

Rapport.

Roadmap voor de transitie naar gewasbelichting met LEDs

Arnhem, 6 december 2008

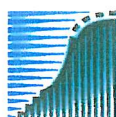
59752807-TOS/TCM 08-7162

Roadmap voor de transitie naar gewasbelichting met LEDs

Arnhem, 6 december 2008

Auteur J.A.F. de Ruijter
KEMA Technical & Operational Services

In opdracht van Productschap Tuinbouw, Ministerie van Landbouw, Natuur
en Voedselkwaliteit en GasTerra B.V.



landbouw, natuur en
voedselkwaliteit



auteur : J.A.F. de Ruijter
B 89 blz.

4 bijl.

09-02-18
MvD

beoordeeld : J.J. de Wolff
goedgekeurd : M.R. de Potter

09-02-20
09-02-20



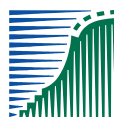
Dit rapport is mede mogelijk gemaakt door GasTerra B.V. en door subsidieverlening door het Productschap Tuinbouw en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit in het kader van het programma Kas als Energiebron (PT-projectnummer 12397).



Productschap



Tuinbouw



landbouw, natuur en
voedselkwaliteit

© KEMA Nederland B.V., Arnhem, Nederland. Alle rechten voorbehouden.

Het is verboden om dit document op enige manier te wijzigen, het opsplitsen in delen daarbij inbegrepen. In geval van afwijkingen tussen een elektronische versie (bijv. een PDF bestand) en de originele door KEMA verstrekte papieren versie, prevaleert laatstgenoemde.

KEMA Nederland B.V. en/of de met haar gelieerde maatschappijen zijn niet aansprakelijk voor enige directe, indirecte, bijkomstige of gevolgschade ontstaan door of bij het gebruik van de informatie of gegevens uit dit document, of door de onmogelijkheid die informatie of gegevens te gebruiken.

De inhoud van dit rapport mag slechts als één geheel aan derden kenbaar worden gemaakt, voorzien van bovengenoemde aanduidingen met betrekking tot auteursrechten, aansprakelijkheid, aanpassingen en rechtsgeldigheid.

INHOUD

blz.

LIJST MET GEBRUIKTE AFKORTINGEN.....	5
SAMENVATTING	6
1 Inleiding	12
1.1 Achtergrond	12
1.2 Doelstelling	14
1.3 Leeswijzer	14
2 Aanpak.....	15
3 Ontwikkelingen / Eisen en wensen / Resultaten Verkenningen.....	18
3.1 Technische ontwikkelingen LEDs (LED-componenten).....	18
3.2 Lopende ontwikkelingen gewasbelichting met LEDs.....	22
3.2.1 Technische ontwikkelingen LED-lampsystemen voor gewasbelichting.....	22
3.2.2 Planttechnische ontwikkelingen / LED-experimenten	25
3.2.3 Systeemtechnische ontwikkelingen / van kas naar industriële teelthallen?.....	29
3.3 Bedrijfseconomische positionering	30
3.4 Eisen en wensen tuinders.....	33
3.5 Gesprekken met deskundigen en leveranciers op gebied van gewasbelichting ..	33
3.6 Classificatie van aandachtspunten ontwikkeling LED-gebaseerde belichting	36
4 Roadmap	41
4.1 "Bestemmingen" in de roadmap	41
5 Actieplan	49
6 Conclusies en aanbevelingen.....	54
6.1 Conclusies	54
6.2 Aanbevelingen	56
LITERATUUR.....	57
Bijlage A Verslag gesprekken met tuinders	59
Bijlage B Vragen enquête	63

Bijlage C	Interactieve themamiddag "Betere gewasbelichting met LED's". Waar staan we?.	
	Waar willen we naar toe?	71
Bijlage D	Lijst van geraadpleegde deskundigen, fabrikanten/ontwikkelaars en andere stakeholders	88

LIJST MET GEBRUIKTE AFKORTINGEN

HD-Na	=	hogedruk-natrium (bepaald type gasontladingslamp dat veel voor assimilatie-belichting wordt gebruikt, waarin een gasmengsel van argon en een damp van natrium geel-oranje licht uitzendt)
HPS	=	high pressure sodium (engelse benaming voor hogedruk-natrium)
IR	=	infra-rood
LED	=	light emitting diode
OLED	=	organic light emitting diode
PAR	=	photo-active radiation (lichtstraling met een golflengte tussen 400 en 700 nm die in planten de energie levert voor de fotosynthese)
PPF	=	photosynthetic photon flux (PAR-lichtstroom in $\mu\text{mol/s}$)
PPFD	=	photosynthetic photon flux density (PAR-lichtintensiteit in $\mu\text{mol/s/m}^2$)
SON-T	=	bepaald type hogedruk-natrium lamp (van Philips). Term wordt ook vaak ook generiek gebruikt voor hogedruk-natrium tuinbouwlampen
TCO	=	total cost of ownership
TL	=	tube light (buisvormige lamp, meestal op basis van het fluorescentie principe)
UV	=	ultra violet

SAMENVATTING

Gewasbelichting speelt in toenemende mate een rol in de glastuinbouw. Het areaal belichte teelt bedroeg in 2006 circa 2300 ha. Het meest wordt er belicht in de snijbloementeel, maar belichting van glasgroente is in opkomst. Gewasbelichting vraagt een flinke investering in een geschikte belichtingsinstallatie en het gebruik ervan brengt een hoog elektriciteitsverbruik met zich mee (circa 60 – 500 kWh/m² per jaar) en - daarmee samenhangend - hoge energiekosten. Maatschappelijk gezien is belichting niet onomstreden, wat vooral te maken heeft met lichtuitstoot naar de omgeving indien onvoldoende wordt afgeschermd gedurende donkere periodes. Zowel uit energetisch, financieel en maatschappelijk opzicht is er behoefte aan een verbetering van gewasbelichting in de glastuinbouw.

Sinds enkele jaren is een nieuw type lichtbron – de high power LED - in beeld om de huidige vormen van gewasbelichting (vooral hogedruknatrium belichting en in mindere mate TL-belichting) op korte tot middellange termijn te vervangen. De bestaande lichtbronnen zijn grotendeels uitontwikkeld, terwijl (high power) LEDs nog volop in ontwikkeling zijn en inmiddels omzettingsrendementen (elektriciteit in PAR-licht) halen die hoger zijn dan bij TL en in de buurt komen van HD-natrium belichting (SON-T). Daarmee bieden deze nieuwe lichtbronnen potentie om de komende jaren flink te gaan besparen op energie. Door de mogelijkheid die LEDs bieden om de voor het gewas optimale golflengtes van het licht te kiezen, kan de benutting van het (kunst)licht door de plant vermoedelijk worden geoptimaliseerd. Dit is gunstig voor het specifieke energieverbruik c.q. de gewasproductie. Verder kan door een geschikte keuze van de golflengtes naar verwachting ook de emissie van licht naar de omgeving worden gereduceerd.

De introductie van een geheel nieuwe belichtingstechnologie in de kas is echter niet vanzelfsprekend. Voor een succesvolle introductie zijn verschillende factoren van belang. Behalve een gereduceerd energieverbruik en minder lichtuitstoot is dat bijvoorbeeld ook de specifieke inpassing in de kas met minimale zonlichtonderschepping en het oplossen van het warmteoverschotprobleem bij zware belichting (hogedruknatrium) of juist een tekort aan stralingswarmte bij lagere (LED-)belichtingsniveaus. Verder moet de nieuwe belichting een klimaat creëren waarin niet alleen de plant goed kan gedijen, maar ook de mens goed (en veilig) kan werken en nuttige insecten hun "werk" kunnen blijven doen. Om de kansen van de nieuwe lichttechnologie uit te nutten, en te komen tot een optimaal aan plant en omgeving aangepaste belichtingssysteem, heeft het Productschap Tuinbouw, het Ministerie van LNV en GasTerra het onderhavige project gesubsidieerd, waarin eisen/wensen worden geïnventariseerd, relevante ontwikkelingen in kaart gebracht worden en maatregelen worden voorgesteld met als doelstelling om een succesvolle transitie te maken van traditionele belichting

naar LED-belichting teneinde hiermee een belangrijke stap te zetten in de richting van energieneutraal telen in 2020. Het doel van het voorliggende project is het in kaart brengen van de ontwikkeldoelen ("bestemmingen") en de mogelijke wegen die kunnen (c.q. moeten) worden afgelegd om tot een versnelde, succesvolle introductie van LED-belichting in de glastuinbouw te komen.

Hiertoe zijn gesprekken gevoerd met diverse "stake-holders" die een rol (kunnen of dienen te) spelen bij zo'n transitie, te weten tuinders, deskundigen op het gebied van gewasgroei met belichting, fabrikanten/leveranciers van LEDs respectievelijk van tuinbouwbelichtings-systemen en beleidsmakers. De relevante items zijn geclassificeerd in een zevental categorieën, te weten:

1. plant en licht
2. LED-lampsystemen
3. LED-componenten
4. mens en licht
5. dier en licht
6. energie
7. LED en economie.

Ten aanzien van de eerste categorie bestaat bij de stakeholders het algemene beeld dat er vooral meer kennis moet komen:

- over welk soort licht optimaal is voor welke toepassing (specifieke golflengtes en verhouding van intensiteiten van verschillende golflengtes)¹
- over hoe dat licht het beste kan worden aangeboden (gericht of juist breed verdeeld, boven en/of tussen het gewas)
- over de vraag of hybride belichting (combinatie van bijvoorbeeld hogedruk natrium en LED-belichting) juist de voorkeur geniet boven een solo-LEDsysteem ("best of both worlds").

Hiertoe dienen er praktijkexperimenten te komen waarin deze kennis systematisch wordt vergaard.

Ten aanzien van "LED-lampsystemen" vragen de toekomstige gebruikers om systemen:

- die een lange levensduur hebben met een voldoende behoud van lichtoutput
- die breed instelbaar/regelbaar zijn (spectrum/intensiteit)
- die weinig lichtonderschepping kennen

¹ Een belangrijke basisvraag hierbij is, of voor assimilatiebelichting één micromol LED-licht (met bijvoorbeeld 95% rood en 5% blauw) even goed is als één micromol HD-Na licht (of mogelijk beter zoals sommige testers van het eerste uur beweren).

- waarbij de lampwarmte kan worden afgevoerd
- waarmee tussenbelichting kan worden uitgevoerd.

Bij "LED-componenten" is het vooral van belang dat er betere (efficiëntere, beter reproduceerbare, minder temperatuurgevoelige) en goedkopere LEDs komen voor die golflengtes die optimaal zijn voor gewasbelichting (raakvlak met items uit categorie 1).

Bij "Mens en Licht" staat vooral het ergonomisch verantwoord en veilig kunnen werken in een kas met LED-belichting centraal.

Bij "Dier en Licht" gaat het met name om insecten in de kas. Kunnen bijen en hommels bij LED-licht de bestuiving goed blijven uitvoeren? Heeft LED-licht invloed op de insectenpopulatie die als biologische bestrijder in de kas wordt ingezet?

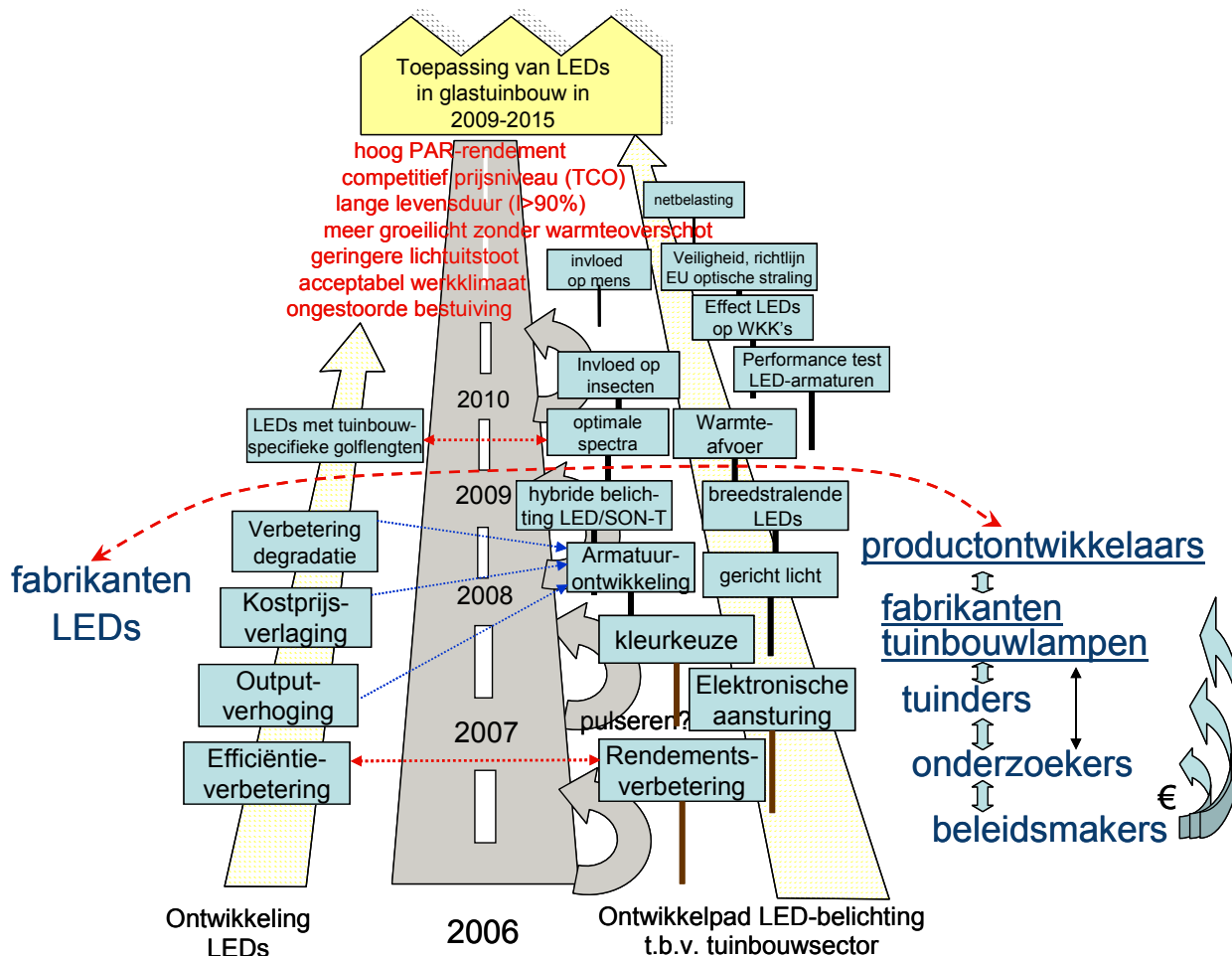
Bij "Energie" gaat het in de eerste plaats om minder elektriciteitsverbruik dan bij momenteel gangbare, vergelijkbare belichting en in de tweede plaats om (her)gebruik van lampwarmte.

Wat betreft "LED en economie" is de belangrijkste eis aan een nieuwe belichtingssysteem dat de "total cost of ownership" (TCO) – vooral bestaande uit energiekosten en kapitaalskosten - lager moet liggen dan bij de nu gebruikte systemen.

Op basis van de uitgevoerde analyses en verkenningen zijn de volgende doelen ("bestemmingen") op de roadmap naar gewasbelichting met LEDs onderscheiden:

- 1 assimilatiebelichting met hoger "PAR-rendement" dan hogedruk-natrium (meer micromolen PAR-licht per eenheid energie en/of meer gewasopbrengst per micromol PAR-licht)
- 2 assimilatiebelichting met competitief prijsniveau (op basis van TCO)
- 3 assimilatiebelichting met langere levensduur met voldoende behoud van lichtoutput
- 4 assimilatiebelichting met hogere groeilichtintensiteit in de kas zonder warmteoverschot (→ meer gewasproductie)
- 5 assimilatiebelichting met geringere lichtuitstoot naar omgeving
- 6 assimilatiebelichting met acceptabel werkklimaat
- 7 assimilatiebelichting met ongestoorde bestuiving.

Als het lukt al deze "bestemmingen" te bereiken, dan is er een goede toekomst voor deze vorm van (assimilatie)belichting weggelegd. Bestemming 1 en 2 zijn essentieel om bij assimilatiebelichting succesvol te kunnen zijn. De overige bestemmingen zijn dringend gewenst. Voor bestemming 5 tot en met 7 kunnen mogelijk "work-arounds" worden ontwikkeld, waarbij de betreffende doelen met aanvulling van andere middelen of op andere tijden - waarbij de belichting niet aan is - kunnen worden gerealiseerd.



Figuur S.1.1 Schematische voorstelling van "roadmap" naar gewasbelichting met LEDs

Ontwikkelaars van LED-lampsystemen voor de tuinbouw dienen de bovengenoemde bestemmingen helder voor ogen te houden bij hun ontwikkelinspanningen. Zij vormen de centrale partij (op dit "speelveld") die het meest direct invloed heeft op het bereiken van de doelen. Zij hebben hierbij een trekkende (bijvoorbeeld blijven vragen aan LED-fabrikanten om betere LEDs van bepaald type) en een sturende rol (welke richting gaan ze op met hun lampsystemen). Ze dienen hierbij te worden ondersteund door onderzoekers (onder andere plantkundigen om de prestaties van het groeilicht op het gewas eenduidig te kwantificeren en entomologen om de invloed op gewenste en ongewenste insecten in de kas vast te stellen). De ontwikkelaars krijgen daarmee feedback om de ontwikkelingen in de juiste richting te sturen. Beleidsmakers met financiële middelen zijn nodig om de benodigde praktijkproeven (op de juiste schaalgrootte) en flankerend onderzoek mee te helpen financieren. Behalve het flankerende onderzoek betreffende insecten in de kas is het ook noodzakelijk om het werken onder LED-licht nader te onderzoeken. Hierbij gaat het om veiligheid (ondere andere bloot-

stelling aan optische straling, waarbij met name blauw licht speciale aandacht dient te krijgen), functionaliteit (kun je de toestand van het gewas en de producten onder licht met beperkte spectrale inhoud goed beoordelen) en het welzijn van de mensen die langer onder dit licht moeten werken.

Teneinde de succesvolle introductie van LEDs in de glastuinbouw te bespoedigen wordt aanbevolen de volgende acties uit te voeren:

1. Uitvoeren van experiment waarbij eenduidig vastgesteld wordt, of de "oude groeilicht-theorie" dat de photosynthetic photon flux density (PPFD, in $\mu\text{mol/s/m}^2$ PAR-licht) bepalend is voor de fotosynthese en de exacte kleur(en) van het PAR-licht eigenlijk niet zoveel uitmaakt, nog steeds geldig is, of dat deze theorie moet worden genuanceerd (c.q. overboord gezet) en het specifieke kleurenspectrum binnen het PAR-gebied toch significant van invloed is.
2. In het laatste geval moet tevens worden vastgesteld, welke kleuren optimaal zijn voor de fotosynthese en groei en of dit plantspecifiek is.
3. Onderzoeken welke andere factoren invloed hebben op de "overall efficiëntie" van LED-licht. Hierbij kan bijvoorbeeld worden gedacht aan:
 - a uittredehoek van LED-licht uit de lichtbron (breed of smal?)
 - b (on)wenselijkheid van stralingswarmte bij assimilatiebelichting
 - c tussen de planten en/of bovenop de planten belichten?
4. Uitzoeken wat het ideale koel- en warmteafvangstconcept is voor LED-lampen en het beste concept voor hergebruik van die warmte.
5. Interesse kweken bij potentiële fabrikanten om LED-belichtingsystemen te gaan ontwerpen voor assimilatiebelichting in kassen (voor zover nog nodig, zie VEGTER, 2007, JAGERS, 2007).
6. LED-fabrikanten verzoeken meer aandacht te besteden aan LEDs die specifiek voor plantengroei zijn geoptimaliseerd (dit kan vanuit de resultaten van het onderzoek uit actiepunt 1 en 2 door onder andere fabrikanten van LED-belichtingssystemen).
7. Fabrikanten van LED-armaturen dienen te zorgen, dat de armaturen voldoen aan de Richtlijn 2006/25/EG van het Europees Parlement en de raad, van 5 april 2006 betreffende minimumvoorschriften inzake gezondheid en veiligheid met betrekking tot de blootstelling van werknemers aan risico's van fysische agentia, onderdeel "kunstmatige optische straling". Uitgaande van deze richtlijn dienen fabrikanten aan te geven onder welke voorwaarden het werken met hun lampen veilig is (en wanneer ook niet).
8. Ontwikkelen van een "meetinstrument" om op objectieve wijze de kwaliteit van de LED-belichting te kunnen meten. Dit is belangrijk opdat een tuinder straks weet wat hij koopt.

Dit meetinstrument dient onder meer de "efficacy"² van het armatuur (en bij voorkeur ook van het complete LED-systeem inclusief voeding en bekabeling) te bepalen, en verder het spectrum van de lichtbron.

9. Het werken in een belichte kas met een beperkt lightspectrum (bijvoorbeeld 95% rood en 5% blauw) dient te worden onderzocht. Hiertoe dient onder andere een functionerings- en belevingsonderzoek te worden uitgevoerd door een ergonom.
10. In praktijkexperimenten vaststellen of bestuiving door hommels en/of bijen door LED-belichting gehinderd wordt en zo ja in welke mate en onder welke omstandigheden.

Een positieve ontwikkeling van de laatste jaren is het feit, dat er inmiddels een flink aantal partijen actief is op gebied van de ontwikkeling van LED-belichting voor de glastuinbouw – waaronder ook nieuwe toetreders –, wat goed is voor een gezonde concurrentie en wat partijen stimuleert om met de beste oplossingen te komen. Het leidt ook tot verschillende belichtingsconcepten, waarbij uiteindelijk de beste(n) zullen komen bovendrijven. Dit hoeft niet één systeem/concept te zijn, maar dit kunnen er meerdere zijn, waarbij de beste keuze(n) waarschijnlijk zal afhangen van de specifieke situatie (soort teelt, gewenst belichtingsniveau, teeltwijze, geheel/gedeeltelijk belicht en dergelijke). Er wordt aanbevolen om als sector systematisch de ervaringen met LED-belichting per teelt(groep) te vergaren en vast te leggen in een goed toegankelijke database met "best practices", wat voorkomt dat het wiel meerdere malen moet worden uitgevonden. Dit bespaart de sector in zijn geheel kosten en zal een succesvolle introductie van LEDs bespoedigen.

² Engelse term die de werkzaamheid of doeltreffendheid aangeeft, in dit geval het aantal PAR-fotonen dat er geproduceerd wordt per seconde per eenheid elektrische energie ($\mu\text{mol/s/W}_e$).

1 INLEIDING

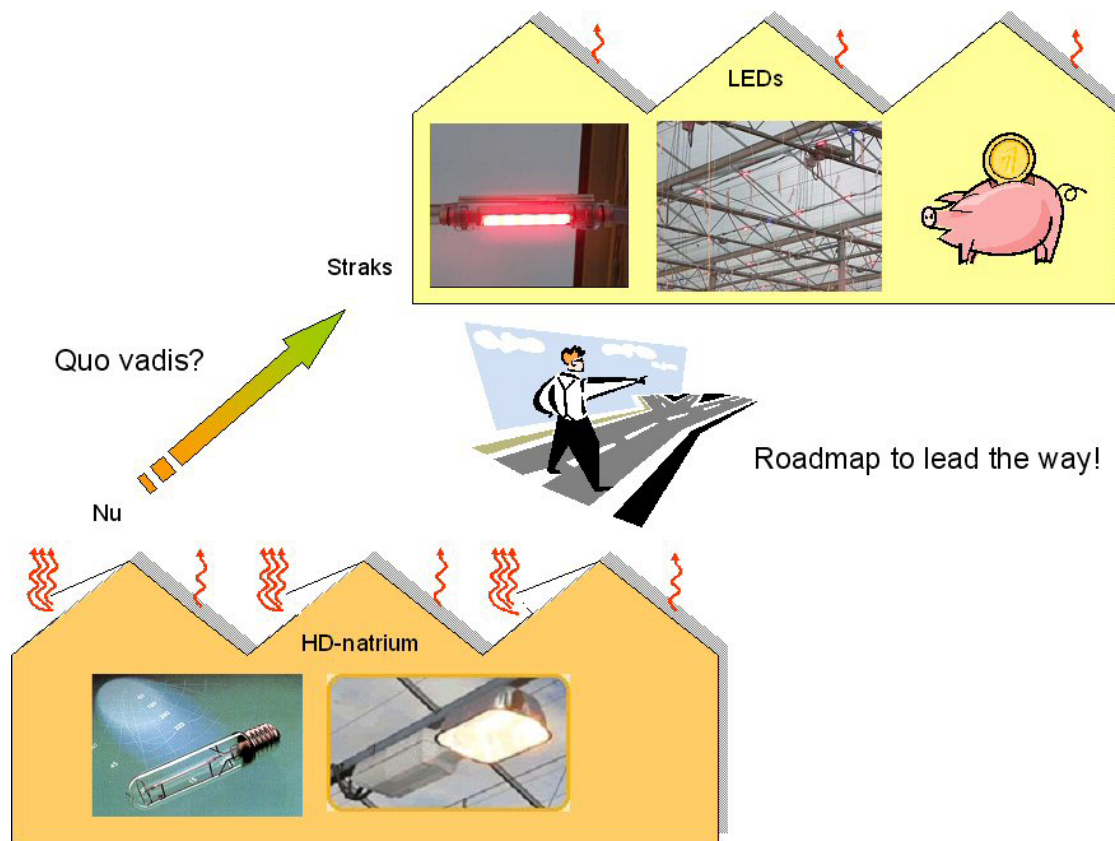
1.1 Achtergrond

Gewasbelichting speelt in toenemende mate een rol in de glastuinbouw. Het areaal belichte teelt in 2006 bedroeg circa 2300 ha. Het meest wordt er belicht in de snijbloementeelt, maar belichting van glasgroente is in opkomst. Belichting vergt op jaarbasis een grote hoeveelheid elektriciteit (ca. 60 – 500 kWh/m²) en legt daarmee een fors beslag op de beschikbare energievoorraden. De verbruikte elektrische energie wordt slechts gedeeltelijk (ordegrootte 31-34% bij hogedruk-natriumlampsystemen) in bruikbaar (PAR-)licht omgezet en merendeels in warmte. De hoeveelheid afgegeven warmte is vaak meer dan nodig is om de kas op temperatuur te houden. Zowel qua kapitaalslasten als qua energieverbruik betekent belichting een flinke kostenpost, die door meer, betere of beter "getimede" productie moet worden terugverdiend. Maatschappelijk gezien is belichting niet onomstreden, wat vooral te maken heeft met lichtuitstoot indien onvoldoende wordt afgeschermd. Zowel uit energetisch, financieel en maatschappelijk opzicht is er behoefte aan een verbetering van gewasbelichting in de glastuinbouw.

Omdat de huidige belichtingsystemen op basis van hogedruk-natriumlampen grotendeels uitontwikkeld zijn, wordt voor een structurele verbetering vooral gekeken naar nieuwe ontwikkelingen op gebied van lichttechnologie. Veelbelovende opties zijn belichtingsystemen op basis van LEDs (light emitting diodes) of OLEDs (Organic light emitting diodes). LEDs en OLEDs zijn de laatste jaren sterk in opkomst als lichtbron en hebben naar verwachting ook potentie voor de glastuinbouw (RUIJTER, 2004, IEPEREN, 2008). Met (high power) LEDs zijn inmiddels omzettingsrendementen (elektriciteit in PAR-licht) te halen die hoger zijn dan bij TL en die in de buurt komen van HD-natriumbelichting (SON-T). Daarmee bieden deze nieuwe lichtbronnen potentie om de komende jaren flink te gaan besparen op energie. Door de mogelijkheid die LEDs bieden om de voor het gewas optimale golflengtes van het licht te kiezen, kan de benutting van het (kunst)licht door de plant vermoedelijk worden geoptimaliseerd. Dit is gunstig is voor het specifieke energieverbruik c.q. de extra gewasproductie door belichting.

De introductie van een geheel nieuwe belichtingstechnologie in de kas is echter niet vanzelfsprekend. Voor een succesvolle introductie zijn verschillende factoren van belang. Behalve een gereduceerd energieverbruik is dat bijvoorbeeld ook minder lichtuitstoot en oplossen van het warmte-overschotprobleem bij zware belichting. Verder moet het een klimaat creëren waarin niet alleen de plant goed kan gedijen, maar ook de mens goed kan werken en nuttige insecten hun "werk" kunnen blijven doen.

Om de kansen van de nieuwe lichttechnologie uit te nutten, en te komen tot een optimaal aan plant en omgeving aangepaste belichtingssystemen, heeft het Productschap Tuinbouw, het Ministerie van LNV en GasTerra het onderhavige project gesubsidieerd, waarin eisen/wensen worden geïnventariseerd, relevante ontwikkelingen in kaart gebracht worden en maatregelen worden voorgesteld om een succesvolle transitie te maken van traditionele belichting naar LED-belichting teneinde een belangrijke stap te zetten in de richting van energieneutraal telen in 2020 (RUIJTER, MARCELIS, 2007). Dit proces is schematisch voorgesteld in figuur 1.1.



Figuur 1.1 Schematische voorstelling van de transitie van klassieke belichting op basis van HD-natrium lampen naar LED gebaseerde belichting

1.2 Doelstelling

Het doel van het onderhavige project is het in kaart brengen van de mogelijke wegen die kunnen (c.q. moeten) worden afgelegd om tot een versnelde introductie van LED-belichting in de glastuinbouw te komen. Hypothese hierbij is dat de toekomst van gewasbelichting niet meer ligt bij HD-natriumlampen maar bij LEDs (de onderbouwing van deze hypothese is opgenomen in de KEMA studie "Verkenning van het perspectief van LEDs voor gewasbelichting in de glastuinbouw, RUIJTER, 2004"). Daartoe zijn zoveel mogelijk relevante aandachtspunten die bij een succesvolle introductie een rol spelen, geïdentificeerd, besproken en gewaardeerd. De verschillende aandachtspunten zijn gerubriceerd naar aard en gerangschikt naar importantie. Waar mogelijk/zinnig zijn ontwikkel- en onderzoeks- (tussen)doelen en acties aangegeven en zijn de spelers/stakeholders geïdentificeerd c.q. gealloceerd. Het eindresultaat ("de roadmap") geeft beleidsmakers en ontwikkelaars handvatten om de verdere ontwikkeling / introductie gericht te sturen, opdat de transitie van conventionele belichting naar energiezuinigere en financieel aantrekkelijkere LED-belichting significant wordt versneld.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de aanpak van het project beschreven. Hoofdstuk 3 schetst de resultaten van de uitgevoerde verkenningen (relevante lopende technische (O)LED-ontwikkelingen, gewasbelichtingstechnische ontwikkelingen, economische positionering van LED-belichting ten opzichte van hogedruk-natriumbelichting). De eisen en wensen aan nieuwe belichtingssystemen gezien vanuit het perspectief van de tuinders, de visie van deskundigen en leveranciers op het gebied van gewasbelichting en een classificatie van de aandachtspunten bij de ontwikkeling van LED-gebaseerde belichtingssystemen). Hoofdstuk 4 beschrijft en bespreekt de bestemmingen in de roadmap. Hoofdstuk 5 behandelt de benodigde c.q. gewenste acties en de actoren om de bestemmingen (sneller) te bereiken. Tenslotte geeft hoofdstuk 6 de conclusies en enkele aanbevelingen.

2 AANPAK

Het project is onderverdeeld in 3 werkpakketten:

1. vergaren van "elementen" van roadmap en structureren hiervan
2. uitvoeren van statuscheck van "autonome" technologieontwikkeling van LEDs
3. uitwerken roadmap en rapportage.

De inhoud van de pakketten is hieronder puntsgewijs beschreven. Tevens is aangegeven welke partijen de werkzaamheden hebben uitgevoerd of daar een bijdrage aan hebben geleverd.

Werkpakket 1: vergaren van "elementen" van roadmap en structureren hiervan. Uitvoering: KEMA in overleg met externe deskundigen. Werkzaamheden:

- opstellen van eerste lijst met relevante ontwikkel- en onderzoeksaspecten en overige aspecten van LED-gewasbelichting
- identificeren en benaderen van externe deskundigen werkzaam op het gebied van gewasbelichting met visie op de ontwikkeling daarvan (fabrikanten/productontwikkelaars, onderzoekers, tuinders, zie lijst in bijlage D)
- individuele gesprekken en discussies met deskundigen over aspecten/aandachtspunten; aanvulling/aanscherping van aspectenlijst
- uit vergaarde informatie en gesprekken destilleren/ontwikkelen van een visie op gewasbelichting met LEDs en het formuleren van gewenste "destination(s)" voor de transitie
- classificatie van aspecten (bijvoorbeeld in de klassen "techniek", "plant", "mens", "dier", "inpassing in kas", "economie")
- opstellen van programma van eisen aan gewasbelichting met LEDs
- rangschikken van ontwikkel- en onderzoeksaspecten naar importantie (o.a. indeling in de subklassen "noodzakelijk", "gewenst", "weinig relevant" e.d.)
- vertalen van belangrijkste aspecten in ontwikkel- en onderzoeksacties (en mogelijk regelgevingsacties) teneinde transitie (binnen bepaald tijdframe) te realiseren (rekening houdend met afhankelijkheden van items)
- zo mogelijk aangeven van een globaal tijdpad hiervoor en ontwikkel(tussen)doelen
- "toewijzen" van aspecten/acties aan stakeholders
- bespreking met klankbordgroep (toetsing).

Werkpakket 2: uitvoeren van statuscheck van "autonome" technologieontwikkeling van LEDs

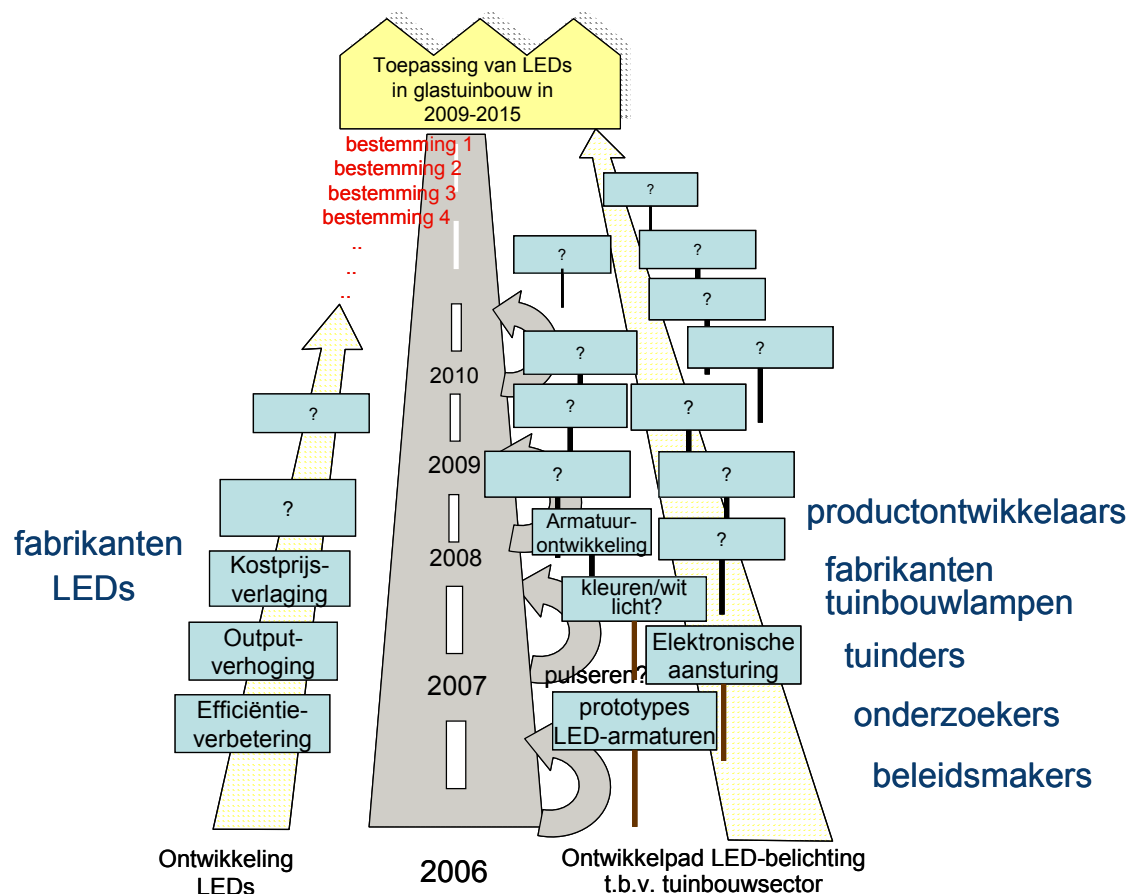
Uitvoering: KEMA in overleg met LED-fabrikanten

- benaderen van en voeren van gesprekken met high-power LED-fabrikanten/ leveranciers; belangrijke punten hierbij zijn ontwikkeldoelen, plannen en verwachtingen in het bijzonder met betrekking omzettingsrendement, lichtoutput en aansturing
- bezoeken aan conferentie/symposium betreffende nieuwe ontwikkelingen in high-power LEDs ("Strategies in Light 2006" / "LED 2007")
- vaststellen van stand van zaken met betrekking tot high-power LED-ontwikkeling (wat betreft op de markt leverbare LEDs plus in het laboratorium gerealiseerde prototypes)
- idee vormen van ontwikkelplannen en timing van toonaangevende fabrikanten van LEDs
- identificeren van actueel prijsniveau voor grootschalige toepassing en zo mogelijk ontwikkeling daarin
- aan de hand van de ontwikkelstatus/plannen van LEDs/LED-armaturen een indicatie geven van de nog te overbruggen kloof tussen LED-belichting en hogedruknatriumbelichting (op basis van **total-cost-of-ownership** rekening houdend met verwachte investeringskosten, energiekosten en levensduur) en de ontwikkeling hierin sinds 2004 (zie ook RUIJTER, 2004).

Werkpakket 3: uitwerken roadmap en rapportage. Uitvoering: KEMA

- beschrijving van relevante aspecten en programma van eisen aan gewasbelichting
- beschrijven van visie op gewasbelichting met LEDs en bestemmingen ("destinations") op de roadmap
- beschrijving van belangrijkste plausibele paden op de roadmap met daarop aangegeven de relevante ontwikkel- en onderzoeksaspecten, acties en stakeholders
- plan met strategische technologische en niet-technologische prioriteiten
- eventuele suggesties voor strategische allianties
- aanbevelingen van acties betreffende (flankerend) onderzoek en ontwikkeling te nemen door de sector ten einde de 'destination' te bereiken
- conclusies en samenvatting.

Figuur 2.1 toont een schematische voorstelling van de roadmap naar gewasbelichting met LEDs. De linkerkant bevat het ontwikkelingsspoor van de LEDs zelf (LED-componenten), de rechterzijde het ontwikkelingspoor van LED-belichtingssystemen voor de tuinbouwsector. Langs beide sporen, zijn de belangrijkste actoren aangegeven. Elk spoor bevat reeds enkele elementen (items), die op voorhand nodig zijn om tot succesvolle systemen in de tuinbouw te komen (zie ook RUIJTER, 2004). De roadmap zal in het vervolg verder worden ingevuld met bestemmingen en gewenste/benodigde acties om in de periode 2009 tot 2015 tot bruikbare systemen te komen.



Figuur 2.1 Schematische voorstelling van de roadmap naar gewasbelichting met LEDs. De linkerkant bevat het ontwikkelingsspoor van de LEDs zelf, de rechterzijde het ontwikkelingspoor van LED-belichting voor de tuinbouwsector. Verder zijn de actoren genoemd, die een rol spelen. De roadmap bevat reeds enkele elementen, die op voorhand nodig zijn om tot succesvolle systemen in de tuinbouw te komen, maar moet nog verder worden ingevuld

3 ONTWIKKELINGEN / EISEN EN WENSEN / RESULTATEN VERKENNINGEN

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de verkenningen uit werkpakket 1 en 2 gegeven. Hierbij zijn tussenresultaten van diverse deelwerkzaamheden geaggregeerd. De belangrijkste tussenresultaten zelf zijn gegeven in de bijlagen. Paragraaf 3.1 behandelt de relevante lopende ontwikkelingen op het gebied van LEDs als component (in het bijzonder van de high power LEDs en OLEDs). Paragraaf 3.2 gaat in op de lopende technische ontwikkelingen rond gewasbelichting met LEDs (prototypen LED-belichtingssystemen) en op experimenten met LED-belichting in de tuinbouw. De bedrijfseconomische positionering van LED-belichting ten opzichte van SON-T belichting wordt geschetst in paragraaf 3.3. De eisen en wensen die bij tuinders leven ten aanzien van (LED-)belichting worden behandeld in paragraaf 3.4 en de visie/verwachtingen bij onderzoekers en leveranciers van tuinbouwbelichtingsystemen in paragraaf 3.5. In paragraaf 3.6 ten slotte worden de verschillende eisen, wensen en aandachtspunten geclassificeerd in een zevental categorieën.

3.1 Technische ontwikkelingen LEDs (LED-componenten)

In deze paragraaf zullen de relevante lopende – autonome - ontwikkelingen rond LEDs beknopt worden besproken. In RUIJTER, 2004 is de ontwikkeling van de lichtoutput en het omzettingsrendement van LEDs over de laatste 40 jaar geschetst en de opkomst van de high power LED in het laatste decennium. Vanaf 2004 is de stormachtige ontwikkeling van high power LEDs doorgegaan.

In tabel 3.1 zijn de prestaties van enkele soorten high power LEDs gegeven (status eind 2006, begin 2007³). Ten opzichte van 2004 is met name het rendement van de witte high power LED sterk verbeterd (circa factor 3,5). Bij de gekleurde (commercieel beschikbare) LEDs, waarvan een aantal kleuren in 2004 een hoger PAR-stralingsrendement liet zien dan witte LEDs, is de toename wat minder: voor groene LEDs factor 2, voor rode LEDs circa factor 1,5, voor amber 1,3, blauw 1,2 en rood-oranje 1,1.

³ Vergelijk deze met tabel 3.1 in DE RUIJTER, 2004. De toename in het rendement van de commercieel verkrijgbare LEDs is (voor de meeste van de genoemde kleuren) aanzienlijk.

Tabel 3.1 Rendementen van verschillende high-power LEDs. De kolom "commercieel" geeft de waarden voor anno 2006/2007 leverbare LEDs. De kolom "laboratorium" geeft waarden die in het laboratorium zijn gedemonstreerd. Voor verlichtingsdoeleinden is vooral het lichtrendement van belang. Voor assimilatiebelichting is het (PAR-) fotonrendement een betere maat. Voor de energieconversie-efficiëntie van elektriciteit in PAR-straling (percentage omgezette energie) is het PAR-stralingsrendement het meest geschikt

Kleur	lichtrendement		PAR-stralingsrendement		(PAR-)fotonrendement	
	commercieel	laboratorium	commercieel	laboratorium	commercieel	laboratorium
	lumen/W _e *)	Lumen/W _e	(W _{PAR} /W _e)*100%	(W _{PAR} /W _e)*100%	(μmol/s)/W _e	(μmol/s)/W _e
Rood	64	82	31,5%	40,4%	1,65	2,12
Rood-oranje	58	92	20,4%	32,3%	1,05	1,67
Amber	45	100	8,4%	19,3%	0,42	0,95
Groen	50	50	8,5%	8,5%	0,38	0,38
Blauw	13,4	15	21,5%	24,1%	0,85	0,95
Wit	114**)	138	34,0%***)	41,3%	1,54	1,86
HD-Natrium (ref.)****)	146 - 149		33 - 39%		1,8 - 1,9	

*) uitgaande van LEDs van nominaal 1W bij een LED-stroom van 350 mA en een junctietemperatuur van 25 °C

**) persaankondiging 24 jan. 2007, commerciële introductie verwacht medio 2007

***) op basis van golflengte karakteristiek van Luxeon V LED

****) ter referentie zijn de rendementen van HD-natriumlampen gegeven (SON-T)

De sterke ontwikkeling van witte LEDs heeft vermoedelijk te maken met het feit dat hier op de wereldmarkt de meeste vraag naar is c.q. hier de meeste toepassingsmogelijkheden voor zijn. Voor assimilatiebelichting is wit licht niet persé nodig. Bij de meeste plantkundigen bestaat het beeld dat het bij assimilatie eigenlijk alleen gaat om het aantal deeltjes PAR-licht ("photo-active radiation" met golflengtes tussen 400 en 700 nm) dat per tijdseenheid en oppervlakte-eenheid op het gewas valt. Vanuit energetisch perspectief is het voor de fotosynthese in principe het meest gunstig om met rood licht te werken, omdat rode fotonen van alle foto-actieve fotonen de laagste energie-inhoud hebben en dus het minste energie kosten

om ze te maken⁴. Uiteraard dient hierbij wel rekening te worden gehouden met hoe goed fabrikanten de techniek voor lichtproductie voor een bepaalde kleur beheersen. Uiteindelijk is het PAR-fotonrendement van de LED, gedefinieerd als de verhouding van de PAR-fotonstroom (in $\mu\text{mol/s}$) en de toegevoerde elektrische vermogen (W_e), de dominante factor in het energieverbruik. Dit wordt ook wel de "efficacy" (of preciezer de "photon-efficacy") genoemd.

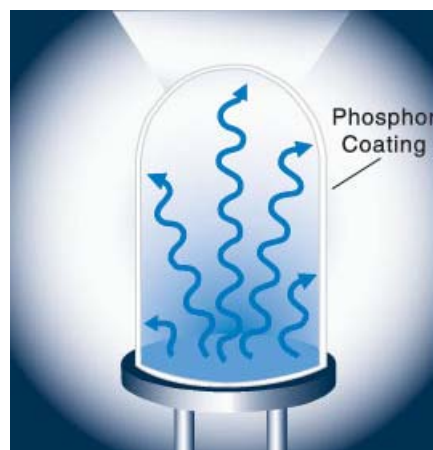
Intermezzo

Witte LEDs kunnen op de volgende wijze worden gecreëerd:

1. door het bij elkaar voegen van ongeveer gelijke intensiteiten licht van de primaire (additieve) kleuren rood, groen en blauw (RGB) wordt de sensatie van wit licht verkregen. Rode, groene en blauwe LED-chips kunnen in één opto-elektronisch ontwerp worden gecombineerd (met één kwadrant rood, twee kwadranten groen en één kwadrant blauw), dat voldoende regelbaar is om de juiste menging en diffusie van kleuren te verkrijgen. Ook kunnen natuurlijk aparte, dicht naast elkaar geplaatste RGB-LEDs worden gebruikt om (op enige afstand van de emitters) wit licht te creëren.
2. door middel van een tussenstap van (relatief) hoog-energetisch licht in het blauwe of zelfs UV-deel van het spectrum. Dit licht valt (gedeeltelijk of geheel) op bepaalde fosforverbindingen die op de binnenzijde in de LED zijn aangebracht, waardoor elektronen worden "aangeslagen" naar een hogere energetische toestand. Na korte tijd vallen deze elektronen terug naar een baan met een lagere energie-inhoud onder uitzending van licht van (meestal) een andere golflengte. De kunst is zodanige fosforverbindingen te vinden en op zodanige wijze aan te brengen, dat zo goed mogelijk wit licht wordt verkregen.



Figuur 3.1 witte LEDs

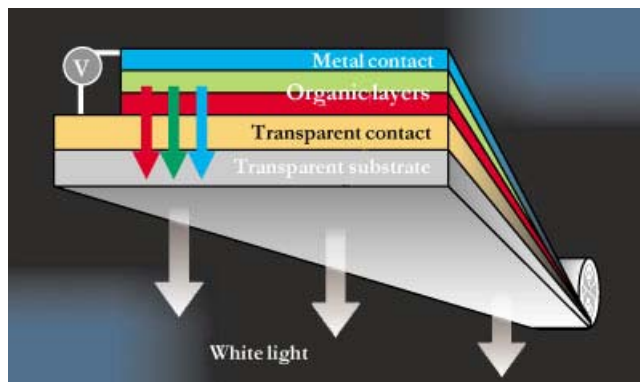


Figuur 3.2 werking witte LEDs met fosfor coating

⁴ Dit geldt ervan uitgaande dat de LEDs een gelijk intern quantumrendement, extractierendement en elektrisch rendement hebben, zie DE RUIJTER, 2004, par. 3.4.1. Met name het intern quantum rendement – de verhouding van het aantal fotonen dat in een LED-chip wordt geproduceerd en het aantal elektronen dat de p-n overgang passeert (bepaald door de LED-stroom) kan voor verschillende kleuren LEDs nog al verschillen. Voor groen/gele LEDs is dat veel minder dan voor bijvoorbeeld rode.

OLEDs

Behalve LEDs op basis van anorganische halfgeleiders (bijvoorbeeld GaAs, gallium arsenide, of GaP, gallium phosphide), is er ook een ontwikkeling gaande naar LEDs op basis van organische halfgeleiders. Men spreekt in dit geval van OLEDs. Geometrisch gezien zijn LEDs min of meer punt-lichtbronnen, terwijl het bij OLEDs gaat om stralers met een groter oppervlak. OLEDs worden dan ook vaak in displays gebruikt. Figuur 3.3 geeft een schematische tekening van de opbouw van een OLED. Een OLED bestaat uit één of meer lagen organisch materiaal ingesloten tussen twee metalen contacten. Minstens één van deze contacten moet transparant zijn om uittrede van het licht mogelijk te maken. Met een geschikte mix van moleculen in de organische lagen kunnen OLEDs wit licht uitzenden.



Figuur 3.3 Schematische opbouw van een OLED en voorbeeld van een OLED paneel (bron General Electric)

De fysica achter de werking van een OLED is vrij gecompliceerd en gaat te ver voor het doel van dit rapport (zie hiervoor bijvoorbeeld BERGH, 2001 en voor een beknopte beschrijving RUIJTER, 2004).

Kenmerken van OLEDs zijn:

- groot oppervlak diffuse lichtbron
- dun, plat en lichtgewicht
- grote vormvrijheid bij ontwerp
- snelle inschakeling en volledig dimbaar (net als gewone LEDs)
- veel kleuren mogelijk, inclusief verschillende soorten wit
- robuust (geen interne bedrading)

- potentieel hoog efficiënt
- groen product (in de zin van energetisch efficiënt en recyclebaar)
- laagspanningstechnologie
- potentieel goedkoop te produceren.

Qua energie-efficiëntie lopen OLEDs nog wat achter bij de LEDs. In het 6-de kader programma van de EU (EU-FP6-IST) loopt sinds oktober 2004 het zogenaamde OLLA project (High Brightness Organic Light Emitting Diodes for ICT & Lighting Applications). Hieraan wordt door 24 partners in 8 landen gewerkt. De focus ligt op OLEDs voor verlichtingstoepassingen. Het einddoel is een lichttegel te ontwerpen met de volgende specificaties:

kleur:	wit
helderheid:	1000 cd/m ²
efficiëntie:	50 lm/W _e
levensduur:	10.000 h
color rendering Index:	> 70
afmeting:	30 cm x 30 cm.

3.2 Lopende ontwikkelingen gewasbelichting met LEDs

Er lopen in de sector inmiddels verschillende initiatieven waarbij LEDs op grotere of kleinere schaal worden beproefd voor gewasbelichtingsdoeleinden, variërend van proeven in klimaatcellen, via meerlagenteelten op Deense karren tot assimilatiebelichting in kassen. Sommige belichtingsystemen zijn door de gebruikers van het eerste uur zelf ontwikkeld, maar er komen steeds meer producten op de markt die kant en klaar kunnen worden gekocht (zie paragraaf 3.2.1). Een overzicht van de meest in het oog springende proeven is gegeven in paragraaf 3.2.2. Paragraaf 3.2.3 geeft een toekomstbeeld van teeltsystemen waar LEDs in de tuinbouw volgens sommigen toe kunnen leiden.

3.2.1 Technische ontwikkelingen LED-lampsystemen voor gewasbelichting

Fabrikanten LED-systemen voor de glastuinbouw

Inmiddels zijn er diverse fabrikanten waar LED-belichtingssystemen voor glastuinbouw kunnen worden gekocht (voor proefbedrijf en/of commercieel bedrijf, voor stuurlicht en/of assimilatiebelichting). Veelal bevinden deze producten zich nog in de prototypefase of de eerste (serie)productiefase.

Fabrikanten op dit terrein zijn onder andere:

- FlowMagic (heeft systemen ontwikkeld voor stuurlicht en meerlagenteelt, maar ook prototypes voor assimilatiebelichting in de kas, zie ook figuur 3.4)
- Lemnis Lighting (vanaf begin 2008 grootschalige proeven voor assimilatiebelichting in kassen, zie ook figuur 3.5 en volgende paragraaf)
- Lioris/Gavita⁵ (vanaf begin 2008 grootschalige proeven in kassen)
- Hortilux Schröder (prototypes vanaf 2007)
- Industria (prototypes)
- Philips (heeft in het najaar van 2008 twee systemen voor tuinbouwtoepassingen geïntroduceerd, het zogenaamde "GreenPower LED string LF" respectievelijk "GreenPower LED module HF" systeem (zie figuur 3.6). De systemen zijn in eerste instantie bedoeld voor meerlagenteelt, maar de LED-module kan ook worden gebruikt als aanvullende belichting in kassen. Philips voert met partners in het teeltseizoen 2008/2009 proeven uit in een tomatenkas met een hybride systeem bestaande uit SON-T aangevuld met LED-tussenbelichting op basis van de LED HF-modules, zie ook volgende paragraaf)
- LED ItFlower (Wateringen), 90 W LED groeilamp
- Aziatische aanbieders, zoals Nano Bio Light (E Light) en Quasar Light Co.



Figuur 3.4 Prototype van watergekoelde ClusterLED® van FlowMagic

⁵ Inmiddels werken Gavita en Lioris niet meer samen (najaar 2008).



Figuur 3.5 Assimilatiebelichtingsysteem van Lemnis Lighting (met rode en blauwe lampen). Het systeem is watergekoeld. De rechter figuur toont een close-up van de rode lamp (Foto Lemnis Lighting)

Bij de meeste fabrikanten is het moeilijk zo niet onmogelijk om gedetailleerde technische informatie te krijgen betreffende de nieuwe belichtingssystemen, omdat die als concurrentiegevoelig/vertrouwelijk wordt beschouwd. Soms worden eigen eenheden ingevoerd, die niet algemeen geaccepteerd zijn⁶. Daardoor is het moeilijk op basis van vrij beschikbare informatie de verschillende systemen op hun merites te beoordelen. Wel zijn (en worden) er sinds december 2007 proeven uitgevoerd met verschillende LED-belichtingssystemen in kassen (zie volgende paragraaf), waarover meer of minder uitgebreid is gepubliceerd.

⁶ Een voorbeeld is de “Lemnis-PAR” die door Lemnis Lighting bij haar belichtingssystemen wordt gehanteerd. De Lemnis-PAR-output van het Lemnissysteem (is volgens de fabrikant) hoger dan de echte PAR-output, omdat hierin verdisconteerd zit, dat het ‘Lemnis-spectrum’ efficiënter zou zijn dan dat van hogedruk natrium licht.



Figuur 3.6 GreenPower LED-string LF (links) en GreenPower LED-module HF (rechts) van Philips (foto Philips). De LED-modules/strings hebben in principe geen extra koeling nodig. Een HF-module met (5) diep-rode LEDs geeft typisch $10 \mu\text{mol/s}$ bij een vermogensconsumptie van $10 W_e$ en heeft daarmee een modulerendement van circa $1 \mu\text{mol/s/W}_e$. De LED-string geeft per meter (10 LEDs) $3,6 \mu\text{mol/s}$ bij een vermogensconsumptie van $2,4 W_e$ en heeft daarmee een stringrendement van circa $1,5 \mu\text{mol/s/W}_e$ (PHILIPS, 2008)

3.2.2 Planttechnische ontwikkelingen / LED-experimenten

Er zijn c.q. worden diverse belichtingsexperimenten met LEDs uitgevoerd:

1. *smalbandige belichting* (STW-project uitgevoerd door WUR). In dit (fundamentele) onderzoek wordt licht met een smal golflengtegebiedje aangeboden aan de plant en het effect hiervan op fotosynthese, groei en plantvorm onderzocht. Dit is een langjarig onderzoeksproject, waarvan de resultaten in 2009 worden verwacht.

Belang van kleuren in licht (DIELEMAN, 2006)

Licht met golflengtes van 400 tot 700 nm wordt door planten gebruikt voor de fotosynthese (PAR licht). Rode straling (600-700 nm) is het meest efficiënt voor de fotosynthese van planten, het draagt bij aan de aanmaak van chlorofyl (bladgroen) en speelt een rol in het fotoperiodisme en fotomorfogenese. Groene straling (500-600 nm) geeft de minste fysiologische respons in planten. Blauwe straling (400-500 nm) draagt bij aan de fotosynthese en aan de fotomorfogenese. Blauw licht is met name van belang voor de vorming van chlorofyl, de ontwikkeling van de chloroplasten, de huidmondjesopening, de aanmaak van enzymen en de 24-uurs cyclus van de fotosynthese en fotomorfogenese. Een verhoogd aandeel van blauw licht in het natuurlijk licht heeft een remmend effect op de celstrekking, waardoor stengels korter worden en bladeren dikker. Omgekeerd heeft een afname van de hoeveelheid blauw licht een toename van het bladoppervlak en de stengelstrekking tot gevolg. De hoeveelheid blauw licht kan niet voor alle plantensoorten ongelimiteerd worden teruggebracht. Te weinig blauw licht kan tot negatieve effecten op de plantontwikkeling leiden. Voor paprika bleek een minimum hoeveelheid blauw licht van $4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ voldoende voor een normale plantontwikkeling (Schuerger et al., 1997). Ook in de winter onder bewolkte omstandigheden wordt dit minimum niveau voor blauw licht ruimschoots gehaald. Uit een onderzoek waarin negen plantensoorten opgekweekt werden in de winter onder kunstlicht in combinatie met natuurlijk licht werd geconcludeerd dat natuurlijk licht ook in de winter voldoende blauw licht bevat voor een normale ontwikkeling van de planten (Cathey & Campbell, 1979).

2. *Hoogfrequent pulserende belichting*: KEMA heeft in 2005/2006 samen met PRI (WUR-Glastuinbouw) een experiment met hoogfrequent pulserende belichting uitgevoerd. Hierbij werd pulserend (LED-)licht gebruikt dat hoog-frequent aan- en uit werd geschakeld en dat verder de zelfde aan-intensiteit had als de continue LED-belichting. Het bleek dat bij de pulserende belichting de planten (sla) per eenheid energie efficiënter met het licht omgingen dan bij de continue belichting. In 2007 is een vervolgonderzoek uitgevoerd, waarbij hoog-frequent pulserende belichting werd gebruikt, die dezelfde lichtsom had als de (referentie) continue belichting (dit betekent dat de aan-intensiteit bij de pulsbelichting, hoger was dan bij de continue belichting). Bij dit experiment bleek dat onder deze omstandigheden de fotosynthese en de groei bij beide vormen van belichting niet significant verschilden. De conclusie was dat bij pulserende belichting meer het effect van de lichtsom bepalend was voor fotosynthese en groei dan de pulseigenschappen (RUIJTER, 2008). (Wat betreft de kwaliteit van het product sla bij LED-belichting: de planten waren op zich goed, alhoewel in de laatste week van het experiment wat "rand" is opgetreden. Het is echter niet vastgesteld, dat dit een effect is van de LED-belichting. Morfologische verschillen: de vorm van de slaplanten was iets anders dan onder HID-lampen (high intensity discharge); bladeren bij HID staan wat verder naar buiten).
3. Diverse experimenten bij individuele tuinders ten behoeve van bijvoorbeeld *weefselkweek in klimaatcellen en opkweek op Deense karren (meerlagenteelt)*. De resultaten hiervan zijn vaak niet publiekelijk bekend gemaakt.
4. Eind 2007/begin 2008 zijn verschillende *LED-experimenten in productiekassen* van start gegaan:

- a tomaat, o.a.
 - i Red Star Trading, Van der Kaaij, Tinte, proef met 8500 m² LED-belichting (Lemnis Lighting)
 - ii Royal Pride, Agriport A7, 480 m² met lampen van Lemnis Lighting
 - iii Van Ruijven, Tinte (Lemnis Lighting)
 - iv Kwekerij Arkse, Tinte (Lemnis Lighting)
 - v van der Lans, Rilland, Zeeland (80 m², LED-armaturen van Lioris/Gavita boven gewas, tussen traditionele lampen)
- b komkommer
 - i Hartman Sexbierum (LEDS van FlowMagic tussen komkommergewas)
- c paprika
 - i Wim en Stephan Dingemans, Vierpolders (testen op 1000 m² met verschillende belichtingsniveau's en rood/blauwverhoudingen, Lemnis Lighting)
 - ii Kwekerij de Wieringermeer, Middenmeer (Lemnis Lighting)
 - iii Jack Ablas, Kwintsheul (beproeft strips met LEDs van FlowMagic dicht boven gewas)
- d cressen en seekraal, Koppert Crest, Monster (Lemnis Lighting)
- e potroos, Leo van der Harg, Vierpolders (Lemnis Lighting)
- f roos
 - i Van den Berg, Delfgauw (Lioris/Gavita)
 - ii Zuurbier, Heerhugowaard (640 m², Lemnis Lighting)
- g Phaleonopsis, Schoone Orchideeën BV, Assendelft (Lemnis Lighting)
- h Plantenopkweek, Grootscholten CV, Vierpolders
- i Gerbera, Eeuwes, Bemmelen (Lioris/Gavita)

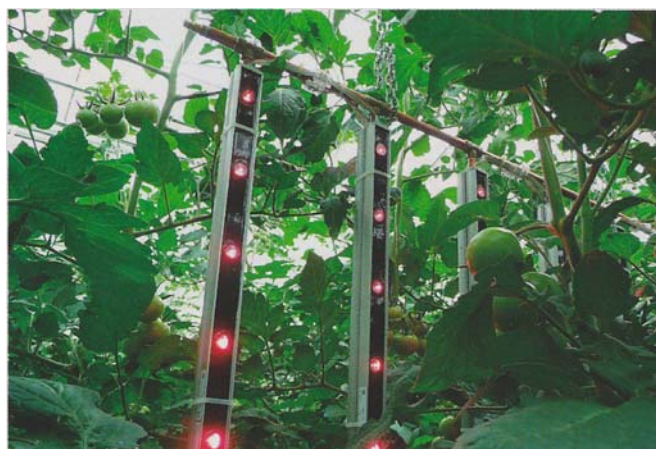


Figuur 3.7 Impressie van belichtingsproef bij Royal Pride (Lemnis Lighting)

De grootschalige experimenten zijn deels door WUR-Glastuinbouw of DLV-plant gemonitord. Van een aantal experimenten zijn de resultaten gepubliceerd (zie o.a. ENERGIEK2020, VAATE)⁷. Na de eerste kasexperimenten is duidelijk geworden, dat de verwachting van sommige leveranciers, dat met LEDs bij een belichtingsintensiteit (in $\mu\text{mol/s/m}^2$) van slechts $\frac{1}{4}$ à $\frac{1}{5}$ van wat er bij SON-T gebruikelijk is, eenzelfde gewasgroei kan worden gerealiseerd, veel te optimistisch was. Bij dit lage lichtniveau "deden" de gewassen in veel gevallen volstrekt onvoldoende. Als oorzaken werden behalve de lage PPFD ook het ontbreken van stralingswarmte genoemd. Bij sommige proeven is de LED-belichting weggehaald (en de SON-T teruggeplaatst) en op andere proeflocaties is de LED-intensiteit verdubbeld. Zelfs dat laatste is waarschijnlijk nog onvoldoende. In het teeltseizoen 2008/2009 zullen proeven met een wederom verdubbeld niveau worden uitgevoerd (o.a. Lemnis bij Red Star Trading, circa 90 à 95 $\mu\text{mol/s/m}^2$ en bij Zuurbier met ongeveer een zelfde belichtingsniveau).

5. In teeltseizoen 2008/2009 zal ook Philips samen met Lights Interaction en installateur Van der Laan bij tomatenkweker Dekker Glas Cultures een LED-belichtingsproef uitvoeren op 700 m² tomaat. Hier wordt een hybride concept beproefd, waarbij SON-T belichting boven het gewas hangt en tussenbelichting met LEDs wordt uitgevoerd. Door het ontbreken van stralingswarmte lijkt deze laatste lichtbron daarvoor bij uitstek geschikt (bij SON-T is bij tussenbelichting de grote hoeveelheid stralingswarmte vaak een bottleneck). Voor de LED-belichting zullen de recentelijk geïntroduceerde "GreenPower LED modules HF" worden gebruikt. In totaal wordt er 125 $\mu\text{mol/s/m}^2$ geïnstalleerd, waarvan de helft afkomstig is van SON-T boven het gewas en de andere helft van LED-modules tussen het gewas (zie figuur 3.8). De proef wordt vergeleken met een afdeling met hetzelfde totale belichtingsniveau bovenop het gewas via SON-T. De resultaten worden aan het einde van het belichtingsseizoen (april/mei 2009) verwacht.

⁷ De LED-proef bij Red Star Trading op 8500 m² hebben enkele voorlopige resultaten opgeleverd. De afdeling belicht met LED's bleek bij een lichtniveau van circa 20 $\mu\text{mol/s/m}^2$ tot en met week 16 op 50% van de meerproductie van de afdeling met SON-T lampen te komen met ca 100 $\mu\text{mol/s/m}^2$. Dit suggereert dat belichting met de LEDs (per foton) mogelijk efficiënter is geweest, dan die met SON-T. Voorzichtigheid is echter geboden, omdat naast het grote verschil in PPFD ook de plantdata 24 dagen verschilden en de start van de belichting anders was (bij LED: plantdatum 15 december, LEDs aan 19 januari; bij SON-T plantdatum 8 januari, lampen direct aan). Voor goed vergelijkbare resultaten moet de proef anders worden opgezet: bij voorkeur gelijke PPFD, gelijke plantdatum en belichtingsregime. In het teeltseizoen 2008 wordt de proef bij RED Star Trading anders opgezet. Er wordt dan circa 90 à 95 $\mu\text{mol/s/m}^2$ LED licht geïnstalleerd.



Figuur 3.8 Impressie van LED-tussenbelichting met GreenPower LED-module HF van Philips in pretest-fase. Er is in deze opstelling geen extra actieve koeling van de LED-modules nodig

3.2.3 Systeemtechnische ontwikkelingen / van kas naar industriële teelthallen?

LED-belichting maakt het mogelijk om betere meerlagenteeltsystemen te realiseren (zie figuur 3.9). Ten opzichte van het alternatief met TL-belichting kunnen bij LEDs de belichtingsomstandigheden veel beter worden gecontroleerd, is er als gevolg van het hogere lichtrendement energiebesparing mogelijk en is er minder last van een warmteprobleem (aan dat laatste draagt met name ook het lagere aandeel stralingswarmte bij).

De onderneming PlantLab, die met LED belichte klimaatruimten, variërend van kasten en kamers tot complete productiehallen op de markt gaat brengen, ziet hierin grote mogelijkheden voor de toekomst (BLIJKER, 2008). Deze industriële wijze van produceren maakt het volgens Plantlab straks mogelijk (via de controle van ruimtetemperatuur, worteltemperatuur, luchtvochtigheid, CO₂, lichtintensiteit, lichtkleur, watergift en EC) om variabelen als groei, oogsttijd, kwaliteit, smaak en bewaarbaarheid strak te programmeren. Bovendien kunnen de klimaatruimten overal worden toegepast. In PlantLab nemen onder andere deel ingenieursbureau Croppings, Snijders Scientific en Reftech. In Japan zijn al verschillende industriële teelthallen gerealiseerd (onder andere voor sla).



Figuur 3.9 Meerlagenteelt op Deense kar met LED-belichting (foto Flow Magic)

3.3 Bedrijfseconomische positionering

In deze paragraaf wordt geschetst hoe de kosten van LED-belichting zich de laatste jaren hebben ontwikkeld ten opzichte van die van hogedruknatriumbelichting. Dit geeft een indicatie hoever LED-belichting in bedrijfseconomische zin nog van de HD-Na belichting is verwijderd. Het gaat hierbij in principe om de total cost of ownership (TCO). De TCO van een belichtingssysteem bestaan uit:

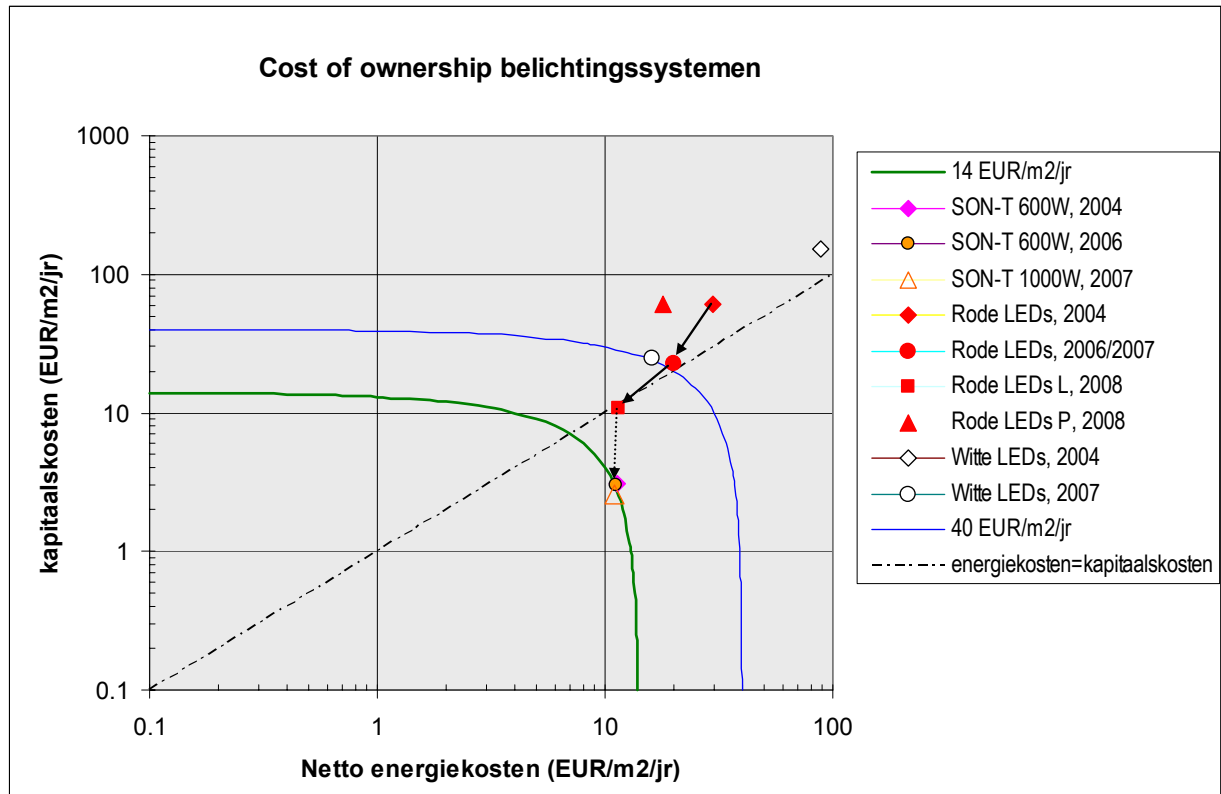
- kapitaalskosten
- bedrijfsvoeringskosten (vooral extra elektraverbruik)
- onderhoudskosten.

De eerste twee kosten zijn verreweg het grootste. Voor een bepaalde doorsnee (assimilatie) belichtingssituatie zijn de kapitaals- en bedrijfsvoeringskosten in beeld gebracht. Hierbij zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- groeilichtniveau van ca. $77 \mu\text{mol/s/m}^2$ (hogedruk natrium licht ≈ 6000 lux)
- aantal belichtingsuren: 4000 jaar
- gemiddelde elektriciteitscommodityprijs: 0.07 EUR/kWh
- gascommodityprijs: 0.22 EUR/m³
- afschrijving HD-Na lampen: 3 jaar
- afschrijving HD-Na armaturen: 10 jaar
- afschrijving LED-lampsysteem: 11 jaar
- rente: 5%.

In figuur 3.10 zijn voor verschillende belichtingssystemen de bedrijfsvoeringskosten (netto-energiekosten) op de horizontale as en de kapitaalskosten op de verticale as uitgezet. In de bedrijfsvoeringskosten zijn meegenomen de elektriciteitskosten voor belichting minus de besparing op gasverbruik door de extra warmteinstraling/afgifte in de kas door de belichting (waarbij aangenomen is dat 50% van die warmte nuttig wordt gebruikt).

In de figuur zijn naast de hogedruk-natrium groeilichtsystemen gebaseerd op 600 W/400 V lampen voor 2004 en 2006 en 1000 W voor 2007, ook ramingen voor hypothetische LED-assimilatiebelichtingssystemen weergegeven, gebaseerd op rode LEDs respectievelijk witte LEDs voor componenten zoals die in 2004 respectievelijk 2006/2007 verkrijgbaar waren. Verder zijn ook van twee reële, in ontwikkeling zijnde systemen van rode LED-belichting kostenindicaties gegeven voor 2008. De grafiek heeft logaritmische assen. Ter referentie zijn in de grafiek twee lijnen getrokken waarbij de totale kapitaalskosten + netto-energiekosten gelijk zijn aan 14 EUR/m²/jr (dikke groene lijn) respectievelijk 40 EUR/m²/jr (blauwe lijn).



Figuur 3.10 Diagram met de cost of ownership van diverse lampsystemen (stand van de techniek in verschillende jaren), geldend bij een PPFD van circa $77 \mu\text{mol/s/m}^2$, een gemiddelde commodity elektriciteitsprijs van 0.07 EURct/kWh en een gascommodity prijs van 0,22 EUR/m². Horizontaal staan de netto-energiekosten (EUR/m²/jr) uit en verticaal de kapitaalskosten (EUR/m²/jr). De gebogen lijnen zijn lijnen met een vaste som van kapitaalskosten + netto-energiekosten $\approx$ total cost of ownership) van 14 respectievelijke 40 EUR/m²/jr. Bij SON-T zijn de energiekosten hoger dan de kapitaalskosten. Bij LED's zijn de kapitaalskosten anno 2006/2007 en 2008 hoger en in het beste geval ongeveer even hoog als de energiekosten, maar de totale kosten zijn nog aanzienlijk hoger dan die van SON-T

Uit de figuur blijkt het volgende:

- Hoge-druk natriumlampen van 2004 en 2006 zitten dicht bij elkaar. De bedrijfsvoeringskosten zijn in 2006 iets lager, omdat er sinds 2005 elektronische voorschakelapparaten zijn, die iets minder elektriciteit verbruiken.
- Rode-LEDs gebaseerde LED-systemen zijn zowel qua netto-energiekosten als kapitaalskosten aantrekkelijker geworden in vergelijking met eerdere jaren (van total cost of ownership van circa 90 EUR/m²/jr in 2004 naar 43 EUR/m²/jr in 2006/2007 en (mogelijk) circa 22 EUR/m²/jr eind 2008⁸).

- Als de ontwikkeling zich verder doorzet dan worden rode LED-lampen binnen enkele jaren een geduchte concurrent voor de hogedruk-natriumbelichtingssystemen (zie rode vierkant (gebaseerd op – nog onbevestigde - gegevens voor energieverbruik en investering verstrekt door Lemnis⁸). Daarvoor moet nog een gat in de total cost of ownership van circa 8 EUR/m²/jr worden goedgemaakt (gestippelde pijl). Het perspectief is er zeker als mocht blijken, dat het rode LED-licht op plantniveau per μmol qua fotosynthese twee keer of meer efficiënter zou zijn dan HD-Na PAR-licht, zoals Lemnis verwacht (VELZEN, 2008). Overigens zijn andere leveranciers een stuk minder optimistisch (VISSER, 2008). Figuur 2.1 toont (aangegeven door een rode driehoek) ook een globale raming van energiekosten en kapitaalkosten op basis van een recentelijk door een grote fabrikant van tuinbouwbelichtingssystemen geïntroduceerd LED-systeem waarvan wel een specificatieblad is verstrekt (en een mondeling genoemd investeringscijfer). De totale jaarlijkse kosten voor de hierboven gespecificeerde case komen voor dat systeem uit op circa 77 EUR/m² per jaar. Dit is nog ver verwijderd van de circa 13,5 à 14,5 EUR/m²/jr voor SON-T verlichting.
- Witte-LED gebaseerde belichtingssystemen zijn zowel qua netto-energiekosten als kapitaalskosten tussen 2004 en 2007 zeer veel aantrekkelijker geworden (van total costs of circa 242 EUR/m²/jr naar 41 EUR/m²/jr).
- Bij de witte LED-systemen liggen de kapitaalskosten (anno 2007) nog steeds boven de energiekosten (bedrijfsvoeringskosten); bij hogedruk-natrium zijn de kapitaalskosten aanzienlijk lager (circa 27% van de energiekosten).
- Als de ontwikkeling van witte LEDs zo doorgaat dan kunnen ze ook binnen enkele jaren een geduchte concurrent voor de hogedruk-natrium belichtingssystemen worden. Daarvoor moet nog een gat in de total cost of ownership van circa 40 EUR/m²/jr naar circa 14 EUR/m²/jr worden goedgemaakt.
- Figuur 4.1 is vooral indicatief bedoeld, waarbij het er om gaat de LED-belichting op hoofdlijnen te positioneren ten opzichte van hogedruk-natriumbelichting en hierin de ontwikkeling in de tijd te laten zien.

⁸ Lemnis gaf (najaar 2008) aan met haar LED-systeem een belichtingsniveau van circa 90 $\mu\text{mol/s/m}^2$ te kunnen installeren voor circa 100 EUR/m². Wat betreft het energieverbruik zijn er nog geen cijfers van onafhankelijke derden die de geclaimde hoge efficiëntiecijfers van de LED-armaturen van Lemnis kunnen bevestigen (ook is er nog geen officieel specificatieblad beschikbaar gesteld). Bij andere fabrikanten liggen de investeringen voor zo'n lichtniveau nog ongeveer een factor 5 à 7 hoger, bij een systeem-efficacy van ongeveer 2/3 van die bij Lemnis. De verschillen zijn zo groot, dat objectieve toetsing gewenst is.

3.4 Eisen en wensen tuinders

Om een beter beeld te krijgen van de eisen en wensen die bij tuinders leven ten aanzien van gewasbelichting zijn één-op-één gesprekken gevoerd met gevarieerde groep, belichtende tuinders met verschillende teelten (o.a. roos, potplanten, freesia, tomaat, komkommer, aardbei). Hierbij is zowel gevraagd naar ervaringen met belichting als eisen en wensen voor de toekomst. Een beknopt verslag van de gesprekken is opgenomen in bijlage A. Uit de gesprekken zijn als belangrijkste punten naar voren gekomen:

- licht is slechts één van de componenten in de set van productiefactoren die een tuinder wil / moet beheersen. De vakbekwaamheid van de tuinders komt tot vooral uiting in de beheersing van de complexe logistiek van productie volgens vraagpatronen
- de huidige standaard voor actieve belichting zijn hoge-druk natriumlampen van 600 – 1000 W
- (additioneel kunst-) licht wordt vooral ingezet als groeilicht (assimilatiebelichting), en minder als stuurlicht
- de intensiteit van gewasbelichting loopt sterk uiteen van ca 2,500 – 15.000 lux (ca 33-200 $\mu\text{mol/s/m}^2$)
- regelmogelijkheden zijn beperkt tot aan/uit, vaak in 2 groepen
- voorkeur voor maximaal licht uit de lamp (versus bijvoorbeeld langere levensduur, maar minder licht)
- de meeste gesproken tuinders hebben geen onoverkomelijk problemen met de warmteafgifte van assimilatiebelichting
- gewasbelichting is een serieuze kostenpost. Zowel de afschrijving van de investering (lampen, armaturen, elektronica inclusief de aansluiting) als de verbruikskosten spelen een belangrijke rol. Bij de economie gaat om de "total cost of ownership" (TCO)
- verbetering van de lichtopbrengst per geïnvesteerde en verbruikte EURO is zeer welkom.

3.5 Gesprekken met deskundigen en leveranciers op gebied van gewasbelichting

Aan de hand van literatuurstudie, een enquête en één-op-één gesprekken met deskundigen / stakeholders op het gebied van gewasbelichting en een themamiddag over gewasbelichting met LEDs is een beter beeld gevormd van de behoeften, de verwachtingen en ontwikkelingen ten aanzien van toekomstige gewasbelichting. De deskundigen / stakeholders betroffen:

- onderzoekers (op gebied van plant en licht, planten en insecten en lichtopwekking)
- leveranciers van (LED-)componenten en (tuinbouw)belichtingssystemen

- productontwikkelaars (die op basis van nieuwe lichtbroncomponenten, met name high power LEDs, nieuwe producten ontwikkelen of willen gaan ontwikkelen).

De enquête is (in 2006) gehouden onder 7 leveranciers van belichtingssystemen (bestaande en mogelijk toekomstige nieuwe). 6 van de 7 bedrijven hebben de enquête ingevuld en geretourneerd. De gestelde vragen zijn opgenomen in bijlage 2. De resultaten van de enquête zijn anoniem verwerkt. De belangrijkste resultaten zijn hieronder gegeven⁹.

- 4 van de 6 respondenten zijn bezig met de ontwikkeling van LED-gebaseerde belichtingssystemen en 2 hebben plannen om hier mee bezig te gaan
- 2 bedrijven richten zich hierbij op stuurlicht, 4 op assimilatiebelichting en 1 op beide toepassingen
- belangrijkste verwachte problemen bij de ontwikkeling van LED-belichtingssystemen in volgorde van afnemende belangrijkheid (met tussen haakjes vermeld het aantal respondenten dat dit antwoord gaf)
 - realiseren van acceptabel prijsniveau (5x)
 - voldoende hoog PAR-rendement ($\mu\text{mol/s/We}$) (3x)
 - afvoeren van warmte (2x)
 - (economische) levensduur (1x)
- is het bestaande verkrijgbare gamma LED's groot genoeg:
 - nee (3x)
 - ja (1x)
- wat mist u?
 - nog niet goed bekend (2x)
 - bepaalde kleuren (1x)
 - confidentieel (1x)
- bottleneck huidige LEDs als lichtbron voor tuinbouwlampen:
 - omzettingsrendement (4x)
 - lichtoutput per LED (4x)
 - prijs per LED (3x)
 - degradatie van de LED
- grootste verwachte problemen van LED-lampssystemen bij inpassing in de kas
 - voldoende intensiteit realiseren (3x)

⁹ Ten aanzien van sommige vragen hebben enkele partijen aangegeven dat het confidentiële informatie betrof, die men voor het onderzoek niet prijs wilde geven. In de resultaten is steeds tussen haakjes aangegeven hoe vaak partijen een (gelijkluidend) antwoord hebben gegeven. Bedenk dat de score hoger zou kunnen zijn, als ook de opvatting van de "confidentieel" stemmende partijen had kunnen worden meegenomen.

- koeling van LEDs (2x)
- confidentieel (2x)
- welke kleuren bent u van plan toe te passen?
 - nog niet bekend (2x)
 - single kleur (1x)
 - spectrum (1x)
 - single kleur, spectrum, wit, UV, verrood, infrarood (1x)
- welk flankerend onderzoek is in uw ogen nodig op plantkundig gebied?
 - optimale kleuren voor assimilatiebelichting (2x)
 - optimale verhouding van kleuren (2x)
 - plantrespons op lichtkleur (1x)
 - effect bijzondere wijzen van belichting (bijvoorbeeld pulseren)
- welk flankerend onderzoek is in uw ogen nodig op het gebied van LED's of lamp-systemen?
 - ontwikkeling efficiëntere LEDs (3x)
 - benutting van LED-warmte (2x)
 - LED's met hogere output per LED (2x)
 - LED's met langere levensduur (2x)
 - geringere temperatuurafhankelijkheid van LEDs (1x)
- welk flankerend onderzoek is in uw ogen nodig op het gebied van invloed van LED-lamp-systemen op de omgeving?
 - lichtuitstoot naar buiten (1x)
 - invloed van LED-licht op mens en insecten in de kas
- wie moet dit onderzoek oppakken?
 - collectief onderzoek (PT/LNV) (5x)
 - lampleverancier/productontwikkelaar met tuinder (3x)
 - lampleverancier/productontwikkelaar (2x) → t.a.v. efficiëntere LEDs en LEDs met hoger output per LED
- wordt introductie van LED-gebaseerde belichting door onderzoek versneld:
 - ja (4x) (2 à 5 jaar)
 - nee (1x)
- welke ontwikkeling verwacht u nog bij klassieke assimilatiebelichting:
 - toename fotonrendement (2x) (10 à 20%)
 - lampen met langere levensduur (2x)
 - verbetering regelbaarheid (2x)
 - lampen met beter spectrum (1x)
- prijsniveau assimilatiebelichting

- huidige lampen: 0,02 – 0,03 EUR/ μ mol/s (1x)
- lampsysteem: 0,1 – 0,2 EUR/ μ mol/s (1x)
- acceptabel prijsniveau voor toekomstige LED-systeem: vergelijkbaar met 1000 W HD-natrium systeem op basis van total cost of ownership (TCO) (2x)
- verwacht u dat LEDs een rol zullen spelen bij het reduceren van lichthinder?
 - ja (5x), want gericht licht (5x), minder lumen door geschikte kleurkeuze (1x), schermen beter bruikbaar (bij goede warmtebeheersing) (1x)
- denkt u dat met de komst van LED-belichting meer/evenveel/minder tuinders gaan belichten:
 - bij stuurlicht:
 - meer (2x)
 - evenveel (2x)
 - bij assimilatiebelichting:
 - evenveel (3x)
 - meer (2x met “?”), hangt sterk af van TCO
- wat is (zijn) in uw ogen het belangrijkste criterium(-a) van een tuinder om straks voor LED-belichting te kiezen:
 - TCO (5x)
 - omzettingsrendement (3x)
 - regelbaarheid (3x)
 - specifiek lichtspectrum (3x)
 - specifieke kleuren (2x)
 - geringe warmteproductie (2x)
 - lichtoutput per armatuur (1x)
- is het in uw ogen belangrijk dat er subsidie/fiscaal voordeel komt voor de toepassing van LEDs? Zo ja aan welke regelingen denkt u?
 - MIA (Milieu-Investeringsaftrek): (6x)
 - EIA (Energieinvesteringsaftrek): (5x)
 - energiepremie(-achtig): (4x)
 - groenlabelkas (2x).

3.6 **Classificatie van aandachtspunten ontwikkeling LED-gebaseerde belichting**

Zoals in de vorige paragrafen (3.4 en 3.5) is aangegeven, is in de gesprekken / communicatie met tuinders en andere stakeholders een groot aantal aandachtspunten genoemd, die van belang (kunnen) zijn om LED-gebaseerde belichting optimaal toe te snijden op de tuin-

bouwtoepassing en de mogelijkheden optimaal uit te nutten. Voor de overzichtelijkheid zijn deze gerubriceerd in een 7-tal categorieën:

- 1 plant en licht
- 2 LED-lampsystemen
- 3 LED-componenten
- 4 mens en licht
- 5 dier en licht
- 6 energie
- 7 LED en economie.

Tijdens een themamiddag rond gewasbelichting met LEDs is getracht de belangrijkste aandachtspunten in elk van de categorieën "boven water" te krijgen.

Themadag "gewasbelichting met LEDs" / interactieve discussie met stakeholders

Om een beter beeld te krijgen van de wensen en verwachtingen die bij tuinders en leveranciers van tuinbouwbelichtingssystemen (en productontwikkelaars en onderzoekers op dit gebied) leven ten aanzien toekomstige gewasbelichting, is de mening van de deelnemers aan een themamiddag rond het onderwerp "LEDs in de glastuinbouw", gehouden op 12 oktober 2006, gepeild (= responsgroep). Na inleidende presentaties (zie bijlage C) werd hiertoe steeds een aandachtspunt rond belichting in een bepaalde context gezet (bijvoorbeeld in de vorm van een stelling) en konden de deelnemers aangeven of ze het eens of oneens waren met de stelling (of ten aanzien van dat punt geen mening hadden). Van andere punten werd gevraagd, of men het punt "heel belangrijk", "belangrijk" of "weinig belangrijk" vond.

Op basis van de verzamelde tellingen van de stemmingen tijdens de interactieve discussie is een Excel-bestand opgesteld, dat behulpzaam was om inzicht in de resultaten te verkrijgen (zie bijlage C, eind). De conclusies die aan de hand van de balken-grafieken met stemuitslagen per aspect zijn getrokken, zijn in deze paragraaf samengevat. Bij de interpretatie dient rekening te worden gehouden met de samenstelling van de responsgroep. Deze bestond uit circa 14 productontwikkelaars/tuinbouwlampleveranciers, 2 tuinders + 1 vertegenwoordiger daarvan (LTO-groeiservice) en 3 onderzoekers.

Inventarisatie wensen gewasbelichting:

Uit de eerste stemmingen naar wensen van tuinders spreekt heel duidelijk dat de groep vooral waarde hecht aan een hoog rendement van de verlichting, d.w.z. veel "molen" licht per Euro kosten. Het behoud van de lichtopbrengst vormt de duidelijke tweede belangrijke

prioriteit. Belangrijke toevoeging uit de groep was, dat het rendement voor tuinder natuurlijk bepaald wordt door opbrengst van de oogst afgezet tegen de productiekosten.

Gevraagd naar de meest **relevante "issues"** spreekt de groep zich uit voor het opbouwen van kennis rond plant en licht, waarbij zowel stuur- als groeilicht verbeterd worden (waarbij de laatste als heel belangrijk wordt gezien). Tevens is het belangrijk het warmteprobleem in de kas op te lossen. Ook de regelbaarheid van de belichting is een belangrijk facet. Verder verdient volgens de groep het mogelijk effect van (gekleurd) LED-licht op insecten veel aandacht. ARBO aspecten worden niet onbelangrijk, maar oplosbaar geacht. Dit blijft een thema net als lichthinder.

Toekomstverwachtingen: de groep is stellig in de verwachting dat er meer belicht gaat worden. Of dit met LED's gaat gebeuren is minder zeker. De verwachting is verder dat verbruikskosten bij toekomstige belichting zwaarder zullen wegen dan de afschrijving (ingegeven door verwachtingen rond energieprijzen?). De groep is niet eenduidig in haar mening over de ontwikkeling van de (all-in) prijs per mol licht.

Stellingen "plant & licht": rond dit aspect bestond toch wel enige verdeeldheid. Er is wel een meerderheid die voor de toekomst bij belichting spectraal selectief licht verwacht. Of dit vooral in de rood/verrood-ratio ligt is onduidelijk. Men verwacht voordelen van het gebruik van gericht licht, maar dit hoeft niet perse wit licht te zijn. Hybrideverlichting (=hogedruk natrium + LED's) kent uitgesproken voor- en tegenstanders.

Stellingen "LED-lampsystemen": de groep is unaniem over belang van "voorspelbare" verlichting (wat ingesteld is, moet er ook uitkomen). De groep hecht verder aan traditionele lampposities boven in de kas; lampen onderin of zelfs buiten de kas gaat toch een stapje te ver, vreemd of kostbaar. De vraag rond brandgevaar lokte felle reacties uit. Bij lampen met LED's is het - net als nu - vooral een kwestie van goed onderhoud aan de elektrische installatie. Men is verdeeld over verwerking van lichtbronnen in de kasconstructie.

Stellingen "LED-componenten": rond dit aspect was de toch technisch georiënteerde groep redelijk verdeeld. Alleen was de groep eenduidig in haar oordeel dat de sector niet goed weet wat ze van de LED-fabrikanten willen (bijvoorbeeld welke kleuren zijn voor gewasbelichting het meest belangrijk). (Hier ligt mogelijk een onderzoeksvraag voor de Roadmap in samenhang met de behoefte aan meer kennis van Plant en Licht.)

Stellingen "mens en licht": in een tweetal stellingen over blootstelling aan kunstmatige optische straling (waarvoor in 2006 een EG-richtlijn is uitgevaardigd), gaf men aan het

werken in de (toekomstige) kas met (hoog vermogen) LED's niet onverdeeld als gevaarlijk te zien. Iedereen was het er wel over eens, dat de installatie aan de wet zal moeten voldoen, maar dat probleem lijkt in de ogen van de meesten oplosbaar. Ook ten aanzien van het efficiënt kunnen werken in een kas met gekleurd LED-licht waren de meningen verdeeld¹⁰. Wel was men eenduidig van mening dat LED's een rol kunnen spelen rond lichthinder naar buiten toe, al zou dat niet exclusief de driver moeten zijn in de ontwikkeling van LED-belichting.

Stellingen "dier en licht": zeer uitgesproken unaniem van mening dat effect LED's op insecten uitgezocht zou moeten worden, nog eens bevestigd door de kennisvragen op dit aspect. Het belang van insecten in sector is groot, zo spreekt nog eens uit overige vragen rond dit aspect. Voorzichtigheid geboden!

Stellingen "energie": unanieme mening dat door gericht te belichten energiebesparing mogelijk is en dat er actief gezocht zou moeten worden naar afzetoepies van overtollige warmte. Verder is de groep verdeeld over de vraag of je lampwarmte indirect mag afvoeren d.m.v. kasventilatie, of dat je warmteafvoer juist gecontroleerd aan de bron (de lamp) zou moeten aanpakken.

Stellingen "LED & economie": de groep was redelijk unaniem over de vraag dat

- als je minder last van lampwarmte zou hebben, dat dan meer en feller belicht zou worden
- als je minder last van lampwarmte zou hebben, dat dan de gewasproductie hoger zou uitvallen
- (frappant is dat dit thema lampwarmte zeker niet zo sterk hinderlijk uit de consultatie van de tuinders, die eerder in het kader van het project is uitgevoerd, naar boven was gekomen).

Verder was er in de groep een voorzichtige meerderheid die voorzag dat LED's binnen 4 jaar in de Nederlandse kassen voor assimilatiebelichting zullen worden toegepast (en in lijn hiermee een kostprijsreductie van deze systemen).

Heel kort de highlights:

- wens naar meer molen PAR-licht per Euro
- kennis opbouw rond plant en licht, zowel groei- als stuurlicht
- ook kennis rond impact licht op insecten verdient ruim aandacht

¹⁰ Inmiddels is er ervaring opgedaan met het werken onder LED-belichting. Medewerkers van Red Star Trading gaven aan: "We moeten erg wennen aan het specifieke lightspectrum van de LED-installatie. Het beoordelen van kleuren is bijvoorbeeld erg lastig" (STAALDUINEN).

- spectraal selectief licht krijgt naar verwachting een rol in de toekomst
- brandgevaar is en blijft vooral een kwestie van onderhoud
- de sector weet niet goed wat ze precies van de LED-fabrikanten willen
- ARBO-aspecten zijn naar verwachting oplosbaar binnen de sector
- lampwarmte speelt toch een grote rol bij toepassing van groeilicht.

4 ROADMAP

4.1 "Bestemmingen" in de roadmap

Gebaseerd op de eisen en wensen van de verschillende stakeholders zijn de bestemmingen ("destinations") afgeleid waar de roadmap voor de transitie naar gewasbelichting met LEDs naar toe moet leiden. Deze weerspiegelen de belangrijkste ontwikkeldoelen.

De focus in deze studie is gelegd op assimilatiebelichting, omdat dit de grootste belichtings-toepassing is met de meeste impact op energieverbruik, milieu en economie van het bedrijf. De bestemmingen zijn beknopt weergegeven in tabel 4.1 en worden hierna in meer detail besproken.

Tabel 4.1 Overzicht bestemmingen roadmap naar gewasbelichting met LEDs

1	Assimilatiebelichting met hoger PAR-fotonrendement ($\mu\text{mol/s/W}_e$)	Nieuwe generatie belichting moet minimaal het PAR-fotonrendement halen van de huidige state-of-the-art assimilatiebelichting (d.w.z. meer dan circa $1,7 \mu\text{mol/s/W}_e$ op systeemniveau), maar bij voorkeur 25% of meer beter
2	Assimilatiebelichting met competitief prijsniveau (o.b.v. TCO)	De total cost of ownership (TCO) worden vooral bepaald door kapitaalskosten voor de (initiële en vervangings)investeringen en de energiekosten gedurende de levensduur
3	Assimilatiebelichting met langere levensduur	De langere levensduur dient te gelden voor alle systeemcomponenten en niet alleen voor de lichtbron (en dient betrekking te hebben op zowel de technische als de economische levensduur). Streven > 25.000 branduren, met behoud van PAR-lichtstroom van minimaal 90% van beginwaarde
4	Assimilatiebelichting met hogere groeilichtintensiteit zonder warmteoverschot in de kas	Bij de huidige generatie groeilicht wordt het belichtingsniveau klimaattechnisch beperkt door de warmteafgifte van de lampen. Het streven is een belichtingssysteem te ontwikkelen waarbij de warmte op eenvoudige wijze kan worden afgescheiden van het (groeilicht), met gecontroleerde afvoer uit de kas, waardoor hogere groeilichtniveaus mogelijk worden
5	Assimilatiebelichting met geringere lichtuitstoot	De nieuwe generatie assimilatiebelichting moet bij een gelijk belichtingsniveau (PPFD) leiden tot een lagere lichtuitstoot uit de kas (en daarmee minder 'lichtvervuiling')
6	Assimilatiebelichting met acceptabel werkklimaat	Werknemers in de belichte glastuinbouw moeten bij de toegepaste belichting hun werk goed (en veilig) kunnen (blijven) uitvoeren
7	Assimilatiebelichting met ongestoorde bestuiving	De belichting moet zodanig worden ontworpen dat bestuiving met bijen of hommels niet onacceptabel wordt verstoord

Als het lukt al deze "bestemmingen" te bereiken, dan is er een goede toekomst voor deze vorm van (assimilatie)belichting weggelegd. Bestemming 1 en 2 zijn essentieel om bij assimilatiebelichting succesvol te kunnen zijn. De overige bestemmingen zijn dringend gewenst. Voor bestemming 5 tot en met 7 kunnen mogelijk "work-arounds" worden ontwikkeld, waarbij de betreffende doelen met aanvulling van andere middelen of op andere tijden - waarbij de belichting niet aan is - kunnen worden gerealiseerd. De verschillende bestemmingen worden hieronder besproken:

Eerste bestemming: assimilatiebelichting met hoger PAR-fotonrendement ($\mu\text{mol/s/W}_e$)

Vanuit energiebesparingsoogpunt heeft vervanging van de huidige generatie assimilatielampen alleen maar zin, als de nieuwe generatie een beter PAR-fotonrendement heeft, dat wil zeggen meer micromol groeilicht per seconde en per Watt toegevoerde elektriciteit. Dit moet dan ook het streven zijn. De minimum eis is hetzelfde PAR-fotonrendement. Op basis van andere potentiële voordelen van LED-gebaseerde assimilatiebelichting kan deze nieuwe vorm van belichting ook bij gelijk PAR-fotonrendement van de lichtbron nog steeds interessant zijn¹¹. Ten aanzien van het energieverbruik kunnen verder nog de volgende nuanceringen worden gemaakt:

- Het gaat uiteindelijk om de hoeveelheid groeilicht die op het gewas terecht komt (dus behalve het PAR-fotonrendement van het belichtingssysteem speelt ook een rol welke fractie van het door het armatuur uitgezonden licht ook daadwerkelijk op het gewas valt en ook waar die op het gewas valt (bijvoorbeeld alleen bovenop of ook meer tussen het gewas). Hierbij spelen met name de plaatsing van de armaturen en de verdeling van het uittredende licht een belangrijke rol.
- Energiebesparing als gevolg van een nieuwe generatie belichting kan ook optreden als secundair effect. Door het afscheiden van (lamp)warmte, afvangen, opslaan en op een ander moment met een warmtetekort weer hergebruiken van de aanvankelijk overtollige warmte, kan een nieuw lampsysteem met een gelijk PAR-fotonrendement als van een conventioneel systeem toch leiden tot een besparing op het jaarlijkse energieverbruik voor verwarming en daarmee op het totale energieverbruik.

¹¹ Er zijn inmiddels aanbieders van LED-lampen, die beweren dat hun specifieke selectie van golflengten in het lightspectrum leiden tot een hogere fotosynthese en groei (dan bij hogedruk-natrium licht) terwijl plantfysiologen vooralsnog de theorie aanhangen dat de kleur van het licht weinig verschil maakt voor de fotosynthese, mits het licht in het PAR-gebied van 400-700 nm ligt. Het gaat in hun visie om het aantal lichtdeeltjes per seconde en oppervlakte-eenheid in het foto-actieve gebied tussen 400-700 nm.

Tweede bestemming: assimilatiebelichting met competitief prijsniveau (o.b.v. TCO)

De financiële aantrekkelijkheid wordt naast natuurlijk de extra gewasopbrengst vooral bepaald door de kosten (total cost of ownership, TCO) van het belichtingssysteem. De TCO bestaan vooral uit kapitaalskosten en (energie)verbruikskosten. Een hogere aanschafprijs kan worden gerechtvaardigd door lagere verbruikskosten. Zolang het (effectieve) PAR-fotonrendement van het LED-belichtingssysteem niet hoger is dan dat van de huidige belichtings-systemen is een hogere prijs niet gerechtvaardigd (zie ook paragraaf 3.3).

Derde bestemming: assimilatiebelichting met langere levensduur

De (economische) levensduur van de klassieke hogedruk natriumlamp is circa 10.000-12.000 uur. Daarna is de lichtoutput in het algemeen zover gezakt en/of is de uitval zo groot dat het verstandig is de lampen te vervangen. Recentelijk zijn er (400 en 600 W) lampen op de markt gekomen¹² waarbij de degradatie van de lamp veel minder is en gedurende de eerste 12000 uur gemiddeld circa 5% meer groeilicht beschikbaar blijft, dan bij de "klassieke" lampen. Of de lampen ook na de eerste 12.000 goed bruikbaar blijven (weinig uitval, voldoende hoog lichtniveau) is nog niet duidelijk. LEDs hebben mits goed toegepast een lange levensduur. Technisch is 100.000 uur haalbaar. Het lichtniveau loopt wel terug en is onder meer afhankelijk van de condities waarbij de LEDs "gebrand" hebben. Om significant beter te zijn dan HD-Natrium wordt als streefwaarde voor de levensduur van LED-lampensystemen een economische levensduur van minimaal 25.000 uur voorgesteld (circa 6 à 10 gebruiksjaar bij 4000 respectievelijk 2500 branduren per jaar) met behoud van PAR-lichtstroom van minimaal 90% van de beginwaarde. Voor de levensduur van een LED-lamp-systeem is overigens niet alleen de levensduur van de LEDs bepalend, maar dienen ook de overige benodigde componenten (in het bijzonder de stuelelektronica), zodanig te worden ontworpen dat dit niet de beperkende factor wordt.

Vierde Bestemming: assimilatiebelichting met hogere groeilichtintensiteit zonder warmteoverschot in de kas

Het huidige groeilichtniveau van assimilatiebelichting wordt nu vaak beperkt door de extra warmte die met het groeilicht in de kas en op het gewas terecht komt. In situaties dat er geschermd moet worden loopt hierdoor bij hoge lichtintensiteiten op niet al te koude dagen/nachten de temperatuur in de kas en gewas in veel gevallen te hoog op. Als vuistregel wordt vaak gehanteerd dat met elke 1000 lux (hogedruk natrium) groeilicht zoveel warmte wordt toegevoerd dat een verschil van circa 1 °C tussen kastemperatuur en buiten-

¹² Philips Green Power CG lampen, 2006: CG staat voor "constant groeilicht", vooralsnog alleen voor 400 en 600 W lampen beschikbaar. Bij klassieke Green Power lampen was het (nominale) lichtbehoud voor 600 W lampen bij 10.000 branduren > 92%. N.B. momenteel worden voor nieuwe belichtingsystemen vooral 1000 W lampen verkocht.

temperatuur kan worden overbrugd (VEGTER, 2000). Bij 10000 lux is dat circa 10 °C! In de praktijk is de warmteafvoer afhankelijk van onder andere type schermdoek (licht/ luchtdoorlaatpercentage), kieropeningen, raamstand en dergelijke. Bij een reductie van de lichtuitstraling van 95%, een belichtingsniveau van 130 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (circa 10.000 lux) en een minimumbuis (40/45 °C) is de warmteafgifte circa 100 W/m^2 en loopt de temperatuur bij een gesloten doek en gesloten ramen zelfs op tot 17,5 °C (RIJSSEL, 2007) boven de omgevingstemperatuur. Bij open luchtramen (en gesloten 95% doek) is dat nog steeds circa 9 °C). Door efficiëntere lampen komt er minder warmte in de kas. Door het afscheiden van (lamp)warmte, afvangen en (tijdelijk) uit de kas afvoeren hiervan, loopt de temperatuur minder op (of kan op ventilatie worden bespaard) en kan de lichtintensiteit desgewenst worden verhoogd. Te weinig stralingswarmte bij LED-belichting met een relatief laag belichtingsniveau kan bij lage buitentemperaturen trouwens ook ongewenst zijn. Minder netto warmteafgifte bij de nieuwe generatie (hoge-intensiteit) belichting en controleerbare warmteafvoer uit de kas zijn derhalve belangrijke ontwikkeldoelen.

Vijfde bestemming: assimilatiebelichting met geringere lichtuitstoot

De huidige assimilatiebelichting kan bij afschermingspercentages van 95% (zoals vanaf 2009 in grote delen van de avond/nacht bij belichting verplicht is) door de hoge lichtintensiteit in absolute zin nog steeds een forse lichtuitstoot veroorzaken, die door omwonenden als hinderlijk kan worden ervaren. LEDs bieden mogelijkheden de lichtuitstoot (in lux) te reduceren, bij gelijk PAR-belichtingsniveau, door de keuze van de kleur van het licht. Zo is roodlicht veel minder zichtbaar, dan bijvoorbeeld oranje of geel/groen licht. De plant is juist heel gevoelig voor rood licht. Dit biedt kansen om een fotosynthese-efficiënte belichting te ontwerpen met een procentueel geringe lichtuitstoot. Tevens is deze kleur relatief energiezuinig te produceren (omdat rode fotonen een lagere energie-inhoud hebben dan de andere kleuren in het zichtbare deel van het spectrum).

Zesde bestemming: assimilatiebelichting met acceptabel werkklimaat

Het licht van de te ontwikkelen LED-belichting moet door de medewerkers goed verdragen worden en de kleuren en het relatieve aandeel van elke kleur in het spectrum moeten zodanig worden gekozen, dat de medewerkers de uit te voeren werkzaamheden in de kas goed kunnen verrichten. Verder moet de belichting voldoen aan de veiligheidsvoorschriften. Relevant daarbij is de EG-richtlijn "Blootstelling werknemers aan kunstmatige optische straling"¹³ (2006/25/EG, d.d. 5 april 2006) die op 27 mei 2010 in de nationale wetgeving moet zijn geïmplementeerd.

¹³ Richtlijn 2006/25/EG van het Europees Parlement en de raad, van 5 april 2006, betreffende de minimumvoorschriften inzake gezondheid en veiligheid met betrekking tot de blootstelling van werknemers aan risico's van fysische agentia (kunstmatige optische straling) (19^e bijzondere richtlijn in de zin van artikel 16, lid 1, van Richtlijn 89/391/EEG).

De richtlijn geeft "grenswaarden voor blootstelling" (GWB's): grenzen voor de blootstelling aan optische straling, die direct gebaseerd zijn op bewezen gezondheidseffecten en biologische overwegingen. Inachtneming van deze grenzen waarborgt dat aan kunstmatige bronnen van optische straling blootgestelde werknemers worden beschermd tegen alle bekende negatieve gevolgen voor de gezondheid. Er zijn een aantal effectieve stralings- en bestralingssterkten gedefinieerd waarin straling van ultra-violet (UV) tot en met infrarood (IR) licht op een bepaalde manier gewogen wordt. Voor LED-belichting is vooral het zichtbare licht van belang. Een grootheid waarmee de belichte tuinbouw te maken kan krijgen is de zogenaamde "effectieve bestralingssterkte blauw licht" (E_B)¹⁴, waarin met name het blauwe licht tussen 400 en 500 nm meeweegt. Het risico dat aan deze bestralingssterkte wordt gerelateerd is fotoretinitis (een fotochemische beschadiging van het netvlies in het oog door straling tussen 400 en 600 nm). De grenswaarde voor blootstelling (van het oog) is $100/t \text{ W/m}^2$ (voor $t < 10000 \text{ sec}$) en 0.01 W/m^2 voor $t > 10000 \text{ s}$. Bij bijvoorbeeld assimilatiebelichting met een aandeel blauw LED-licht met een dominante golflengte van 470 nm met een intensiteit van $20 \mu\text{mol/s/m}^2$, mag het oog maar circa 30 seconden (direct) aan deze bestralingssterkte worden blootgesteld. Als er meer dan 10000 seconden (2.8 uur) onder de assimilatiebelichting wordt gewerkt, dan is de grenswaarde van de effectieve bestralingssterkte voor blootstelling aan blauw licht 0.01 W/m^2 . Dit betekent dat als slechts 0.3% van het op het gewas en bodem gestraalde blauwe licht reflecteert richting oog, dit al niet meer aan de veiligheidsnorm voldoet (en volgens de richtlijn het risico op fotoretinitis verhoogd). Dit punt dient bij de ontwerpers/ontwikkelaars derhalve aandacht te krijgen¹⁵.

Zevende bestemming: assimilatiebelichting met ongestoorde bestuiving

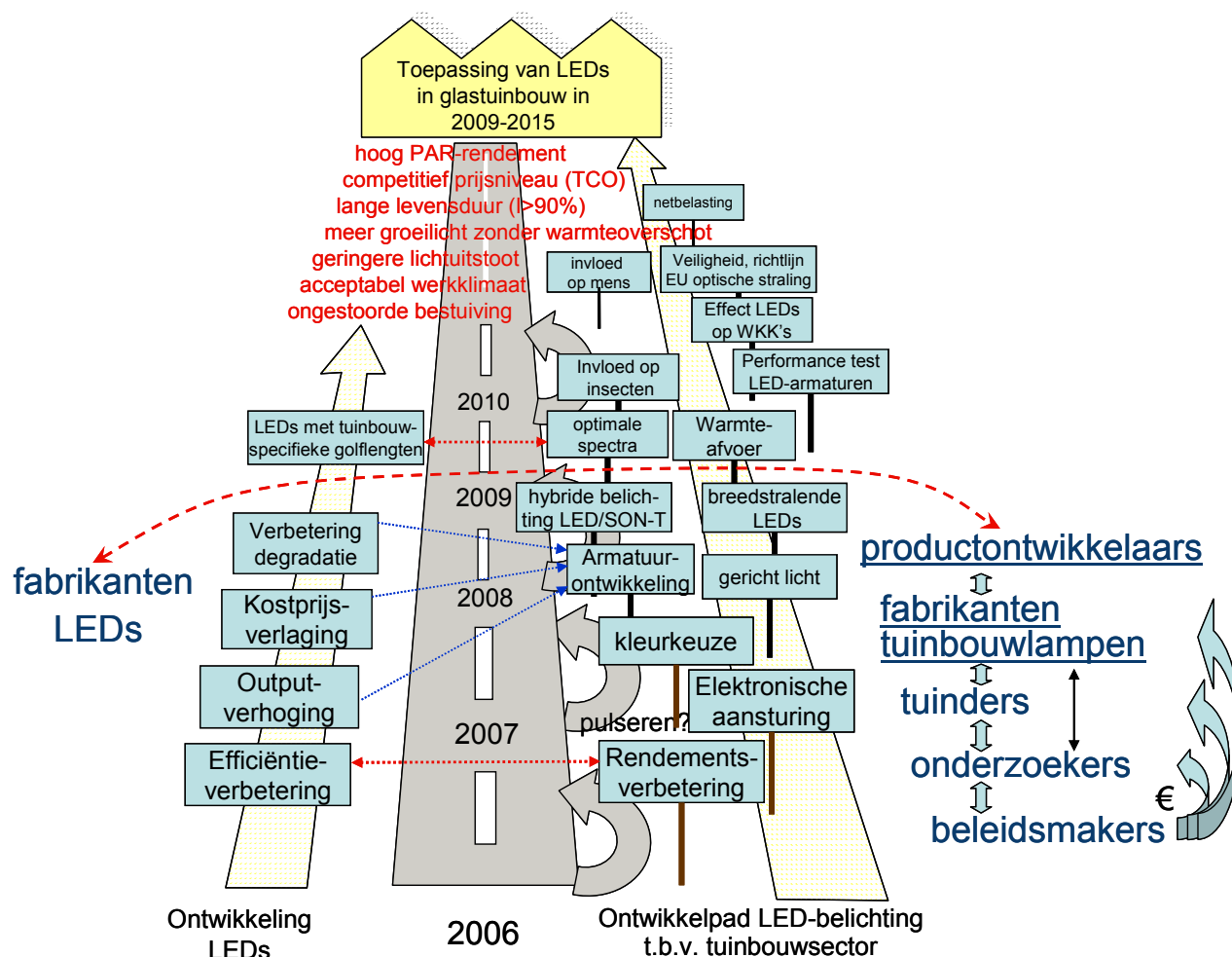
De te ontwikkelen LED-belichting dient zodanig te zijn, dat de benodigde bestuiving door bijen of hommels niet gestoord wordt. De insecten moeten de bloemen kunnen vinden en later ook weer de kasten waarin ze verblijven. Het is hiervoor nodig c.q. gewenst om inzicht te verkrijgen in de voorwaarden waaronder deze insecten hun activiteiten goed kunnen uitvoeren. Ook kan natuurlijk in praktijkexperimenten worden vastgesteld of de bestuiving bij een bepaalde belichting (met een bepaald spectrum) goed gaat. Uit het grootschalige LED-experiment bij Red Star Trading (tomaat) is reeds gebleken, dat bij het daar gebruikte LED-belichtingssysteem (met vooral rood en een kleine fractie blauw licht) de hommels hun 'werk' konden blijven doen.

¹⁴ Dit is de berekende bestralingssterkte, spectraal gewogen met een weegfunctie $B(\lambda)$, uitgedrukt in watts per vierkante meter [W/m^2].

¹⁵ Bij ontwerpers is er nu vooral aandacht voor maatregelen bij de lichtbron. Door met behulp van lensjes het LED-licht onder een brede hoek te laten uitstralen is de intensiteit van het licht in een bepaalde ruimtehoek die het oog met de bron maakt, in het algemeen geringer dan bij een smalle uittredehoek. Hierdoor wordt het gevaar van direct in de bron kijken gereduceerd.

Als het lukt alle hiervoor genoemde "bestemmingen" te bereiken, dan is er een goede toekomst voor LED-gebaseerde (assimilatie)belichting weggelegd. Bestemming 1 en 2 zijn essentieel om bij assimilatiebelichting succesvol te kunnen zijn. De overige bestemmingen zijn dringend gewenst. Voor bestemming 5 tot en met 7 kunnen mogelijk "work-arounds" worden ontwikkeld, waarbij de betreffende doelen met aanvulling van andere middelen of op andere tijden - waarbij de belichting niet aan is - kunnen worden gerealiseerd. Indien bijvoorbeeld de kleurherkenning bij rood/blauwe belichting onvoldoende is voor het beoordelen van het gewas, zou door het tijdelijk bijschakelen van extra kleuren in het armatuur (en eventueel gelijktijdig reduceren van de intensiteit van de hoofdkleuren) het spectrum van het licht beter geschikt gemaakt kunnen worden voor visuele doeleinden (de mogelijkheid voor die extra kleur moet dan uiteraard wel in het armatuur worden aangebracht, maar zal normaal niet worden gebruikt. Dit maakt het armatuur wel duurder). Reductie van de lichtuitstoot naar buiten kan ook met een lichtdicht scherm. Als de LED-warmte wordt uitgekoppeld en afgevoerd uit de kas, zal er geen warmteprobleem in de kas te ontstaan, zodat geen kieren in het scherm nodig zijn voor afvoer van overvloedige warmte en het scherm dus gesloten kan blijven.

In figuur 4.1 is een schematische voorstelling van de roadmap voor de transitie naar gewasbelichting met LEDs gegeven. Aan het eind van de weg liggen de hiervoor genoemde bestemmingen. Om daar te komen moet nog een meer of minder lange weg worden afgelegd. Voor niche-markten zoals meerlagenteelt zijn LEDs al realiteit. Commercieel interessante assimilatiebelichting ligt nog wat verder weg. Bij de roadmap kunnen twee sporen worden onderscheiden. Aan de linkerzijde is het spoor van de ontwikkeling van LEDs bij LED-producenten weergegeven. De belangrijkste aandachtspunten hier zijn verdere efficiëntieverbetering (meer licht per Watt), outputverhoging (meer licht per LED) en kostprijsverlaging. Deze ontwikkeldoelen krijgen veel aandacht onder druk van de concurrentie van andere fabrikanten. Dit spoor ontwikkelt zich daardoor grotendeels autonoom, maar door vraag vanuit sectoren die potentieel een grote markt vormen (zoals de belichtende tuinbouw) kunnen bepaalde ontwikkelingen naar voren worden getrokken of bepaalde speciale producten worden ontwikkeld (zoals bijvoorbeeld verrood LEDs door herhaalde vraag vanuit de tuinbouw. De vraag vanuit de tuinbouw is weergegeven door onderbroken rode lijn tussen fabrikanten en de tuinbouw "stakeholders").



Figuur 4.1 Schematische voorstelling van de roadmap naar gewasbelichting met LEDs

Het rechterspoor representeert het ontwikkelpad van LED-belichting ten behoeve van de tuinbouwsector. Met "bordjes" zijn een aantal thema's aangegeven waarop verdere ontwikkelingen c.q. onderzoek moet plaatsvinden (en deels reeds plaatsgevonden heeft). Het plaatje heeft niet de pretentie volledig te zijn, maar is slechts indicatief bedoeld. Aan de rechterzijde staan de partijen die daarbij een rol spelen.

Ontwikkelaars van LED-lampsystemen voor de tuinbouw dienen de hiervoor genoemde bestemmingen helder voor ogen te houden bij hun ontwikkelinspanningen. Zij vormen de centrale partij (op dit "speelveld") die het meest direct invloed heeft op het bereiken van de doelen. Zij hebben hierbij een trekkende (bijvoorbeeld blijven vragen aan LED-fabrikanten om betere LEDs van bepaald type) en een sturende rol (welke richting gaan ze op met hun lampsystemen). Ze dienen hierbij te worden ondersteund door onderzoekers (onder andere

plantkundigen om de prestaties van het LED-groeilicht op het gewas eenduidig te kwantificeren en entomologen om de invloed op gewenste en ongewenste insecten in de kas vast te stellen). Ze krijgen daarmee feedback om de ontwikkelingen in de juiste richting te sturen. Beleidsmakers met financiële middelen zijn nodig om de benodigde praktijkproeven (op de juiste schaalgrootte) en flankerend onderzoek mee te helpen financieren. Behalve het flankerende onderzoek betreffende insecten in de kas is het ook noodzakelijk om het werken onder LED-licht nader te onderzoeken. Hierbij gaat het ten eerste om veiligheid (ondere andere blootstelling aan optische straling, waarbij met name blauw licht speciale aandacht dient te krijgen), ten tweede om functionaliteit (kun je de staat van het gewas en de producten onder licht met beperkte spectrale inhoud goed beoordelen) en ten derde om het welzijn van de mensen die langer onder dit licht moeten werken.

5 ACTIEPLAN

Ten einde de succesvolle introductie van LEDs in de glastuinbouw te versnellen, wordt aanbevolen de onderstaande acties uit te voeren. Deels helpen ze de ontwikkelaars om de juiste keuzes te maken bij de verdere ontwikkelingen en deels de tuinders om de nieuwe producten goed te kunnen beoordelen en vergelijken met de huidige belichtingssystemen c.q. er veilig mee te kunnen werken. Na de opsomming volgt per actiepunt een nadere toelichting.

1. Opzetten en uitvoeren van experimenten in laboratoria/klimaatkamers waarbij eenduidig vastgesteld wordt, of de "klassieke groeilichttheorie" dat de photosynthetic photon flux density (PPFD, in $\mu\text{mol/s/m}^2$ PAR-licht) bepalend is voor de fotosynthese en de exacte kleur(en) van het licht eigenlijk niet zoveel uitmaakt, nog steeds geldig is, of dat deze theorie moet worden genuanceerd (c.q. overboord moet worden gezet) en het specifieke kleurenspectrum binnen het PAR-gebied toch significant van invloed is.
2. In het laatste geval moet tevens worden vastgesteld, welke kleuren optimaal zijn voor de fotosynthese en groei en of dit plantspecifiek is.
3. Onderzoeken welke andere factoren invloed hebben op de "overall efficiëntie" van LED-licht. Hierbij kan bijvoorbeeld worden gedacht aan:
 - a uittredehoek van LED-licht uit de lichtbron (breed of smal?)
 - b (on)wenselijkheid van stralingswarmte bij assimilatiebelichting
 - c tussen de planten en/of bovenop de planten belichten?
4. Met het oog op energieneutrale kassen, waaraan efficiënte belichting in belangrijke mate dient bij te dragen (RUIJTER, 2007), moet de voor de kas overtollige warmte van de LED-belichting bij voorkeur worden uitgekoppeld, opgeslagen en hergebruikt. Hiervoor dient te worden uitgezocht, wat hiervoor het ideale koel- en warmteafvangstconcept is (aspecten zijn bijvoorbeeld optimale LED-chiptemperatuur versus temperatuur van het geproduceerde (warme/lauwe) water, koelwaterinlaattemperatuur, transport van warmte, grootte van warmteopslag etc.).
5. Interesse kweken bij potentiële fabrikanten om LED-belichtingsystemen te gaan ontwerpen voor assimilatiebelichting in kassen (voor zover nog nodig, zie VEGTER, 2007, JAGERS, 2007).
6. LED-fabrikanten verzoeken meer aandacht te besteden aan LEDs die specifiek voor plantengroei zijn geoptimaliseerd. (Dit kan vanuit de resultaten van het onderzoek uit actiepunt 1 en 2 door onder andere fabrikanten van LED-belichtingssystemen).
7. Fabrikanten van LED-armaturen dienen te zorgen, dat de armaturen voldoen aan de Richtlijn 2006/25/EG van het Europees Parlement en de raad, van 5 april 2006 betreffende minimumvoorschriften inzake gezondheid en veiligheid met betrekking tot de

blootstelling van werknemers aan risico's van fysische agentia, onderdeel "kunstmatige optische straling" (19^e bijzondere richtlijn in de zin van artikel 16, lid 1, van Richtlijn 89/391/EEG). Uitgaande van deze richtlijnen dienen fabrikanten aan te geven onder welke voorwaarden het werken met hun lampen veilig is (en wanneer ook niet).

8. Ontwikkelen van een "meetinstrument" om op objectieve wijze de kwaliteit van de LED-belichting te kunnen meten. Dit is belangrijk opdat een tuinder straks weet wat hij koopt. Dit meetinstrument dient onder meer de "efficacy"¹⁶ van het armatuur (en bij voorkeur ook van het complete LED-systeem inclusief voeding en bekabeling) te bepalen, dat wil zeggen de PAR-fotonenstroom per eenheid vermogen in $\mu\text{mol/s/W}_e$, en verder het lichtspectrum.
9. Het werken in een belichte kas met een beperkt lichtspectrum (bijvoorbeeld 95% rood en 5% blauw) dient te worden onderzocht. Hiertoe dient onder andere een functionerings- en belevingsonderzoek te worden uitgevoerd door een ergonom.
10. In praktijkexperimenten vast stellen of bestuiving door hommels en/of bijen door LED-belichting gehinderd wordt en zo ja in welke mate en onder welke omstandigheden.

Toelichting bij actiepunten

Ad 1. Verificatie/falsificatie "klassieke groeilichttheorie". De grootschalige LED-experimenten in kassen (bij bijvoorbeeld Red Star Trading) hebben aangetoond, dat het belangrijk is om éénduidig vast te stellen of 1 μmol van het voor de belichting geselecteerde LED-licht hetzelfde effect heeft op foto-synthese en groei (versgewicht + drooggewicht) heeft als 1 μmol hogedruknatriumlicht. Zolang dit niet is vastgesteld, zullen verschillen in groei (bij niet geheel vergelijkbare condities), al gauw worden uitgelegd als een gevolg van het andere spectrum, wat niet het geval hoeft te zijn. Inmiddels (september 2008) heeft het Productschap Tuinbouw en het Ministerie van LNV subsidie toegezegd, om zo'n experiment te laten uitvoeren: "LED; is een micromol een micromol?". WUR Glastuinbouw zal dit uitvoeren in een klimaatcel bij twee intensiteiten (100 en 140 $\mu\text{mol/s/m}^2$ op chrysant en mogelijk paprika). Verder is ook subsidie toegezegd voor een praktijkproef van tomaten onder LED-belichting. Hierin wordt een vergelijking gemaakt van belichting met rode en een kleine fractie blauwe LEDs met SON-T-belichting, ten aanzien van de aspecten tomatenproductie en energie-verbruik (hierbij wordt gepoogd met LED-licht - circa 95 $\mu\text{mol/s/m}^2$ - meer productie te halen als bij een vergelijkbaar niveau aan SON-T belichting; de exacte belichtingscondities, plantdatums en belichtingsstartdatums van LED- respectievelijk referentieareaal zijn nog niet bekend).

¹⁶ Engelse term die de werkzaamheid of doeltreffendheid aangeeft, in dit geval het aantal PAR-fotonen dat er geproduceerd wordt per seconde per eenheid elektrische energie ($\mu\text{mol/s/W}_e$).

Ad 2. Welke kleuren zijn optimaal? Mogelijk dat het lopende, fundamentele STW-project dat door WUR wordt uitgevoerd, basisinformatie gaat leveren betreffende het effect van kleuren op de fotosynthese. De resultaten van dit project komen naar verwachting in 2009 beschikbaar. Afhankelijk van de omvang daarvan en de uitkomst van actiepunt 1 moeten aanvullende experimenten worden uitgevoerd (mogelijk plantspecifiek).

Ad 3. Onderzoeken welke andere factoren invloed hebben op de "overall efficiëntie" van LED-licht. Hierbij kan bijvoorbeeld worden gedacht aan:

- a uittredehoek van LED-licht. Gebaseerd op het ervaringsfeit dat diffuus licht leidt tot een hogere productie dan een zelfde hoeveelheid direct (zon)licht¹⁷, bestaat bij sommigen de verwachting dat LEDs waarbij het licht onder een brede hoek wordt uitgestraald, zullen leiden tot een hogere productie dan bij LEDs met een smalle lichtbundel (waarbij het licht dus meer op direct licht lijkt)
- b (on)wenselijkheid van stralingswarmte bij assimilatiebelichting: er bestaat nog onduidelijkheid of bij kunstmatige belichting de stralingswarmte nu wel of niet gewenst is en zo ja, hoeveel stralingswarmte dan? Dit zou bijvoorbeeld kunnen worden nagegaan in een experiment met een bepaalde intensiteit LED-licht, waarbij in 3 afdelingen/secties respectievelijk geen extra warmtestraling, halve intensiteit warmtestraling en volle-intensiteit warmtestraling (=hoeveelheid bij SON-T-lampen) wordt toegevoerd en voor de 3 deelexperimenten na te gaan wat de verschillen zijn in groei en plantontwikkeling.

Ad 4. Koeling LEDs/warmteuitkoppeling. Er zijn inmiddels LED-belichtingsystemen op de markt die met water gekoeld (dienen te) worden (o.a. Lemnis en FlowMagic). Technisch blijkt het uitkoppelen van de warmteproductie van LED-lampen goed te kunnen. Aandachtspunten zijn nog:

- keuze van optimale temperatuur van koelwater en de junctietemperatuur van de LEDs
- gelijkmatigheid van temperatuur bij lampen die koelwatertechnisch in serie worden geschakeld (en daarmee de gelijkmatigheid van het uitgezonden licht)
- eigen energieverbruik van koelcircuit (pompen)
- condensatie op koelleidingen (geeft mogelijk druppels op het gewas, met als mogelijk gevolg schimmelziektes (bijvoorbeeld botrytis)
- opslag en hergebruik van warmte (al dan niet opwaarderen met warmtepomp)
- economie van de warmteuitkoppeling en -hergebruik.

¹⁷ De verklaring hiervoor wordt gezocht in 3 oorzaken: het diffuse licht dringt dieper door in het gewas, de fysiologie van de bladeren midden in het gewas verandert daardoor en er ontstaat een beter microklimaat bovenin het gewas (BOONENKAMP, 2008).

Ad 5. Interesse kweken bij potentiële fabrikanten om LED-belichtingsystemen te gaan ontwerpen voor assimilatiebelichting. Dit is de afgelopen jaren al grotendeels gebeurd via onder andere perspectiefverkenningen [RUIJTER, 2004] en themamiddagen rond LEDs in de glastuinbouw (onder andere 12 oktober, 2006 en 12 januari 2007) en via publicaties en "stands" op beurzen rond het thema "Licht" in het kader van onder meer het programma "Kas als Energiebron" van het Productschap Tuinbouw en het Ministerie van LNV. Inmiddels zijn al verschillende marktpartijen (ook nieuwe toetreders) in deze business gestapt en met ontwikkelingen begonnen en lopen (en liepen) er al diverse grootschalige experimenten (zie ook paragraaf 3.2.2).

Ad 6. Eisen en wensen aan LEDs voor glastuinbouw?. De fabrikanten van LED-armaturen voor assimilatiebelichting in de glastuinbouw zijn naar verwachting het meest gebaat bij betere rode LEDs, in de zin van:

- hogere efficacy (meer $\mu\text{mol/s/W}_e$)
- geringere temperatuurafhankelijkheid
- lagere prijs
- mogelijk ook andere golflengtes (diep rood (circa 660 nm) en verrood (700-800 nm)).

Voor stuurlichtdoeleinden zijn ook andere kleuren van belang.

Ad 7. Veiligheid met betrekking tot optische straling. Met name blauw licht kan potentieel gevaarlijk zijn voor het oog (risico voor fotoretinitis). Er moet vermeden worden dat direct in het licht van de armaturen wordt gekeken. Met divergerende lenzen kan de lichtstroom in een bepaalde ruimtehoek worden verminderd en daarmee het risico van direct in het oog vallend licht. Maar ook langdurig werken in blauw licht, kan door reflectie van een klein deel van het licht een risico opleveren. Dit kan worden verkleind door tijdens de werkzaamheden bijvoorbeeld de blauwe LEDs in de assimilatiebelichting uit te schakelen.

Ad 8. Performancemeting LED-belichting. Als blijkt dat de "klassieke groeilichttheorie" over-eind blijft, dan is het belangrijkste element in het bepalen van de kwaliteit van het lamp-systeem de meting van de energetische prestatie ervan, meer specifiek de

- foton-efficacy (in $\mu\text{mol/s/W}_e$), bij realistische, zo mogelijk gestandaardiseerde bedrijfs-condities.

Daarnaast kunnen aanvullende metingen worden gedaan (lichtverdeling over de hoek met de normaal loodrecht op het hoofdvlak van de lamp, levensduurmetingen, verouderings-metingen (terugval foton-output tot bijvoorbeeld 90% van initiële output e.d.). Als blijkt dat het specifieke lichtspectrum binnen het PAR-gebied wel significante invloed heeft op de foto-

synthese, dan is het bepalen van de energetische prestatie veel lastiger, zeker als mocht blijken dat dit plantspecifiek is. Bij een generieke golflengtegevoeligheid zou een spectrum gewogen 'efficacy' kunnen worden bepaald (fotonen gewogen naar effectiviteit voor de fotosynthese per eenheid elektrische energie).

Ad 9. Werken in belichte kas. Een belangrijk niet technologisch aspect voor het welslagen van gewasbelichting met LEDs is het werken in zo'n belichte kas. Omdat het spectrum van het licht naar verwachting heel anders zal zijn dan nu gebruikelijk, heeft dat invloed op de mens die daarin moet werken. Licht met golflengtes die maar een beperkt deel van het zichtbare gebied beslaan, maken het lastig om kleuren te herkennen en hebben mogelijk invloed op het vermogen van de medewerkers om de toestand van het gewas en de kwaliteit van de te oogsten producten onder dat licht goed in te kunnen schatten. Daarnaast heeft het licht bij langdurige blootstelling mogelijk invloed op de lichamelijke en/of emotionele/psychologische toestand van de betreffende medewerkers. Het is nodig de effecten van LED-licht op het (kunnen) functioneren van medewerkers op korte en langere termijn in beeld te brengen. Dit kan starten met interviews van medewerkers die in de grootschalige experimenten werken of hebben gewerkt. Er dienen ook stralingsmetingen in de kas te worden uitgevoerd (bijvoorbeeld naar de reflectie van blauw licht van gewas en/of bodem. De metingen dienen te worden geïnterpreteerd in het kader van de EG-richtlijn "Blootstelling werknemers aan kunstmatige optische straling"). Het wordt aanbevolen zo'n onderzoek door deskundigen te laten uitvoeren (bijvoorbeeld door TNO Technische Menskunde of RIVM).

Ad 10. In praktijkexperimenten vast stellen of bestuiving door hommels en/of bijen door LED-belichting gehinderd wordt en, zo ja, in welke mate en onder welke omstandigheden. Lemnis gaf aan dat de hommels tijdens één van hun experimenten weinig last leken te hebben van het LED-licht. Dit thema dient echter nog verder te worden onderzocht, onder meer ook voor bijen, onder supervisie van een entomoloog.

6 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

6.1 Conclusies

Op basis van de uitgevoerde studie en de gevoerde gesprekken kunnen de onderstaande conclusies worden getrokken.

1. De ontwikkelingen van high power LED's zijn zodanig, dat LED-gebaseerde gewasbelichting op korte of iets langere termijn een serieus alternatief vormen voor traditionele belichtingsystemen in de glastuinbouw.
2. Ten opzichte van belichting op basis van gloeilampen en TL-lampen, is LED-belichting gezien vanuit zowel energetisch als financieel oogpunt nu al vaak een beter alternatief.
3. Voor groeilichttoepassingen (assimilatiebelichting) zijn er al LED-belichtingssystemen, waarvan de fabrikant claimt, dat het PAR-fotonrendement (in $\mu\text{mol/s/W}_e$) hoger ligt, dan dat van hogedruknaatriumsystemen.
4. Bij veel "testers van het eerste uur" van LED-belichting in de tuinbouw bestaat de indruk dat het specifieke spectrum van het licht binnen het PAR-gebied wel degelijk invloed heeft op fotosynthese en gewasgroei (en twijfelt men aan de klassieke plantkundige theorie, dat alleen de hoeveelheid micromolen PAR-licht per tijds- en oppervlakteenheid – de PPFD - bepalend is en het spectrum geen of nauwelijks invloed heeft).
5. De markt lijkt goed zijn werk te doen. Er zijn door ontwikkelaars/leveranciers al verschillende LED-lampsystemen voor glastuinbouwtoepassingen ontwikkeld. Onder meer door nieuwe toetreders is er sprake van flinke concurrentie, waardoor partijen hun best moeten doen, om in de ontwikkelrace bij te blijven. Dit stimuleert de ontwikkeling naar steeds betere lampsystemen en belichtingsconcepten.
6. Uit uitgevoerde praktijkproeven blijkt, dat de geproduceerde warmte bij LED-armaturen met waterkoeling goed kan worden afgevoerd. Dit is een basisvoorwaarde om de warmte gecontroleerd te kunnen hergebruiken op het eigen bedrijf of eventueel daarbuiten. Voorkomen van verspilling van lampwarmte kan het totale energetische potentieel van LED-verlichting aanzienlijk verhogen.
7. De cijfers die verschillende fabrikanten voor het PAR-fotonrendement (in $\mu\text{mol/s/W}_e$) van hun belichtingssysteem geven - voor zover ze dat al kunnen - liggen nog flink uit elkaar, en zijn soms hoger dan op basis van de gebruikte technologie mag worden verwacht. Vaak wordt dit cijfer ook niet op de specificatiebladen vermeld en als het al gegeven wordt, is het niet duidelijk hoe dit cijfer is bepaald. In het specifieke energieverbruik van de belichting is dit cijfer echter cruciaal. Het is gewenst dat LED-lampen op een vergelijkbare manier getest worden, waarbij minimaal ook het PAR-fotonrendement ("PAR-efficacy") moet worden bepaald en bij voorkeur ook het spectrum.

8. In de roadmap voor de transitie naar gewasbelichting met LEDs zijn de bestemmingen geschetst die de ontwikkelaars voor ogen moeten houden om tot een succesvolle introductie van LED-gebaseerde (assimilatie)belichting te komen.
9. De belangrijkste bestemmingen (ontwikkeldoelen ten opzichte van hogedruk natrium belichting) zijn:
 - a. hoger PAR-fotonrendement
 - b. competitief prijsniveau (op basis van total cost of ownership)
 - c. langere levensduur
 - d. hogere groeilichtintensiteit zonder warmteoverschot in de kas
 - e. geringere lichtuitstoot naar buiten.
10. Daarnaast dient de LED-belichting zodanig te worden ontworpen dat een acceptabel werkklimaat ontstaat (of kan worden gerealiseerd tijdens werkzaamheden) en dat de bestuiving van de bloesem door bijen of hommels ongestoord kan plaats vinden.
11. Belangrijke onderzoeksvragen waarop een vlot antwoord zal helpen om de introductie van LED-gebaseerde te versnellen zijn onder andere:
 - a. heeft het specifieke spectrum binnen het PAR-gebied wel of niet een significante invloed op de fotosynthese?
 - b. zo ja, welke kleuren zijn dan optimaal (en is dit plantspecifiek)?
 - c. welke andere factoren hebben invloed op de "overall efficiëntie" van LED-belichting (zoals uittredehoek van het licht, (on)wenselijkheid van stralingswarmte, tussen en/of bovenop gewas belichten)?
 - d. wat is ideale concept voor LED-koeling, warmte-afvangst- en warmtehergebruik?
 - e. welke specifiek op plantengroei gerichte LEDs moeten nog (verder) ontwikkeld worden?
 - f. hoe kan de kwaliteit/performance van LED-belichting objectief worden gemeten?
12. Als flankerend onderzoek is het gewenst om het effect van LED-belichting op insecten in de kas te bepalen (bijen, hommels en biologische bestrijders).
13. Verder is onderzoek naar het effect van LED-licht op het functioneren, welzijn en veiligheid van de medewerker die onder dit licht moet werken van belang. In kader van veiligheid is onder meer de Richtlijn 2006/25/EG van het Europees Parlement en de raad, van 5 april 2006 betreffende minimumvoorschriften inzake gezondheid en veiligheid met betrekking tot de blootstelling van werknemers aan risico's van fysische agentia, onderdeel "kunstmatige optische straling" (19^e bijzondere richtlijn in de zin van artikel 16, lid 1, van Richtlijn 89/391/EEG) van belang. Deze richtlijn heeft nog weinig aandacht bij ontwikkelaars en gebruikers.

6.2 Aanbevelingen

- 1 Er wordt aanbevolen om de komende jaren (collectief gefinancierd) onderzoek uit te zetten, gericht op het beantwoorden van de hoofdonderzoeksvragen zoals aangegeven in conclusies 11 tot en met 13. Dit verschaft ontwikkelaars de juiste basisinformatie bij hun (verdere) ontwikkelinspanningen en voorkomt dat ze zijwegen in (moeten) slaan waardoor ze niet of pas veel later (en met veel meer kosten) bij de gewenste bestemmingen aankomen.
- 2 Verder wordt aanbevolen om behalve onderzoek naar de hiervoor genoemde meer generieke vragen ook per teelt of teeltgroep de "best practices" met LED-belichting te gaan vaststellen en vastleggen (bijvoorbeeld beste golflengtes, verhouding rood/blauw en rood/verrood, plaatsing van LEDs ten opzichte van gewas, optimale lichtverdeling vanuit armatuur, hybride-belichting of "LED-only", met meer of minder stralingswarmte, etcetera). Dit vereist ook de nodige experimenten/proeven, maar betekent dat niet iedere tuinder het wiel opnieuw hoeft uit te gaan vinden. Hierdoor zal het potentieel van LEDs ook eerder in de praktijk worden waargemaakt.
- 3 De LED-lampwarmte kan middels waterkoeling relatief eenvoudig worden teruggewonnen. Voor een optimale efficiëntie van de LED-belichting dient de temperatuur van het koelwater relatief laag te zijn. Dit betekent dat de warmte wellicht niet direct voor kasverwarming kan worden gebruikt. Het kan echter wel gebruikt worden als bronwarmte voor een warmtepomp. Er wordt aanbevolen om een optimaal concept voor LED-koeling en verwarming op basis van afgevangen LED-warmte te ontwikkelen, om optimaal totaal energetisch profijt van LED-belichting te verkrijgen.

LITERATUUR

Bergh, A. G. Craford, "The Promise and Challenge of Solid-State Lighting", Physics Today, dec. 2001.

Blijker, J. den, "Gewassen telen zonder daglicht", Trouw, Economie, 12 sept. 2008.

Boonenkamp, G., "Diffuus glas brengt theorie in praktijk", Groenten & Fruit, 41, 2008.

Cathy, H.M. & L.E. Campbell, "Relative efficiency of high- and low-pressure sodium and incandescent filament lamps used to supplement natural winter light in greenhouses. Journal of the American Society for Horticultural Science 104: 812-825, 1979.

Dieleman A., F. Kempkes, M. Esmeijer, A Elings, B. Houter, "Past belichting in een energiezuinige paprikateelt", PRI, april 2006.

Energiek2020; <http://www.energiek2020.nu/energieknieuws/1385>

Europees parlement en de Raad van de EU, Richtlijn 2006/25/EG van het Europees Parlement en de raad, van 5 april 2006, betreffende de minimumvoorschriften inzake gezondheid en veiligheid met betrekking tot de blootstelling van werknemers aan risico's van fysische agentia (kunstmatige optische straling) (19e bijzondere richtlijn in de zin van artikel 16, lid 1, van Richtlijn 89/391/EEG.) Publicatieblad van de Europese Unie.

Jagers op Akkerhuis, F., "Led-belichting klopt aan de deur", Vakblad voor de Bloemisterij, 39, 2007.

Philips, "Specification and ordering information GreenPower LED string LF", document-number: 6322 635 56441, augustus 2008.

Philips, "Specification and ordering information GreenPower LED module HF", document-number: 6322 635 56421, september 2008

Rijssel, E. van, "Afschermen lichtuitstoot met 95% stuit op warmteophoping", Vakblad voor de Bloemisterij, 4, 2007.

Ruijter, J.A.F. de, "Verkenning van het perspectief van LED's voor gewasbelichting in de glastuinbouw", rapportnummer 50361787-KPS/TCM 04-2059, KEMA, juli 2004.

Ruijter, J.A.F. de, T.A. Dueck en J. Steenhuizen "Gewasbelichting met hoogfrequent pulserende LEDs. Proof-of-principle", rapportnummer 50552411-KPS/TCM 06-7029, KEMA, februari 2006.

Ruijter, J.A.F. de, E. Meinen en T.A. Dueck, "Gewasbelichting met hoogfrequent pulserende LEDs. Deel 2: pulserend licht met gelijke lichtsom", rapportnummer 59762189-TOS/TCM 08-7006, KEMA, februari 2008.

Ruijter, J.A.F. de, L. Marcelis, M. Scheurs, "Ingrediënten voor een energieneutrale belichte glastuinbouw in 2020, Position Paper Licht", KEMA/WUR, 2007.

Ruijter, J.A.F. de, J.J. de Wolff, Verslag van themamiddag "Betere gewasbelichting met LEDs!, Waar staan we? Waar willen we naar toe", i.h.k.v. "Roadmap voor de transitie naar gewasbelichting met LEDs", d.d. 12 oktober 2006 (www.energiek2020.nu)

Schuerger, A.C., C.S. Brown & E.C. Stryjewski, "Anatomical features of pepper plants (*Capsicum annuum* L.) grown under red light-emitting diodes supplemented with blue or far-red light". *Annals of Botany* 79: 273-282, 1997.

Staalduinen, J, van, "Cor en Dirk van der Kaay na zes weken LED-belichting bij Red Star Trading, Het is nog niet wat het moet zijn, maar we leren veel", *Onder Glas*, april 2008.

Vegter, B., "Profiteren van lampwarmte", *Vakblad voor de Bloemisterij*, 42, 2000.

Vegter, B., "Tweede aanbieder leds breekt markt helemaal open", *Vakblad voor de Bloemisterij*, 48, 2007

Visser, P. "Wonderfotonen bestaan niet", *Groenten en Fruit*, 46, 2008.

Velzen, J. van, (Lemnis), "Leds kunnen voor revolutie zorgen in kasverlichting", *ISSO ThemaTech*, september 2008.

BIJLAGE A VERSLAG GESPREKKEN MET TUINDERS

Naar gewasbelichting van de toekomst

"Kijken wat je nu moet doen om straks te krijgen wat je nodig hebt"

Aan een aantal glastuinbouwondernemers zijn tijdens een gesprek vragen gesteld om de recente praktijkervaring met "licht in de kas" te vernemen. Bovendien zijn van deze groep de wensen en ideeën voor de toekomst geïnventariseerd. Voor deze veldverkenning is een kleine steekproef met bewust een gevarieerde groep glastuinders geselecteerd. De geteelde producten binnen deze groep tuinders zijn: rozen, fresia's, begonia's, aardbeien, tomaten, paprika's, komkommers (en een kassenbouwer). De huidige standaard in verlichting wordt gevormd door armaturen met hogedruk-natriumlampen van 600 of 1.000 Watt.

Variatie in teelten geeft uiteraard variatie in kascondities zoals licht- en warmtebehoefte en daarmee ook in praktische omgang met licht (lichtintensiteit, netaansluiting of WKK). Vakbekwaamheid glastuinders zit in complete & complexe logistiek naar productie volgens plan (b.v. jaarrond met pieken), licht vormt hiervan (slechts) een van de onderdelen. Jaarronde productie geeft niet alleen een betere (jaarronde) prijs voor de producten van de afnemers maar tevens een betere benutting van de kassencomplex en de mogelijkheid met meer vast personeel te werken in plaats van tijdelijk.

De diverse vragen en onderwerpen die in de gesprekken aan de orde zijn geweest laten zich in vier categorieën verdelen:

1. toepassing
2. economie
3. praktisch
4. doorkijk.

A.1 Toepassing

Het licht in de kassen wordt vooral ingezet als assimilatieverlichting (of "groeilicht"). Toepassing van licht als stuurlicht (b.v. in bloei trekken van de planten) is minder algemeen, al is het onderscheid tussen beiden soms lastig. Denk hierbij bijvoorbeeld aan het verlengen van de daglichtperiode tijdens de "donkere" seizoenen. Het effect van belichting is hier zowel het stimuleren van de groei als het aanzetten tot de volgende fase in de plantontwikkeling.

Bijlage A blad 2

De intensiteit van de gebruikte belichting in de kassen loopt voor de diverse teelten sterk uiteen. De hele range van intensiteiten van 2.500, via 3.000 - 5.000 en 7.500, tot 15.000 lux komt voor. De lichtintensiteit wordt bepaald door de maximale lichtbehoefte van de planten of beperkt door de geringe economische meeropbrengst van intensievere belichting. Traploos regelbare verlichting komt in de kassen niet voor. Hoogstens kunnen verschillende strengen afzonderlijk aan en uit worden geschakeld of is de verlichting in de kas volgens een schaakbordpatroon in twee groepen verdeeld.

De met het belichten gepaard gaande warmteproductie wordt door de bevroagde tuinders weliswaar als ongewenst beschouwd (liever zag men de lichtopbrengst verbeteren), maar gaf toch geen aanleiding voor onoverkomelijke problemen. Slechts bij belichten met de lichtdichte schermen gesloten konden de condities in de kas echt nadelig beïnvloed worden. Deze redelijk positieve ervaringen zijn vooral gebaseerd op het gebruik van de genoemde lagere lichtintensiteiten (i.e. ruim onder de 10.000 lux). De tuinder met 15.000 lux licht moet de eerste praktijkervaring met "gesloten belichten" nog opdoen, maar de verwachting is dat door een uitgekiend geïntegreerd kasontwerp het binnenklimaat in de kas beheersbaar blijft. In enkele situaties wordt de warmte van de lampen zelfs positief gewaardeerd.

A.2 Economie

Eensgezind wordt door de glastuinbouwondernemers verklaard dat gewasbelichting kostbaar is. Zowel in afschrijving van de investering (voor de eerste aanschaf van de armaturen inclusief lampen, de complete elektrotechnische montage in de kas en uiteraard het voorzien van een aansluiting met voldoende vermogen, hetzij op het net of met eigen WKK-opwekking.), als in energieverbruikskosten vormt kasbelichting een serieuze kostenpost voor de tuinder. Een verbetering in de lichtopbrengst per Euro is daarmee bijzonder welkom.

Om te hoge aansluitkosten uit te besparen hebben verschillende tuinders ervoor gekozen om hun afzonderlijke kassen niet tegelijk, maar uitsluitend na elkaar te kunnen belichten. Zowel bij netaansluiting als eigen opgesteld WKK-opwekvermogen komt deze keuze voor. Incidenteel gebruik van een permanent beschikbaar hoog vermogen is te kostbaar. Door de WKK van een ruime buffer te voorzien is het goed mogelijk om de warmtevraag los te koppelen van de lichtbehoefte. Tuinders met gewassen zonder warmtebehoefte kiezen in de regel niet voor eigen WKK vermogen.

A.3 Praktisch

Uit de gesprekken met de glastuinders kwam helder naar voren dat gewasbelichting door de tuinders als een van de kas"klimaat"parameters wordt gezien. Net als temperatuur, vocht, voeding en CO₂ vormt "licht" een van de aspecten voor de kweek waarvoor de tuinder zijn kassen zo goed mogelijk heeft ingericht. De regeling van en het onderhoud aan de hiervoor aanwezige installaties vormt onderdeel van de (dagelijkse) werkroutine in de kassen. Bij de inrichting van een nieuwe of vernieuwde kas worden voor de verschillende functies de op dat moment meest geschikte installaties geselecteerd en met de zo verkregen configuratie gaat de tuinder zijn gewassen zo goed mogelijk produceren. Wanneer het aantoonbaar rendabel is een deel van een van de installaties te vervangen, dan zal de tuinder hiertoe overgaan.

Het onderhoud aan de kasverlichting bestaat uit het regelmatig reinigen en stofvrijmaken van in ieder geval de lampen en vaak maar niet altijd tevens de reflectoren. Regelmatig komt neer op zeker jaarlijks maar ook na het inzetten van een nieuwe teelt. Uitgevallen lampen worden doorgaans kort na signalering vervangen. Verder is het gangbaar om de lichtopbrengst van lampen, vaak inclusief reflectoren, op gezette tijden (jaarlijks) te (laten) meten. Afhankelijk van het resultaat van de lichtopbrengstmeting wordt besloten de lampen te vervangen en/of de reflectoren te herstellen. Bij hoge lichtintensiteiten wordt eerder besloten tot vervanging van alle lampen bij geconstateerde afname in de lichtopbrengst terwijl bij lagere lichtintensiteiten vaker pas wordt vervangen na uitval van de lamp.

Vrijwel alle bevraagde tuinders spraken zich uit voor het gebruik van de moderne zwaardere 1.000 Watt armaturen omdat er dan minder armaturen in de kas komen te hangen met evenredig minder montagewerk, minder reinigingswerk en minder schaduwwerking. Er bestaan concepten voor LED-verlichting waarin de warmteafgifte door middel van waterkoeling bij de lamp wordt weggenomen. Dit idee mag onder geen beding tot druppelen van condensatiewater op het gewas leiden aangezien dit schadelijk kan zijn.

A.4 Doorkijk

Gevraagd naar wensen en verwachtingen voor de toekomst kan de volgende inventarisatie worden opgesteld:

Bijlage A blad 4

- Scheiding van lichtafgifte en warmteproductie biedt voordelen, zeker in combinatie met bovenschermen. Directe toepassing hiervan bijvoorbeeld in het mogelijk maken van meer-lagenteelt tijdens de eerste groeifasen van het gewas.
- Indien scheiding warmteproductie en lichtafgifte lampen niet of lastig te realiseren is, dan mogelijk een optie om lampen in hoogte variabel ophangen om warmte beter nuttig aan te kunnen wenden.
- Scheiden van lampreflectorhuis en voorschakelapparatuur. De huidige armaturen worden toch wel als groot en lomp beschouwd en eliminatie van de VSA uit de kas zou een goede eerste stap naar verkleining zijn.
- Bij verschillende tuinders bestaan hoge verwachtingen voor spectraal specifiek licht (b.v. blauw/rood/ver-rood verhouding) om verschillende groeifasen beter te kunnen sturen. Ook zou er door het gebruik van de specifieke golflengtes dan minder licht nodig zijn, waardoor het toenemend probleem van lichthinder wordt gereduceerd.
- Echte innovaties wellicht verkregen in compleet geïntegreerd kasontwerp, kas met de benodigde installaties. Energieprijzen zijn mogelijke stimulans hiervoor (KAEB, kas als energiebron). Ook in het glas van de kas zelf schuilen nog veel innovaties en perspectieven.

BIJLAGE B VRAGEN ENQUÊTE

Vragen/enquête tuinbouwlampleveranciers (t.b.v. "roadmap LEDs voor glastuinbouw")

18/9/06

Invulinstructie:

- De vragen op dit formulier zijn vaak multiple choice, waarbij u uw voorkeurantwoord kunt omcirkelen. In een aantal gevallen wordt u gevraagd iets in te vullen. Indien u een toelichting wilt geven, dan bent u uitgenodigd dit te doen (desnoods op een apart vel onder vermelding van het vraagnummer)
- KEMA kan uw antwoorden (anoniem) gebruiken in de bevindingen/rapportage van de studie "Roadmap voor de Transitie naar gewasbelichting met LEDs", die in opdracht van het Productschap Tuinbouw en het Ministerie van LNV wordt uitgevoerd.
- KEMA is een onafhankelijke organisatie, die geen plannen heeft om tuinbouwbelichtings-systemen op de markt te brengen
- In principe zullen wij uw antwoorden anoniem verwerken in de bevindingen/rapportage van de studie (tenzij u er geen moeite mee heeft dat u bedrijfsnaam wordt genoemd)
- we hopen dat u zoveel mogelijk van de hieronderstaande vragen wilt beantwoorden. Indien dat om commerciële redenen niet kan, dit gaarne aangeven met **"Conf"** (confidentieel)
- Indien u niet wilt dat uw antwoorden herleidbaar zijn naar uw bedrijf, dit s.v.p. aangeven bij vraag 1

Naam bedrijf:

Invuller:

Functie

Datum:

1. Hebt u er problemen mee als sommige antwoorden (in de verwerking van de data in de workshop en/of rapportage) herleidbaar zijn naar uw bedrijf?
 - a. ja, dit geldt voor alle vragen
 - b. ja, bij sommige vragen, deze heb ik aangegeven met een **"A"** voor het vraagnummer (afkorting voor anoniem)
 - c. nee
2. Bent u van plan / bezig met LED-armaturen voor de tuinbouw te ontwikkelen?
 - d. van plan
 - e. bezig met

3. Zo ja voor welk type belichting:
 - a. stuurlicht?
 - b. assimilatiebelichting?

4. Zo ja, op welke termijn denkt u die te introduceren (indicatie):
 - a. Stuurlicht in
 - b. Assimilatiebelichting in

5. Hoe ziet uw ideale stuurlamp eruit?
Geef de in uw ogen belangrijkste kenmerken (bijv. lichtopbrengst, rendement, kleurlicht, geringe lichtonderschepping, stuurbaarheid etc.)
.....
.....
.....

6. Hoe ziet uw ideale assimilatielamp eruit?
Geef de in uw ogen belangrijkste kenmerken (bijv. lichtopbrengst, rendement, kleurlicht, spectrum, geringe lichtonderschepping, stuurbaarheid, lage warmteproductie etc.)
.....
.....
.....
.....

7. Wat zijn de belangrijkste problemen die u bij de ontwikkeling van LED-armaturen verwacht?
 - a. afvoeren van warmte
 - b. voldoende hoog PAR-licht rendement ($\mu\text{mol}_{\text{PAR}}/\text{J}$) halen
 - c. inbouw in de kas / lichtonderschepping
 - d. elektrische besturing
 - e. acceptabel prijsniveau
 - f. levensduur

8. Welk type LEDs gebruikt u bij huidige (in ontwikkeling zijnde) tuinbouwapplicaties?
 - a. high power LEDs met single dye. Zo ja welk typisch vermogen: 1, 3, 5 W ?
 - b. high power LED met multiple dye. Zo ja welk vermogen? W?
 - c. OLEDs

Bijlage B blad 3

9. Welk type LEDs verwacht u in de toekomst (ca 5 à 10 jaar) in uw tuinbouwapplicaties te gebruiken?
 - a. high power LEDs met single dye. Zo ja welk typisch vermogen: 1, 3, 5 W ?
 - b. high power LED met multiple dye. Zo ja welk vermogen? W
 - c. OLEDs

10. Is het bestaande gamma aan verkrijgbare LEDs groot genoeg (los van lichtoutput per LED en omzettingsrendement, die altijd hoger mogen)?
 - a. ja
 - b. nee

11. Zo nee, wat mist u?
 - a. Bepaalde kleuren: ja/nee Indien ja, welke golflengten, nm.
 - b. Geschikte witte LED
 - c. LED met een optimaal spectrum voor assimilatiebelichting
 - d. Externe optics om licht te richten?
 - e. Componenten voor adequate elektrische besturing
 - f. Anders, namelijk

12. Welke kleuren wilt u toepassen?
 - a. single kleuren zo ja, welke
 - b. spectrum (lijkend op SON-T / zonlicht / special)
 - c. wit (white, warm-white,,,,,)
 - d. UV
 - e. Verrood
 - f. Infrarood (NIR)

13. Wat is in uw ogen de grootste bottleneck voor introductie van LEDs voor assimilatiebelichting (desgewenst aangeven met nummertjes in volgorde van belangrijkheid):
 - a. lichtoutput per LED
 - b. omzettingsrendement van de LED
 - c. prijs per LED
 - d. aantal LED-dyes per packages
 - e. elektronica voor aansturing
 - f. levensduur van de LED
 - g. degradatie van de LED
 - h. ontbreken van de juiste kleur(en)
 - i. anders, namelijk

Bijlage B blad 4

14. Welke inpassingsproblemen in de kas verwacht u?

- a. Lichtverdeling
- b. Voldoende intensiteit realiseren ($\mu\text{mol}_{\text{PAR}}/\text{s}/\text{m}^2$)
- c. Koeling (van LEDs)
- d. aansturing
- e. energietoevoer
- f. veiligheid (bijv. 'lasergevaar', arbo)
- g. negatieve effecten op insecten (bijen, hommels, 'natuurlijke vijanden')
- h. anders, namelijk

15. Welk flankerende onderzoeken zijn in uw ogen nodig of gewenst voor een vlotte introductie van LEDs voor (met name) assimilatiebelichting?

A. Plantkundig

- a) planten met betere lichtbenutting (veredeling)
- b) plantresponsie op lichtkleur, bijvoorbeeld
 - i) vinden van optimale kleur voor in bloei trekken
 - ii) beïnvloeding bladkleur
 - iii) aanmaak bladgroenkorrels
 - iv) aanmaak bepaalde gezondheidsbevorderende stoffen (in vruchtgroenten)
 - v) anders, nl
- c) bijzonder belichtingswijzen, zoals niet-continue belichting (bijvoorbeeld pulsbelichting, traversende belichting)
- d) optimale kleuren c.q. spectrum voor assimilatiebelichting
- e) optimale verhouding van kleuren in spectrum voor assimilatiebelichting

B. LED-/armatuurtechnisch:

- a) koeling
- b) besturing
- c) optiek
- d) armatuurontwikkeling
- e) benutting LED-warmte
- f) efficiëntere LEDs
- g) LEDs met hogere lichtoutput per LED
- h) LEDs met langere levensduur
- i) LEDs met geringere temperatuurafhankelijkheid
- j) Speciale kleuren LEDs, namelijk
- k) Anders nl.

- C. invloed van LED-licht op omgeving:
- a) insecten in de kas
 - b) mens in de kas
 - c) lichtuitstoot naar buiten
 - d) anders, namelijk
16. Wie moet in uw dit onderzoek in uw ogen oppakken? (S.v.p verwijzen naar nummers van flankerende onderzoeken, bijvoorbeeld A-b-iii)
- a. Individuele tuinders; onderzoeken:
 - b. Lampeleverancier / productontwikkelaars; onderzoeken:
 - c. Lampeleverancier / productontwikkelaars samen met tuinder; onderzoeken:
 - d. Collectief betaald onderzoek door bijv. PT/MinLNV; onderzoeken:
17. Wordt de introductie van LED-lampen voor assimilatiebelichting hiermee in uw ogen significant/versneld?
- a. ja met ca jaar
 - b. nee, want
18. Wat is momenteel de beste lamp in uw huidige productgamma waarmee nieuwe (LED-)verlichting straks moet concurreren:
- a. type:
 - b. vermogen: W
 - c. lichtoutput $\mu\text{mol/s}$ lumen
 - d. efficiency lamp $\mu\text{mol/s/We}$ lampstelsel incl VSA: $\mu\text{mol/s/We}$
 - e. dominante golflengten in spectrum
19. Welke ontwikkelingen verwacht u nog bij klassieke assimilatiebelichting?
- a. Toename fotonrendement (max. haalbaar $\mu\text{mol/s/We}$ of stralingsrendement W_{PAR}/W_e)
 - b. lampen met meer vermogen (600W, 1000 W,W)
 - c. lampen met beter spectrum
 - d. lampen met langere levensduur
 - e. aansturing (verbetering VSA)
 - f. prijsniveau (daling met% of stijging met%)

Bijlage B blad 6

- g. regelbaarheid
h. anders, namelijk
20. Kunt u iets zeggen over het (beoogde) prijsniveau van een nieuwe (LED-)lamp?
Bijvoorbeeld de (orde grootte van de) prijs waarmee in uw ogen de nieuwe lamp moet concurreren. Ook gaarne indicatie van jaar waarin dit verwacht wordt
- a. prijsniveau huidige lampen EUR/ μ mol/s (eventueel EUR/lumen)
b. prijsniveau huidige lampsysteem. EUR/ μ mol/s (eventueel EUR/lumen)
c. prijsniveau LED-lampsysteem. EUR/ μ mol/s (eventueel EUR/lumen)
in jaar
21. Lichthinder: verwacht u dat LEDs een rol zullen spelen bij het reduceren van lichthinder
- a. ja, want
b. nee, want
22. Economie/markt van/voor belichting. Denkt u dat met de komst van LED-belichting meer/evenveel/minder tuinders gaan belichten?
- Stuurlicht:*
- a. Meer Zo ja welk percentage meer schat u: %
b. ongeveer evenveel
c. minder tuinders
- Assimilatiebelichting:*
- d. Meer Zo ja welk percentage meer schat u: %
e. ongeveer evenveel
f. minder tuinders
23. Wat is in uw ogen het belangrijkste argument van een tuinder om straks voor een LED-lamp van uw bedrijf te kiezen (geef eventueel meerdere opties met volgorde van belangrijkheid)
- a. het specifieke lightspectrum
b. de specifieke kleuren
c. het omzettingsrendement (μ mol/s/W_e)
d. de regelbaarheid
e. de lichtoutput per armatuur
f. geringe lichtonderschepping
g. geringe warmteproductie
h. de prijs van de armaturen
i. de total cost of ownership

Bijlage B blad 7

- j. de betrouwbaarheid van de leverancier
- k. korte levertijd
- l. anders, namelijk

24. Is het in uw ogen belangrijk dat er subsidie komt op de toepassing van LEDs?

- a. Ja, ik denk hierbij aan:
 - a)EIA (energie-investeringsaftrek)
 - b)MIA (milieu-investering)
 - c)Energiepremie-achtig
 - d)Groenlabelkas-punten
 - e)Anders, nl.....
- b. Nee, LED-lampsystemen hebben geen subsidie nodig, maar moeten zichzelf bewijzen.

25. Eventuele andere zaken die in uw ogen van belang zijn om mee te nemen in de roadmap:

.....
.....
.....
.....

26. Ruimte voor overige opmerkingen

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Dit formulier s.v.p. gaarne per omgaande (doch uiterlijk 30 september 2006) terugsturen of faxen naar:

KEMA Nederland BV
T.a.v. Jacques A.F. de Ruijter
TOS/M05
Utrechtseweg 310
NL 6812 AR ARNHEM
Faxnr. 026-3515022



Bijlage B blad 8

Bij voorbaat hartelijk dank voor uw medewerking.

Voor eventuele vragen:

Tel. 026-356 2227

Email: Jacques.deRuijter@kema.com

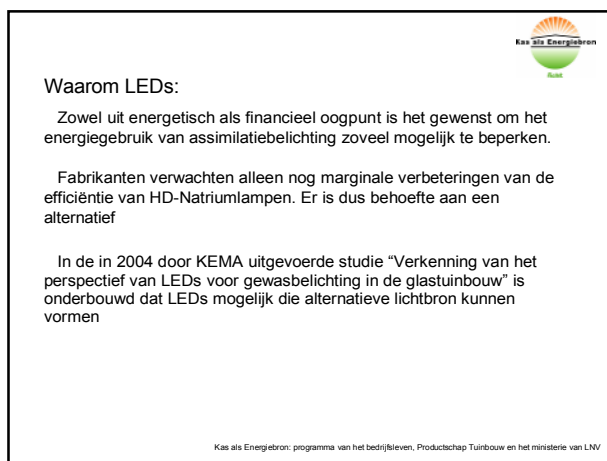
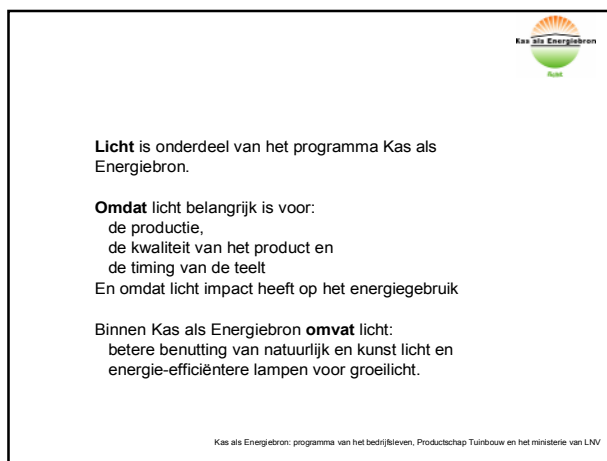
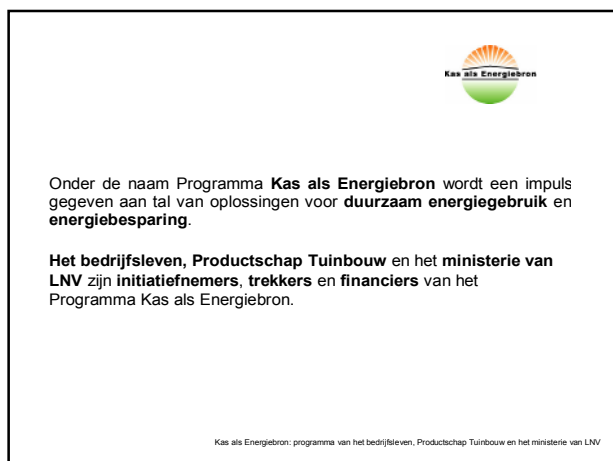
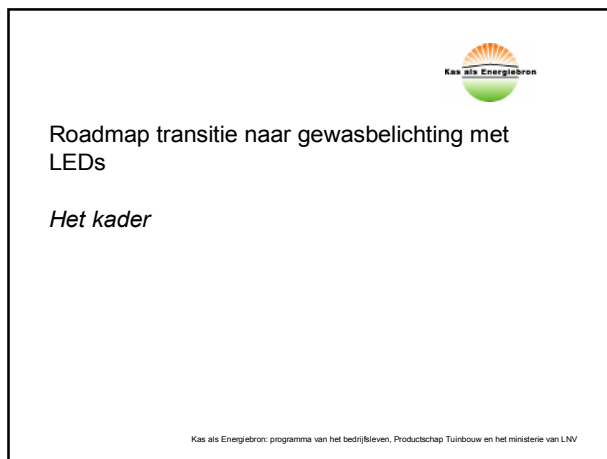
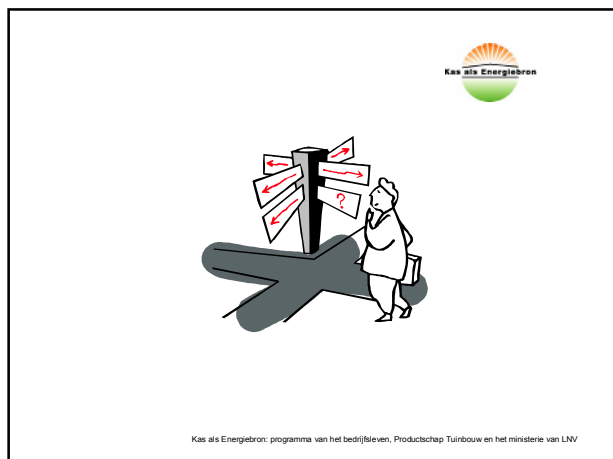
BIJLAGE C INTERACTIEVE THEMAMIDDAG "BETERE GEWASBELICHTING MET LED'S". WAAR STAAN WE? WAAR WILLEN WE NAAR TOE?

Op 12 oktober 2006 is een interactieve themamiddag gehouden over LED's in de glastuinbouw, met de volgende groepen deelnemers:

- tuinders
- leveranciers/fabrikanten lampsystemen
- onderzoekers (WUR PPO, PRI, KEMA)
- beleidsmakers (PT).

De themamiddag bestond half uit presentaties en half uit interactieve discussies rond een aantal kernthema's/vragen.

De presentaties en de weerslag van de discussies zijn hieronder weergegeven.





LEDs: waar staan we

Proof of principle

LEDs kunnen worden gebruikt voor assimilatiebelichting

Pulserende LEDs besparen energie t.o.v. niet pulserende LEDs

LEDs worden steeds efficiënter maar zijn nu nog onvoldoende efficiënt om daadwerkelijk energie te besparen t.o.v. huidige systemen

Op basis van prognoses mag worden verwacht dat tussen 2010 en 2015 systemen op basis van LEDs efficiënter zijn dan de huidige systemen

Pulserende LEDs helpen dit punt dichterbij te brengen

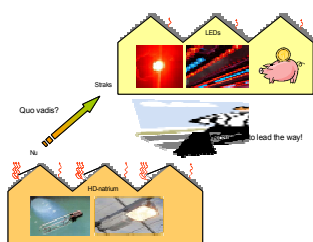
Kas als Energiebron: programma van het bedrijfsleven, Productschap Tuinbouw en het ministerie van LNV



Waarom nu al aandacht:

Kans om belichtingsconcept af te stemmen op het gewas (kleur, locatie) i.p.v. dat de beschikbare lamp uitgangspunt is.

Kas als Energiebron: programma van het bedrijfsleven, Productschap Tuinbouw en het ministerie van LNV



Kas als Energiebron: programma van het bedrijfsleven, Productschap Tuinbouw en het ministerie van LNV

Gewasbelichting met LEDs:

Waar staan we?
Waar willen we naar toe?

Interactieve themamiddag
12 oktober 2006, Zoetermeer

Jacques de Ruijter

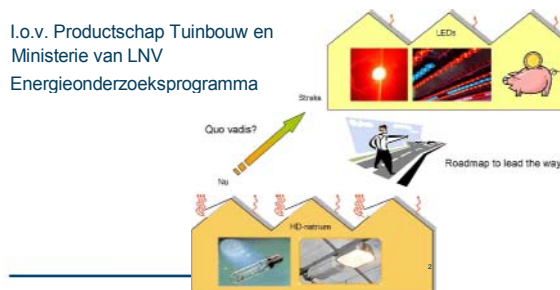
Experience you can trust.

Projectschets

Officiële projecttitel: "Roadmap voor de transitie naar gewasbelichting met LEDs"

I.o.v. Productschap Tuinbouw en
Ministerie van LNV

Energieonderzoeksprogramma



Waarom belichten?

- Jaarrond telen
 - betere contracten met afnemers
 - gelijkmatigere spreiding arbeid (vaste contracten)
- Meer productie (o.a. roos, tomaat)
- Teeltvervroeging
- Betere productiesturing (o.a. bij plantenteelt)
- Kwaliteitsverbetering
- (indien mogelijk) kostprijsverlaging



Drivers voor betere gewasbelichting

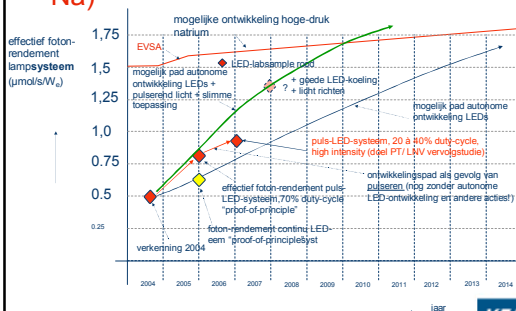
- Stijgende energieprijzen
- Warmteoverschotten bij assimilatiebelichting (> 6000 lux)
- Teeltbeperkingen bij hoge lichtintensiteiten en dichte schermdoeken
- Beperkingen aan toelaatbaar primair energieverbruik en CO₂-emissie
- Toenemende aandacht voor lichthinder (o.a. nieuwe glastuinbouwgebieden)
- Behoeftte aan verbetering omzetting kWh_e productie
- Behoeftte aan beter financieel rendement belichting
- Behoeftte aan productiesturing (kwaliteit, levermoment)
- (brandgevaar bij HD-Na indien te dicht bij scherm)

Waarom LEDs?

- LEDs maken snelle groei door
- Conventionele lamptypes zitten aan hun (technische) grenzen (nog slechts marginale verbeteringen)
- Bij doorzetten groei worden LED's efficiënter dan HD-Na
- LEDs zenden koud licht uit (geen warmtestraling)
- Kansen: belichting kan beter worden afgestemd op toepassing:
 - optimale golflengte(n)
 - intensiteit (dimbaar)
 - lichtrichting (targetbelichting)
 - scheiden licht en warmte
 - pulseren (mogelijke efficiëntere fotosynthese)



Mogelijke ontwikkelscenario's LEDs (vs HD Na)



LEDs: niet alleen energie-efficiency telt!

- Optimale kleurkeuze
- Minder warmte op de plant
- Langere levensduur
- Intensiteit beter regelbaar
- Correctie voor lichtverlies LEDs mogelijk
- Bijzondere belichtingswijzen mogelijk (pulseren)
- Licht beter te richten op de plant
- Slimme inbouw mogelijk met minder lichtonderschepping
- Gebruiken van lampwarmte buiten de kas

Toepassingsgebieden LEDs

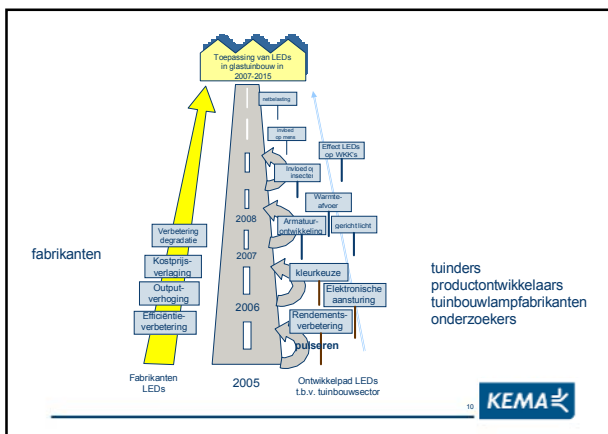
- Niches (0 – 4 jaar):
 - Meerlagen teelt (o.a. opkweek, kiemprouwen, enten van planten)
 - Klimaatcellen zonder daglicht
- Stuurlicht : 0,5 à 4 jaar
- Groeilicht (assimilatiebelichting) : 3 à 10 jaar



Agro LED System®

Doel van het project

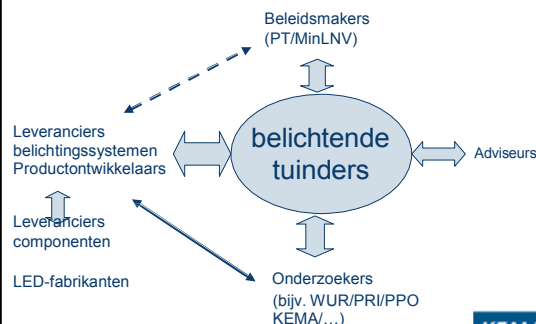
- Versnellen succesvolle introductie van LEDs in de glastuinbouw:
 - te ontwikkelen LED-belichting optimaal afstemmen op behoeften
 - reductie lichtoverlast
 - rekening houden met randvoorwaarden (mens en dier in de kas)
 - financieel aantrekkelijk
 - energetisch beter



Aanpak project

- Gesprekken met stakeholders
- In kaart brengen relevante eisen/wensen en aandachtspunten
- Classificatie items
- Toetsen belang van wensen/aandachtspunten
- Identificeren noodzakelijk/gewenst flankerend onderzoek en acties
- Wie doet wat (allocatie acties aan stakeholders)
- Rapporteren

Stakeholders





Roadmap voor de transitie naar gewasbelichting met LEDs

Terugkoppeling veldverkenning stakeholders Ontwikkelaars / LED-fabrikanten / Onderzoekers

12 oktober 2006, Zoetermeer PVVE

Jacques de Ruijter

Experience you can trust.

Ontwikkelingen bij LED-fabrikanten

- Relatief meer aandacht voor witte LEDs
- Groei in efficiëntie rode LEDs lijkt wat te vertragen (alhoewel stapsgewijze doorbraken mogelijk blijven; mogelijk ook kwestie van focus bij LED-fabrikant)
 - lab.samples: 60 lm/W, 1,55 $\mu\text{mol/s/W}$, ca 30% PARrend.
- Belangrijke aandachtsgebieden/groeimarkten LEDs:
 - backlight in LCD-schermen
 - Kantoren
 - Autolampen
- Assimilatiebelichting meestal nog geen thema!
- Nationaal wel interesse bij componentleveranciers



Consultatie productontwikkelaars/leveranciers tuinbouwlampen

- Persoonlijke gesprekken
- Enquete (7 bedrijven, 6 responsies)
- Anonieme verwerking
- Hier hoofdresultaten
- Uitwerking in rapportage



Resultaten consultatie “ontwikkelaars”

- 4 bedrijven zijn bezig met ontwikkelingen van LED-belichting voor glastuinbouw, 2 zijn dit van plan
- Stuurlicht of assimilatiebelichting?
 - stuurlicht: 2 bedrijven
 - assimilatie: 4 bedrijven
 - beiden: 1 bedrijf



Resultaten consultatie ontwikkelaars (2)

- Belangrijkste verwachte problemen bij ontwikkeling:
 - 1 acceptabel prijsniveau (5x)
 - 2 voldoende hoog PAR-rendement ($\mu\text{mol}_{\text{PAR}}/\text{J}$) (3x)
 - 3 afvoeren warmte (2x)
 - 4 (economische) levensduur (1x)
- Gamma bestaande LEDs groot genoeg?
 - nee (3x)
 - ja (1x)
- Wat mist u?
 - nog niet goed bekend
 - of confidantieel



Resultaten consultatie ontwikkelaars (3)

- Grootste problemen bij inpassing in de kas?
 - voldoende intensiteit (3x)
 - koeling LEDs (2x),
 - confidantieel (2x)
- Flankerend onderzoek, door wie?
 - collectief met financiering PT/MinLNV (5x)
 - productontwikkelaar/lampleverancier+tuinder (4x)
- Versneld dit onderzoek introductie:
 - ja (4x) (2x 2jaar, 1x 1 jaar, 1x 5 jaar)
 - nee (2x) (ligt aan ontwikkeling LEDs)
- Subsidie belangrijk voor vlotte introductie (MIA, EIA)
- Men wil minder info kwijt naarmate men dichter bij introductie zit



Consultatie onderzoekers + overig

- PRI / PPO:
 - teeltsystemen
 - bijen/hommels
 - entomologie
- WUR (beperkt)
- TNO (zintuigfysiologie)
- Volgen relevante ontwikkelingen overheid (EU/NL)
- Resultaten: mogelijk relevante onderzoeksaspecten op sheets hierna



Onderzoeksaspecten (precompetitief, LT) Plant en licht

- **Optimale kleuren (en kleurverhouding)** voor
 - Assimilatiebelichting
 - Stuurlichttoepassingen
 - Extra bladgroenproductie
 - blad- en bloemkleur
 - Rood/verrood voor morfogenese
 - UV (ca 400 nm), bijvoorbeeld voor aanmaak gezondheidsbevorderende stoffen (anti-oxidanten)
- Lichtdoordringing in gewas
- Tussenbelichting?
- Gericht / diffuus licht
- Optimale belichtingsniveaus



Onderzoeksaspecten (precompetitief, LT) Plant en licht (2)

- Met LED-licht efficiëntere productie dan met TL- of HD-Na-licht? *(door beter kasklimaat bijvoorbeeld door temperatuur en/of RV verbetering a.g.v. het ontbreken van warmtestraling)*
- Is het zinnig bestaande HD-Na belichting te verbeteren door aanvullend blauw en/of verrood LED-licht? *(als tussenstap in de overgang naar 'total-LED-belichting')*



Onderzoeksaspecten (precompetitief) Dier en licht

- LED-licht en insecten:
 - bestuivers: bijen / hommels (zien geen rood / wel UV, mogelijk desoriëntatie?, kunnen ze tegen pulserend licht?)
 - plaaginsecten (mogelijk lagere populatie door gekleurd licht?)
 - biologische bestrijders (mogelijk minder effectief doordat ze plaaginsecten bij gekleurd licht minder goed zien?)
- Probleem of vermeidbaar?



Onderzoeksaspecten (precompetitief) Mens en licht (Arbo)

- EG-richtlijn Blootstelling werknemers aan kunstmatige optische straling (89/391/EEG)
- moet op 27 mei 2010 zijn geïmplementeerd
- onderkende gevaren voor het oog:
 - blauw (<470 nm) bij langdurige bestraling op korte afstand
 - UV (onzichtbaar, fotochemisch actief)
- Staatssecretaris Van Hoof verwacht bij traditionele groeilampen weinig problemen, mits men niet recht in de lamp kijkt



Onderzoeksaspecten (precompetitief) Mens en licht (Arbo, 2)

- Heeft monochroom licht invloed op mens in de kas?
 - fysiologisch (bijv. hoofdpijn na x-uur?)
 - gemoedstoestand?
 - arbeidsproductiviteit en –kwaliteit (kunnen mensen zien wat ze moeten zien?)
- Zelfde vraag voor licht met beperkt aantal kleuren (bijvoorbeeld rood en blauw)



Onderzoeksaspecten LED-lampsysteem (technisch)

- Koeling van LEDs
 - heeft positief effect op efficiëntie+levensduur
 - warmte bij voorkeur terugwinnen
- Hoe optimaal inpassen in kas?
 - weinig/geen lichtonderschepping
 - goede egale lichtverdeling c.q. alleen op plant
 - uitvoering koeling LEDs (geen condensatiedruppels op planten)
- Regeling
 - constante lichtoutput bij wisselende omstandigheden
 - lichtniveau regelbaar



Lopende onderzoeken Plant en (LED-)licht

- Gepulste LED-belichting (KEMA/PRI/PT/MinLNV)
- STW: smalbandige belichting met LEDs (WUR/Philips e.a.)
- Diverse telers, die met bijvoorbeeld teeltkarren van Flowmagic eigen plantbelichtingsonderzoek doen



Classificatie LED-aspecten

- Aspecten belichting met LEDs:
 - Plant en licht
 - LED-lampsysteem en inpassing
 - LED-techniek (component)
 - Dier en licht
 - Mens en licht (arbo, lichthinder)
 - Energie
 - Economie



Aspecten belichting met LEDs (1)

- Plant en licht;
 - optimale kleuren
 - (energetisch) optimale kleur voor fotosynthese
 - hoofdkleuren + ondersteunende kleuren
 - wit licht of gekleurd licht
 - continu/pulseren
 - direct/difфуus licht
 - optimale lichtniveaus



Aspecten belichting met LEDs (2)

- LED-lampsysteem:
 - weinig/geen lichtonderschepping
 - LED-koeling
 - warmteuitkoppeling en gecontroleerde afvoer uit kas
 - juiste kleuren
 - regelbaar
 - richten (of juist difфуus maken)
 - lichtoutput onafhankelijk van verstoringen
 - ...



Aspecten belichting met LEDs (3)

- LED-techniek:
 - kleuren LEDs
 - omzettingsrendement (fotonrendement, $\mu\text{mol/s/W}_e$)
 - output per LED
 - verdeling uittredend licht (optiek)
 - prijs (EUR/ $\mu\text{mol/s}$)
 - ..



Aspecten belichting met LEDs (4)

- Dier en licht:
 - bijen en hommels
 - plaaginsecten
 - biologische bestrijders
- effect op gedrag/populatie
- probleem of vermijdbaar?

Aspecten belichting met LEDs (5)

- Mens en licht
 - implicaties EU-richtlijn risico blootstelling kunstmatige optische straling
 - effectiviteit mens bij (gekleurd) LED-licht
 - lichthinder (lichtuittoot naar buiten)

Aspecten belichting met LEDs (6)

- Energie:
 - verhogen omzettingsrendement van LED-systeem
 - uitkoppelen en hergebruiken van warmte uit LEDs
 - doelbelichting: alleen licht op plant (niet op vloer)
 - door lagere temperatuur in de kas, minder ventilatie en dus warmteverliezen naar buiten
 - (tevens hogere CO₂-concentratie en dus hogere productie)
 - afgevangen warmte nuttig gebruiken

Aspecten belichting met LEDs (7)

- Economie
 - Kosten:
 - aanschafkosten
 - energiekosten
 - onderhoudskosten
 - (verwijderingskosten)
 - TCO (Total Cost of Ownership)
 - Opbrengsten:
 - meer/beter product
 - duurder product
 - betere arbeidsverdeling
 - etc.

Bevindingen Consultatie Tuinders

“Naar gewasbelichting v/d toekomst”

12 oktober 2006
PT Zoetermeer
Joost de Wolff

Overzicht

- Werkwijze
- Algemeen
- Categorieën
 - Toepassing
 - Economie
 - Praktisch
 - Doorkijk

Werkwijze

- Serie gesprekken met belichtende glastuinbouwers
- Kleine maar gevarieerde groep glastuinders: Rozen, fresia's, begonia's, aardbeien, tomaten, paprika's, komkommers plus kassenbouwer
- Variatie in teelt geeft variatie in kascondities zoals licht- en warmtebehoefte



Algemene bevindingen:

- Vakbekwaamheid glastuinders zit in complexe logistiek naar productie volgens vraagpatroon
- Licht is hierin *slechts* een van de componenten
- Huidige standaard hogedruk-natriumlampen met 600 – 1.000 Watt armaturen



Toepassing

- Licht vooral als groeilicht, minder als stuurlicht (al is het onderscheid soms niet uitgesproken)
- Intensiteit van belichting loopt sterk uiteen: van 2.500, via 3.000-5.000 en 7.500 tot 15.000 lux
- Regelmogelijkheden beperkt tot aan/uit, 2 groepen
- Bij voorkeur maximaal licht uit de lamp, maar toch geen onoverkomelijk problemen met warmteafgifte



Economie

- Tuinders: "Gewasbelichting is serieuze kostenpost" zowel afschrijving investering (incl. aansluiting) als verbruikskosten (TCO, Total Costs of Ownership)
- Verbetering lichtopbrengst per Euro welkom
- Uitsparen aansluitkosten (WKK-vermogen of net) door niet alle kassen tegelijk belichten



Praktisch

- Voor tuinder licht een van de kas'klimaat'parameters net als temperatuur, vocht, voeding en CO2, waarvoor kas zo optimaal mogelijk ingericht
- Regeling en onderhoud onderdeel dagelijkse routine
- Reiniging en stofvrijmaken van lampen / armaturen
- Vervangen van uitgevallen lampen
- Jaarlijks meten lichtopbrengst, vervangingstrategie



Doorkijk: wensen voor de toekomst

- Scheiding lichtafgifte en warmteproductie voordelig: bovenschermen, meer-lagenteelt, hogere intensiteit
- Als geen scheiding dan nuttiger aanwenden warmte
- Scheiding reflectorhuis en voorschakelelectronica
- Spectraal specifiek licht voor: betere sturing, meer groei met minder licht (economie en lichthinder)
- Echte innovaties mogelijk uit geïntegreerd kasontwerp



Uitwerking Interactieve Discussie tijdens Themamiddag “Betere gewasbelichting met LEDs! Waar staan we? Waar willen we naar toe?”, d.d. 12 oktober 2006 te Zoetermeer
Inventarisatie van wensen en Peiling van verwachtingen

Jacques de Ruijter, KEMA, 18-10-06
Joost de Wolff, KEMA

Om een beter beeld te krijgen van de wensen en verwachtingen die bij tuinders en leveranciers van tuinbouwbelichtingssystemen (en productontwikkelaars en onderzoekers op dit gebied) leven ten aanzien toekomstige gewasbelichting, is middels stemming de mening van de deelnemers aan de themamiddag (= responsgroep) gepeild. Hiertoe werd steeds een aandachtspunt rond belichting in een bepaalde context gezet (bijvoorbeeld in de vorm van een stelling) en konden de deelnemers aangeven of ze het eens of oneens waren met de stelling (of ten aanzien van dat punt geen mening hadden). Van andere punten werd gevraagd, of men het punt “heel belangrijk”, “belangrijk” of “weinig belangrijk” vond.

Op basis van de verzamelde tellingen van de stemmingen tijdens de interactieve discussie is een Excel-bestand opgesteld, dat behulpzaam was om inzicht in de resultaten te verkrijgen (zie bijlage). De conclusies die aan de hand van de balken-grafieken met stemuitslagen per aspect in dit Excel-bestand zijn getrokken, zijn in deze notitie samengevat.

Bij de interpretatie dient rekening te worden gehouden met de samenstelling van responsgroep. Deze bestond uit circa 14 productontwikkelaars/tuinbouwlampleveranciers, 2 tuinders + 1 vertegenwoordiger daarvan (LTO-groeiservice) en 3 onderzoekers.

Inventarisatie wensen gewasbelichting:

Uit de eerste stemmingen naar wensen van tuinders spreekt heel duidelijk dat de groep vooral waarde hecht aan een hoog rendement van de verlichting, d.w.z. veel ‘molen’ licht per Euro kosten. Het behoud van de lichtopbrengst vormt de duidelijke tweede belangrijke prioriteit. Belangrijke toevoeging uit de groep was, dat het rendement voor tuinder natuurlijk bepaald wordt door opbrengst van de oogst afgezet tegen de productiekosten.

Gevraagd naar de meest **relevante ‘issues’** spreekt de groep zich uit voor het opbouwen van kennis rond plant en licht, waarbij zowel stuur- als groeilicht verbeterd worden (waarbij de laatste als heel belangrijk wordt gezien).

Tevens is het belangrijk het warmteprobleem in de kas op te lossen. Ook de regelbaarheid van de belichting is een belangrijk facet. Verder verdient volgens de groep het mogelijk effect van (gekleurd) LED-licht op insecten veel aandacht. ARBO aspecten worden niet onbelangrijk, maar oplosbaar geacht. Dit blijft een thema net als lichthinder.

Toekomstverwachtingen: De groep is stellig in de verwachting dat er meer belicht gaat worden. Of dit met LED's gaat gebeuren is minder zeker. De verwachting is verder dat verbruikskosten bij toekomstige belichting zwaarder zullen wegen dan de afschrijving (ingegeven door verwachtingen rond energieprijzen?). De groep is niet eenduidig in haar mening over de ontwikkeling van de (all-in) prijs per mol licht.

Stellingen "Plant & Licht": Rond dit aspect bestond toch wel enige verdeeldheid. Er is wel een meerderheid die voor de toekomst bij belichting spectraal selectief licht verwacht. Of dit vooral in de rood/verrood-ratio ligt is onduidelijk. Men verwacht voordelen van het gebruik van gericht licht, maar dit hoeft niet perse wit licht te zijn. Hybride verlichting (=hogedruk natrium + LED's) kent uitgesproken voor- en tegenstanders.

Stellingen "LED lampsystemen": De groep is unaniem over belang van 'voorspelbare' verlichting (wat ingesteld is, moet er ook uitkomen). De groep hecht verder aan traditionele lampposities boven in de kas; lampen onderin of zelfs buiten de kas gaat toch een stapje te ver, vreemd of kostbaar. De vraag rond brandgevaar lokte felle reacties uit. Bij lampen met LED's is het - net als nu - vooral een kwestie van goed onderhoud aan de elektrische installatie. Men is verdeeld over verwerking van lichtbronnen in de kasconstructie.

Stellingen "LED componenten": Rond dit aspect was de toch technisch georiënteerde groep redelijk verdeeld. Alleen was de groep eenduidig in haar oordeel dat de sector niet goed weet wat ze van de LED-fabrikanten willen (bijvoorbeeld welke kleuren zijn voor gewasbelichting het meest belangrijk). (Hier ligt mogelijk een onderzoeksvraag voor de Roadmap in samenhang met de behoefte aan meer kennis van Plant en Licht).

Stellingen "Mens en Licht": In een tweetal stellingen over blootstelling aan kunstmatige optische straling (waarvoor recentelijk een EG-richtlijn is uitgevaardigd), gaf men aan het werken in de (toekomstige) kas met (hoog vermogen) LED's niet onverdeeld als gevaarlijk te zien. Iedereen was het er wel over eens, dat de installatie aan de wet zal moeten voldoen, maar dat probleem lijkt in de ogen van de meesten oplosbaar. Ook ten aanzien van het efficiënt kunnen werken in een kas met gekleurd LED-licht waren de meningen verdeeld. Wel was men eenduidig van mening dat LED's een rol kunnen spelen rond lichthinder naar buiten toe, al zou dat niet unaniem een driver moeten zijn in de ontwikkeling van LED-belichting.

Stellingen "Dier en Licht": Zeer uitgesproken unaniem van mening dat effect LED's op insecten uitgezocht zou moeten worden, nog eens bevestigd door de kennisvragen op dit aspect. Het belang van insecten in sector is groot, zo spreekt nog eens uit overige vragen rond dit aspect. Voorzichtigheid geboden!

Stellingen “Energie”: Unanieme mening dat door gerichter te belichten energiebesparing mogelijk is en dat er actief gezocht zou moeten worden naar afzetoepies van overtollige warmte. Verder is de groep verdeeld over de vraag of je lampwarmte mag afvoeren d.m.v. kasventilatie, of dat je warmteafvoer juist aan de bron (de lamp) zou moeten aanpakken.

Stellingen “LED & economie”: De groep was redelijk unaniem over de vraag dat

- als je minder last van lampwarmte zou hebben, dat dan meer en feller belicht zou worden
- als je minder last van lampwarmte zou hebben, dat dan de gewasproductie hoger zou uitvallen
- (frappant is dat dit thema lampwarmte zeker niet zo sterk hinderlijk uit de consultatie van de tuinders, die eerder in het kader van het project is uitgevoerd, naar boven was gekomen.)

Verder was er in de groep een voorzichtige meerderheid die voorzag dat LED's binnen 4 jaar in de Nederlandse kassen voor assimilatiebelichting zullen worden toegepast (en in lijn hiermee een kostprijsreductie van deze systemen).

Tenslotte uit de **afsluiting** door Anja Jolman (PT): men vond het boeiende en nuttige bijeenkomst, voor herhaling vatbaar, maar pas over een jaar weer. Voldoende aanleiding voor pre-competitief onderzoek, verder niet gepreciseerd.

Heel kort de Highlights

- Wens naar meer molen PAR-licht per Euro.
- Kennis opbouw rond plant en licht, zowel groei- als stuurlicht.
- Ook kennis rond impact licht op insecten verdient ruim aandacht.
- Spectraal selectief licht krijgt naar verwachting een rol in de toekomst.
- Brandgevaar is en blijft vooral een kwestie van onderhoud.
- De sector weet niet goed wat ze precies van de LED-fabrikanten willen.
- ARBO-aspecten zijn naar verwachting oplosbaar binnen de sector.
- Lampwarmte speelt toch een grote rol bij toepassing van groeilicht.

Bijlage: uitslagen stemmingen

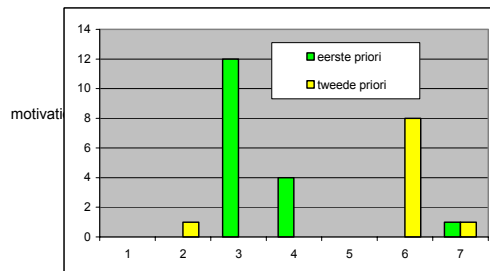
Eerste verwerking uitslagen interactieve discussie peiling wensen en verwachtingen

Inventarisatie wensen

	eerste	tweede	prioriteit
1 in aanschaf voordelig	0	0	
2 veel licht geen warmte	0	1	
3 hoog rendement (mol/euro)	12	0	
4 onderhoudsvrij	4	0	
5 lange levensduur	0	0	
6 behouden lichtopbrengst	0	8	
7 geïntegreerd in kas	1	1	
som	17	10	

Opmerking peiling wensen: bepalend voor tuinder is een 'gegarandeerd' teeltrecept
Wat is rendement voor tuinder: rendement als opbrengst oogst tegen productiekosten

Belangrijkste conclusie: veel molen per Euro en behoud hiervan hoogste prioriteit

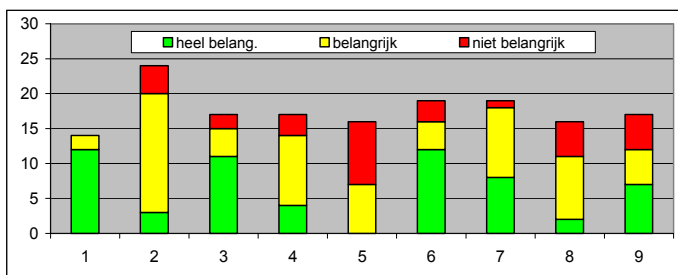


Peiling van verwachtingen

Meest relevante issues:

	Heel belangrijk	Belangrijk	Weinig belangrijk	som	
1 meer kennis van plant en licht	12	2	0	14	1
2 stuurlicht verbeteren	3	17	4	24	2 ?
3 groeilicht verbeteren	11	4	2	17	3
4 oplossen warmteprobleem in kas	4	10	3	17	4
5 oplossen warmteprobleem buiten kas	0	7	9	16	5
6 regelbaarheid	12	4	3	19	6
7 mogelijk effect op insecten	8	10	1	19	7
8 ARBO conflict ontv. Lichttechniek	2	9	5	16	8
9 Lichthinder problematiek	7	5	5	17	9

eruit springen 1,3,6 erg belangrijk
verder 2 als massaal gestemd en belangrijk
5 als issue met meeste niet-belangrijk



grafiek resultaten,

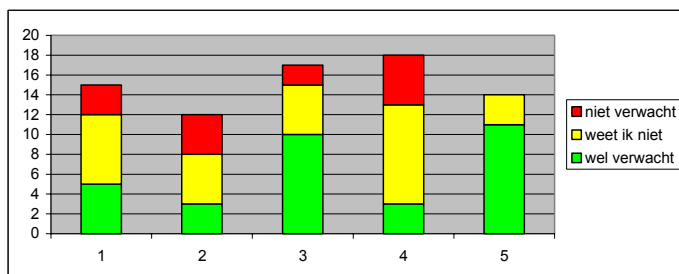
De groep wil kennis opbouwen rond plant en licht
zowel groei- als stuurlicht verbeteren

daarbij warmteprobleem in de kas oplossen
en regelbaarheid van belichten niet vergeten

Effect op insecten verdient veel aandacht
ARBO niet onbelangrijk, maar oplosbaar
Lichthinder blijkt toch ook thema

Peilen van verwachtingen economische aspecten

	wel verwachting	weet ik niet	niet verwachting	som	
1 meer mol licht per euro	5	7	3	15	1
2 minder mol licht per Euro	3	5	4	12	2
3 Assim. licht in NL groeit	10	5	2	17	3
4 Assim. licht in NL groeit door LED	3	10	5	18	4
5 Verbruik belangrijker dan afschrijving	11	3	0	14	5



conclusie: in toekomst meer groeilicht in de kassen,
mogelijk, maar niet zeker, door LED's

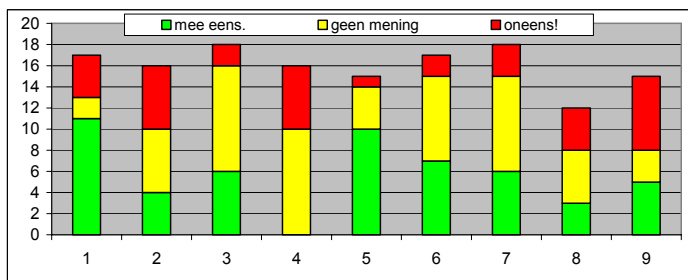
verbruikskosten in toekomst belangrijk
(ingegeven door verwachte energietarieven?)

ontwikkeling prijzen mol licht geen eenduidigheid, zeer vaag

Reageren op stellingen

Stellingen "plant en Licht"

	eens	geen mening	oneens	som		
1 vooral spectraal specifiek licht	11	2	4	17	1	Pot (Philips): fotonen belangrijker dan kleur
2 rood/verrood ratio essentieel	4	6	6	16	2	
3 kleuren extra gezondheid stof	6	10	2	18	3	
4 voorkeur voor wit licht	0	10	6	16	4	
5 verwacht veel van richten licht	10	4	1	15	5	
6 tussenbelichting gewenst	7	8	2	17	6	
7 HD-Na verbeteren aanvul LED	6	9	3	18	7	
8 herkansing HD-Na verbeteren met LED	3	5	4	12	8	7a
9 vooral diffuus LED licht	5	3	7	15	9	



grafiek resultaten,

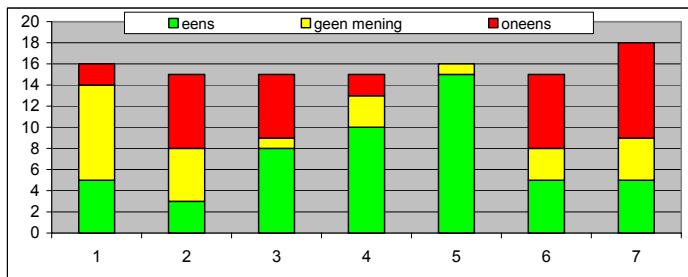
Toch wel grote verdeeldheid rond stellingen van dit aspect
Wel verwacht de groep voordeel van gericht licht
en bestaat er geen uitgesproken voorkeur voor wit licht
Tevens meerderheid die in toekomst spectraal selectief licht verwachten
Of dit vooral in rood/verrood verhouding ligt is vaag
zoeken naar kleuren extra gezond mag

Hybride verlichting kent voorstanders maar tevens felle tegenstanders

Reageren op stellingen

Stellingen "LED lamp systemen"

	eens	geen mening	oneens	som		
1 waterkoeling LEDs acceptabel	5	9	2	16	1	(te kostbaar?)
2 LEDs minder brandgevaar	3	5	7	15	2	Hierin is goed onderhoud doorslaggevend
3 verwerken in kasconstructie	8	1	6	15	3	in indruk van te grote veiligheid schuilt gevaar
4 constant licht niveau belangrijk	10	3	2	15	4	
5 constant licht niveau belangrijk Voorspelbaar	15	1	0	16	5	
6 belichting van onderaf zinnig	5	3	7	15	6	
7 lichtbron buiten kas met glasvezels binnen	5	4	9	18	7	



grafiek resultaten,

Groep unaniem over belang 'voorspelbare' verlichting
dat belichten wat ik denk te belichten

Hechten aan traditionele belichting met lampen
boven in kas, lampen beneden of zelfs buiten,
toch een stapje te ver, vreemd of kostbaar

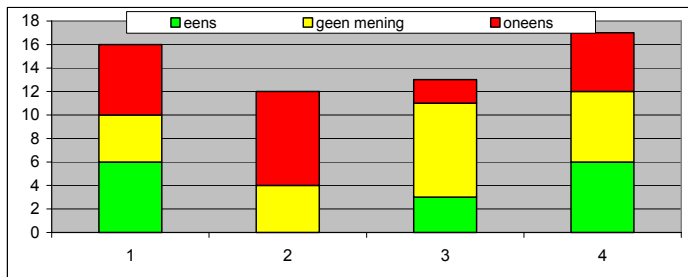
De vraag rond brandgevaar lokte felle discussie uit
Met LEDs net als licht nu een kwestie van goed
onderhoud aan elektrische installatie

Verdeeld over verwerking licht in kasconstructie

Reageren op stellingen

Stellingen "LED-componenten"

	eens	geen mening	oneens	som		
1 LED fabrikanten collectief benaderen	6	4	6	16	1	
2 Sector weet wat ze wil van fabrikanten	0	4	8	12	2	
3 Verbetering rode LED is hoofdthema	3	8	2	13	3	
4 Fabrikanten moeten verroodLED ontwikkelen	6	6	5	17	4	



grafiek resultaten,

rond aspect Led componenten was
de technisch georiënteerde groep redelijk verdeeld

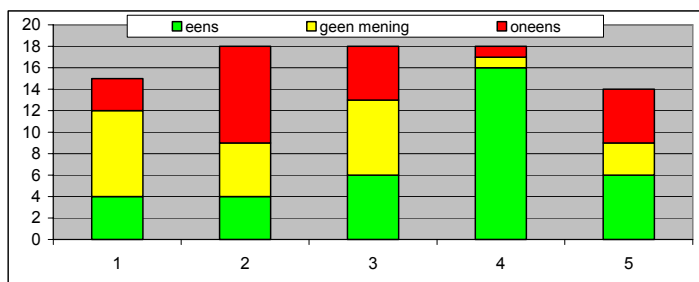
Alleen was de groep eenduidig in haar oordeel
dat de sector niet goed weet wat ze van fabrikanten willen

Schuilt hier een onderzoeksvraag in kader RoadMap in?

Reageren op stellingen

Stellingen "mens en licht"

	eens	geen mening	oneens	som	
1 werk in kas kan niet goed bij LED licht	4	8	3	15	1
2 LEDlicht geeft gevaar voor mens in kas	4	5	9	18	2
3 LED licht probleem met risico richtlijn	6	7	5	18	3
4 LEDlicht kan rol spelen reductie lichthinder	16	1	1	18	4
5 reductie lichthinder rol spelenbij ontwikkeling	6	3	5	14	5



grafiek resultaten,

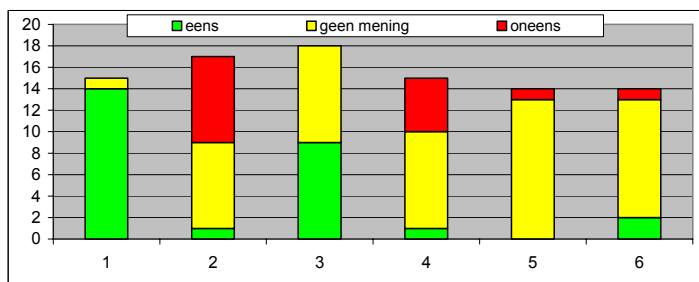
werken in de kas door LED
niet onverdeeld lastig en/of gevaarlijk
met ziet werken in kas met LED als oplosbaar

Wel eensduidelijk dat LED een rol
KUNNEN spelen rond lichthinder
al zou dat niet volgens iedereen
een driver in de ontwikkeling moeten zijn

Reageren op stellingen

Stellingen "dier en licht"

	eens	geen mening	oneens	som	
1 effect LED licht insecten uitzoeken	14	1	0	15	1
2 bijen en hommels niet nodig tijdens belichten	1	8	8	17	2
3 UV-bron stoort oriëntatie bijen en hommels	9	9	0	18	3
4 verwacht LED licht meer last plaaginsecten	1	9	5	15	4
5 verwacht LED licht minder last plaaginsecten	0	13	1	14	5
6 verwacht LED licht bio-bestrijder van slag	2	11	1	14	6



grafiek resultaten,

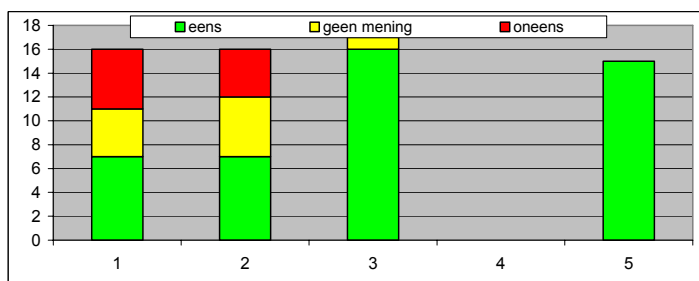
Zeer uitgesproken unaniem van mening dat effect
op insecten uitgezocht zou moeten worden (1)
Dit wordt bevestigd door kennisvragen 5 en 6 (en 4)

Bnelang insecten groot, zo spreekt verder uit 2 en 3
uit 2 en 3 spreekt een soort voorzichtigheid
kans op effect van LED op insecten

Reageren op stellingen

Stellingen "Energie"

	eens	geen mening	oneens	som	
1 kasventilatie OK afvoeren lamplicht	7	4	5	16	1
2 Afvoer warmte bij bron en niet met airco	7	5	4	16	2
3 energiebesparen doorgericht licht	16	1	0	17	3
4 door LED-licht meer warmte aan buurman	0	0	0	0	4
5 Actief zoeken naar toepassing restwarmte	15	0	0	15	5



grafiek resultaten,

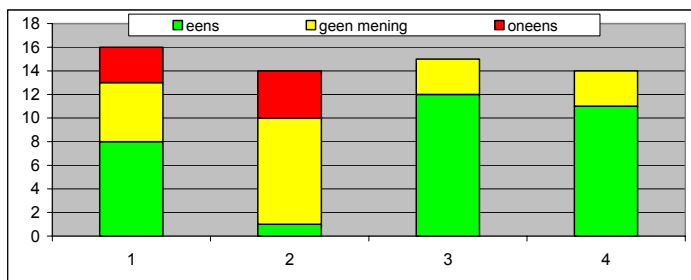
Unaniem over de stellingen dat
1) door gerichter te belichten energiebesparing mogelijk is
2) er actief gezocht zou moeten worden naar afzetopties overtollige warmte

Verder redelijke verdeeldheid over de vragen
of je lampwarmte mag afvoeren met kasventilatie
en of je warmteafvoer juist aan de bron zou moeten uitvoeren

Reageren op stellingen

Stellingen "LED & Economie"

	eens	geen mening	oneens	som	
1 LED groeilicht binnen 4 jaar in NL-kas	8	5	3	16	1
2 LED groeilicht blijft te duur	1	9	4	14	2
3 lampwarmte geen probleem --> meer licht	12	3	0	15	3
4 Afvoer lampwarmte--> meer gewasproductie	11	3	0	14	4



grafiek resultaten,

Redelijk unaniem over de vraag dat

- 1) als minder last lampwarmte dat dan meer licht
 - 2) als minder last lampwarmte, dan meer gewasproductie
- (JdW: frappant dat kwam niet zo uit consultatie tuinders)

Verder een voorzichtige meerderheid die
toepassing LED licht als groeilicht verwacht
en tevens een kostprijsreductie

Afsluitend door Anja Jolman (PT):

Bijeenkomst nuttig en boeiend,
volgende echter eerder over een jaar dan al over een half jaar, immers dan is er wellicht ook meer gebeurd en of duidelijker
voldoende onderwerpen waarop (pre-competitief) onderzoek uitgevoerd zou kunnen worden (niet-geprecisieerd)

BIJLAGE D LIJST VAN GERAADPLEEGDE DESKUNDIGEN, FABRIKANTEN/ONTWIKKELAARS EN ANDERE STAKEHOLDERS

Deskundigen plant en licht

- T. Dueck (WUR Glastuinbouw)
- L. Marcelis (WUR Glastuinbouw)
- W. van Ieperen (WUR)
- A. Schapendonk (Plant Dynamics)

Deskundige plant en dier (bijen, hommels)

- T. Blacquiere (WUR)

Fabrikanten/ontwikkelaars belichtingssystemen tuinbouw (bestaand/nieuw)

- S. Pot (ex-Philips)
- E. van Echteld (Philips)
- J.W. Ruisch (Philips)
- M. van der Ende (FlowMagic)
- J. Van der Ende (FlowMagic)
- S. Vergeer (Hortilux)
- M. Brok (Hortilux)
- F. Breeuwer (Industria)
- L. Laseur (Lioris)
- P. Hendrix (Lights Interaction)
- N. Romers (Gavita Nederland BV)
- H. van Hout (ARO-Electronics)
- G.D. Courchaine (Fibrevision)
- A. de Rooij (Maquema)
- C. Nijssen (Nijssen Technologies/Nijssen koeling)

Fabrikanten/ontwikkelaars LEDs

- T. Martinali (Philips Lumileds Lighting Company)
- O. Sorensen (Philips Lumileds Lighting Company)
- W.N. Braber (Lumileds Future Electronics)
- C. van Santen (CDE Technology)
- XX? (Osram)

Bijlage D blad 2

Tuinders:

- K. Oudhuis (Zuurbier en Co) - roos
- R. Gerichhausen – fresia's
- R. Janssen - potplanten
- J. Bus – aardbei
- F. van Kleef (Royal Pride) – tomaat
- R. Groenewegen (GrowGroup BV) – groenteplanten
- T. Aerts (Kwekerij Aerts) – komkommer
- G. Rodewijk (Interrose BV) – rozen

Kassenbouwer

P. Malschaert (Maurice kassenbouw)

Tuinbouwbeleid:

- L. Oprel (Ministerie van LNV)
- A. Jolman (Productschap Tuinbouw)
- B. Veldhoven (LTO groeiservice)