te bereiken op de belichting van gewassen in kassen. In het project is eerste een analyse gemaakt van de huidige manier van belichten. Daartoe is een gedetailleerd computermodel gemaakt van een kas waaraan gerekend is met het computer programma Radiance. Daarnaast zijn een aantal situaties in de praktijk nog eens in een kas van PPO doorgemeten.

In eerste instantie is hierbij gekeken naar het daglicht. Gebleken is dat aan het kasdek vanuit het daglicht gezien nog lichttechnische optimalisaties mogelijk zijn. Dit wordt onderwerp van een vervolg studie.

Veel gewassen worden belicht door op een horizontaal vlak een zo hoog mogelijk niveau met een hoge gelijkmatigheid te realiseren (horizontale belichting). Wat opviel aan de gangbare armaturen en de manier waarop ze geïnstalleerd worden is dat er niet volledig gebruik gemaakt is van de stand van de techniek in de verlichtingskunde. Dat heeft geleid tot twee voorgestelde verbeteringen:

1. Een optimalisatie van het rendement van breedstralende belichtingsarmaturen. Door het toepassen van een verbeterd ontwerp van de bovenspiegel wordt er minder licht in het armatuur teruggekaatst naar de lamp. De lamp zit dan minder 'in de weg' in het armatuur. Hierdoor gaat er meer licht uit het armatuur en kan zo het rendement van de installatie (hoeveel licht er per opgenomen Watt op de planten komt) met ongeveer 10% worden verbeterd.
2. Het toepassen van een combinatie van breedstralende en asymmetrische (= naar een kant uitstralende) armaturen. Door langs een rand van het te belichten veld asymmetrische armaturen te plaatsen wordt er voor gezorgd dat de rand beter belicht wordt en dat de zijdelingse uitstraling uit de kas verminderd wordt. Deze zelfde techniek kan langs paden gebruikt worden om zo een lijn armaturen boven het pad uit te sparen. Een combinatie van winst in homogeniteit van het licht langs de rand van de kas en verder kunnen weglaten van een lijn armaturen boven de paden levert zo een rendement verbetering op en een besparing door het weglaten van een lijn armaturen. De precieze grootte van de besparingen hangt sterk af van de situatie. In de in dit project als voorbeeld gehanteerde Venlo kas wordt de besparing geschat op minimaal 10%.

Bij verticale teelt (draadteelt) is de manier van belichten echter gevarieerder. Vaak wordt hier op dezelfde manier belicht, maar ook zijn er systemen met bewegende belichting, belichting tussen het gewas en allerlei combinaties hiervan.

Omdat er onvoldoende bekend is over de specifieke lichtbehoefte van de gewassen en bovendien de invloeden van het gewas op de verdeling van het licht in de kas nog onbekend zijn is voor deze combinaties van belichting binnen dit project geen goede optimalisatie aan te geven. Wel kunnen voor het algemene verlichtingsdeel (boven het gewas) de hierboven geschetste verbeteringen direct worden toegepast.

Verder zijn er uit het onderzoek nog de volgende aanbevelingen voor de tuinder naar voren gekomen die overweegt om belichting toe te passen in de kas:

- In eerste instantie is het belangrijk om het daglicht zo optimaal mogelijk te benutten. Op dit moment is de IDT methode beschikbaar, zoals ontwikkeld in het kader van het project Energie III. Hiermee is de daglichtonderschepping van de kasconstructie en de aanwezige installaties (scherming, belichting, insectengaas, etc.) te bepalen. Deze methode is gebaseerd op de halve omtrek methode en is daardoor gemakkelijk te hanteren, maar levert globale waarden op, met name bedoeld om alternatieven te vergelijken. Enkele bedrijven beschikken inmiddels over de IDT methode voor kasdekken, te weten Boal, Excellent en Dalsem. Daarnaast kan TNO Bouw simulaties maken met de IDT methode, waarbij ook andere elementen in de kas geplaatst kunnen worden. Op basis van de IDT methode kan gesteld worden dat de integratie van de belichting en de constructie enkele procenten rendementverbetering kan opleveren
- Uit de metingen blijkt dat er weinig directe correlatie is tussen de verlichtingssterkte in lux en de gemeten waarden in $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$. Met andere woorden als de groei van de planten bepaald wordt door het aantal $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ dan is het eigenlijk niet zinvol om in lux te rekenen en te meten. In de toekomst zal er dan ook een meet en rekenmethode ontwikkeld moeten worden die meer gebaseerd is op de lichtbehoefte van de diverse gewassen.
- Uit de berekeningen blijkt dat de invloed van de vorm het glasdak en de constructie op de verdeling van zowel dag- als kunstlicht groot is. De door eenvoudige verlichtingsmodellen voorspelde gelijkmatigheid wordt in de praktijk dan ook niet gerealiseerd. Zolang er nog geen berekeningen of metingen voorhanden zijn die rekening houden met de constructie heeft het voor de tuinder beperkt zin om gelijkmatigheidsverschillen mee te nemen in de overweging. Dit geldt nog sterker voor verticale teelten, omdat daar het gewas ook nog invloed heeft op de lichtverdeling.
- Let er bij het monteren van lampen op dat ze goed horizontaal hangen. Ook dit heeft invloed op de lichtverdeling.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	6
1.1	Probleemstelling	6
1.2	Doelstelling	6
1.3	Aanpak	6
1.4	Inpassing	7
2	Voorstudie	8
2.1	Spectrale plantgevoeligheid	8
2.2	Toegepaste lichtbronnen	9
2.3	Huidige status van assimilatiebelichting in Nederland	10
2.3.1	Belichten van groente	10
2.3.2	Belichten van siergewassen	12
2.3.3	Belichten van potplanten	12
2.3.4	Overzicht	13
2.4	Huidige manieren van belichten	14
2.5	Conclusies naar aanleiding van literatuurstudie	16
2.6	Mogelijke manieren waarop energie bespaard kan worden	17
2.7	Literatuur	18
3	Analyse toegepaste verlichtingssystemen	19
3.1	Inleiding	19
3.2	Samenvatting Workshop	19
3.3	Verslag Workshop	19
3.3.1	Introductie	19
3.3.2	Lichtonderschepping kasconstructie	19
3.3.3	Voorstudie horizontale verlichting	20
3.3.4	Conclusies n.a.v. brainstorm horizontale verlichting' hoe energie te besparen'	21
3.3.5	Verticale verlichting	22
3.3.6	Conclusies brainstorm n.a.v. verticaal belichten	22
3.4	Conclusies	23
3.4.1	Asymmetrische verlichting boven de planten	23
3.4.2	Armatuurrendement verhogen	23
3.4.3	Verticale belichting	23
3.4.4	Daglichtonderschepping	24
3.4.5	Overige potentiële besparingsgebieden	24
	Spectrale aanpassingen lampen	24
	Belichtingsprotocol	24
	Radiance model van een Venlo Kas	25
4	Berekeningen & metingen	26
4.1	Model VENLO-kas	26
4.2	Uitgevoerde berekeningen & metingen	27
4.2.1	Daglicht	27
4.2.2	Daglicht bij bewolkte hemel	28
4.2.3	Kunstlicht	34
4.3	Conclusies	38
5	Nieuwe lichtconcepten	39
5.1	Armatuurrendement verhogen	39

5.1.1	Resultaten metingen en berekeningen	39
5.1.2	Conclusie besparingspotentieel	42
5.2	Beperken lichtverliezen naar zijkanen en paden	42
5.2.1	Resultaten	42
5.2.2	Conclusie besparingspotentieel	44
5.3	Verlichting tussen de gewassen ten opzichte van boven de gewassen	45
5.3.1	Resultaten	45
5.3.2	Conclusie besparingspotentieel	49
5.4	Daglicht	49
5.4.1	Conclusie besparingspotentieel	49
6	Conclusies & Aanbevelingen	51
6.1	Conclusies	51
6.2	Aanbevelingen	52

1 Inleiding

In het kader van het energieprogramma GLAMI van het ministerie van LNV en het Productschap Tuinbouw heeft het onderzoeksproject 'Nieuw licht op groei' plaatsgevonden. Dit project is uitgevoerd door TNO bouw in samenwerking met TU Eindhoven en Lights Interaction Agro.

1.1 Probleemstelling

Naast siergewassen wordt tegenwoordig ook steeds vaker bij de teelt van groentegewassen assimilatiebelichting toegepast. Verwacht wordt, dat de belichting van groentegewassen de komende jaren sterk opkomt vanwege het inperken van de risico's, een verdere verhoging van de productie en het verlengen/vervroegen van het teeltseizoen. Assimilatiebelichting kost echter extra energie. De vraag is daarom: wat zijn de mogelijkheden om tot een reductie van het energieverbruik van assimilatiebelichting te komen zonder dat dit ten koste gaat van de PPF (Photosynthetic Photon Flux Density) op de gewassen.

1.2 Doelstelling

Ontwikkelen van verschillende verlichtingsconcepten in de glastuinbouw die bij een verminderd verbruik van energie een minimaal gelijke productieopbrengst geven. Verbeteren van de efficiëntie van assimilatiebelichting enerzijds door optimalisatie van het rendement van lamp (spectrum) en armatuur en anderzijds door betere aanpassing van de verlichting aan de lichtbehoefte van het gewas moeten uiteindelijk een besparing van 10-20% elektrische energie opleveren. Uitgaande van een acceptatie van de maatregelen van 30% in 2010, een conservatieve schatting, is de potentie van deze verbetering circa $15\% \times 30\% \times 12,2 \times 10^8 \text{ kWh} = 3,7 \times 10^7 \text{ kWh}$ energiebesparing per jaar, uitgaande van het huidige areaal belichte teelt en het huidige energieverbruik. Bij een betere acceptatie zal de besparing hoger uitvallen.

1.3 Aanpak

1. Inventarisatie.

Allereerst is een literatuurstudie naar thans toegepaste verlichting uitgevoerd. In een samenvatting is aangegeven wat voor de gangbare producten de gebruikte belichtingsconcepten zijn. Een belichtingsconcept is geanalyseerd naar gewastype, toegepaste lichtbron, armatuur en armatuurverdeling over de kas, elektronica, toegepast lichtregime en energie gebruik installatie. Naar aanleiding van deze studie zijn conclusie getrokken over de richtingen die zullen leiden tot energiebesparing, binnen de mogelijkheden van dit onderzoeksproject.

2. Analyse van thans toegepaste verlichtingssystemen en verbetermogelijkheden

Om de analyse in korte tijd te kunnen uitvoeren is gekozen voor het houden van een workshop. Doel daarvan is te bepalen op welke aspecten van de verlichting ook vanuit de praktijk, verbetering te behalen zal zijn. De deelnemers zullen zijn tuinders, lichtdeskundigen, kassenbouwers en installatiedeskundigen, die ieder vanuit hun eigen

expertise input zullen geven. De resultaten van de workshop hebben geleid tot een aantal mogelijke richting voor het ontwikkelen van concepten.

3. Conceptontwikkeling.

Uit de 2^e fase zijn niet alleen mogelijkheden tot betere concepten gevonden maar vooral welke prioriteiten moeten worden aangehouden. De 3^e fase zal resulteren in een overzicht van verbeteropties voor het verlichtingssysteem met daaraan gekoppeld de potentie van de optie (mogelijke besparing) en de termijn van mogelijke implementatie. Er wordt gezocht naar concepten die toepasbaar zijn in de bestaande kassen. Het is echter niet op voorhand uit te sluiten dat de resultaten aanleiding kunnen geven tot een aanpassing van het kasconcept.

4. Conclusie

Bovenstaande bevindingen hebben geleid tot conclusies die antwoord geven op de van tevoren gestelde vragen. Tevens zijn hierbij voorstellen voor vervolgonderzoek aangegeven.

1.4 Inpassing

Uit het rapport van LEI 'Energie in de glastuinbouw van Nederland - Ontwikkelingen in de sector en op de bedrijven t/m 2000' blijkt dat assimilatiebelichting steeds vaker toegepast wordt. Men spreekt van een stijging van 1% per jaar van het totale areaal belichte kassenbouw.

Uit de praktijk blijken er geen duidelijke richtlijnen te zijn voor de toepassing van assimilatiebelichting. Zeker wat betreft de groenteglasteelt staat assimilatiebelichting nog in de kinderschoenen. Zo wordt vaak door telers zelf geëxperimenteerd met de hoeveelheid licht, het toegepaste regime, de lichtbronnen en armaturen en waar het licht op de plant moet vallen. Publicaties in vaktijdschriften die dit onderschrijven zijn o.a.:

'Bewegend licht werkt niet als het donker is' – Groenten & Fruit, week 5 2002

'Werking mobiel licht nog duister' - Groenten & Fruit, week 11, 2002

'Belichting afstemmen op zetsel' - Groenten & Fruit. Week 19, 2002

'Zoektocht naar optimaal chrysanten belichten' – Vakblad voor de Bloemisterij 44, 2002

'Mobiel groeilicht geeft paprikaplant 'voorjaar in kop'' – Groenten & Fruit, week 40 2002

TNO Bouw en Lights Interaction Agro zijn betrokken bij het project van Imag "Brandveiligheid Kassenbouw".

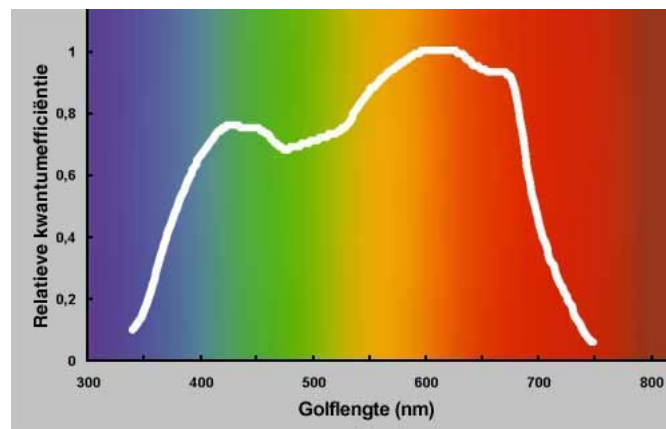
Lights Interaction Agro participeert in een project in de groenteteelt (specifiek tomatenteelt), "Demonstratie van innovatieve lichtarmaturen bij tomatenteelt

2 Voorstudie

In de literatuur is onderzocht wat de huidige manier van belichten in de kassenbouw in Nederland is met als doel aanknopingspunten te vinden naar mogelijkheden om in de toekomst een energiebesparing van 10% te realiseren op assimilatiebelichting.

2.1 Spectrale plantgevoeligheid

Net zoals het menselijk oog is een plant niet even gevoelig voor elke golflengte van het spectrum. Planten zijn voornamelijk gevoelig voor golflengtes binnen de 400 – 700 nm (Photosynthetic Active Radiation, PAR). Binnen deze spectrale gevoeligheid is een piek waar te nemen in het oranje-gele gebied en in het blauwe gebied. Het groene licht wordt het meeste door de plant gereflecteerd, vandaar dat wij planten als groen waarnemen. Hoewel voor de groei met name licht tussen 400 – 700 nm van belang is, blijkt dat voor de ontwikkeling van de plant ook licht tussen 350-400 nm en 700 – 800 nm belangrijk is. Het effect op het gewas van het rode deel van het spectrum (700-800 nm) is duidelijker aangetoond dan het effect van blauwachtig licht (350-400 nm). In de praktijk blijkt dat kassen die met name belicht worden middels daglicht en waarbij assimilatiebelichting alleen toegepast wordt in de donkere periodes, ook in de winter voldoende blauw licht krijgen.



Figuur 1 Spectrale plantgevoeligheid

De snelheid van de fotosynthese wordt bepaald door het aantal fotonen tussen 400 en 700 nm dat door de plant wordt geabsorbeerd. Vandaar dat het aantal fotonen tussen 400 en 700 nm dat per seconde op een bepaald vlak valt, aangeduid met de afkorting PPF (Photosynthetic Photon Flux Density eenheid $\mu\text{mol fotonen per m}^2 \text{ per seconde}$ ($\mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$)), de geschikte maat is waarin de hoeveelheid licht voor het fotosyntheseproces wordt uitgedrukt.

Over het algemeen kunnen we zeggen dat gewassen om verschillende redenen door kunstlicht belicht worden:

1. Verbetering van de kwaliteit en behoud van de oogst
2. Kiemen van zaden
3. Als aanvulling op het daglicht voor jaarrond productie (aanvulling op daglicht) door aanpassing van de daglengte (met name siergewassen)
4. Vervroegen van het oogstseizoen (aanvulling op daglicht)
5. Groeikassen waarbij alleen kunstlicht wordt toegepast

In het kader van dit onderzoek wordt alleen gekeken naar de categorieën 3 en 4.

2.2 Toegepaste lichtbronnen

In de kassen wordt over het algemeen gebruik gemaakt van 4 typen lichtbronnen waar bij de keuze van de lichtbron met name gekeken wordt naar het PPFD en uiteraard naar het rendement van de lichtbron. Vanwege het zeer hoge rendement wordt in de glastuinbouw met name gebruik gemaakt van HID lampen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de lichtbronnen met een lampvermogen van 400 W (~132 lm/W en 745 $\mu\text{mol}/\text{sec}$) en van 600 W (~137 lm/W en 1070 $\mu\text{mol}/\text{s}$). Door bij de 600 W lamp gebruik te maken van het 400 Volts systeem in plaats van de gebruikelijke 230 Volt ontstaat er zo'n 7,5 % meer groeilicht. Naast de HID-lampen wordt gebruik gemaakt van de HPI-lichtbronnen (400 W -> maximaal 530 $\mu\text{mol}/\text{sec}$). Deze lichtbron wordt met name toegepast voor het in bloei brengen van tulpen. Aangezien deze in Nederland slechts in geringe aantallen geteeld worden, is de HPI in dit onderzoek niet relevant.

Buisvormige fluorescentie verlichting wordt momenteel met name toegepast (TL) in situaties waarbij er geen daglicht aanwezig is (ze hebben een gunstige spectrale samenstelling) en verder in experimentele situaties. Vanwege de relatieve lage temperatuur van de buis kunnen de lichtbronnen ook dicht bij de planten toegepast worden. (TL-D reflex, 36 W -> 47 $\mu\text{mol}/\text{sec}$ en 58W -> 72 $\mu\text{mol}/\text{sec}$).

De gloeilamp wordt sporadisch gebruikt en voornamelijk voor kortedag belichting van chrysanten. Om te voorkomen dat de jonge planten al knoppen gaan vormen wordt de kas volledig verduisterd. Middels gloeilampen wordt een lichtregime opgelegd van 5 minuten licht, een half uur donker, etc. Als de planten groot genoeg zijn wordt de verduistering verwijderd en zorgt het daglicht over het algemeen voor de rest. Kwekers die tijdens deze periode ook belichten maken voor de kortedag belichting gebruik van de aanwezige (HID) lampen in plaats van extra gloeilampen.

Tabel 1 PPFD ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) van verschillende lamptypen (Bron Philips). Ieder type lamp heeft een eigen spectrum. Daarom verschilt de verhouding tussen zichtbaar licht (lux) en PPFD per lamptype.. In de tabel is voor ieder lamptype deze verhouding weergegeven in PPFD per 1000 lux. In de laatste kolom is aangegeven hoeveel zichtbaar licht er per Watt elektriciteit uit de lamp komt.

Afkorting	Type lamp	PPFD per 1000 lux	Rendement
Inc.	Gloeilamp	1000 lux is circa $18 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	9 – 19 lm/W
PLE	Compact fluorescentielamp	1000 lux is circa $13\text{-}14 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	64 – 75 lm/W
TL	buisvormige fluorescentielamp	1000 lux is circa $13\text{-}14 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	64 – 93 lm/W
HPI	MASTER HPI-T Plus 400W	1000 lux is circa $14 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	95 lm/W
HID	hogedruk gasontladingslampen (MASTER SON-T PIA Green Power of MASTER SON-T PIA Agro)	1000 lux is circa $12\text{-}13 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	137 lm/W

2.3 Huidige status van assimilatiebelichting in Nederland

In de Nederlandse kassenteelt wordt een duidelijk onderscheid gemaakt wat betreft het gebruik van assimilatiebelichting tussen de groenteteelt en de siergewassen. Om jaarrond te kunnen kweken en een constante kwaliteit te garanderen, is het gebruik van assimilatiebelichting in de siergewassen in Nederland niet los van elkaar te zien. Assimilatiebelichting in groenteteelt is echter een ander verhaal. Met nog geen 1% van het totale areaal is de tomatenteelt momenteel het grootste oppervlak dat belicht wordt. De belangstelling naar belichten is echter groot; bij diverse onderzoeksinstituten en in de praktijk worden proeven gedaan met assimilatiebelichting. De resultaten zijn over het algemeen positief. Dit betekent dat de kans groot is dat ook in de groenteteelt het gebruik van assimilatiebelichting op korte termijn sterk zal toenemen.

2.3.1 *Belichten van groente*

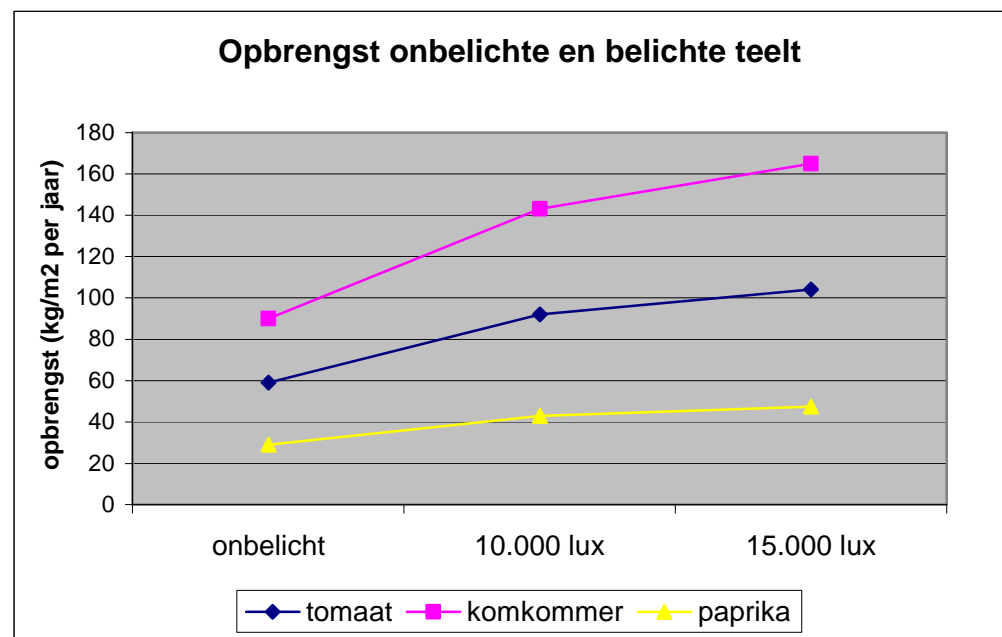
Het gebruik van assimilatiebelichting is volgens deskundigen een oplossing om jaarrond groente te telen. Een groot voordeel van jaarrond telen van groente is de mogelijkheid om de consument in zowel binnen- als buitenland het hele jaar te voorzien van Nederlandse groente met een redelijk constante kwaliteit. Dit levert ook direct voordelen op voor de afnemers (supermarkten). Er is immers slechts contact met één tuinder wat ook voor de tuinder resulteert in zekerheid van jaarrond afname van productie en een goede prijs. Het belichten van groenten brengt echter ook een aantal nadelen met zich mee. Het vergt voor de teler een enorme investering om zijn bedrijf te voorzien van assimilatiebelichting. De teeltwijze dient tevens aangepast te worden. Afhankelijk van de teelt en de kas kan het gebruik van assimilatiebelichting er voor zorgen dat er warmte vrijkomt die niet kan worden benut. Daarnaast worden er problemen verwacht met de lichtuitstoot, die door de maatschappij niet zal worden geaccepteerd.

Het belichten van groenten staat nog in de kinderschoenen. De verwachting is wel dat als het resultaat van diverse lopende onderzoeken (o.a. tomaten, paprika's, aubergines) positief is, de andere hogedraad teeltgewassen zullen volgen.

PPO Naaldwijk heeft een model ontwikkeld (Tabel2) waarbij een prognose gegeven wordt van de te realiseren opbrengsten bij groente in kilogram per vierkante meter bij verschillende horizontale belichtingsniveaus. Uit de tabel blijkt dat de productie van groente toeneemt, wanneer gebruik gemaakt wordt van assimilatiebelichting. Indien het belichtingsniveau wordt opgevoerd, stijgt de productie per vierkante meter, maar minder explosief.

Tabel 2 Jaarrondproductie onbelichte en belichte teelt in kg/m² per jaar

	onbelicht	10.000 lux ¹	15.000 lux
tomaat	59	92	104
komkommer	90	143	165
paprika	29	43	47,5



Figuur 2 Opbrengst onbelichte en belichte teelt

Paprikatelers vormen binnen het groentesegment onder glas het grootste segment met 1155 hectare. Er zijn enkele paprikatelers die hun gewas belichten middels mobiele belichting. Hoewel men er van uitgaat dat paprika op een zelfde manier zal reageren op belichting als de tomaat is hier niet of nauwelijks onderzoek naar gedaan.

Tomatentelers vormen het tweede segment met 1133 ha. In Nederland wordt momenteel zo'n 8 ha. van het areaal belicht. Zonder assimilatiebelichting stopt de Nederlandse tomatenproductie in november omdat de plant geen bloemen meer vormt als gevolg van

¹ Type lichtbron is SON-T AGRO van Philips

te weinig zonlicht vanaf oktober. De kweker heeft dan tussen oktober en maart wel stookkosten, maar geen opbrengsten en dat in een periode waarin de productmarktprijzen nu juist hun hoogste punt bereiken. Jaarrond productie stelt de kweker in staat dit gat te dichten. Verder blijkt dat kunstlicht leidt tot een betere smaak van een aantal tomatenrassen en ook een constantere kwaliteit waardoor de Nederlandse kwekers de concurrentie met buitenlandse bedrijven het hoofd kunnen bieden.

Komkommersegment komt op de derde plaats met 663 ha. Op dit moment wordt er geen assimilatiebelichting toegepast in Nederland. Finse onderzoeken tonen echter een positief resultaat bij toepassing van assimilatiebelichting.

2.3.2 *Belichten van siergewassen*

Het belichten van siergewassen blijkt in veel gevallen een positieve uitwerking te hebben op de productie en de kwaliteit van het gewas. Het is echter niet voor elk gewas economisch rendabel is om te belichten. Naast het belichten van de roos en de chrysanth, is het belichten van de overige snijbloemen sterk in opkomst. Van de siergewassen is de sterkste groei in de belichting bij de alstroemeria en de gerbera.

Binnen de siergewassen vormen de *rozenkwekerijen* met 932 hectaren het belangrijkste segment. Rozenteelt gebeurt jaarrond. 85% wordt met name in de wintermaanden belicht. Er is een trend waar te nemen naar hogere belichtingsniveaus om zodoende kwaliteit te verbeteren en een betrouwbare stroom van rozen naar de handel te garanderen.

De *Chrysanthen* beslaan een oppervlak van 774 ha., waarbij zo'n 50% van het areaal wordt belicht. Ook hier is een trend waar te nemen voor hogere verlichtingsniveaus (4000->6000 lux).

Lelies (276 ha) worden slechts gedurende 3-4 weken per jaar belicht. Meestal maakt men gebruik van een gehuurd mobiel lichtstelsel.

Van de *Gerbera's* (253 ha.) is ook een positief resultaat op de productie en de kwaliteit door belichting gevonden. Hier wordt momenteel echter slechts 6% belicht. Met name de vraag of de belichting rendabel is heeft ertoe geleid dat er nog niet op grote schaal belicht wordt.

Fresia's (221 ha.) worden ook in de periode van oktober tot april belicht. Het is echter onbekend hoeveel hectare er daadwerkelijk belicht wordt. Vanwege het gegeven dat de Fresiateelt een koude teelt is, is er geen bijkomend thermisch voordeel te vinden door het belichten van het gewas.

2.3.3 *Belichten van potplanten*

Plantbelichting is lang niet zo'n uitgemaakte zaak als het belichten van snijbloemen. Al wel wordt bij de opkweek van plantmateriaal gebruik gemaakt van belichting, maar bij de productie tot eindfase is het beeld zeer divers. Bij groene planten gebeurt dit mondjesmaat, bij bloeiende planten een stuk meer, maar nog niet algemeen gebruik. Het rendement van belichten is voor potplantentelers te onduidelijk. De reden hiervoor is dat er weinig onderzoek naar wordt verricht, in vergelijking tot de snijbloemen.

Over het algemeen wordt tijdens de opkweekfase van de *Ficus* (89 ha.) assimilatiebelichting toegepast. Het aantal bedrijven dat in deze fase belichting gebruikt is niet bekend. Zo'n 15 ha. wordt in de afkweekfase belicht. Vanwege het lage rendement wordt ervan uitgegaan dat het belichten van de ficus niet op grote schaal zal worden toegepast.

Het belichten van de *Begonia* (totaal 24 ha) is in het algemeen noodzakelijk omdat zij anders te vroeg knop en bloem maakt. Het merendeel maakt dan ook gebruik van assimilatiebelichting of fotoperiodische belichting. Het belichten van het gewas is een oplossing om in de winter een kwalitatief goede begonia te telen. Zonder belichting kan niet worden voldaan aan de marktvaart in de winterperiode. Belangrijke argumenten voor belichten zijn de mogelijkheden tot bloeisturing, teeltplanning en teeltversnelling.

De bloeiende potplant *Kalanchoë* (44 ha.) wordt op grote schaal belicht. Zo'n 70 % van het totale areaal. Met name de gespecialiseerde bedrijven met een bedrijfsoppervlak van meer dan 1 ha. gebruiken assimilatiebelichting. De zgn. gelegenheidstellers belichten hun gewas niet.

2.3.4 Overzicht

Hieronder is een overzicht gemaakt van de gewassen in kassen in Nederland met het toegepaste belichtingsniveau en de belichtingsduur.

Tabel 3 Overzicht belichte gewassen in Nederland. De gegevens zijn afkomstig van het CBS en gaan over het jaar 2002.

Gewassoort	Areaal in ha.	Areaal belicht [ha]	Belichtingsniveau [lux]	Belichtingsduur per dag [uur]	Totale belichtingsduur per jaar [uur]	Totaal verbruikte energie [Joule] ²
Paprika	1155	?	10.000-15.000	12 en 16	Experimenteel	?
Tomaat	1133	8	10.000-16.000	14-16	2250	77*10 ¹²
Komkommer	663	-	-	-		?
Roos	932	800	3000-8000	18-24	4500	6519*10 ¹²
Chrysan	774	385	4000-6000	12-13	3500	2211*10 ¹²
Lelie	276	?	4000-6000	18-24	400-700	?
Gerbera	253	6	2500-6000	18-20	1600-2000	14*10 ¹²
Fresia	222	?	3000-5000	10-11	2000	?
Alstroemeria	119	?	3200-5000	12-13	?	?
Ficus	89	15	3200	16-20	4300	67*10 ¹²
Kalanchoë	44	30	2500-3000	12-18	4300	116*10 ¹²
Begonia	24	?	3000-5000	?	?	?

² Uitgaande van 400 W HID (58.500 lm en 132 lm/W) en een armatuur rendement van 82%

2.4 Huidige manieren van belichten

Om een goed inzicht te krijgen met welke middelen er op dit moment belicht wordt is een overzicht gemaakt. Vanwege de manier van belichten is er voor gekozen om onderscheid te maken tussen 4 gewastypen te weten:

1. Siergewassen. Hieronder verstaan we zowel snijbloemen als potplanten
2. Lage groentegewassen. Zoals de naam al zegt zijn dit groentegewassen die tijdens de teeltperiode slechts enkele decimeters groeien.
3. Groente draadteelt. Hieronder verstaan we de groentegewassen die tijdens de teelt enkele meters kunnen groeien.
4. Opkweek.

Tabel 4 Overzicht assimilatiebelichtings-methodes Nederland

Belichtingstechniek			Gewas type			
			Siergewassen	Lage groente gewassen	Groente draadteelt	Opkweek
Belichtingsmethode	Uniform		p	p	e	p
	Verticale lijnverlichting tussen gewassen	Fluorescentie			e	
		Hogedruk gasontlading			e	
	Horizontaal bewegende mobiele verlichting middels gasontlading	Snel bewegend	e			
		Langzaam bewegend	e	e	e/p	
	Mobiel licht, hoogtevariërend	Boven gewas	e/p	e	p	
Tussen gewas				e		
Type armatuur	Diepstralend		p	p	e/p	
	Breedstralend		p	p		p
Lichtbron	HID agro (Hogedruk gasontladingslampen)	400 W	p	p		
		600 W	p	?		
		600W, 400Volt	p	?	p	
		750 W	p	?	e	
		750 W, Ir-type	p	?	e	
	Fluorescentie	lichtkleur 84			e	p
	HPI	600 W	e		e	
Gloeilamp*			P (chrysanten)			
Verlichtingssterkte		3000 lux	p	?		p
		5000 lux	p	?		p
		10.000 lux	p	?	p	
		> 10.000 lux	e	?	e	
Lichtregime		24 h, jaarrond	p	?		
		24 h., donkere periode	p	?		
		20 h., jaarrond	p	?		
		20 h., donkere periode	p	?		
		8 h., jaarrond	p	?		p
		8h, donkere periode	p	?		p
		Daglichtondersteunend				p/e

* wordt met name als nood/orientatieverlichting toegepast

p = productie

e = experimenteel

? = niet bekend

2.5 Conclusies naar aanleiding van literatuurstudie

Uit de studie kunnen de volgende conclusies getrokken worden met betrekking tot de mogelijkheden om energie te besparen.

Algemeen zou de hoogste energiebesparing behaald kunnen worden op gebieden waar:

1. Momenteel zeer hoge verlichtingssterktes worden toegepast. Als we Tabel 3 nader bestuderen worden met name in de tomaten- en paprikateelt zeer hoge verlichtingsniveaus toegepast (10.000 -15.000 lux).
2. Momenteel grote arealen worden belicht. In de sierteelt zijn de roos en de chrysant het grootste (arealen tussen de 775 – 932 ha) en wordt in totaal bijna zo'n 1200 ha belicht. De verwachting is dat de arealen roos en chrysant stabiel zullen blijven. Als we kijken naar grootte van bepaalde gewastypen dan zien we dat in de groenteteelt de tomaten-, de paprika- (1130-1160 ha.) en de komkommerteelt de grootste gebieden zijn. Op dit moment wordt slechts een klein percentage van deze arealen belicht. De verwachting is echter dat als de resultaten van lopende experimenten goed zijn, het areaal belichte gewassen explosief zal stijgen. Het is moeilijk om hier direct percentages aan te koppelen. Het is immers zo dat de investeringskosten voor belichting nog hoog zijn (zeer hoge belichtingsniveau's worden aanbevolen). Op het moment dat de kosten-baten gunstig zijn b.v door energiezuinigere oplossingen of lagere investeringskosten en de resultaten van de experimenten en onderzoeken zijn positief, dan zal de stap door de kwekers snel gezet zijn.
3. Het grootst aantal uren per dag/jaar belicht wordt. Met name in de siergewasteelt worden de grootste delen van de dag en van het jaar belicht met de langste periode de roos, de gerbera en de lelie (jaarrond, 18-24 h). In de groenteteelt vinden de langste belichtingstijden plaats bij de tomaat en paprika (12-18 uur). In de groenteteelt is met name sprake van daglichtondersteunende verlichting dus niet jaarrond.
4. In de sierteelt is het positieve effect van assimilatiebelichting al langere tijd bekend. In de groenteteelt (tomaten, paprika) is het gebruik van assimilatiebelichting sterk in opkomst en wordt er veel geëxperimenteerd met verschillende niveaus, belichtingsregimes, beweegbare belichting etc. De komkommer wordt eigenlijk nog niet belicht maar onderzoeken tonen aan dat ook belichten kan leiden tot een hogere opbrengst (onderzoek Finland).
5. Uniformiteit niet strikt nodig is. Met name de groente aan draad hoeft niet op de gehele plant een even grote belichtingssterkte te hebben. We hebben het in dit geval dus over de tomaten en de paprikateelt.

Algemeen kunnen we concluderen dat binnen de siergewassen de **roos** en de **chrysant** de grootste potentie hebben voor energiebesparing vanwege het grote oppervlak dat momenteel belicht wordt. Binnen de groenteteelt zou de belichting van de **tomaten en de paprika** nader onderzocht kunnen worden om de mogelijkheden van energiebesparing in de toekomst te bekijken.

2.6 Mogelijke manieren waarop energie bespaard kan worden

Uit bovenstaande gegevens kunnen een aantal manieren gegenereerd worden waarop mogelijk energie bespaard kan worden. Deze manieren zijn een eerste voorzet voor de workshop die in het kader van dit project zal worden georganiseerd. In deze workshop zullen verschillende experts op het gebied van gewassen en licht (kwekers, installateurs, fysici) naar de toekomstmogelijkheden en toepasbaarheid gevraagd worden.

Manieren om energie te besparen kunnen zijn:

1. Uniform belichten over het hele oppervlak van de kas: een pad beslaat ongeveer 10% van het totale kassenoppervlak. Bij uniforme belichting wordt er geen rekening gehouden met het pad, m.a.w. 10% van het totale oppervlak wordt verlicht terwijl dit niet nodig is.
2. Een plant (zeker de draadteelt) groeit enkele meters gedurende het teeltseizoen. De belichting 'groeit' echter niet mee. Dit heeft niet alleen gevolgen voor de lichtverdeling op het gewas maar ook voor de gelijkmatigheid van het licht gedurende de teelt. Met licht geldt dat de hoeveelheid kwadratisch afneemt met de afstand, dus als de afstand 2 keer zo groot wordt dan wordt de hoeveelheid licht 4 keer zo klein. Hoe dichter het licht (armatuur) bij het gewas komt, des te gunstiger dit is voor de hoeveelheid licht. Zou in hoogte meegroeivende verlichting geen gunstiger resultaat geven op de PPF/D op het gewas? En hoe zit het dan met de thermische belasting van het gewas?
3. In de kassen wordt vanwege het gunstige rendement met name gebruik gemaakt van HID belichting. Het nadeel hiervan is echter dat ze vooral in diepstralende armaturen worden toegepast en dus de uniformiteit van de belichting in sterke mate afhangt van de plaatsing in de kas. Zou lijnverlichting (zowel horizontaal als verticaal geplaatste fluorescentielampen) geen vervanging kunnen zijn voor de HID lichtbronnen? De lichtverdeling is veel gelijkmatiger vanwege het relatieve grote lichtende vlak van de buis. Bijkomende voordelen zijn dat de lichtstroom bij een dimbare variant redelijk eenvoudig is aan te passen, en dat ze eenvoudig in ieder gewenst spectrum gemaakt kunnen worden. Zeker omdat er in de groenteteelt met name sprake is van aanvullende verlichting op het daglicht.
4. Momenteel wordt met name gebruik gemaakt van een statische belichting. Is het niet zo dat het licht van diverse intensiteiten en richtingen de assimilatie efficiënter zou kunnen verzorgen? Te denken valt aan een dynamische belichting.
5. Verbetering van de (dag)lichtonderschepping van de verlichtingsinstallatie. Aangezien de meeste armaturen boven het gewas worden opgehangen in de kas, onderscheppen deze een (klein) gedeelte van het daglicht dat anders op de planten zou vallen. Door optimalisatie van het armatuurontwerp, plaatsing en ophangconstructie kan de transmissie van de kas verbeterd worden. In de tuinbouw wordt de regel 1% meer licht is 1% meer opbrengst gehanteerd, waardoor het energieverbruik per eenheid product kan dalen door optimalisatie van de lichtonderschepping van de verlichtingsinstallatie.

2.7 Literatuur

- Trends en ontwikkelingen in de glastuinbouw- Philips januari 2002
- Groente & Fruit- diverse artikelen en publicaties- 2001-2003
- SBR-Landbouwtellingen Tuinbouw onder glas- 1980-2001
- Energie in Glastuinbouw in Nederland- LEI- oktober 2001
- Lighting for Horticultural applications – Philips
[http://www.eur.lighting.philips.com/ned_nl/prof/aa/horti/index.html]
- Energie geïntegreerd ontwerpen van tuinbouwkassen II - 2001

3 Analyse toegepaste verlichtingssystemen

3.1 Inleiding

10 september 2003 werd bij TNO Bouw de workshop “nieuw licht op groei” gehouden. Het doel van de workshop was om vanuit de deskundige op de verschillende gebieden input te krijgen over de toepasbaarheid van enkele mogelijke oplossingen om energie te besparen welke het resultaat waren van de literatuurstudie.

3.2 Samenvatting Workshop

Bij de workshop was een gemêleerd gezelschap van gebruikers van assimilatiebelichting, plant fysiologen, adviseurs en leveranciers van belichting aanwezig. Een van de voorlopige resultaten uit het onderzoek die werd bevestigd tijdens de workshop was dat door het slim plaatsen van de armaturen en aanpassingen in de armaturen een besparingspotentieel van 10-20% in het elektriciteitsgebruik voor assimilatiebelichting mogelijk moet zijn. Daarnaast zijn voor het verticaal belichten van met name vruchtgroente gewassen uitgangspunten bepaald voor een verdere optimalisering aldaar. Ten aanzien van mobiele belichting is gebleken dat er nu nog te weinig bekend is over het effect dat dit heeft op de planten om al effectief te kunnen kijken naar een efficiënte belichtingsmethode.

Enkele veelbelovende belichtingsconcepten zijn nader onderzocht en uitgewerkt tot concepten middels een 3d kasmodel.

3.3 Verslag Workshop

3.3.1 *Introductie*

Ton Begemann, Technische Universiteit Eindhoven

Voorstudie bestaande situatie

Als aanmerking op de geschetste bestaande situatie wordt aangegeven dat er nog wel degelijk sprake is van groei in de sector van siergewassen.

Verder worden daarbij de stijgende verlichtingsniveau niveaus genoemd.

Iedereen is het er daarbij over eens dat het areaal belichte gewassen in kassen de komende jaren nog flink toe zal nemen.

Alles bij elkaar reden genoeg om te zoeken naar energie besparende opties voor de belichting.

3.3.2 *Lichtonderschepping kasconstructie*

Introductie door Egon Janssen, TNO Bouw [presentaties zie Bijlage]

Reflectie

Door de toegepaste materialen in de kas te voorzien van coatings met een hoge reflectiecoëfficiënt wordt de assimilatiebelichting beter benut. De te behalen winst bij

het toepassen van materialen met betere reflecterende eigenschappen zit in 10^e van procenten

Integratie van armatuur met de constructie

Door integratie van de armaturen met de kasconstructie kan de lichtonderschepping van de kas inclusief armaturen verminderd worden. De onderstaande berekeningen zijn uitgevoerd met de door TNO Bouw ontwikkelde IDT methode. Te zien is dat de lichtwinst door integratie oploopt tot 0,7%. Dit percentage is niet één op één te vergelijken met een lichtwinst van de armaturen omdat het hier daglichtonderschepping betreft. Aangezien er meer daglicht dan kunstlicht op de planten valt zal het effect gunstiger uitvallen. Uit figuur 2 blijkt bijvoorbeeld voor komkommers een "lichtregel" van ca. 1 : 0,2 voor assimilatielicht (tussen 10000 en 15000 lux). De omrekenfactor om daglichtwinst te vergelijken met armatuurwinst is dan ca. 4 a 5.

Tabel 3.1

<i>Onderdeel</i>	<i>Lichtonderschepping Zonder integratie</i>	<i>Lichtonderschepping met integratie</i>
	7500 lux (15000 lux)	7500 lux (15000 lux)
<i>Kasdek</i>	20.5%	20.5%
<i>Onderbouw</i>	3.0%	3.0%
<i>Ophangdraden</i>	0.4% (0.8%)	0% (0.4%)
<i>Ballast</i>	0.5% (0.9%)	0.2% (0.7%)
<i>Reflector</i>	0.6% (1.3%)	0.6% (1.2%)
<i>Totaal installatie</i>	1.5% (3.0%)	0.8% (2.3%)

Als risico van de integratie wordt gezien een onjuiste lichtverdeling door verkeerde posities van armaturen bij een poging deze te integreren met de constructie.

Als andere mogelijkheid voor integratie wordt het combineren van armatuur en het bevochtigingssysteem genoemd.

3.3.3 *Voorstudie horizontale verlichting*

Introductie door Laurens Zonneveldt, TNO Bouw

Bij horizontale verlichting is het doel een hoog verlichtingsniveau zo uniform mogelijk op de bovenzijde van het gewas te krijgen. Die hoge uniformiteit is nodig omdat verschillen in niveau leiden tot verschillen in groeitempo en dus tot ongelijke gewassen.

In de huidige lichtplannen wordt gebruik gemaakt van steeds een type, zeer breedstralend, armatuur dat in een regelmatig patroon door de gehele kas gehangen wordt. Wat daarbij opvalt is ten eerste dat ook op de paden hetzelfde hoge niveau aangehouden wordt en ten tweede dat bij de gevels een zone is met een wat lager niveau omdat daar geen overlap is met de volgende rij armaturen. Tegelijkertijd straalt een deel van het licht door de gevel naar buiten. Dit geeft 'verlies' op het rendement en voor de buitenwereld soms hinder door verblinding, met name in de avond en nacht.

Mogelijke aanpassingen

Door het toepassen van asymmetrische armaturen, in dit geval armaturen die het licht niet in de volle breedte naar beneden uitstralen maar in de helft daarvan (een kwart bol), zoals bijvoorbeeld de schijnwerpers die veel langs sportvelden staan. Hiermee is het

mogelijk het rand effect te compenseren (gelijkmatigheid nabij de gevels vergroten en tegelijkertijd de uitstraling door de gevel te verminderen). Dit levert in de eerste plaats een efficiency verbetering van de productie op. De besparing hier is dus minder energie per kilo product. Het is geen absolute energiebesparing.

Een tweede aanpassing kan zijn het gebruik van dezelfde asymmetrische armaturen langs brede paden in de kas. In een aantal gevallen kan zo een rij armaturen boven het pad uitgespaard worden, dit leidt wel tot een directe energiebesparing.

Kijkend naar de huidige generatie armaturen valt bovendien op dat er op het gebied van armatuurrendement nog een verdere verbetering mogelijk is. Het concept van de lichtbron met daarboven een spiegel optiek dat het licht naar beneden uitstraalt heeft als nadeel dat een deel van het licht naar de lamp teruggereflecteerd wordt waardoor het verloren gaat. Er is een optimalisatie mogelijk door het licht ook zijdelings uit te stralen. Hierdoor kan een rendementsverbetering van ongeveer 10% bereikt worden.

Mogelijke aanpassingen (2)

Er is een korte discussie over de vraag rijst in hoeverre de gelijkmatigheid van de verlichting gebonden is aan hoogte. Met andere woorden geldt dezelfde gelijkmatigheid (uit het lichtontwerp) voor volgroeide planten als voor net in de kas geplaatste kleine plantjes. De verwachting is dat binnen de relevante hoogtes de niveaueverschillen meevallen.

Concluderend

De orde van grootte van besparingen die lichttechnisch bereikt kunnen worden door het optimaliseren van het lichtplan bevinden zich tussen de 10 en 20 %.

Een deel daarvan kan gerealiseerd worden door het toepassen van asymmetrische armaturen, een ander deel door verbetering van het armatuurontwerp.

3.3.4 Conclusies n.a.v. brainstorm horizontale verlichting' hoe energie te besparen'

Discussieleider Ton Begemann, Technische Universiteit Eindhoven

Daglichtonderschepping:

Er is behoefte naar inzicht in de gevolgen van daglichtonderschepping gedurende verschillende perioden van het jaar.

Vastgesteld dient te worden in welke orde van grootte die daglichtonderschepping van maximaal 1 procent valt. (Met name voor de winterperiode) Daarbij dient gekeken te worden naar het totale lichtniveau (zie paragraaf 3.3.2).

Lamp ballast combinaties

Bij het beperken van ballastverliezen zijn nog kleine percentages winst te behalen. Betrouwbaarheid speelt bij dit onderwerp een grote rol. De mogelijke winst zit in het verhogen van de efficiency, dus met minder stroom meer fotonen produceren.

Lichtterugval

De lichtterugval van toegepaste lampen betreft 10 % binnen een periode van 10.000 tot 12.000 branduren.

Winst op dit gebied is reeds behaald door het tegengaan van armatuurvervuiling. Armatuurvervuiling is stukken minder geworden door toepassing van open armaturen. (Het grootste deel van de nu nog optredende vervuiling zit in convectie)

Lichtuitreding

Het deel van het licht dat de kas via het dek verlaat betreft ongeveer 10 %.

Er valt hier wel iets te winnen, de winst is echter beperkt tot een enkele procent.

In de eerste plaats is het grootste deel van het voor het gewas belangrijke licht al gebruikt, daarnaast kan het voorkomen van lichtuitreding warmteproblemen veroorzaken.

Afstand tot de plant

Door de lichtbronnen dicht bij de plant te plaatsen krijgt de plant meer licht. Echter, de gelijkmatigheid verandert hierbij ook. Uit de praktijk blijkt dat er over het horizontale vlak vrijwel geen verschillen in lichtniveau optreden en dat dit waarschijnlijk weinig voordeel zal geven.

3.3.5 *Verticale verlichting*

Introductie door Frans Sools, Lights Interaction Agro.

Als men bij hoge draadgewassen hetzelfde lichtconcept toepast als bij lage gewassen (horizontale belichting) krijgen met name de koppen van de plant veel licht en de rest van de plant weinig. Bij hoge draadgewassen zoals tomaten, wil je dat er op elk blad licht valt, zodat het bij kan dragen in de fotosynthese en dus de ontwikkeling van de plant. De vraag is : hoe krijg je ook voldoende licht tussen het gewas.?

1. Lichtbronnen tussen het gewas plaatsen (probleem is echter de bijkomende warmte)
2. Diepstralers i.p.v. breedstralers toepassen
3. Het plaatsen van reflectoren tussen de planten.

Deels wordt dit probleem momenteel al opgelost door de planten in een zogenaamde V-vorm te plaatsen.

3.3.6 *Conclusies brainstorm n.a.v. verticaal belichten*

Uitgangspunt bij het bepalen van de beste belichtingsmethode vormt de tomatenteelt.

Voor het verticaal belichten van de kolommen zijn een aantal oplossingen aan te dragen namelijk:

1. Armaturen boven de gewassen
2. Armaturen tussen de gewassen
3. Asymmetrische armaturen van beide kanten

Bekend is dat het bovenste deel van het gewas het meest productief is, en hier vaak verzading optreedt.

Doel is het gewas onderin meer te belichten, om meer assimilatie te realiseren om het gewas productiever te laten worden.

Proeven zijn reeds uitgevoerd met TL verlichting tussen het gewas en asymmetrische armaturen (onder een hoek geplaatste 'Floodlights') boven de plantenrij.

Uit de wapeningen proef (TL tussen de gewassen in combinatie met breedstralende SON lampen tussen de gewassen) is een positief effect van de TL verlichting naar voren gekomen, maar de toegepaste verlichtingswijze werd economisch niet als rendabel gezien. Alleen TL verlichting tussen de gewassen levert niet genoeg warmte aan de 'koppen' van de gewassen.

Onderzocht zou moeten worden wat de lichtverdeling over de plant is bij toepassing van:

1. Algemene verlichting (huidige situatie)
2. TL-verlichting verticaal tussen de planten
3. Asymmetrische verlichting boven de planten
4. Asymmetrische verlichting boven de planten aangevuld met TL-verlichting tussen de planten
5. TL-verlichting horizontaal

In de tomatenteelt loopt het belichtingsseizoen van oktober tot april waarbij met name in de maanden december & januari lang belicht wordt (18-20 uur).

Wat niet uit het oog verloren dient te worden is dat het productie proces normale doorgang krijgt.

3.4 Conclusies

3.4.1 *Asymmetrische verlichting boven de planten*

Bij belichten wordt in de regel eenzelfde type armatuur toegepast over de gehele kas. Om een gelijkmatige lichtverdeling te krijgen over het gewas wordt hierbij langs de randen extra verlichting toegepast. Vanwege de breedstralende eigenschap van dergelijke armaturen zal een groot deel van het licht naar buiten gaan en dus verloren gaan. Door aan de randen armaturen toe te passen met een asymmetrische spiegel zou dit effect verminderd kunnen worden, wat dus een potentiële energiebesparing zou kunnen opleveren. Ditzelfde geldt voor de looppaden in een kas.

3.4.2 *Armatuurrendement verhogen*

Momenteel worden armaturen toegepast met een armatuurrendement van zo'n 80%. Nieuwe coatings met een zeer hoge reflectiefactor dan de gemiddelde coatings zouden ervoor kunnen zorgen dat het armatuurrendement omhoog gaat, wat wil zeggen dat er dus meer licht uit het armatuur kan komen. Daarnaast biedt de vorm van het armatuur ook nog de nodige aanleiding voor aanpassing. Ook dit zou ertoe kunnen leiden dat het armatuurrendement omhoog gaat en daarmee ook het verlichtingsrendement.

3.4.3 *Verticale belichting*

Wat betreft de hoge draadteelt zijn op dit moment interessante ontwikkelingen gaande die veel perspectief bieden. Allereerst de mogelijkheid om te belichten tussen de planten. Dit kan ervoor zorgen dat er ook meer licht tussen de planten komt. Vastgesteld is immers dat het licht op elk blad een bijdrage kan leveren aan de fotosynthese (productie). In dit onderzoek zal nader onderzocht gaan worden of er middels verticale belichting, bij lager energieverbruik, een grotere hoeveelheid groeilicht zal ontstaan.

In het kader van dit onderzoek zullen we ons beperken tot TL-verlichting verticaal tussen de planten in combinatie met bovenbelichten.

3.4.4 *Daglichtonderschepping*

Het gebruik van daglicht zou geoptimaliseerd kunnen worden. Hiervoor is echter eerst inzicht nodig wat deze verliezen zijn en op welk gebied de grootste verliezen optreden. Vervolgens moet er gekeken worden naar de mogelijkheden en beperkingen die er zijn om op het gebied van daglicht het rendement te verhogen. Een goede rekenmethode is hierbij echter noodzakelijk. Op dit moment is de IDT methode beschikbaar, zoals ontwikkeld in het kader van het project Energie III. Hiermee is de daglichtonderschepping van de kasconstructie en de aanwezige installaties (scherming, belichting, insectengaas, etc.) te bepalen. Deze methode is gebaseerd op de halve omtrekmethode en is daardoor gemakkelijk te hanteren, maar levert globale waarden op, met name bedoeld om alternatieven te vergelijken. Met behulp van een 3D model kan de lichtonderschepping beter in kaart worden gebracht. Op basis van de IDT methode kan gesteld worden dat de integratie van de belichting en de constructie enkele procenten rendementverbetering kan opleveren (zie paragraaf 3.3.2).

3.4.5 *Overige potentiële besparingsgebieden*

Dynamische/ mobiele verlichting

Bij 'mobiele' verlichting verplaatsen de armaturen zich over afstanden van 30-100 meter (buiten de vakmaat).

Bij 'beweegbare' verlichting verplaatsen de armaturen zich over korte afstanden (binnen de vakmaat).

Bij een 'mobiel' teeltsysteem wordt bedoeld dat de teelt te verplaatsen is tussen kasdelen waarbinnen verschillende lichtniveaus heersen. Tevens wordt hierdoor de aanwezigheid van gangpaden e.d. tot een minimum beperkt.

Voor alle systemen zijn proeven genomen/ lopende met als doel een vervroeging te realiseren.

Voordeel is dat bij minder energie een hogere opbrengst wordt gerealiseerd.

Er is nog geen inzicht in de oorzaak van deze productieverhoging.

Spectrale aanpassingen lampen

Het aanpassen van spectra door lampenfabrikanten is erop gericht lampen te ontwikkelen die zoveel mogelijk fotonen produceren.

Voor fotonen verschilt de hoeveelheid energie die nodig is om ze te produceren per type foton.

Daarnaast verschilt de plantgevoeligheid per foton.

Op dit gebied zijn volgens Philips, slagen in energiebesparing te halen van ongeveer 5 % in 5 jaar.

Belichtingsprotocol

De winst die op dit gebied te halen is is gericht op de eindfase van de teelt.

Planten gaan in de laatste 2 a 3 weken minder efficiënt om met het kunstlicht. Zo blijft bij chrysanten het eindgewicht gelijk wanneer in die eindfase met 2000 lux wordt belicht in plaats van 4000 lux.

Bijkomend gevolg is wel dat de teelt met 2 a 3 dagen wordt verlengd.

Verder is het specificeren van de verlichtingsinstallatie per gewas een punt waarop winst te behalen is.

Genetische verschillen tussen gewassen zijn de oorzaak van verschillen in lichtbehoefte per gewas.

Tot slot is het een gegeven dat moderne bedrijven op een 'slimme' wijze belichten door middels daglichtmetingen de afstemming daglicht kunstlicht optimaliseren. Ook op dit gebied valt nog winst te halen.

Radiance model van een Venlo Kas

Om meer inzicht in de verlichting in een kas te krijgen is er de behoefte aan een gedetailleerd model van zo'n kas. Met de modernste software (Radiance) is het mogelijk om niet alleen zeer gedetailleerd te rekenen aan zo'n model maar ook om beelden te creëren met een zeer natuurgetrouwe weergave. Dit model wordt gebruikt om de bestaande belichtingswijze te toetsen/vergelijken en om tot nieuwe oplossingen te komen.

Het model zal in eerste instantie uitsluitend dienen om te bepalen welke verlichtingswijze de beste is cq welke andere oplossingen er mogelijk zijn.

In een eventueel vervolgtraject kan met de resultaten van het lichtmodel worden gekeken naar kasvorm, gewassen in de kas, etc.

4 Berekeningen & metingen

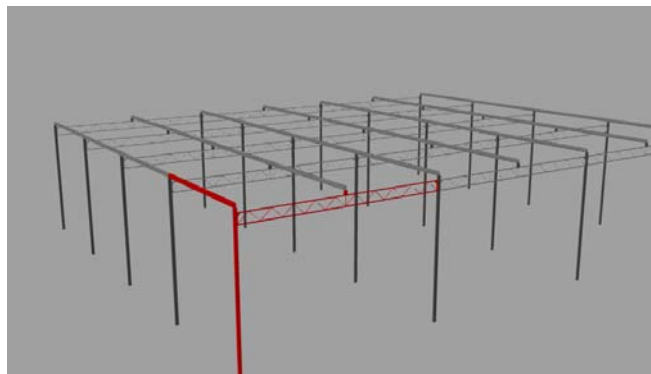
Om te kunnen controleren of de concepten daadwerkelijk energiebesparing opleveren is allereerst de huidige standardsituatie vastgelegd. Hierdoor wordt het mogelijk om een vergelijking te maken tussen de bestaande situatie en een nieuwe situatie. Besloten is om een model van een standaard VENLO-kas te maken. Dit is een van de meest gebruikte typen kassen in de Nederlandse glastuinbouw.

Ter vergelijking van de kunstlichtsituatie is uitgegaan van een Philips-armatuur, type SGR160/600T met een 600 Watt SON-T Green Power lichtbron met een lichtstroom van 88.000 lumen. Ook dit armatuur wordt veelvuldig gebruikt als assimilatiebelichting in de kassen.

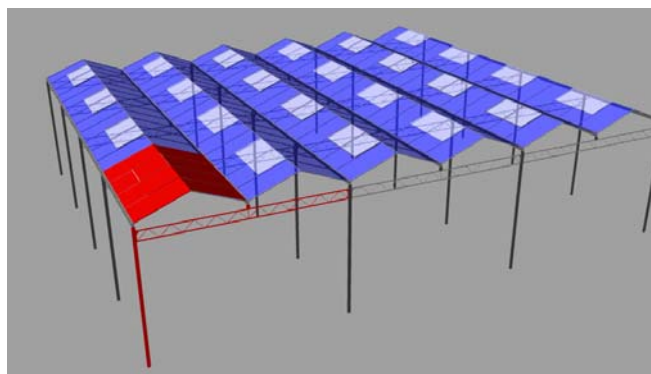
4.1 Model VENLO-kas

Het model kas dat gebruikt is voor de verdere berekeningen is een Venlo kas met een kapmaat van 4 meter, een vakmaat van 5 meter en een 8 meter tralieligger. De gemodelleerde kas heeft een afmeting van 13 bij 13 stramien van elk 8 * 5 meter, oftewel 104 bij 65 m². De poothoogte van de kas is 5 meter en de stramienmaat van de constructie is 8 * 5 m². De kap is voorzien van standaard float glas met een transmissiefactor van 0,9.

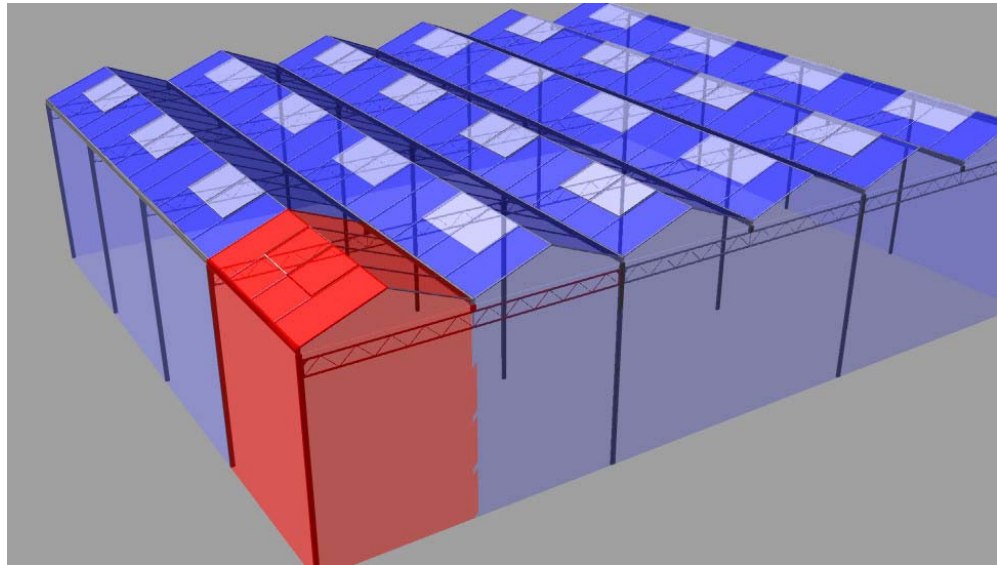
In figuur 2 tot en met 4 is de opbouw van het model van de kas te zien.



Figuur 2 Frame van de kas



Figuur 3 Frame met glazen delen in de kap.

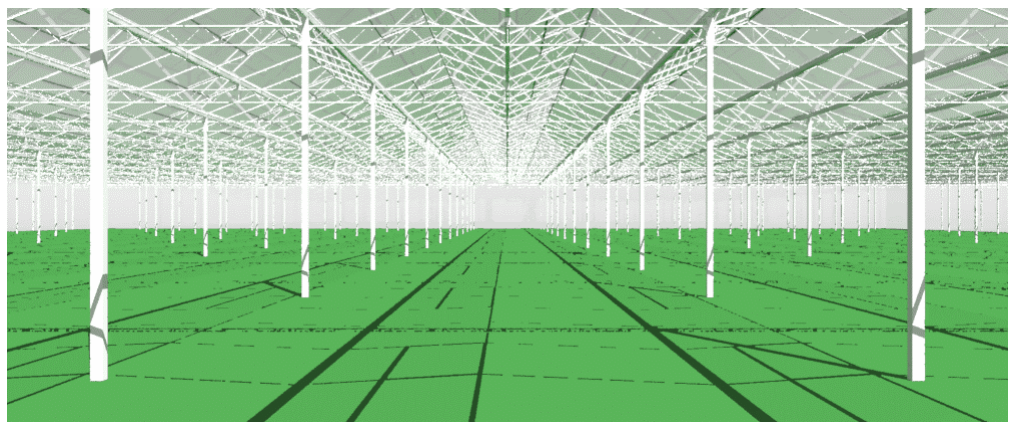


Figuur 4. Het complete CAD model van de Venlo kas.

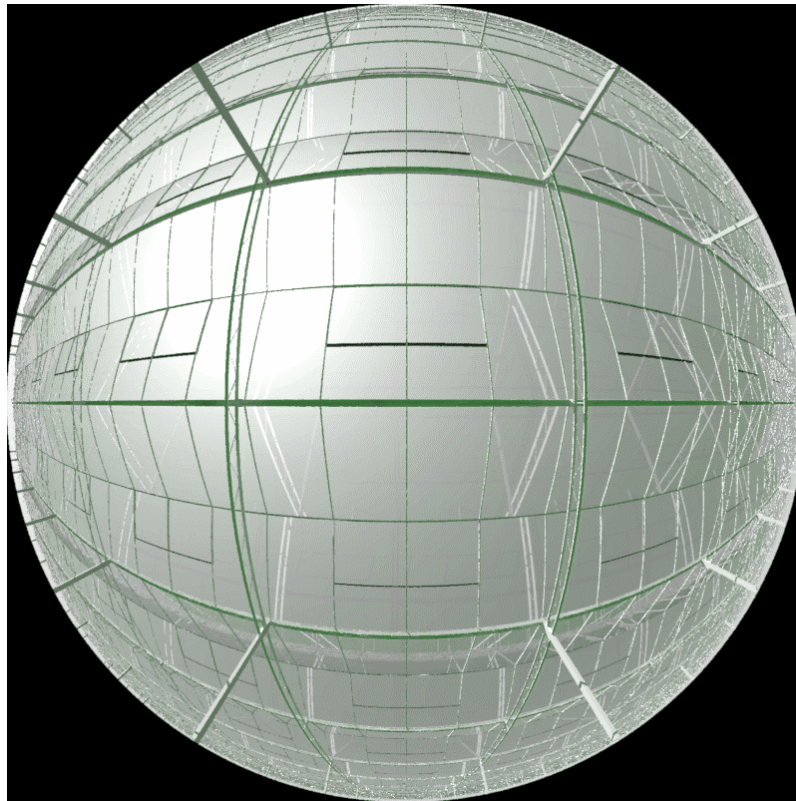
4.2 Uitgevoerde berekeningen & metingen

4.2.1 *Daglicht*

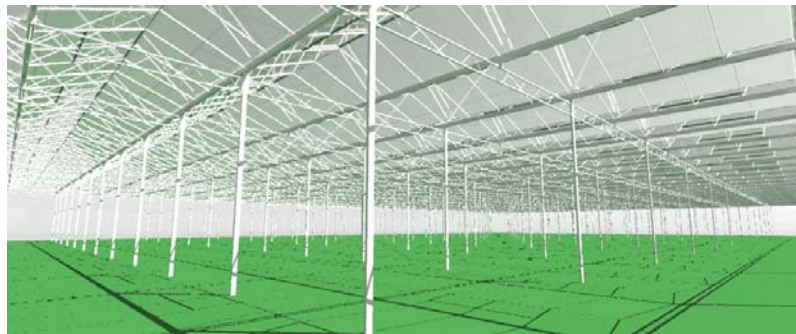
Het daglicht zoals wij dat in Nederland kennen kent vele verschillende verschijningsvormen. De verschijningsvorm wordt met name bepaald door het weer. We spreken van bewolkt weer, als er geen sprake is van direct zonlicht. Het daglicht komt middels reflecties en verstrooiing redelijk diffuus op aarde terecht. Bij onbewolkt weer vindt er wel verstrooiing plaats van het daglicht door de atmosfeer maar speelt vooral het directe zonlicht een belangrijke rol. De hoeveelheid en de spectrale samenstelling van het licht is dan met name afhankelijk van het seizoen en het tijdstip op de dag. Geheel bewolkt weer en geheel onbewolkt weer zijn de uiterste verschijningsvormen. Daartussen komen uiteraard allerlei mengvormen voor.



figuur 5 overzicht van de kasconstructie



figuur 6 fish eye beeld van de constructie



figuur 7 beeld van de kas

4.2.2 *Daglicht bij bewolkte hemel*

Hoe meer gebruik we kunnen maken van het daglicht, des te minder kunstlicht zal er toegevoegd hoeven te worden. Omdat alle mogelijkheden tot besparing op energieverbruik, inzake belichting, onderzocht moeten worden is het goed om eerst een indruk te krijgen van de hoeveelheid licht die op het glasdek valt en de hoeveelheid licht dat uiteindelijk op de plant terecht zal komen. Hiertoe is onderscheid gemaakt tussen het licht dat verloren gaat aan transmissieverliezen van het glas, licht dat verloren gaat door de opbouw van het glasdek en licht dat verloren gaat door de obstructie van de constructie.

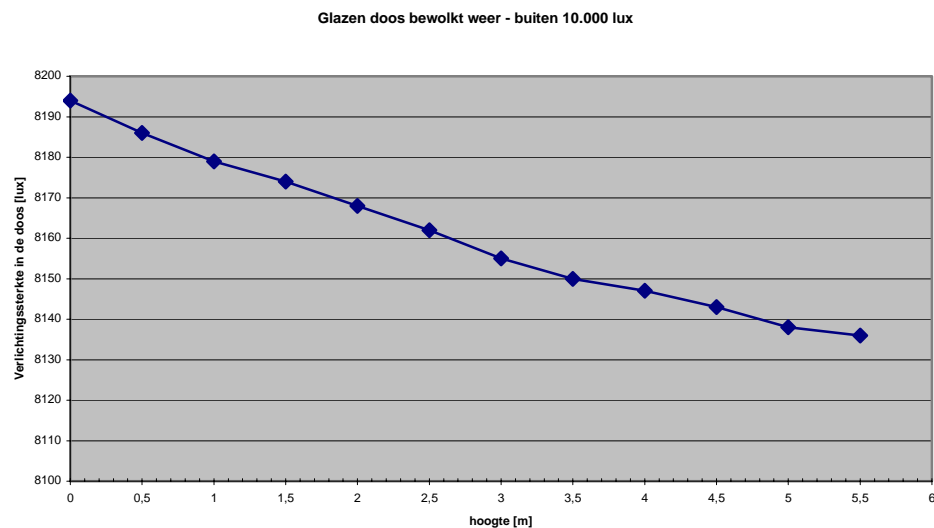
Voor de daglichtberekeningen is uitgegaan van een CIE-bewolkte hemel.

Dit type hemel is een in daglichtberekeningen als standaard gehanteerd model van de geheel bewolkte hemel en wordt gekenmerkt door een 3 keer zo hoge helderheid aan het zenit dan aan de horizon. Dit type hemel wordt meestal gebruikt om een indruk te krijgen van de minimale hoeveelheid daglicht die we kunnen verwachten gedurende de dag. Over het algemeen zal de hoeveelheid daglicht dus hoger zijn dan deze waardes.

De berekeningen zouden uitsluitend moeten geven over welk percentage van het daglicht uiteindelijk in de kas en dus op de planten terecht zal komen.

4.2.2.1 Resultaten obstructie glas

Om een goed inzicht in het gedrag van het daglicht te krijgen is in eerste instantie uitgegaan van een platte doos met een horizontaal glazen dak (geen constructie). Daarbij is gekeken naar de hoeveelheid daglicht die men kan verwachten in de kas, afhankelijk van de hoogte ten opzichte van de vloer ($z = 0$). Wat hierbij opvalt is dat, in tegenstelling tot wat men zou verwachten, de hoeveelheid licht bij de vloer hoger is dan dicht bij het glasdek. Dit scheelt ongeveer 0,7 %.

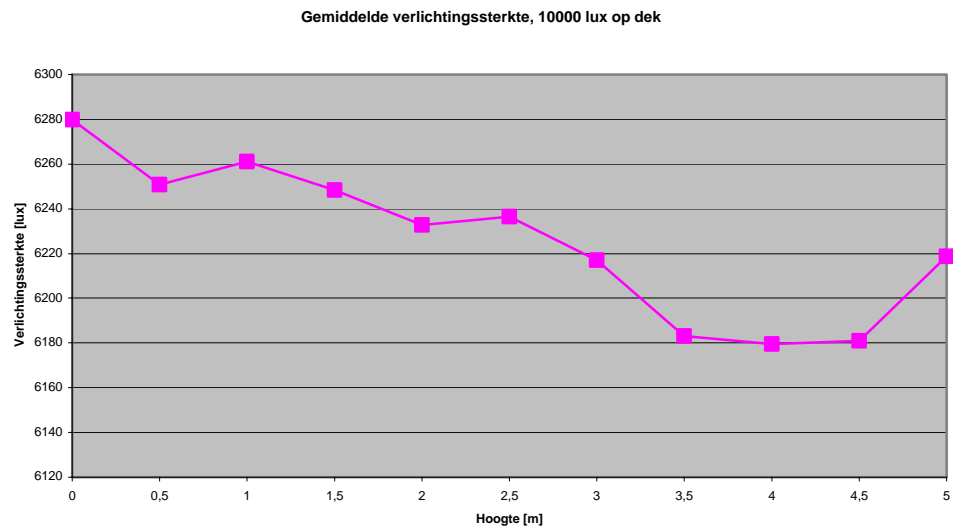


Figuur 8 Verlichtingssterkte ten gevolge van glas ten opzichte van de hoogte

4.2.2.2 Resultaten obstructie totale dek

Het is bekend dat de constructie een substantieel deel van het daglicht tegenhoudt. Dit is ook de reden dat een kas bij voorkeur met lichte materialen geconstrueerd wordt. Hierdoor kunnen de afmetingen van de constructie minimaal gehouden worden. De vraag is nu wat er totaal door het dakvlak tegen gehouden wordt. Hiertoe is uitgegaan van de hierboven omschreven standaard VENLO kas. Het gehele pakket bestaat dus uit zowel het glas als de totale constructie.

Uit de resultaten zien we dat ook hier de verlichtingssterkte onder in de kas hoger is dan boven in de kas. Dit scheelt zo'n 1,7 %. Het totale lichtverlies door het gehele dakpakket bedraagt zo'n 30 %, wat substantieel is als we uitgaan van de regel dat 1% meer licht 1% meer groei oplevert!

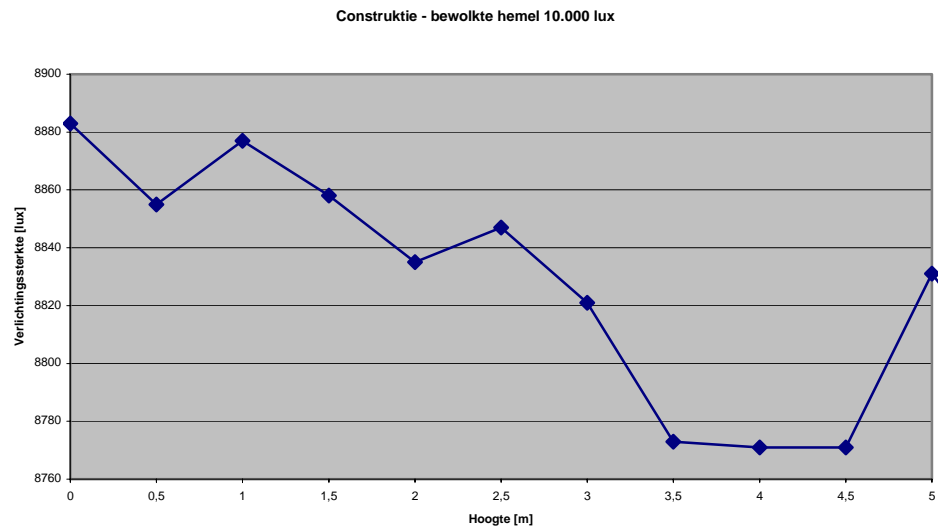


Figuur 9 Totale obstructie van het glasdek in een kas

4.2.2.3 Resultaten obstructie dek, zonder glas

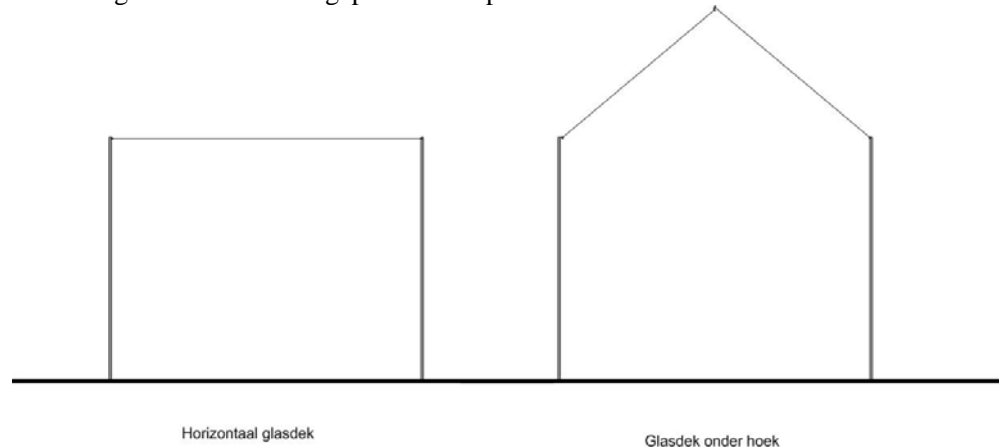
Bovenstaande berekeningen zijn nogmaals uitgevoerd waarbij het glas is weggelaten. Dit om te kunnen zien wat alleen de constructie tegenhoudt. Onder de constructie verstaan we alle onderdelen om het glas te dragen, dus zowel de kolommen als de (vakwerk) liggers.

Uit de data blijkt dat alleen de constructie er voor verantwoordelijk is dat gemiddeld zo'n 12% van het daglicht (zie figuur 7) niet op de planten terecht komt en dus niet gebruikt kan worden voor fotosynthese. Het feit dat de verlichtingssterkte ten opzichte van de hoogte niet geheel gelijkmatig verloopt is te verklaren door de plaats van de constructie. Er is een gemiddelde over een vlak in de kas genomen. Hierbij zitten dus ook posities waar zich kolommen bevinden. Tevens is het zo dat op een hoogte vanaf 3 meter de dakconstructie begint. Feitelijk doen deze hoogtes ook niet meer mee omdat het gewas normaalgesproken niet boven deze hoogte uitkomt.



Figuur 10 Obstructie ten gevolge van de dekconstructie. Hierbij is op iedere hoogte de gemiddelde verlichtingssterkte bepaald over een heel stramen van de kas van 8x5 meter. Opvallend is dat dit gemiddelde iets afneemt met de hoogte.

Als we deze gegevens en de gegevens van het totale verlies van elkaar aftrekken, moeten we concluderen dat zo'n 8% verlies toegeschreven kan worden aan het gevolg van de hoek die het glas maakt samen met het grotere glaspercentage dat ontstaat wanneer glas onder hoeken geplaatst is in plaats van horizontaal.



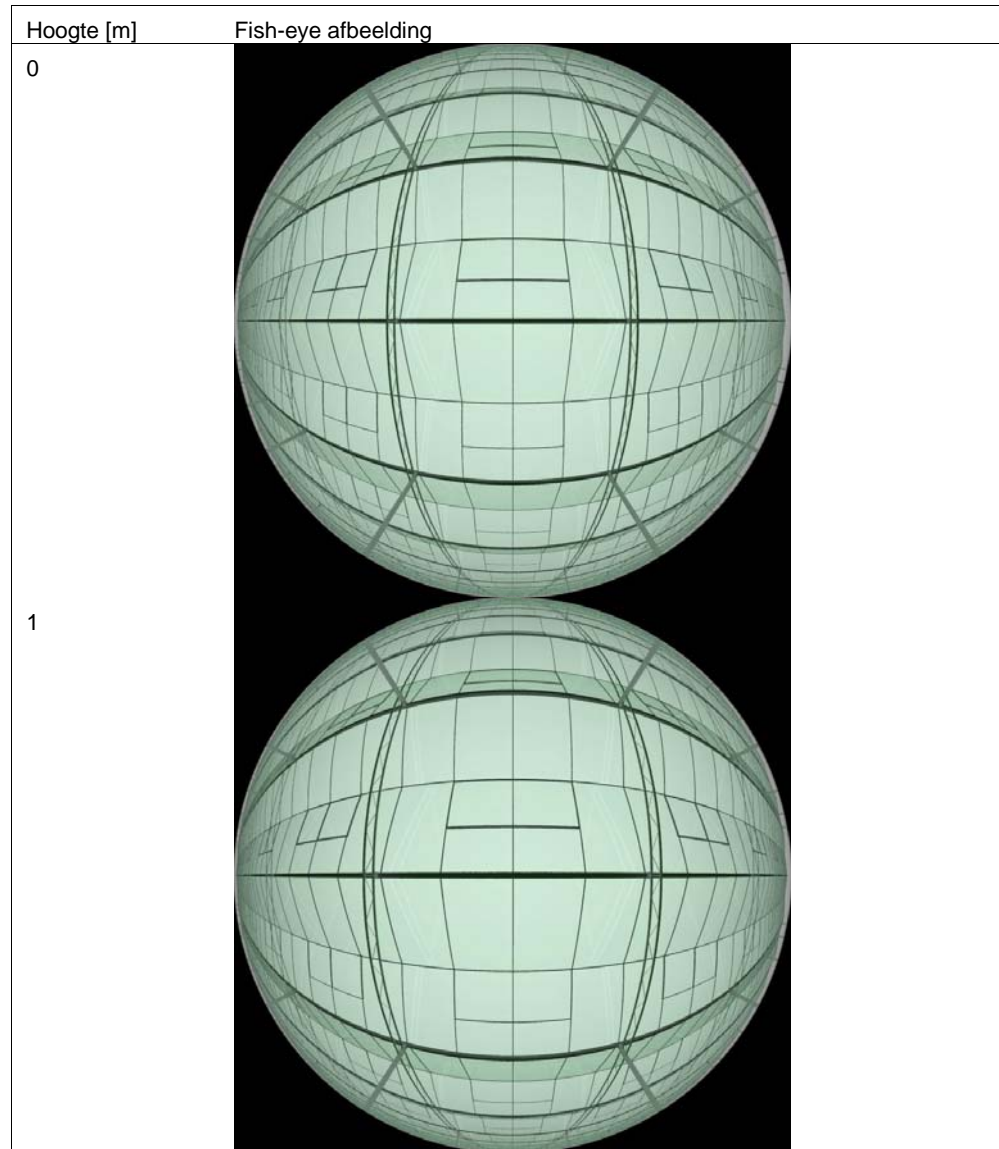
Figuur 11 Verschil glasdek horizontaal geplaatst en onder een hoek. Zowel het totale glasoppervlak als de hoek van het invallende licht verandert. Opgemerkt wordt dat in het vervolgonderzoek optimaal kasdek dit aspect nader wordt onderzocht.

Samengevat komen we uit op de volgende gemiddeld over de hoogte, verliesfactoren van het daglicht in een standaard kas.

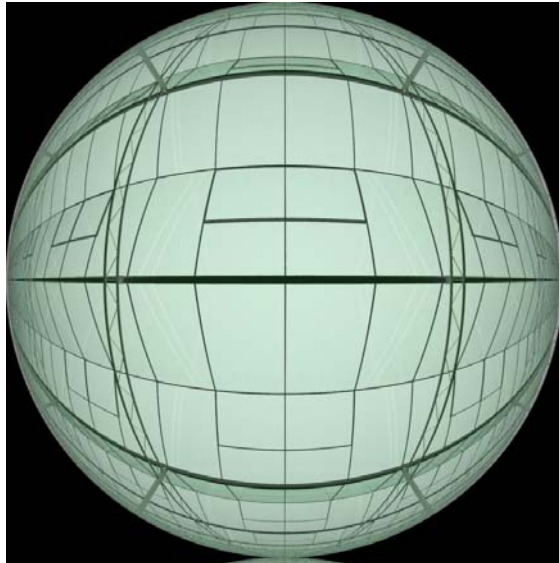
	Gemiddeld verlies [%]
Transmissie glas (loodrecht)	10
Obstructie door constructie	12
Hoekafhankelijke transmissie glasvlak	8
Totaal	30

Tabel 4.1 Samenvatting transmissie en reflectieverliezen kasconstructie.

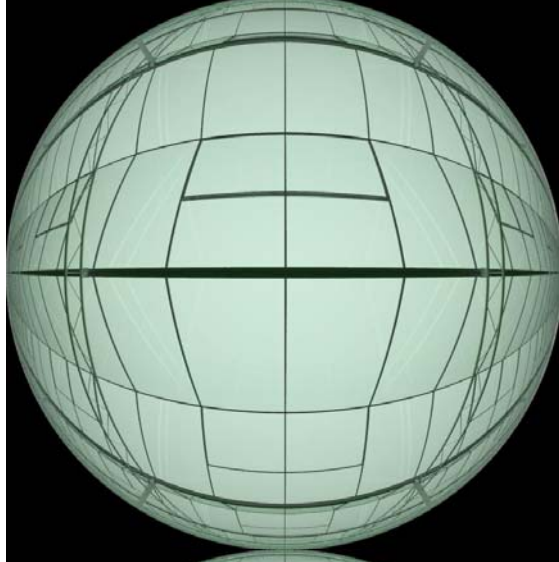
Omdat hier gerekend is voor een kas met een vrijwel zwarte bodem om zuiver het effect van glas en constructie te kunnen beoordelen, en in de praktijk vaak een wit folie wordt toegepast zal dan een wat hogere verlichtingssterkte in de kas gemeten kunnen worden.



2

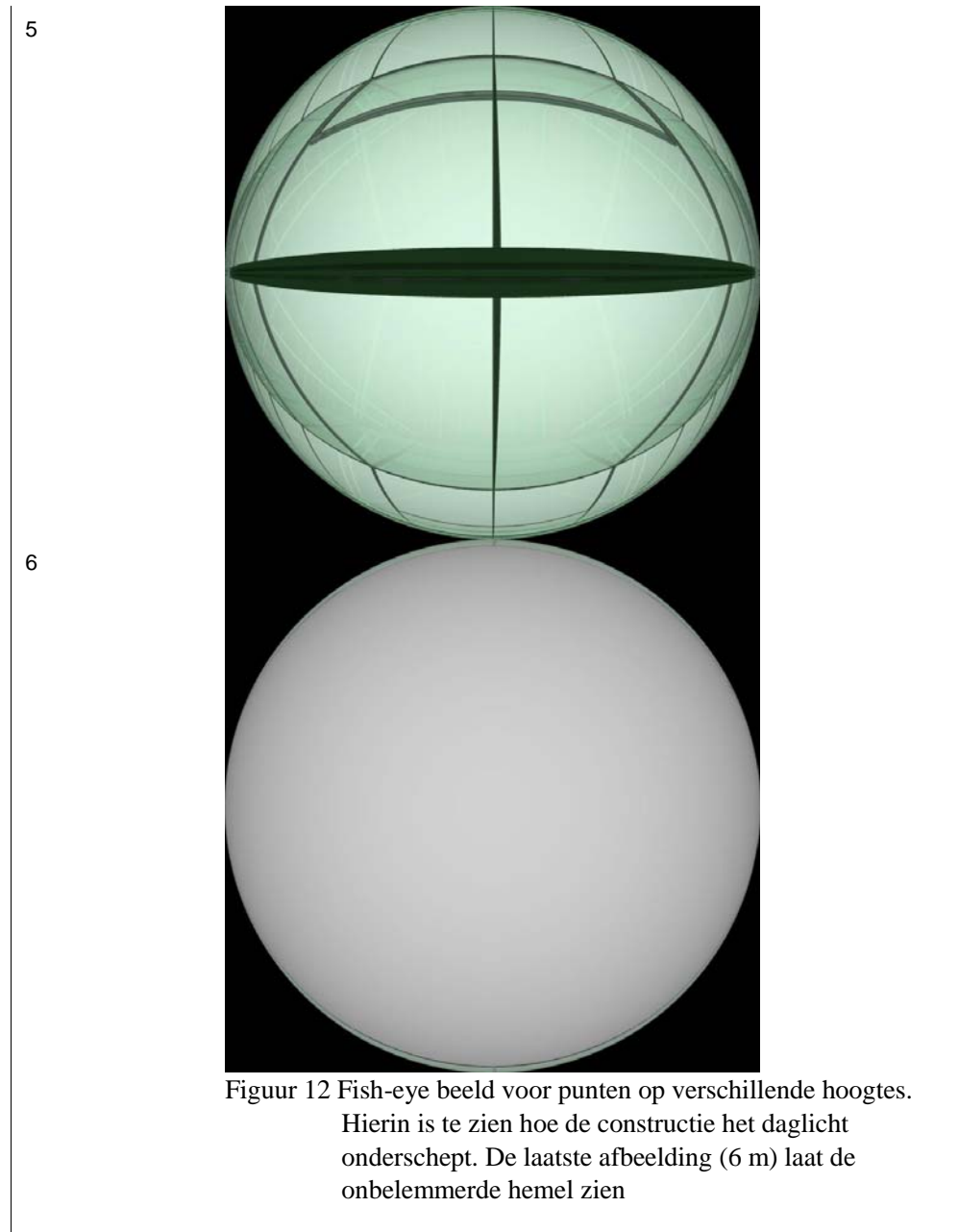


3



4





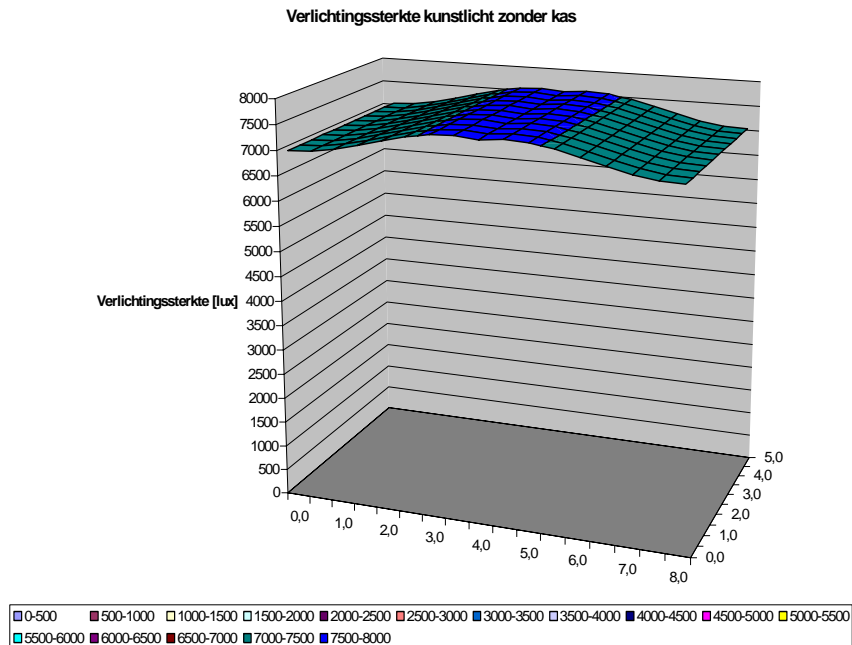
4.2.3 *Kunstlicht*

Het doel van dit onderzoek is om energie te besparen op de belichten. Uit de voorstudie is gebleken dat er de afgelopen jaren alleen maar meer assimilatie belichting is toegepast in de glastuinbouw, waarbij het opvalt dat met name het belichten van groentegewassen sterk in opkomst is. Hiervoor worden over het algemeen dezelfde belichtingsmethodes toegepast als voor het belichten van siergewassen. Om een beeld te krijgen van de kunstlichtverdeling zijn hiervoor zowel berekeningen als metingen uitgevoerd. Er is uitgegaan van een veel voorkomende belichtingsopstelling waarbij de lichtbronnen onderling op een stramen van 8 x 1.25 hangen. De ophanghoogte is 5 m.

4.2.3.1 *Berekeningen*

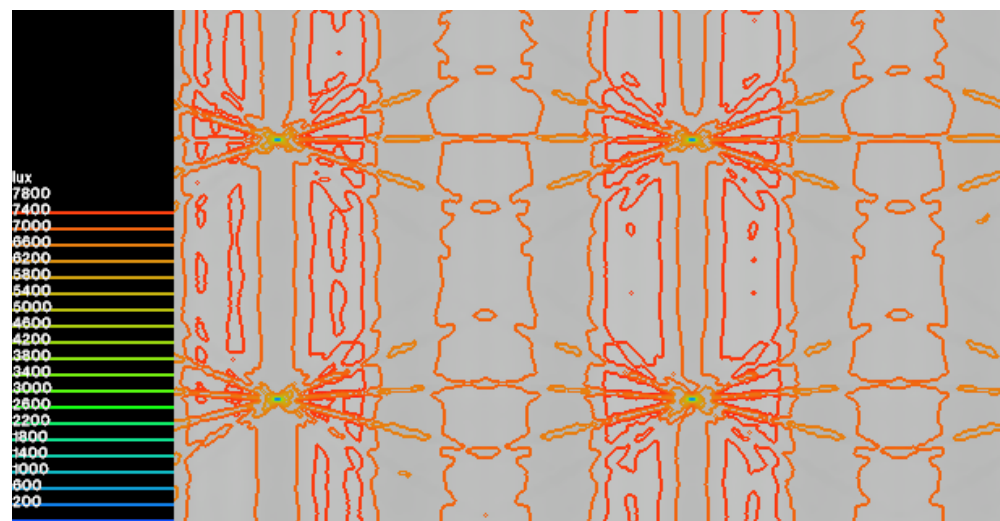
Normaal gesproken vinden berekeningen plaats in een programma waarbij de constructie van de kas niet wordt meegenomen. De resultaten zijn voor die gevallen dus

eigenlijk een stuk gunstiger dan de werkelijkheid. Met name voor de gelijkmatigheid van de lichtverdeling kan dit nogal wat schelen. In figuur 5 is de berekende horizontale verlichtingssterkte zonder invloed van de kas uitgezet voor 1 stramen. De berekende gelijkmatigheid (Emin/Egemiddeld) van 0.96 is hoog.



Figuur 13 Berekende horizontale verlichtingssterkte zonder invloed kas .

Dezelfde berekening, maar nu voor dezelfde installatie in een kas geeft een heel ander beeld [figuur 11 Hierbij vinden we een gelijkmatigheid van (min/max) 0.83



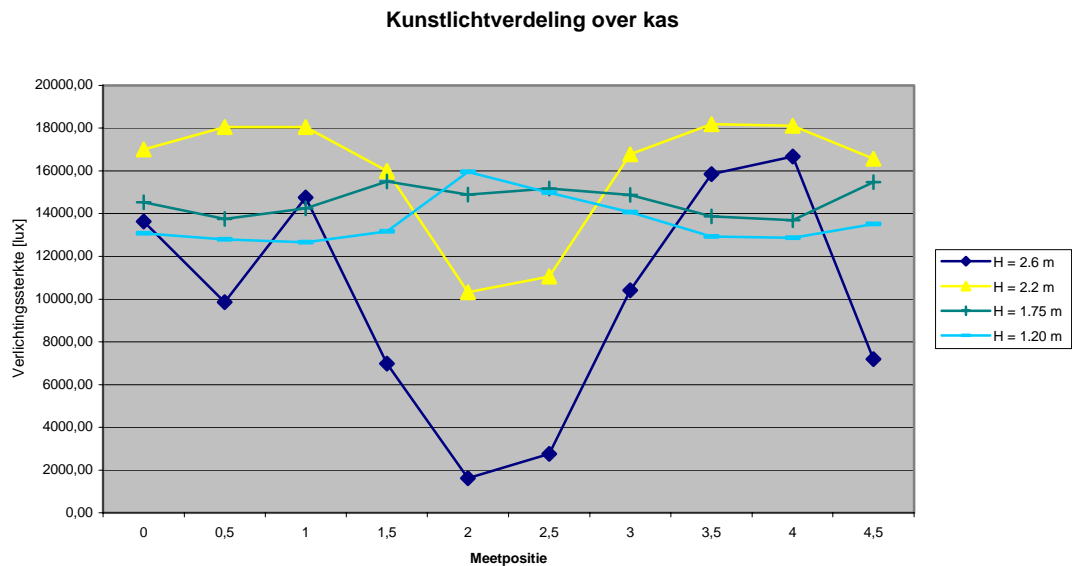
Figuur 14 Radiance model van de kunstlichtverdeling op vloer kas

4.2.3.2 Metingen

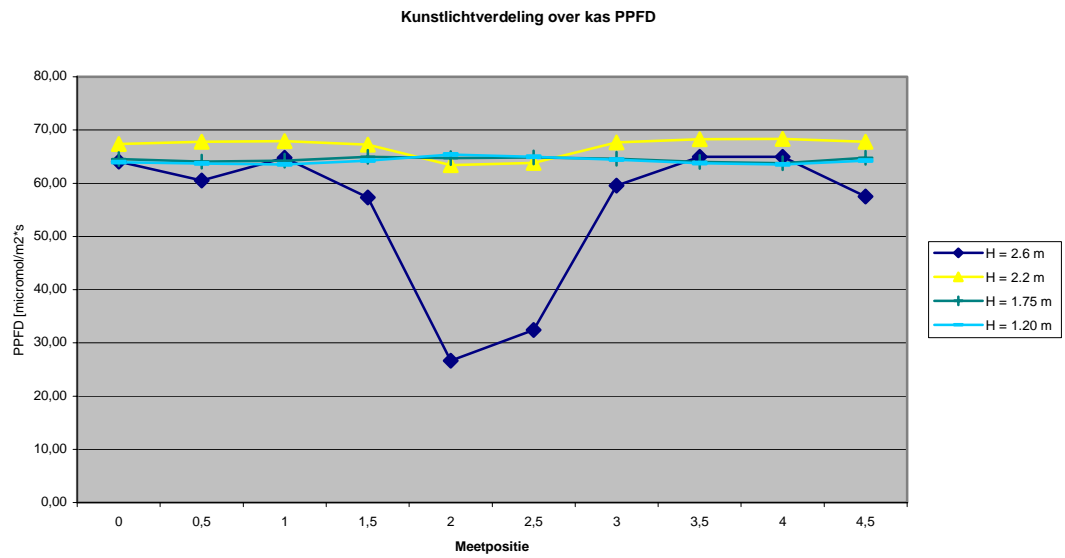
Om de berekeningen te verifiëren zijn er ook metingen uitgevoerd in een lege kas. Zo is er gemeten op verschillende hoogtes in de kas; 0,70 m, 1,20 m, 1,75 m, 2,20 m en 2,60.

Om een beeld te krijgen hoe het verloop in de x en y richting is, is gemeten op verschillende meetposities over een afstand van 5 m met daartussen stappen van 0,5 m. Allereerst bekijken we de metingen uitgevoerd met een luxmeter. Dit zijn de waarden voor het voor de mens zichtbare lichtgebied. Wat hierbij direct opvalt is dat er grote verschillen zijn waar te nemen tussen de verschillende hoogtelijnen waarop de metingen hebben plaatsgevonden. Zo lijkt de hoogte waar gemiddeld het meest licht is zo'n 2.2 m boven de vloer. Daarnaast zijn er zeer grote verschillen te zien per hoogtelijn. De gelijkmatigheid neemt vooral af naarmate men hoger in de kas komt (planttoppen). In exceptionele gevallen is de verlichtingssterkte op een bepaalde positie zo'n 14.000 lux, terwijl het 1 meter verder gedaald is tot zo'n 1600 lux. Dit verschil is uiteraard ook wel voor een groot deel verklaarbaar; immers hoe lager je in de kas komt, des te meer lichtbronnen de plant 'kan zien' en dus ook een betere gelijkmatigheid. Een lokale dip, b.v. op de hoogtelijn van 2,6 m wordt vooral veroorzaakt door de positie van de lichtbronnen. Hoogstwaarschijnlijk zit deze meetpositie op het raster tussen de lichtbronnen in waardoor daar het minste licht werd ontvangen.

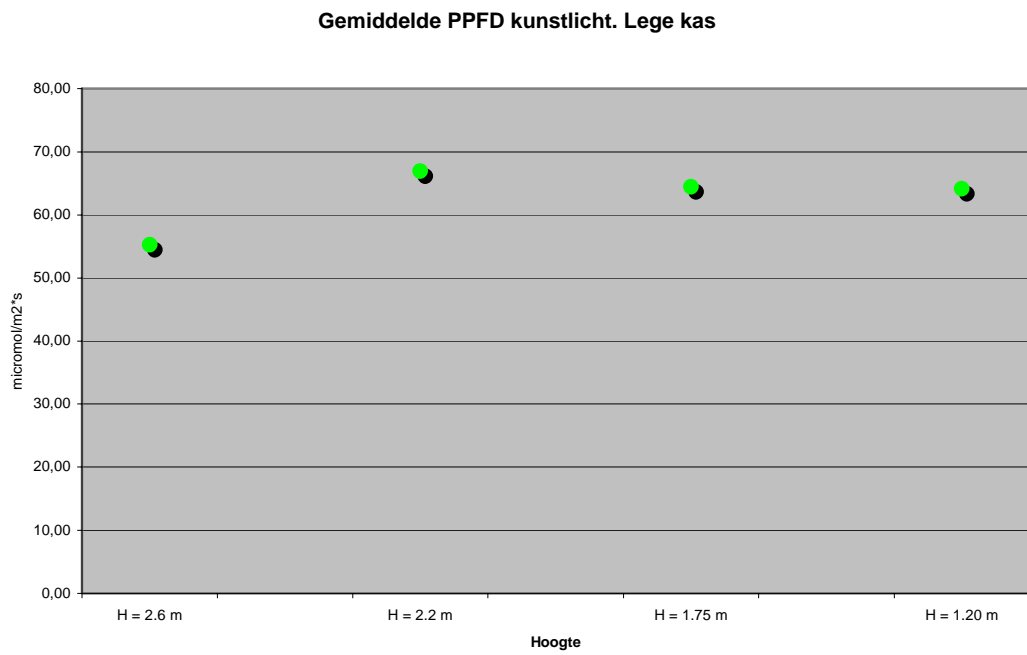
Als we echter kijken naar de metingen uitgevoerd met een plantgevoelige cel, blijkt dat de PPFD een veel minder grillig verloop vertoont dan de verlichtingssterkte. Wel is het zo dat wanneer we naar de gemiddelde waarden kijken de conclusie ten opzichte van de beste hoogte niet veranderen. Een verklaring hiervoor zou kunnen liggen in de reflectievlakken van de omgeving. De lege kas had immers een redelijke lichte, betonnen vloer. Deze vloer zal volgens de ooggevoeligheidscurve (lux), een ander deel van het spectrum reflecteren dan volgens de plantgevoeligheidscurve (PPFD). Hetzelfde geldt natuurlijk voor de andere vlakken (glas) die mee kunnen doen in de reflectie (alsmede de reflector van het armatuur!)



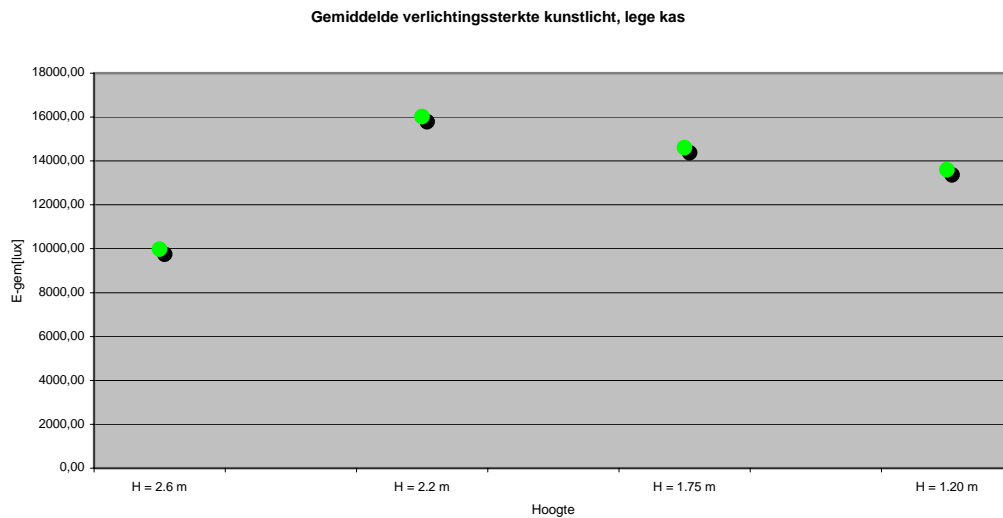
Figuur 15 Verlichtingssterkte verloop lege kas. Kunstlicht



Figuur 16 PPFD-verloop lege kas. Kunstlicht



Figuur 17 Gemiddeld PPFD lege kas. Kunstlicht



Figuur 18 Gemiddelde verlichtingssterkte lege kas. Kunstlicht

4.3 Conclusies

1. Hoeveelheid daglicht neemt in de kas toe met de hoogte. Dit komt door een combinatie van factoren. De invloed van gewassen hierop is onbekend omdat er geen geschikt gewas model beschikbaar is.
2. De totale kasconstructie (standaard Venlo kas) houdt zo'n 30 % van de totale hoeveelheid daglicht tegen.
3. Het kunstlicht lijkt in eerste instantie een zeer gelijkmatige horizontale lichtverdeling te geven maar uit metingen en berekeningen blijkt dat deze sterk kan variëren, afhankelijk van de positie in de kas.
4. Duidelijke verschillen waarneembaar tussen de gemeten luxwaardes en de waardes volgens de plantgevoeligheidskromme. Dit pleit voor een goede berekenings- en meetmethode in PPFD.

5 Nieuwe lichtconcepten

Naar aanleiding van de voorstudie en de workshops zijn de richtingen om te komen tot energiebesparing nader onderzocht en uitgewerkt. Bij de keuze voor het nader uitwerken van mogelijkheden naar daadwerkelijke concepten is bepaald door te kijken naar de mogelijkheden van zowel korte termijn implementatie (binnen enkele maanden tot 1 jaar; slechts beperkte aanpassingen zijn nodig) als middel tot lange termijn (5-10 jaar; heeft nadere studie nodig en de consequentie kan zijn dat men een ander type kas zou moeten ontwikkelen).

Bij de toetsing of de verlichtingsconcepten daadwerkelijk energie besparend zijn is uitgegaan van een referentiesituatie bestaande uit een standaard kas (type VENLO) en een standaard breedstralende belichting die zorgt voor een gelijkmatige horizontale lichtverdeling (onafhankelijk van het type gewas). Er worden in dit hoofdstuk de volgende nieuwe lichtconcepten besproken:

1. Armatuurrendement verhogen
2. Beperken lichtverliezen aan zijanten en boven paden
3. Verlichting tussen gewassen
4. Maximaal daglicht opvangen

5.1 Armatuurrendement verhogen

Om te zorgen dat er meer groeilicht op de gewassen terechtkomt dan in de huidige situatie gebeurt is nader onderzocht of er een verbetering te halen is in het rendement van de armatuur. Nadere studie wijst uit dat een zeer groot deel van het uitgestraalde licht via de reflector niet de armatuur verlaat richting gewas maar weer terugstraalt naar de lichtbron. Dit betekent dat een deel van het licht in de armatuur blijft zitten en dus geen bijdrage kan leveren aan de fotosynthese van het gewas.

5.1.1 *Resultaten metingen en berekeningen*

Het armatuurrendement van een standaard toegepast armatuur is gemiddeld zo'n 81%. Door de vorm van de reflector aan te passen kan het rendement verhoogd worden tot zo'n 94%. Dat dit daadwerkelijk haalbaar was bleek uit de armatuur dat de firma Lights Interaction Agro recentelijk heeft ontwikkeld, het zgn. Papillon-armatuur.

Deze verhoging van het armatuurrendement leidt bij horizontale belichting tot een gemeten rendementsverbetering in het gewas tot 10%.



Figuur 19 Armatuur Papillon (Lights Interaction Agro) met een rendement van 94%

Ter illustratie zijn de volgende berekeningen uitgevoerd voor een stramien waarin oude en nieuwe armaturen te vergelijken zijn. De armaturen zijn geplaatst in een raster van 6.4 m x 1.55 op 2,5 meter boven het meetvlak. De berekeningen zijn uitgevoerd op basis van de gedetailleerde lichtstroomverdelingen zoals aangeleverd door de fabrikanten.

De traditionele armaturen leveren dan volgens de onderstaande tabel over een stramien gemiddeld 6100 lux met een minimale/gemiddelde verlichtingssterkte verhouding van 0.97.

Tabel 5.1 Verlichtingssterkte op 2,5 meter onder de armaturen voor een traditioneel armatuurtype. De onderstaande tabel stelt een kasplattegrond voor met meetpunten op de aangegeven afstanden. Er is uitgegaan van een kas zonder gewas en zonder constructieonderdelen (kolommen ed.).

meter	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
0	6171	6174	6175	6176	6175	6174	6178	6175	6175	6177	6176
0.5	6165	6167	6168	6169	6169	6168	6170	6169	6169	6170	6169
1	6147	6147	6151	6150	6150	6151	6150	6151	6151	6150	6153
1.5	6122	6123	6125	6125	6125	6126	6126	6126	6126	6126	6127
2	6093	6091	6097	6094	6095	6096	6094	6096	6097	6094	6098
2.5	6074	6074	6079	6076	6077	6079	6076	6079	6078	6077	6080
3	6046	6047	6052	6047	6050	6051	6050	6052	6050	6050	6053
3.5	6032	6032	6035	6034	6034	6035	6034	6034	6035	6034	6036
4	6029	6031	6031	6032	6032	6032	6034	6032	6033	6034	6032
4.5	6032	6031	6035	6034	6034	6035	6034	6034	6036	6035	6036
5	6046	6047	6052	6047	6050	6051	6050	6052	6050	6050	6053
5.5	6074	6074	6079	6076	6077	6079	6076	6079	6078	6077	6080
6	6092	6091	6097	6093	6095	6096	6094	6096	6097	6094	6098
6.5	6122	6123	6125	6125	6125	6126	6126	6126	6126	6126	6127
7	6147	6147	6151	6150	6150	6151	6150	6151	6151	6150	6153
7.5	6165	6167	6168	6168	6169	6168	6170	6169	6169	6170	6169

Het verbeterde type levert dan volgens de onderstaande tabel over en stramen gemiddeld 7425 lux met een minimaal /maximaal verlichtingssterkteverhouding van 0.93.

Tabel 5.2 Verlichtingssterkte op 2.5 meter onder de armaturen voor een verbeterd armatuur.

meter	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
0	7126	7127	7131	7129	7132	7134	7134	7135	7133	7134	
0.5	7150	7153	7153	7155	7156	7156	7158	7157	7158	7158	
1	7226	7229	7227	7231	7231	7231	7235	7232	7234	7235	
1.5	7338	7339	7341	7342	7343	7345	7345	7346	7346	7346	
2	7460	7463	7464	7465	7465	7467	7467	7467	7469	7469	
2.5	7578	7580	7581	7582	7583	7585	7585	7585	7586	7585	
3	7658	7658	7660	7661	7662	7663	7664	7665	7665	7665	
3.5	7683	7686	7682	7689	7687	7685	7691	7687	7691	7693	
4	7639	7643	7642	7645	7645	7644	7647	7645	7646	7647	
4.5	7684	7687	7682	7689	7689	7686	7692	7689	7692	7693	
5	7656	7657	7659	7659	7660	7663	7662	7663	7663	7663	
5.5	7575	7577	7578	7579	7580	7581	7583	7582	7583	7583	
6	7456	7459	7461	7461	7462	7463	7465	7466	7465	7465	
6.5	7335	7336	7337	7338	7340	7341	7341	7342	7342	7342	
7	7223	7226	7224	7228	7230	7229	7232	7230	7231	7232	
7.5	7148	7151	7152	7154	7154	7154	7156	7155	7158	7158	

De verschillen hangen in de praktijk af van de situatie. In dit eenvoudige voorbeeld is de gemiddelde 'winst' op het verlichtings niveau 20 %, bij dezelfde hoge gelijkmatigheid (minimaal/maximaal niveau).

5.1.2 *Conclusie besparingspotentieel*

Een verhoging van het armatuurrendement met zo'n 13% zal direct leiden tot meer groeilicht op het gewas. In totaal zal dit een rendementsverbetering van het groeilicht opleveren van zo'n 10 %.

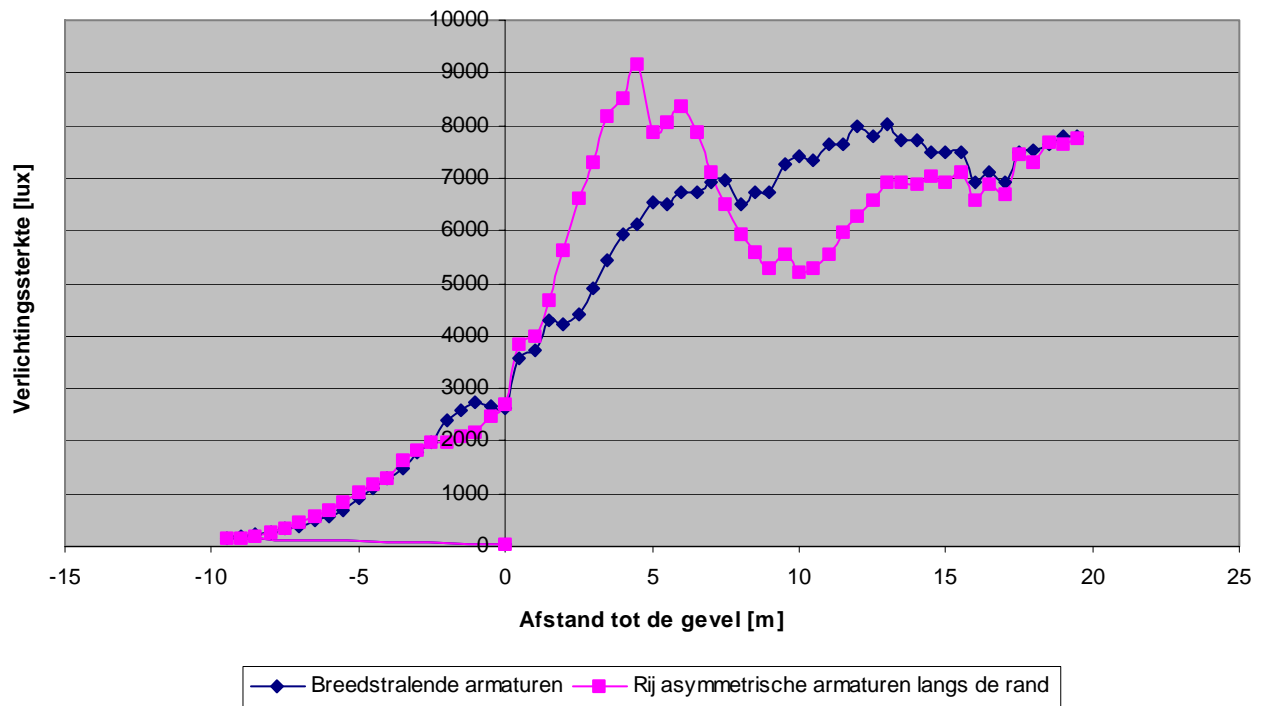
5.2 **Beperken lichtverliezen naar zijkanten en paden**

Bij de huidige manier van belichten worden armaturen in de kas opgehangen op een vaste stramienmaat van elkaar. Dit heeft tot doel een gelijkmatige horizontale lichtverdeling over de kas te krijgen. Er wordt echter nauwelijks of geen rekening mee gehouden dat hierdoor ook licht valt op gebieden waar geen planten staan zoals de looppaden en de zijkanten van de kassen. Dit licht reflecteert dan weliswaar via grond en zijwanden maar effectief komt slechts een klein percentage hiervan op het gewas terecht.

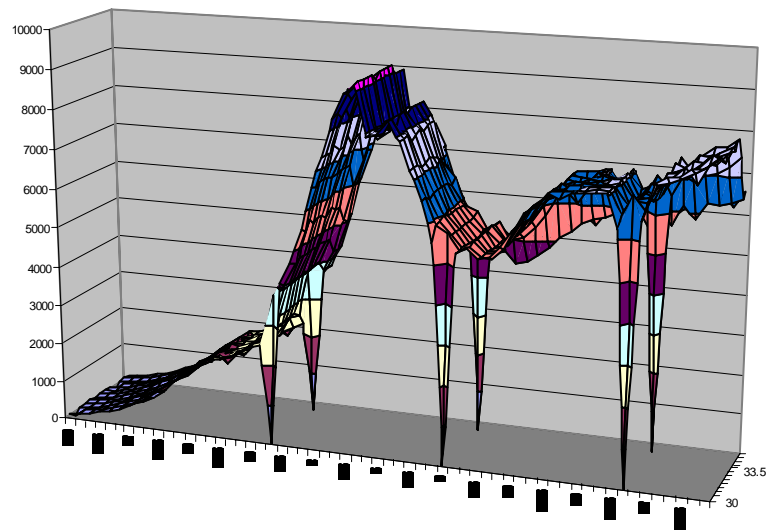
Het doel van het tweede concept is te kijken naar de mogelijkheden om deze verliezen te beperken middels het toepassen van asymmetrische armaturen. Deze asymmetrische armaturen moeten er voor zorgen dat het licht in de richting van het gewas gestuurd wordt waarbij zo min mogelijk verloren gaat naar de omgeving.

5.2.1 *Resultaten*

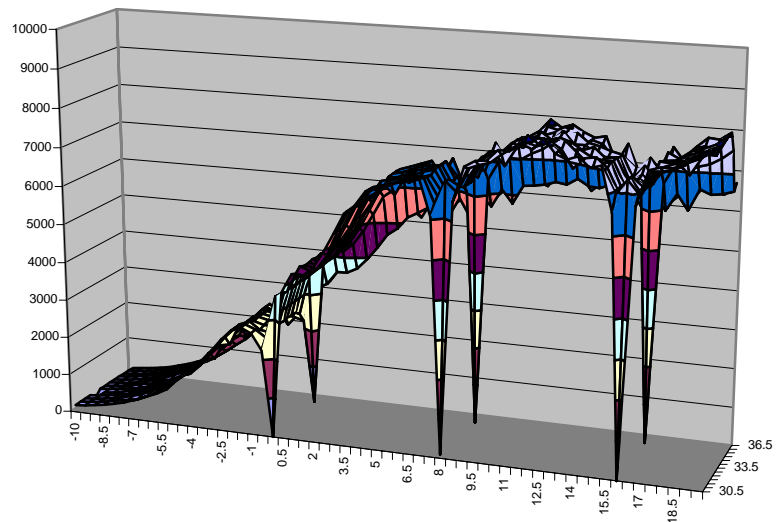
Om er achter te komen in hoeverre dit concept bijdraagt aan het terugbrengen van het energieverbruik zijn lichtberekeningen gemaakt in de eerder beschreven standaard Venlo kas. De gegevens van een eerste type asymmetrische armatuur zijn bekend. Ter vergelijking is een standaardarmatuur gebruikt.



Figuur 20 Horizontale verlichtingssterkte langs de rand van de kas met 'gewone' armaturen en met als laatste een rij met asymmetrische armaturen. Op de x-as staat op 0 de gevel van de kas. Negatieve waarden is de afstand buiten tot de gevel, positieve waarden binnen tot de gevel. De berekeningen zijn uitgevoerd met de lichtstroomverdeling van een eerste prototype van het asymmetrische armatuur. Te zien is dat dit ontwerp nog niet optimaal is. Er is duidelijk een zone waar het lichtniveau boven het gewone systeem ligt, maar er is ook een dal rond 10 meter. Met het huidige 3D kasmodel is het mogelijk om het ontwerp verder te verbeteren, ook neemt het niveau buiten dan verder af dan nu al te zien is.



Figuur 21 Verlichtingssterkte langs de rand van de kas voor een combinatie van armaturen.



Figuur 22 Verlichtingssterkte langs de rand voor een type armatuur.

5.2.2 *Conclusie besparingspotentieel*

Asymmetrisch armaturen langs de rand zorgen er voor dat de verlichtingssterkte in de laatste meters op peil blijft, terwijl tevens de uitstraling naar buiten verlaagd kan worden. Het ook functioneel kunnen gebruiken van deze laatste meters betekent voor de kweker meer productie met gelijkblijvend energiegebruik. De praktijk leert echter dat de kweker dit gebrek aan licht in de randzone probeert op te vangen door extra

armaturen te plaatsen. Het toepassen van asymmetrische armaturen maakt dit laatste overbodig, wat dus direct tot een besparing leidt. De besparing is afhankelijk van de kasgrootte (Verhouding oppervlakte kas : omtrek kas).

Verder is het zo dat wanneer men ook de laatste 2 rijen normale armaturen naast het hoofdpad vervangt door asymmetrische armaturen dit direct een hele rij armaturen zal besparen. Concreet betekent dit dat bij een “standaard” kas van 200 x 200 m (4 ha) er over een lengte van 1200 m asymmetrische armaturen kunnen worden toegepast.

5.3 Verlichting tussen de gewassen ten opzichte van boven de gewassen

Bij de huidige manier van belichten plaatst men de belichting boven de gewassen. Voor de meeste laaggroeiende gewassen zoals de siergewassen e.d. wil men ook een gelijkmatige deken van licht over het gewas spreiden. Echter, bij hoge-draadgewassen is dit principe minder aan de orde. Het is immers zo dat elk blad waar licht opvalt een positieve bijdrage kan leveren voor het aanmaken van assimilaten. Het plaatsen van belichting boven het gewas heeft tot gevolg dat toppen relatief veel licht ontvangen en de lager gelegen delen vanwege de belemmering van de bladeren slechts weinig licht ontvangen. Ook de bladstand van draadgewassen zoals de komkommerplant, geven aanleiding om te onderzoeken of een verticale i.p.v. horizontale manier van belichten tot meer opbrengst kan leiden. Uit Finse experimenten is bekend dat er een productieverhoging plaatsvindt in dat land.



figuur 23 Gewas met belichting tussen het gewas

5.3.1 Resultaten

Eind 2003 –begin 2004 vonden er bij PPO in Naaldwijk proeven plaats in kassen inzake het belichten van komkommers met:

1. Tussen- en bovenbelichting
2. Alleen bovenbelichting

Hierbij werd, bij een gelijkblijvend energieverbruik de productieopbrengsten vergeleken van het belichten van komkommerplanten volgens twee verschillende belichtingsconcepten. Het eerste belichtingsconcept was de traditionele manier waarbij

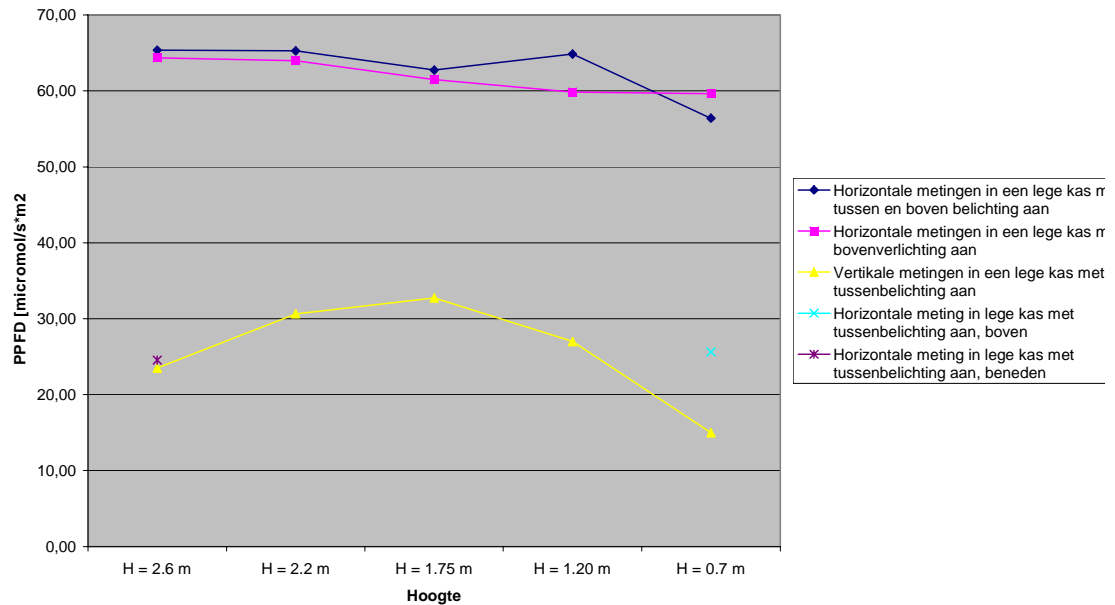
de 600 Watt stralers boven het gewas werd gehangen. Bij de nieuwe manier werd een combinatie gemaakt van de traditionele verlichtingsarmaturen (puntbronnen) boven het gewas en TL- verlichting tussen het gewas. De planten worden hierdoor ook verticaal van een sterke lichtstroom voorzien.



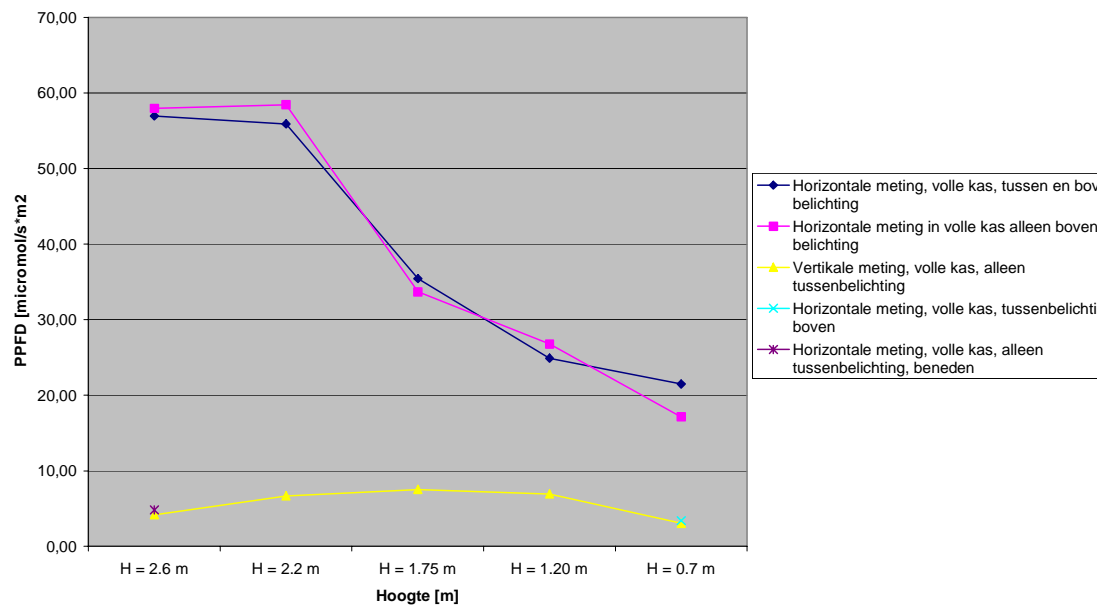
figuur 24 Proefkas PPO Naaldwijk met verticale verlichting tussen het komkommengewas. Op de buisrailwagen is de meetopstelling te zien waarmee het lichtniveau in de kas is gemeten.

Hierbij zijn lichtmetingen uitgevoerd in zowel een volle kas (rond oogsttijd) als in een lege kas. Hieronder zijn de meetresultaten weergegeven.

Gemiddelde PPFD, lege kas, 3 typen



PPFD-gem. volle kas, 3 typen

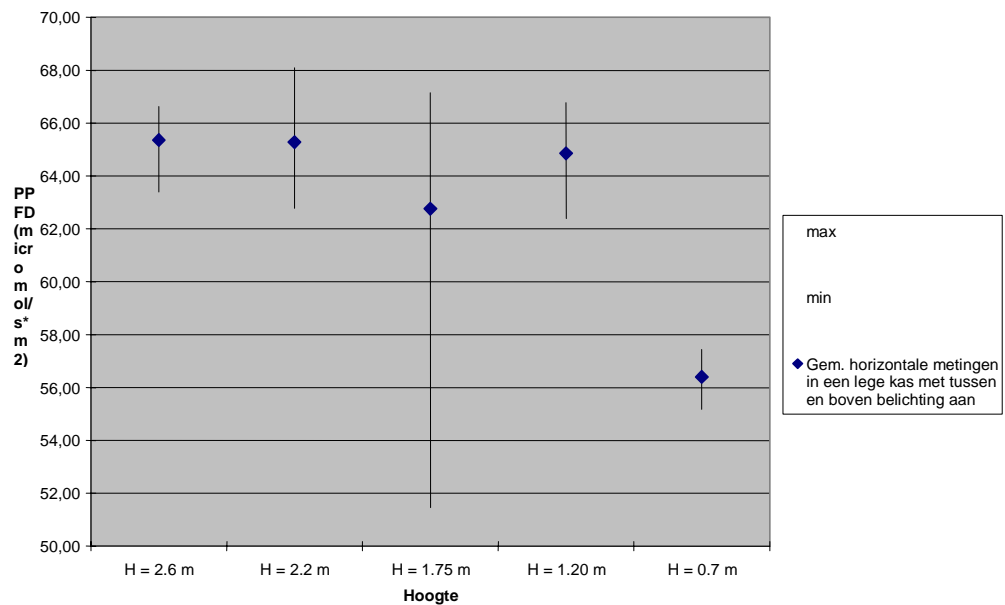


Aan de hand van deze lichtmetingen konden de volgende voorlopige conclusies getrokken worden: De horizontale PPFD in een lege kas bij belichting tussen & boven het gewas is iets hoger ($62,9 \text{ micromol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) dan wanneer er alleen belichting boven het gewas hangt ($61,9 \text{ micromol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). Bij een volle kas zijn beide belichtingsopties vrijwel gelijk. Zie bovenstaande figuren.

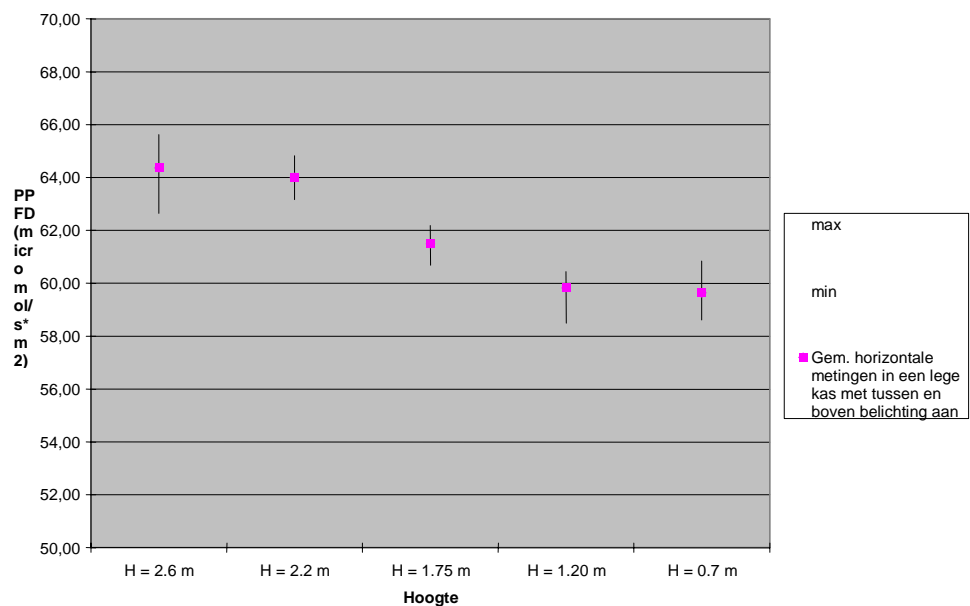
1. Gekeken naar de lichtstroomverdeling, de PPFD verticaal bij de combinatie tussen en bovenbelichting, hoger zal zijn dan bij alleen bovenbelichting.
2. Bij alleen belichten tussen de rijen, er in een volle kas, zeker zo'n 10% van het licht nog verloren gaat naar buiten (horizontale meting, $h = 2,6 \text{ m}$, sensor naar beneden gericht) en naar de vloer (horizontale meting, $h = 0,7 \text{ m}$ sensor naar boven gericht).

3. Momenteel de opbrengst in de kas met verlichting tussen en boven het gewas nog in onderzoek. De eerste resultaten worden in mei gepubliceerd (PPO project, komkommer).
4. Er kan gesteld worden dat de gelijkmatigheid van de horizontale belichting op de verschillende hoogtes bij bovenbelichting beter is dan bij tussen en bovenbelichting. Dit is zeker nog een aandachtspunt. (zie onderstaande figuren)
5. Doordat er in de kassen minder belichting in het kasdek hangt, vormt dit voor het daglicht ook minder belemmering wat ook een gunstige bijdrage kan hebben op de groei en energiebesparing.

Spreiding belichting tussen en boven, lege kas



Spreiding belichting boven, lege kas



5.3.2 *Conclusie besparingspotentieel*

De resultaten met tussen belichting geven tot op heden zeer goede resultaten voor de komkommer (zie rapport PPO nog te verschijnen mei 2004). Voordat deze manier van belichten daadwerkelijk in een concept omgezet kan worden is nog extra onderzoek nodig maar de resultaten zijn hoopgevend. Daarbij komt dat in de uitgevoerde proeven met name gekeken is naar een mogelijke meeropbrengst van de gewassen met gelijkblijvende energievraag. Hierbij is dus ook uitgegaan van momenteel standaard op de markt verkrijgbare TL-lampen als lichtbron. Door op de plantvraag afgestelde verlichting toe te passen kan hier uit energetisch oogpunt nog een grotere energiebesparing gehaald worden. Aangezien dit verlichtingsconcept nog in de kinderschoenen staat zijn aanzienlijke (tientallen procenten) besparingen mogelijk (rapport in voorbereiding Lights Interaction).

5.4 **Daglicht**

Energie in de vorm van kunstlicht kan ook bespaard worden door beter met het daglicht om te gaan; immers daglicht is vrij beschikbaar. Om een goed inzicht te krijgen in de werking van het daglicht zijn enkele daglichtsimulaties gemaakt. Hierbij is met name gekeken hoe het daglicht zich over de kas gedraagt.

Een van de eerste aspecten die opvielen was dat geconcludeerd kon worden dat zowel het glasdek als de constructie tot een lichtvermindering leiden van zo'n 30-35 % van het licht. Deze verliezen zijn globaal te wijten aan

1. Transmissieverliezen van het glas (10% uitgaande van helder floatglas).
2. Transmissieverliezen tengevolge van de hoek waaronder het daglicht op het glasvlak valt. Licht dat onder een bepaalde hoek op het glasdek valt zal in plaats van doorgelaten worden juist gereflecteerd worden. Momenteel worden de daken onder schuine hoeken geplaatst vanwege vervuiling, waterhuishouding e.d. Dit heeft echter wel tot gevolg dat hierdoor ook zo'n 8% van het licht niet in de kas op de planten terecht komt. In het vervolgonderzoek optimaal kasdek wordt hier verder op ingegaan.
3. Tenslotte vormen de constructie van de kas en de obstructies van kolommen e.d. er nog voor dat zo'n 12% het licht niet op het gewas terecht kan komen. De door TNO ontwikkelde IDT rekenmethode is specifiek ontwikkeld om dit verlies te minimaliseren.
4. Absorptieverlies van de armatuur. Een donker armatuur zal het zonlicht volledig onderscheppen terwijl een licht reflecterend armatuur het zonlicht de kas in transporteert. (1 arm/8 meter bij sierteelt of 1 arm. /4 meter bij groenteteelt).

Uit de daglichtberekeningen kwam tevens naar voren dat men, uitgaande van een lege standaard kas, onderin meer licht had dan boven in de kas. Dit scheelde zo'n 1,7 %

5.4.1 *Conclusie besparingspotentieel*

Aanpassen van het glasdek biedt nog vele mogelijkheden. Ook dit concept behoeft nog de nodige studie. Wat hierbij belangrijk is, is dat men voor het simuleren daadwerkelijk modellen van planten heeft. De absorptiegraad, bladdikte en de blad vorm zijn enkele belangrijke parameters voor assimilatie. Momenteel is namelijk alleen gekeken naar een lege kas. Het zou best mogelijk zijn dat er uiteindelijk, vanuit het aspect licht, tot een heel ander glasdek komt. Verder is het zo dat nog niet gekeken is naar de zon. Over het

algemeen wordt gezegd dat direct zonlicht eerder hinderlijk is dan positief bijdraagt aan de fotosynthese. Dit komt onder meer dat het directe zonlicht veel meer kortgolvlige straling bevat (warmte) dan de plant nodig heeft. Dit zou ertoe kunnen leiden dat er een oriëntatie afhankelijk dakdek komt, waarbij misschien met name het licht uit het noorden in de kas moet vallen en het licht uit de andere oriëntaties (die dus direct zonlicht kunnen bevatten) geweerd moeten worden. Het behoeft nog de nodige studie om een goede conclusie te kunnen trekken hoe het ideale glasdek eruit moet zien. Tevens moet de relatie licht resp. warmte van kunstlicht vs groeikracht nader onderzocht worden.

In dit stadium is dus moeilijk om aan te geven wat het besparingspotentieel zou kunnen zijn.

6 Conclusies & Aanbevelingen

6.1 Conclusies

Algemeen kunnen we concluderen dat we na het doen van deze studie meer inzicht hebben gekregen in zowel het gedrag van het daglicht als het kunstlicht in een kas. Dit inzicht leidde er echter ook toe dat we gemerkt hebben dat we ook nog over een heel aantal onderdelen en aspecten onvoldoende kennis en inzichten hebben. Deze aspecten zijn nader omschreven in de aanbevelingen.

Het doel van dit onderzoek was om op het gebied van assimilatiebelichting te komen tot een energiebesparing van zo'n 20%. De resultaten wijzen uit dat dit zeker haalbaar is en wel op een aantal onderdelen.

1. Allereerst door het armatuurrendement te verhogen. Dit zal er niet zozeer toe leiden dat er direct minder energie in de kassen verbruikt zal worden, maar wel dat er meer productie per vermogen zal komen. Al met al zal dit een besparing opleveren van zo'n 10%. Tevens zal de levensduur van de lichtbron hierdoor ook verlengd worden.
2. Verder wordt op dit moment in kassen, waar men een gelijkmatige horizontale lichtverdeling over het gewas wil bereiken, vaak 1 type armatuur toegepast. Een armatuur dat met name breedstralend is. De randzones vragen echter om een andere aanpak. Dit om ervoor te zorgen dat deze gebieden ook effectief gebruikt kunnen worden voor productie. Vandaar dat het aan te bevelen is om in de randzones i.p.v. een normaal breedstralend armatuur, een asymmetrisch armatuur toe te passen. Dit geldt ook voor de hoofdpaden. Beide zullen direct tot gevolg hebben dat er minder armaturen geplaatst hoeven te worden, dus minder energieverbruik. We kunnen hier over een besparing spreken van zo'n 15%.
3. Bij hoge draadteelt (met name groentegewassen) is het niet zozeer aan de orde om een gelijkmatige deken van licht over het gewas te maken. Elk blad kan immers een bijdrage leveren aan de fotosynthese. Het lag daarom voor de hand om op zoek te gaan naar een efficiëntere belichtingsmethode, een methode waarbij met name ook het licht tussen het gewas komt en niet alleen op de toppen. De resultaten met tussen belichting geven tot op heden zeer goede resultaten voor de komkommer (zie rapport PPO nog te verschijnen mei 2004). Voordat deze manier van belichten daadwerkelijk in een concept omgezet kan worden is nog extra onderzoek nodig. Daarbij komt dat in de uitgevoerde proeven met name gekeken is naar een mogelijke meeropbrengst van de gewassen met gelijkblijvende energievraag. Hierbij is dus ook uitgegaan van momenteel standaard op de markt verkrijgbare TL-lampen als lichtbron. Door op de plantvraag afgestelde verlichting toe te passen kan hier uit energetisch oogpunt nog een grotere energiebesparing gehaald worden. Aangezien dit verlichtingsconcept nog in de kinderschoenen staat zijn aanzienlijke (tientallen procenten) besparingen mogelijk.
4. Uit de daglichtstudie blijkt dat de vorm van het kasdek nog verbeterd kan worden. Ook hierdoor is een efficiency verbetering mogelijk.

6.2 Aanbevelingen

De gangbare manier van belichting kan nog aanzienlijk efficiënter worden. Dat blijkt uit de resultaten van dit project. Dit is het eerste project na jaren, waarbij vanuit een integrale verlichtingskundige benadering is gekeken naar het licht in kassen. De resultaten geven inzicht in de huidige praktijk en bieden zowel direct als op de iets langere termijn kansen voor aanzienlijke verbeteringen.

- Uit de meetsessie blijkt dat er geen directe correlatie is tussen de verlichtingssterkte in lux en de meten waarden in micromol/m² * s. Met andere woorden als de groei van de planten bepaald wordt door het aantal micromol/m² * s dan heeft het eigenlijk geen zin om nog in lux te rekenen. Daarom zal in de toekomst gebruik moeten worden gemaakt van modellen die geheel in micromol/m² * s rekenen. Een directe meting gecombineerd met implementatie in lichtplannen geeft productieduidelijkheid voor de kweker.
- Uit de berekeningen met Radiance blijkt dat de invloed van de vorm het glasdak en de constructie op de verdeling van zowel dag- als kunstlicht groot is. De door eenvoudige verlichtingsmodellen voorspelde gelijkmatigheid wordt in de praktijk dan ook niet gerealiseerd. De huidige meetmethodes kunnen dit niet zichtbaar maken. De huidige meetmethode moet verbeterd worden om de invloed van kunstlicht en zonlicht vast te leggen.
- Voor verticale teelt (en de mobiele belichting) is er geen goede meet en rekenmethode beschikbaar. Voor berekeningen zijn geometrische plantmodellen nodig en gegevens over de reflectie eigenschappen. Dit is onmisbaar als technieken als tussenbelichting verbeterd moeten worden. Uit de metingen die zijn uitgevoerd volgens gangbare methodes zijn de resultaten van proeven met tussenbelichting niet te verklaren. Wat nodig is, is een nieuwe meetmethode gebaseerd op fotogoniometrische principes die aangeeft hoeveel licht, uitgezonden door de aanwezige bronnen, daadwerkelijk op de relevante delen van het gewas valt en waar het overige licht blijft. Dit laatste is dan van belang bij het zoeken naar optimalisaties want uiteindelijk is het doel een zo hoog mogelijke efficiency dus zoveel mogelijk van het door de lampen uitgezonden licht op het gewas te krijgen. Het armatuurrendement is van belang maar voor de applicatie assimilatiebelichting is systeemrendement belangrijker. Hiervoor ontbreken de meetmethodes, welke dus gerealiseerd moeten worden.

Omdat er bij de productie van lampen, armaturen en elektronica tal van toleranties zijn (zoals bij alle productieprocessen) is er in de praktijk een spreiding in de lichtstroom van armaturen. Dit betekent dat er een mogelijke afwijking van 5-10% op de door fabrikanten opgegeven waarden mogelijk is. Daarnaast is het bij het monteren van lampen mogelijk dat ze niet perfect horizontaal hangen. Ook dit heeft invloed op de lichtverdeling. Alles bij elkaar opgeteld is het dus onmogelijk dat de hoge gelijkmatigheden zoals berekend in de gebruikelijke ontwerpberoeeningen in de praktijk gehaald worden. Als bovendien blijkt uit de Radiance berekeningen (gemaakt voor identieke 'ideale' armaturen die wel waterpas hangen) dat de dakconstructie (kolommen etc.) ook een invloed hebben op de lichtverdeling is het dus ondoenlijk om op basis van metingen in een paar punten uitspraken te doen over het lichtniveau.