

# De Belichtingsnavigator

## Rapportage Fase I



mei 2015

i.o.v. programma 'Kas als Energiebron'



Productschap  Tuinbouw



Ministerie van Economische Zaken,  
Landbouw en Innovatie



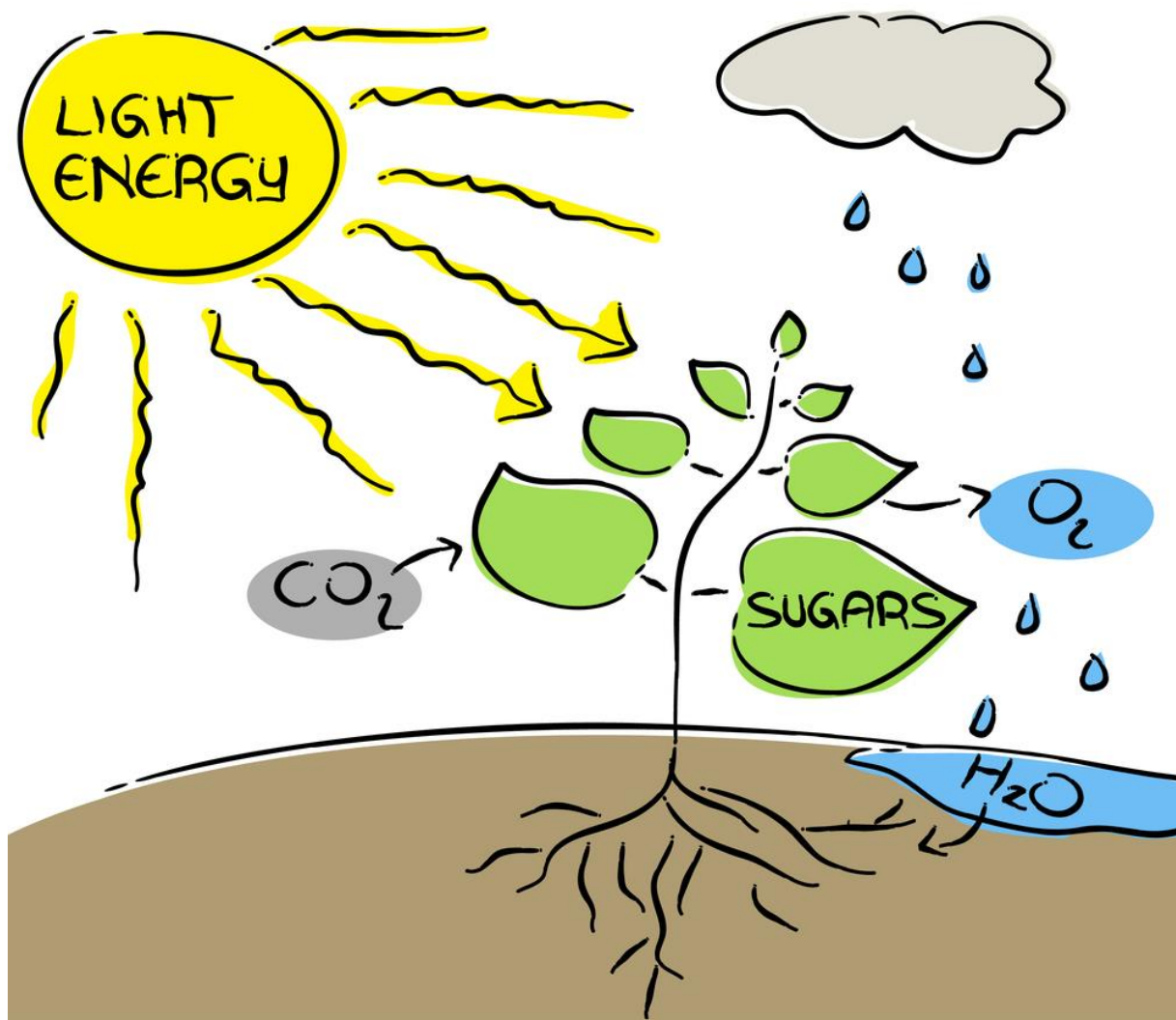
# Inhoud

|     |                                   |    |
|-----|-----------------------------------|----|
| 1   | Inleiding .....                   | 3  |
| 2   | Uitgangspunten .....              | 4  |
| 2.1 | Probleemstelling .....            | 4  |
| 2.2 | Doelstelling .....                | 5  |
| 2.3 | Aanpak.....                       | 6  |
| 3   | Resultaten .....                  | 7  |
| 3.1 | Stakeholders.....                 | 7  |
| 3.2 | Roadmap .....                     | 8  |
| 3.3 | Input.....                        | 10 |
| 3.4 | Systeem.....                      | 14 |
| 3.5 | Output.....                       | 20 |
| 3.6 | Presentatie.....                  | 24 |
| 4   | Conclusies en aanbevelingen ..... | 25 |
| 5   | Literatuur .....                  | 27 |

# 1 Inleiding

Telersvereniging Techniek Tuinbouw Ontwikkeling (TTO) heeft, in samenwerking met specialisten Inno-Agro en Bart van Meurs Productontwikkeling het initiatief genomen tot 'de Belichtingsnavigator'. Dit project wordt ondersteund door het programma 'Kas als Energiebron' van het Ministerie van Economische Zaken en Productschap Tuinbouw (inmiddels: LTO Glaskracht Nederland).

Conform het projectplan hebben uitvoerende partijen het eerste gedeelte van het project doorlopen tot en met het eerste 'go / no-go' moment. Dit rapport beschrijft deze fase en bevat resultaten, conclusies en aanbevelingen voor het vervolg van het project.

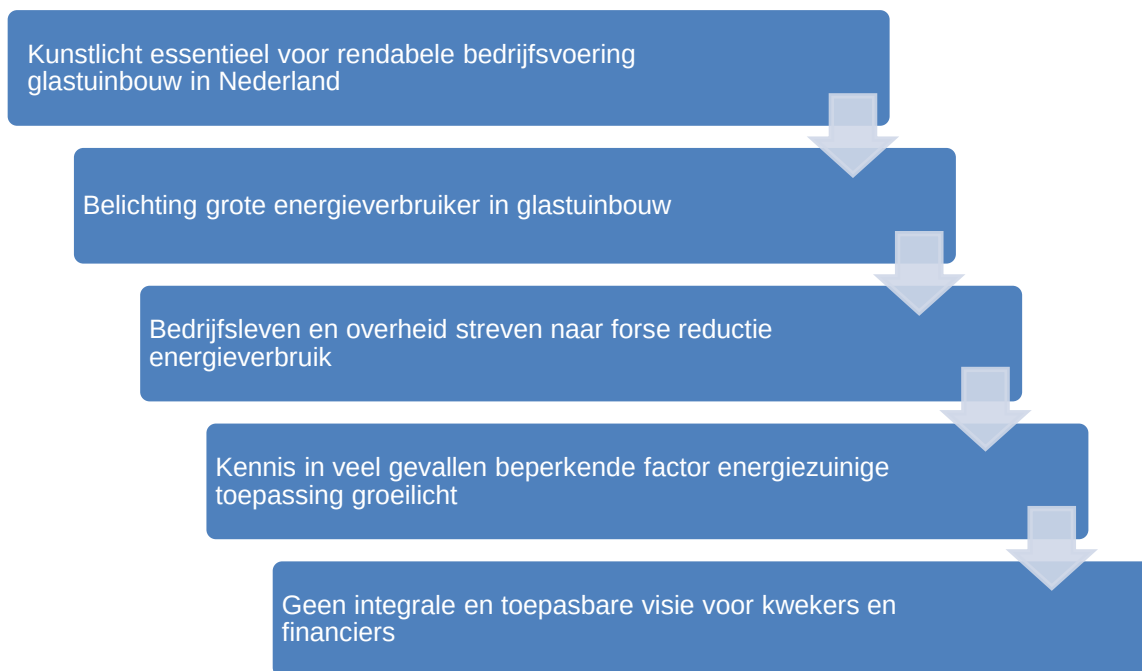


*Figuur 1: De essentiële rol van licht bij de groei van planten.*

## 2 Uitgangspunten

### 2.1 Probleemstelling

Samenvatting van de probleemstelling, zoals uitgebreid beschreven in het ‘Onderzoeksvoorstel de Belichtingsnavigator’ (d.d. januari 2014, pagina 4):



*Figuur 2: Schematische weergave van de probleemstelling,*

Meer specifiek worden in het onderzoeksvoorstel problemen beschreven op drie deelgebieden:

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Teelt</b> <ul style="list-style-type: none"><li>Voornamelijk groente gericht</li><li>Informatie niet goed inzichtelijk</li><li>Veel repeterend onderzoek</li><li>Niet voorbereid op witte LEDs</li></ul>                                                                                                                         | <b>Techniek</b> <ul style="list-style-type: none"><li>Kwaliteit van armaturen is moeilijk te beoordelen</li><li>Geen geïntegreerde benadering van licht én warmte</li><li>Geen actuele roadmap voor de ontwikkeling van efficiency</li><li>Verouderde producten in de handelsketen</li><li>Kostenverspilling aan inferieure technieken</li></ul> |
| <b>(Bedrijfs)economie</b> <ul style="list-style-type: none"><li>Geen sectorvisie op verlichtingsmarkt</li><li>Geen actuele roadmap kostenontwikkeling</li><li>Cost-of-ownership wordt niet inzichtelijk gemaakt</li><li>Relatie met energiemarkt wordt niet gelegd</li><li>Weinig bruikbare business-cases voor de kweker</li></ul> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |





Figuur 3: Illustratieve koppen bij probleemstelling uit vakbladen / van websites gerelateerd aan glastuinbouw

## 2.2 Doelstelling

Samenvatting van de doelstelling, zoals uitgebreid beschreven in het 'Onderzoeksvoorstel de Belichtingsnavigator' (d.d. januari 2014, pagina 6):

*'Vanuit een no-nonsense instelling wil TTO kwekers, toeleveranciers, financiers en andere beslissers in de glastuinbouw gericht inzicht geven zodat belichting nu en in de toekomst optimaal ingepast kan worden, teneinde in 2020 een reductie van tenminste 35% elektriciteitsverbruik te realiseren.'*

### Technische doelstellingen

- Interactieve applicatie voor ontsluiten relevante informatie en toepassing eigen bedrijfssituatie.
- Randvoorwaarden applicatie: handzaam, begrijpelijk, modulair, dynamisch en interactief.
- Bereikbaar maken van onderzoeksinformatie en onderzoekers.
- Richtlijnen, normen en rekenmodellen om producten te toetsen.

### Energiedoelstellingen

- Het project is faciliterend aan de energiedoelstellingen van het programma Kas als Energiebron.
- Doelgroepen: Nederlandse kwekers en financiers.
- Relatie energie en bedrijfskosten zorgt voor energiebesparende keuzes door doelgroep.

### Nevendoelstellingen

- Positieve impuls aan de kredietverlening voor glastuinbouw door betere informatie.

De kern van het project bestaat uit het ontsluiten van de nu vaak onduidelijke en onvolledige informatie voor de doelgroep van het project: kweker en investeerder. De projectfases tot het eerste 'go / no go moment' leggen hiertoe het fundament door het speelveld (de te ontsluiten informatie) af te bakenen en overzichtelijk te rubriceren.

## 2.3 Aanpak

Stappenplan tot eerste 'go / no go moment' conform 'Onderzoeksvoorstel de Belichtingsnavigator' (d.d. januari 2014, pagina 9):

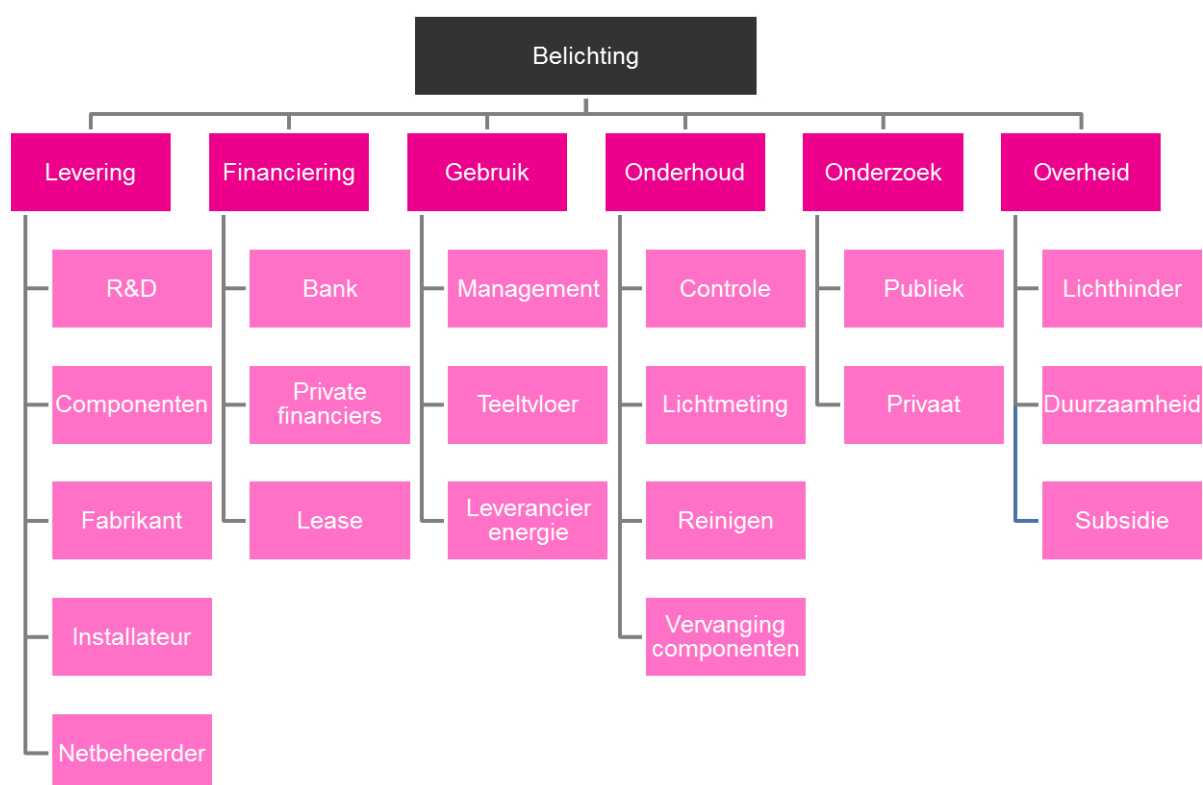
1. Opstellen projectplan
2. Inventarisatie deelonderwerpen
3. Inventarisatie stakeholders
4. Verzamelen en verwerken informatie
5. Presentatie roadmap

Bij aanvang van het proces is een 'shortlist' van deelonderwerpen opgesteld, die van relevant belang zijn voor een energiezuinige toepassing van groeilicht door de doelgroep. Tijdens een serie interviews met stakeholders, is deze 'shortlist' uitgebreid, geoptimaliseerd, onderbouwd en verwerkt tot een 'roadmap'. In de navolgende paragrafen een overzicht van deze stakeholders en de complete lijst van kritische variabelen waaruit de roadmap bestaat. Ten slotte de presentatie van de resultaten aan de doelgroep en andere stakeholders.

## 3 Resultaten

### 3.1 Stakeholders

De stakeholders in de toepassing van groeilicht in de glastuinbouw zijn binnen dit project ingedeeld in zeven werkvelden, weergegeven in Figuur 4.



Figuur 4: Werkvelden stakeholders in belichting.

Uit elk van voorgenoemde werkvelden zijn partijen geïnterviewd:

|              |                                                                                                                                   |                                                                                                                         |                                                                                           |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Levering     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Hortilux Schröder</li> <li>Philips</li> <li>Lights Interaction</li> <li>Agrolux</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Lemnis Oreon</li> <li>B&amp;W Installaties</li> <li>Vijverberg Advies</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Lioris</li> <li>Agrolux</li> <li>Gavita</li> </ul> |
| Financiering | <ul style="list-style-type: none"> <li>Rabobank Westland</li> </ul>                                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>Hortilux (DI Capital)</li> </ul>                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>Philips (Light. Capital)</li> </ul>                |
| Gebruik      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Koppert Cress</li> <li>Combivliet</li> <li>Red Harvest</li> </ul>                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>Greenway</li> <li>Holstein flowers</li> <li>Marjoland</li> </ul>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>Greenlight</li> <li>Purple Pride</li> </ul>        |
| Onderhoud    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Raymax</li> </ul>                                                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>Lightshine Cleaning</li> </ul>                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Catec / LiCor</li> </ul>                           |

Voorts is gebruik gemaakt van de kennis en contacten welke bij Inno-Agro aanwezig zijn (onderzoek, literatuur, etc) en bij Bart van Meurs (techniek, productontwerp).

De gespreksverslagen van deze interviews zijn gebruikt voor het samenstellen en onderbouwen van de complete lijst deelonderwerpen die beschreven wordt in de volgende paragraaf. Toch waren er opvallende overeenkomsten tussen de antwoorden te bespeuren, samengevat in onderstaande 'top 10' van deelconclusies uit de interviews:

1. Te veel onduidelijkheid in de keten; gebrek aan kennis
2. Behoeftte aan vergelijkbaarheid van de prestaties van systemen ('productmanager')
3. Veel nodeloze energieverpilling door 'randzaken' (restwarmte, kabelverliezen)
4. Nieuw en energie-efficiëntie is (te) risicovol; kiezen voor veilig (het oude)
5. Financiering is leidend (boven efficiency)
6. De 'markt' is niet meer in staat te investeren in kennis
7. Licht heeft 3 dimensies gekregen (tussenlicht, diffuus)
8. Wie overziet het hele speelveld?
9. Behoeftte aan 'hapklare' informatie voor de 'massa' (receptenboek, stappenplan)
10. Hernieuwde aandacht 'grote' onderwerpen i.p.v. laatste procenten

### 3.2 Roadmap

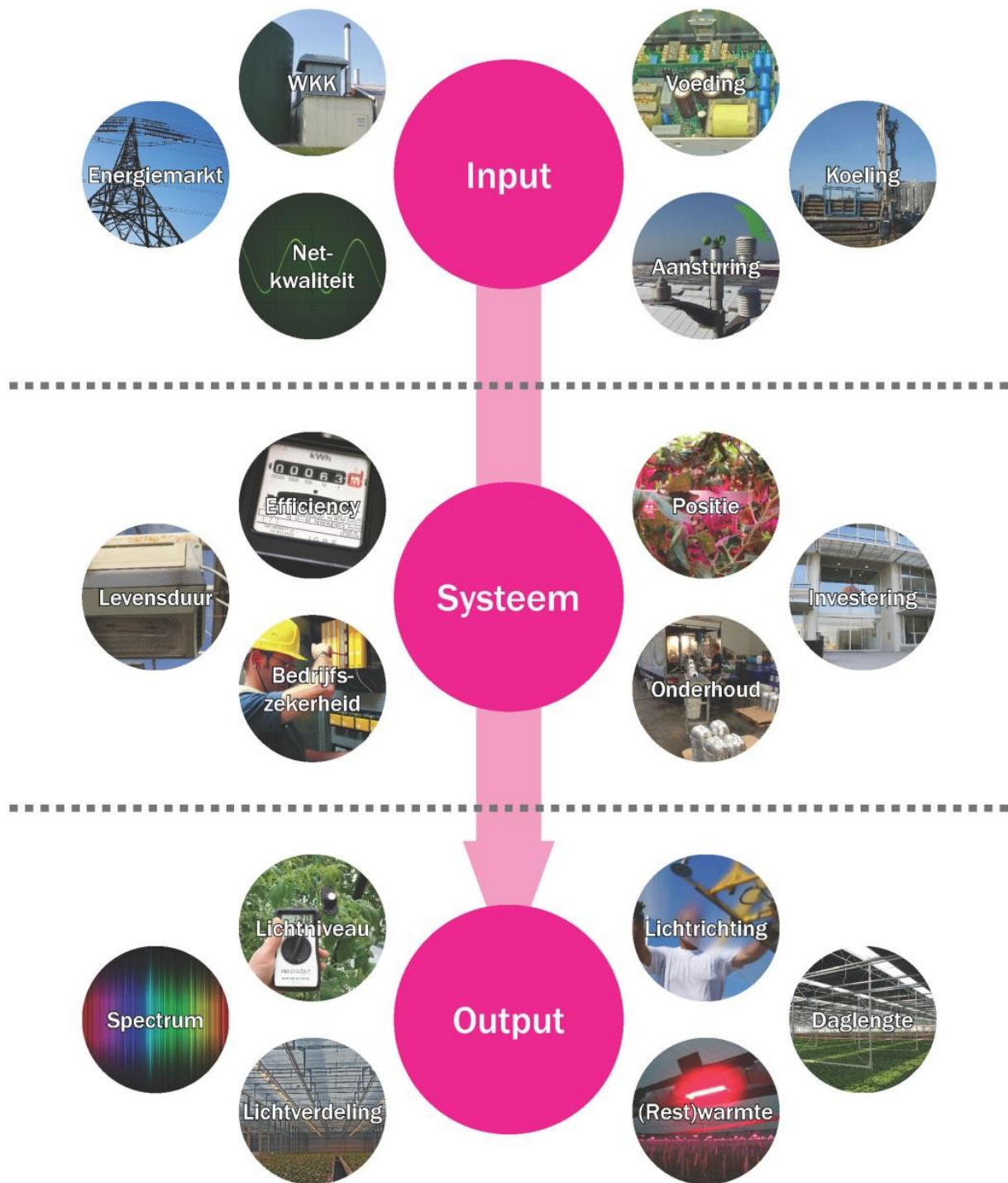
De term (technology) 'roadmap' wordt in het algemeen als volgt omschreven:

*'A technology roadmap is a plan that matches short-term and long-term goals with specific technology solutions to help meet those goals.'*<sup>1</sup>

Vrij vertaald, levert de Belichtingsnavigator kwekers en investeerders het inzicht in de variabelen die het hen mogelijk maakt belichting op een rendabele en energiezuinige wijze toe te passen. Hiermee geeft de Belichtingsnavigator de markt handvatten om de bovenliggende doelstellingen van Kas als Energiebron te behalen.

De variabelen (deelonderwerpen) zijn gelinkt aan de gebruiksketen van een belichtingsinstallatie: achtereenvolgens 'input', 'systeem' en 'output'. Voor deze drie stappen zijn elk de zes meest kritische variabelen omschreven, geïllustreerd met voorbeelden en onderbouwd wat de invloed van deze variabele is op rendabel en energiezuinig inpassen van belichting, nu en in de toekomst.





Figuur 5: Kritische variabelen in een belichtingsinstallatie.

### 3.3 Input

#### 1. Energiemarkt

Voor veel kwekers vormt de inkoop van energie tientallen procenten van de kostenstructuur. Van de elektriciteit die in de Nederlandse glastuinbouw wordt geconsumeerd, wordt maar liefst 82% gebruikt voor belichting<sup>2</sup>. Deze elektriciteit wordt direct of indirect, in de vorm van gas (bij gebruik WKK, zie 2), ingekocht op de energiemarkt. Fluctuaties op de energiemarkt zijn derhalve sterk van invloed op de toepassing van belichting.

Piekende gasprijzen zorgden voor heetgebakerde tuinders in 2008<sup>3</sup>. Ondertussen zijn de gasprijzen met dubbeltjes gedaald, maar zorgen bijvoorbeeld conflicten in de Oekraïne voor onrust<sup>4</sup>. De opkomst van duurzame elektriciteitsopwekkers, zoals zon-PV en windturbines, zorgt voor momenten van overaanbod op de energiemarkt. In Duitsland, waar de duurzame opwekking nog ruimer vertegenwoordigd is dan in Nederland, zorgt dit reeds met enige regelmaat voor negatieve elektriciteitsprijzen. Iets waar Duitse grootverbruikers van profiteren<sup>5</sup>.

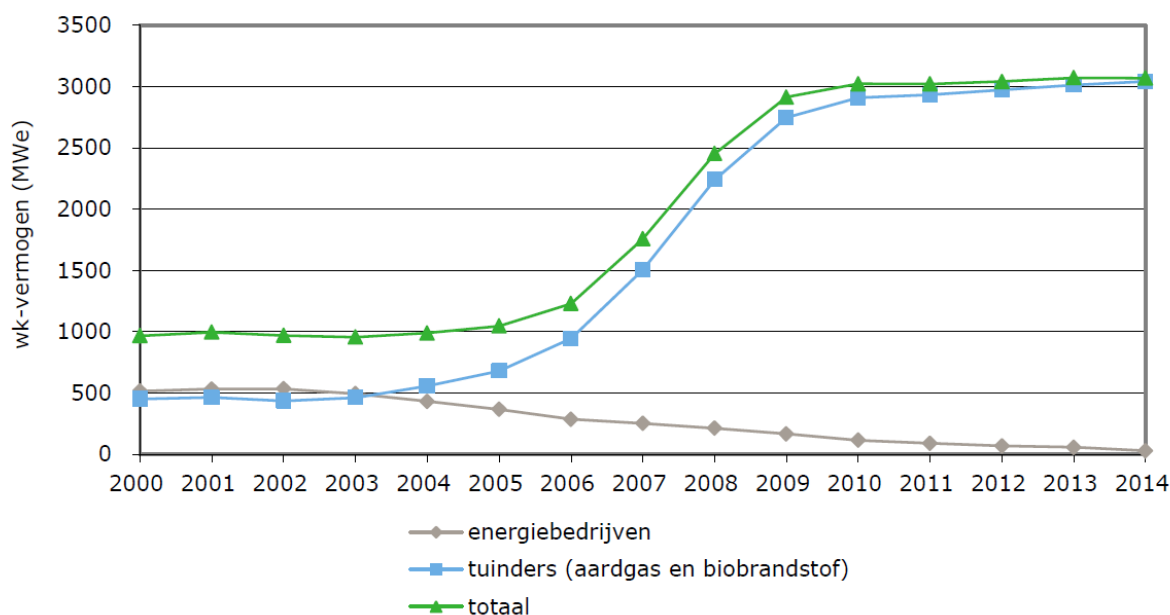
Er zijn zelfs futurologen, zoals Prof. Dr. Wim de Ridder, die verwachten dat deze trend zal doorzetten:

*“Als de voortekenen niet bedriegen, dan heeft de wet van Moore, die de ontwikkeling van de prestaties van de computerchip beschrijft, ook geldigheid in de duurzame energiemarkt. Als dit het geval is, dan is energie op niet al te lange termijn niet langer een schaars product, maar tegen lage prijzen overvloedig aanwezig. De analogie is dat communicatie als gevolg van de zich ontwikkelende informatietechnologie uiterst goedkoop is geworden en telecombedrijven hun geld voornamelijk met het verkopen van additionele diensten verdienen.”*<sup>6</sup>

#### 2. Warmtekrachtkoppeling (WKK)

Tuinbouw heeft een warmtebehoefte die traditioneel werd ingevuld door het stoken van aardgas. De ontwikkelingen van de energiemarkt (zie 1.) en de opkomst van belichting, zeker in de groenteteelt, resulteerden in de grootschalige implementatie van warmtekrachtkoppeling (WKK) in de glastuinbouw. De verbranding van aardgas wordt gebruikt voor de opwekking van warmte én elektriciteit. Die elektriciteit wordt vervolgens gebruikt voor belichting en/of het terug leveren aan het lichtnet. Hiermee zijn veel kwekers naast -afnemer ook energieleverancier geworden; maar liefst 70% van het areaal maakt gebruik van deze techniek, veelal in combinatie met belichting<sup>7</sup>.

De gunstige economische omstandigheden en de situatie op de energiemarkt resulteerden in een sterkte groei van het opgesteld vermogen WKK in de glastuinbouw tussen 2006 en 2009. Daarna werden beide omstandigheden minder gunstig en is de groei van WKK afgevlakt<sup>8</sup>. De inzet van WKK is niet langer een vanzelfsprekendheid en er wordt gezocht naar de optimale benutting van de techniek onder de huidige marktomstandigheden. Hogere inzet van belichting is één van de opties die kwekers gebruiken om WKK beter te benutten. Tel daarbij op dat de afzet van belichte groenten in de winterperiode een 'licence to produce' is geworden en de consumptie stijgt fors (figuur 7). De stijging van de elektriciteitsconsumptie in glasgroenten is overigens grotendeels toe te wijzen aan de belichte tomaten teelt, welke tussen '99 en '15 is gegroeid van 5 naar ruim 500 ha.



Figuur 6 : Opgesteld vermogen WKK in Nederland<sup>9</sup>

| Apparatuur         | 2006         |            | 2011         |            | Mutatie (%) |
|--------------------|--------------|------------|--------------|------------|-------------|
|                    | miljoen kWh  | %          | miljoen kWh  | %          |             |
| Belichting         | 3.711        | 80         | 4.871        | 82         | +31         |
| wv assimilatie     | 3.711        | 100        | 4.871        | 100        | +31         |
| wv cyclisch        | < 1          | < 0,05     | < 1          | < 0,05     |             |
| Overige apparatuur | 934          | 20         | 1.088        | 18         | +16         |
| wv algemeen        | 198          | 21         | 201          | 18         | +2          |
| wv kas             | 174          | 19         | 193          | 18         | +30         |
| wv ketelhuis       | 451          | 48         | 585          | 54         | +11         |
| wv waterruimte     | 111          | 12         | 109          | 10         | -2          |
| <b>Totaal</b>      | <b>4.645</b> | <b>100</b> | <b>5.959</b> | <b>100</b> | <b>+28</b>  |

Figuur 7 : Groei electriciteitsconsumptie over de periode '06 – '11 (bron : LEI)

Een tool, die veel parallellen vertoont met de ambitie van de Belichtingsnavigator is de 'WKK Barometer' van Energy Matters i.s.m. LTO Glaskracht in het kader van het programma 'Kas Als Energiebron'<sup>10</sup>. Ook hier wordt complexe materie inzichtelijk gemaakt en wordt daarmee de gebruiker geïnformeerd over de potentie van inzet van WKK.

### 3. Netkwaliteit

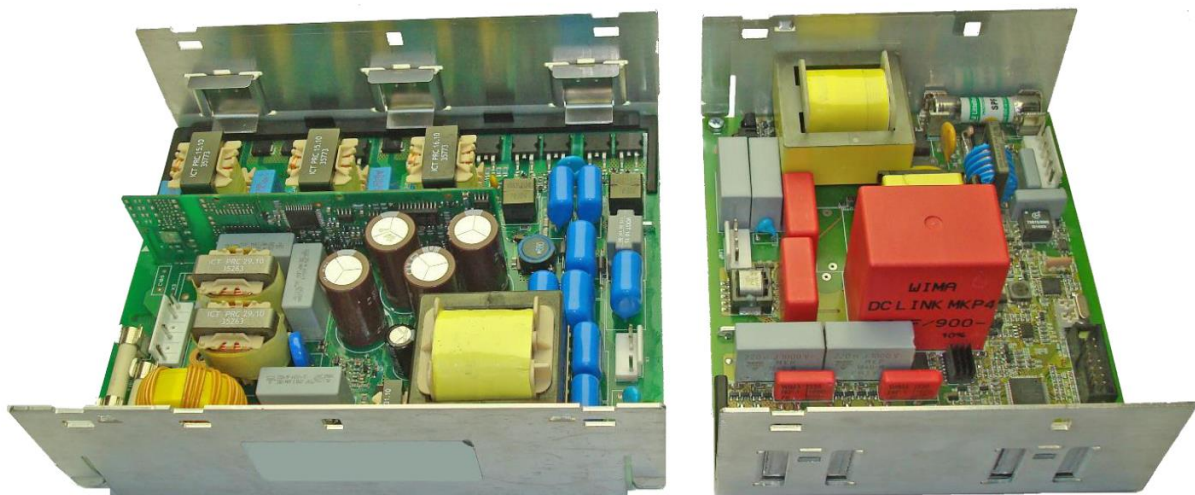
De kwaliteit van het lichtnet heeft veel invloed op het energieverbruik en de performance van een groeilichtinstallatie. En vice versa heeft een groeilichtinstallatie veel invloed op de kwaliteit van het lichtnet. Aandachtspunten zijn arbeidsfactor<sup>11</sup>, harmonische vervorming<sup>12</sup>, spanningsniveau,

gelijkwaardige belasting van de drie fases. De stap van 230 Volts, naar 400 Volts, drie fase SON-T systemen (zie ook 4.) was er een van efficiency, maar zeker ook ter verbetering netkwaliteit. Dit geldt ook voor elektronische voorschakelapparatuur als vervanger van elektromagnetisch. Bij die laatste heeft de lichtoutput een rechtstreekse verhouding met de voedingsspanning, een elektronisch voorschakelapparaat corrigeert dit.

Ook bij LED is de factor netkwaliteit er een van belang. Zeker bij vroege armaturen werd het negatieve effect van een lage arbeidsfactor nog wel eens over het hoofd gezien. Tegenwoordig hebben de meeste powersupplies van LED armaturen derhalve een arbeidsfactor die 1 benadert.

#### 4. Voeding

Traditioneel wordt belichting in de tuinbouw gevoed met wisselspanning. Traditioneel was dit 230V, maar ten behoeve efficiency en netkwaliteit (zie 3.) werden midden jaren '00 de drie-fase 400V SON-T systemen geïntroduceerd. Op dit moment wordt een nieuwe transitie in ogenschouw genomen, te weten gelijkspanning.



*Figuur 8 Voorschakelapparaat SON-T belichting op wisselspanning (L) en gelijkspanning (R)<sup>13</sup>*

Omdat steeds meer opwekkers (o.a. zon-PV, windturbines) gelijkspanning produceren en steeds meer verbruikers (o.a. LED) gelijkspanning gebruiken, is het de overweging ook de tussenliggende infrastructuur op basis van gelijkspanning uit te rusten. Potentieel resulteert dit in een lager energieverbruik en een robuustere installatie en systemen. Stichting Gelijkspanning is vaandeldrager in Nederland van dit initiatief en onderzoekt onder meer de mogelijkheid energie te besparen door middel van belichtingsarmaturen op gelijkspanning<sup>14</sup>. Ook dit project wordt ondersteund door het programma 'Kas Als Energiebron'.

## 5. Koeling

Licht en warmte hebben een nauwe relatie (zie ook 3.5). Elke lichtbron (LED, SON-T en overig) zet vooralsnog minimaal de helft van de elektrische energie om in warmte. Bij SON-T zijn licht en warmte nauwelijks van elkaar te scheiden en vindt koeling plaats op macroniveau; koeling van de kas door middel van natuurlijke ventilatie of geforceerd door middel van bijvoorbeeld luchtbehandeling.

LED biedt de mogelijkheid om licht en warmte op armatuurniveau actief te scheiden. Sterker nog: het is zelfs een noodzaak om de levensduur en efficiency van de LED te waarborgen. Diverse leveranciers bieden hiertoe luchtgekoelde systemen, waarbij de armaturen actief (ventilatoren) of passief (middels convectie) worden gekoeld. De verwarmde lucht blijft echter bij deze systemen in de kas, wat in periode van koude (nov-febr) een voordeel kan zijn maar in warmere perioden een nadeel kan zijn door het warmte overschot. Vooralsnog is er één leverancier (Lemnis Oreon) die een LED armatuur aanbiedt met een medium (water) waarmee de restwarmte kan worden opgeslagen in bijvoorbeeld een aquifer.

## 6. Aansturing

Belichtingsarmaturen worden op dit moment vooral geschakeld door middel van een centrale klimaatcomputer op basis van het buiten de kas gemeten stralingsniveau van de zon. In sommige situaties kan het lichtniveau in twee niveaus worden geschakeld door de helft van de armaturen separaat (in 'dambordprofiel') te kunnen schakelen. Uitschakelen van een groter percentage van de armaturen resulteert veelal in een te grote ongelijkheid van het lichtniveau.

In het verleden is er bij SON-T systemen geëxperimenteerd met dimbaarheid, o.a. via het DALI protocol<sup>15</sup>, om het lichtniveau beter af te stemmen op de hoeveelheid daglicht. Toch weegt veelal de hoge investering niet op tegen de potentiële energiebesparing en heeft het systeem vooralsnog geen grootschalige intrede in de glastuinbouw gedaan. LED biedt daarentegen veel uitgebreidere mogelijkheden tot schakelen in delen (méér, kleine armaturen), dimmen, zelfs per kleur. Ook bij deze variabele is kennis vooralsnog een beperkende factor.

### 3.4 Systeem

#### 1. Levensduur

De levensduur van traditionele belichtingsvormen is beperkt. Dit geldt zeker voor SON-T lampen. De meest efficiënte SON-T lampen (1.000 Watt EVSA) hebben een levensduur van 10.000 branduren<sup>16</sup>. Een belichtingsduur van meer dan 2.000 branduren is bij het grootste belichte gewas, tomaat, inmiddels de norm. Dit betekent dat in dat geval binnen elke vijf jaar de lampen uitgewisseld moeten worden.

LEDs bieden potentieel een veel langere levensduur. Zo garanderen leveranciers als Philips en Lemnis respectievelijk 25.000<sup>17</sup> en 35.000<sup>18</sup> branduren. Valoya spreekt zelfs over 50.000 uur<sup>19</sup>. Bij bovenstaande belichtingsduur dus potentieel ruimschoots meer dan 10 jaar. Probleem echter: deze producten bestaan nog geen 10 jaar, dus de levensduur is modelmatig vastgesteld en niet gebaseerd op ervaringen uit de praktijk.

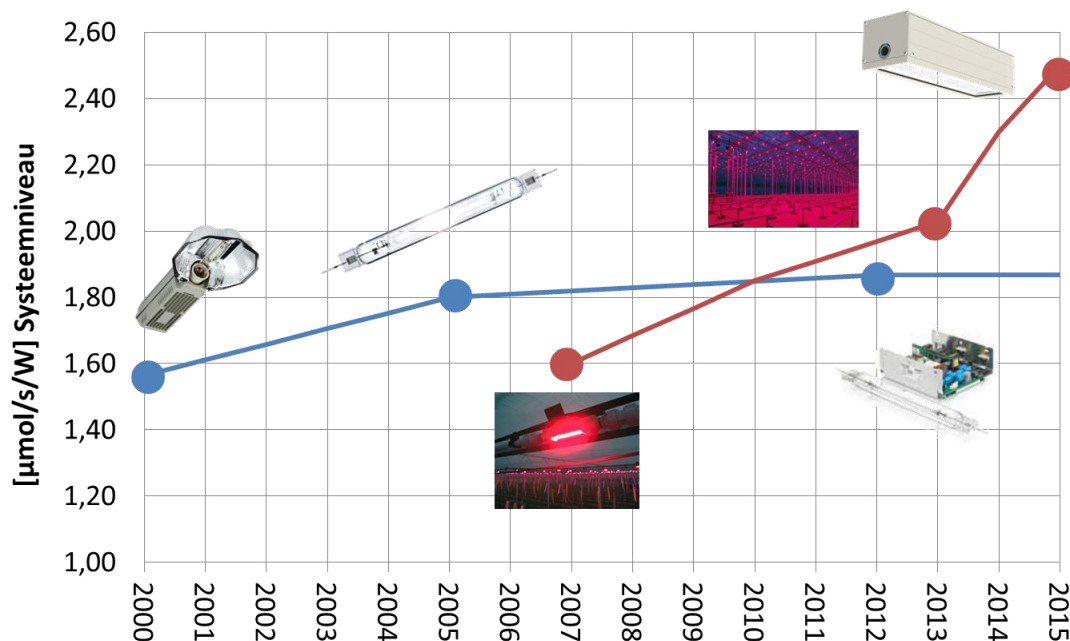
#### 2. Efficiency

Efficiency is een veelbesproken begrip in belichting. Zeker met de introductie van LEDs in de glastuinbouw. Hoewel het kwantificeren van de groei lichtstroom in  $\mu\text{mol/s/m}^2$  PAR reeds vele jaren gemeengoed is, zijn de termen 'lumen' en 'lux' nog altijd bij menig kweker de gewoonte. Deze laatste eenheden zijn gebaseerd op het menselijk oog<sup>20</sup>, met optimale gevoeligheid rond 555 nm. Echter: voor fotosynthese is het aantal fotonen binnen het PAR-spectrum doorslaggevend. Bij 'witte' lichtbronnen zijn beide eenheden nog enigszins uitwisselbaar. Bij monochromatisch (LED) licht is dit zeker niet het geval. Twee belichtingsinstallaties, LED vs. SON-T met gelijk lichtniveau gemeten in  $\mu\text{mol/s/m}^2$  PAR, zijn gemeten in Lux volstrekt ongelijk (LED veel lager).

Bij traditionele systemen, zoals SON-T wordt vaak gesproken over de efficiency van de lichtbron (lamp). Echter de totale systeemefficiency wordt door meer factoren bepaald. Ook het voorschakelapparaat en de elektrotechnische installatie vertegenwoordigen verbruik. Daarnaast bepaalt de reflector en zeker de vervuiling daarvan. Hoe veel licht er nuttig door de plant gebruikt kan worden.

Bij LED ligt dit weer net anders. Ook hier is de 'powersupply' welke de wisselspanning omzet naar gelijkspanning een extra verliesfactor. Vaak wordt door fabrikanten de opgegeven lichtstroom gespecificeerd bij een systeemtemperatuur die in de praktijk niet kan worden gerealiseerd. Bij een hogere temperatuur gaat de levensduur van de LED achteruit en gaat de efficiency achteruit. Hierbij met opgemerkt worden dat de temperatuurgevoeligheid de laatste 5 jaar is afgenomen. Gasontladingslampen geven in tot LED bij hogere temperaturen juist meer licht.





Figuur 9: Ontwikkeling systeemefficiency (licht) SON-T vs. LED in  $\mu\text{mol/W}$

Hoewel de ontwikkeling van SON-T systemen niet stil staat, zijn er de afgelopen tien jaar, sinds de introductie van de 1.000 Watt EVSA systemen, nauwelijks grote sprongen in de ontwikkeling geweest. LED daarentegen maakt sinds de introductie in de glastuinbouw in 2007 grote sprongen door. Dit heeft ook consequenties voor het verwachtingspatroon. Waar bij introductie energiebesparingen t.o.v. SON-T van tientallen procenten werden voorgespiegeld, was de waarheid dat de systeemefficiency van de LEDs nog achter lag op SON-T. Ondertussen zijn de meest recente LED systemen significant efficiënter dan SON-T, maar worden deze ontwikkelingen met argusogen bekeken. Hoe is deze efficiency in de praktijk en over de lange termijn? En belangrijk: is er volgend jaar niet een veel beter en efficiënter systeem beschikbaar? Op het moment van schrijven van de rapportage is de efficiency van LED (95% R en 5% B) 2,5  $\mu\text{mol/J}$  terwijl een SON-T lamp op 1,85  $\mu\text{mol/J}$  ligt.

### 3. Bedrijfszekerheid

Het overgrote gedeelte van groeilichtinstallaties betreft Hogedruk Natrium installaties. De introductie van elektronisch voorgeschakelde armaturen (EVSA) heeft blootgelegd hoe belangrijk een betrouwbare techniek is. Gedurende het eerste decennium zijn er veel problemen geweest met de technische betrouwbaarheid van lampen, fittingen en voorschakelapparaten. Grote reparatie-acties zijn het gevolg. Anno 2015 zijn er nog altijd kwekers die hiervan de nadelen ondervinden. Leaseconstructies van groeilichtleveranciers zijn niet alleen een antwoord op de investeringsproblematiek (zie 4.), maar ook een manier om de klant qua bedrijfszekerheid ontzorgen.

Ook LED systemen zijn niet zonder problemen geïntroduceerd. Ook hier onvoorziene uitval, schade aan armaturen. Bij diverse LED leveranciers volgden nieuwe productgeneraties elkaar in snel tempo op.

#### 4. Positie

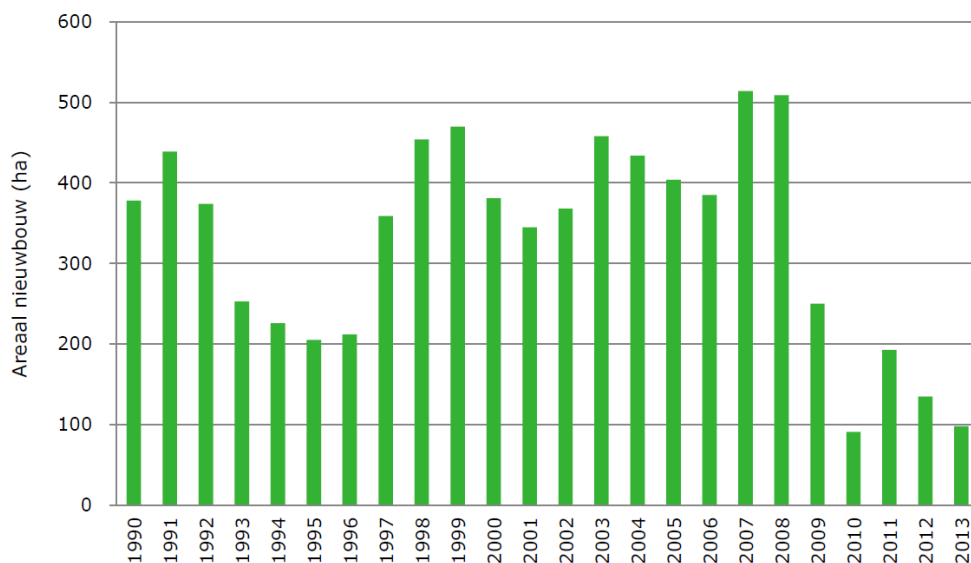
De introductie van LED (her)opende de discussie over de meest geschikte positie van belichtingsarmaturen: boven het gewas, tussen het gewas of juist beiden? In landen als Finland, waar de balans tussen daglicht (weinig), energie (goedkoop) en afzet (hoge prijzen) totaal anders is dan in Nederland, wordt tussenlicht al menig jaar met SON-T toegepast. In Nederland is hiermee geëxperimenteerd, maar is rendabele inpassing nooit gerealiseerd.



*Figuur 10 Commercieel tussenlichtproject Philips<sup>21</sup>*

Het ontbreken van stralingswarmte en de ontwerprijheid die LED biedt, ontsluit de mogelijkheden om middels tussenlicht energiebesparing te realiseren. Na enkele jaren van experimenteren, hebben gerenommeerde leveranciers als Philips<sup>22</sup> en Hortilux Schröder<sup>23</sup> nu tussenlichtsystemen commercieel op de markt. Toch bestaat er nog altijd discussie over de optimale inzet van tussenlicht: Licht van boven verplaatsen tussen het gewas of juist aanvullen? LED tussenlicht combineren met SON-T of juist met LED?

#### 5. Investering



*Figuur 11 Areaal nieuwe kassen per jaar<sup>24</sup>*

Op het hoogtepunt van groei van het glastuinbouwareaal (2007, zie Figuur 11) was investeren en groeien in de glastuinbouw de norm. Met de kredietcrisis die na 2008 de kop op stak, werd de regelgeving omtrent financiering steeds strenger. Daartegenover stond een lagere grondprijs (= waarde onderneming) en afzetmarktsituatie. Dit heeft erin geresulteerd dat het areaal nieuwbouw van kassen anno nu nagenoeg is opgedroogd.

Dit heeft uiteraard ook zijn consequenties voor investeren in belichting. Waar in 2007 potentiële energiebesparing (= ook kostenbesparing) een leidende factor was voor beslissingen, is dat anno nu vooral de investeringsdrempel. Dit resulteert erin dat energiezuiniger alternatieven als LED voor veel kwekers geen haalbare kaart zijn.

Leveranciers als Philips, Hortilux Schröder en Lights Interaction anticiperen hierop met leaseconstructies via bijvoorbeeld Philips Lighting Capital<sup>25</sup> en DI Capital<sup>26</sup> door investeringen te veranderen in kosten. Er wordt geen belichtings*installatie* meer gekocht maar '*licht*' uitgedrukt in een gegarandeerde lichtstroom (momentaan) en lichthoeveelheid (lichtstroom over meerdere jaren).

Een en ander wordt uiteraard gebaseerd op de Total Cost of Ownership (TCO). In figuur 12 is een voorbeeldcase gegeven waarin de TCO van SON-T en LED tegen elkaar zijn weggezet. Hieruit is duidelijk op te maken dat de investeringslast van LED fors hoger is, maar dat de variabele kosten (m.n. elektriciteit) lager is. Toelichting op figuur 12:

#### Systeem

Als uitgangspunt is een zwaar belicht bedrijf genomen zoals bijvoorbeeld in roos of tomaat waar het gangbaar is dat er een lichtniveau wordt gegenereerd van gemiddeld 180  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{sec}$ . Eenzelfde lichtniveau wordt gegenereerd met een LED installatie waarbij het uitgangspunt 2,5  $\mu\text{mol}/\text{Watt}$  aan lichtefficiency is.

#### Afschrijving en rente

Over een SON-T installatie van €25/ $\text{m}^2$  wordt een afschrijvingstermijn gehanteerd van 7 jaar en een rentepercentage van 6%. De prijsvorming van LED liet tot 2015 een prijs per  $\mu\text{mol}$  licht zien welke bij LED 4,5 maal hoger was dan bij SON-T (€ 0,45 per  $\mu\text{mol}$  v.s. €0,10).

#### Elektriciteit

Het aantal draaiuren van zwaar belichtende bedrijven varieert van 2200 tot meer dan 3000 uur per jaar (roos). Gemiddeld is een jaarlijkse belichtingsduur genomen van 2500u. Zoals in de figuur is te zien, vormen de variabele belichtingskosten een groot aandeel van de totale cost of ownership. De lage elektraprijs (6ct) sinds '08 is in het nadeel van energiezuinige LED.

#### Vervanging

Een SON-T bol gaat gemiddeld 10.000 branduren, dus in het voorbeeld 4 jaar, mee wat inhoudt dat er over de levensduur 1,75 vervangingen plaatsvinden. De kosten van de bol inclusief arbeid voor het vervangen bedraagt €50,- per bol.

#### Totaal / discussie

In het voorbeeld is te zien dat de TCO van SON-T fors hoger is dan LED. Hierbij dient aangetekend te worden dat dit een moment opname is. De kostprijs van LED is namelijk de laatste 5 jaar gehalveerd en de efficiency is tegelijkertijd met 36% toegenomen.

| Systeem                                          | SON-T          | LED            |
|--------------------------------------------------|----------------|----------------|
| Vermogen (W/m <sup>2</sup> ) voor 180 umol licht | 103            | 74             |
| Afschrijving en rente per m <sup>2</sup> .jaar   | € 4,40         | € 19,80        |
| Elektriciteit per m <sup>2</sup> .jaar           | € 15,45        | € 11,12        |
| Vervangen bol per m <sup>2</sup> .jaar           | € 0,71         | -              |
| <b>Totaal per m<sup>2</sup>.jaar</b>             | <b>€ 20,56</b> | <b>€ 30,92</b> |

*Figuur12: Voorbeeldcase Total Cost of Ownership HPS vs. LED*

## 6. Onderhoud

De levensduur van belichtingsinstallaties (zie ook 3.) en de vervuilende omgeving van een tuinbouwkas maken van het onderhoud van belichtingsinstallaties een aparte bedrijfstak. Bedrijven als Raymax en Lightshine Cleaning zijn hier volledig op gericht.

Belangrijke parameters bij SON-T zijn de kwaliteit en levensduur van de lamp en condensator (bij EM systemen) en vervuiling van de reflector. Maar ook LED armaturen zijn ondanks hun potentieel lange levensduur, niet vrij van onderhoud. Onderstaande tweet van laat zien dat jonge tussenlichtarmaturen

significant in output achteruit gaan als gevolg van vervuiling.



Figuur 13 Tweet van Lightshine Cleaning<sup>27</sup>

### 3.5 Output

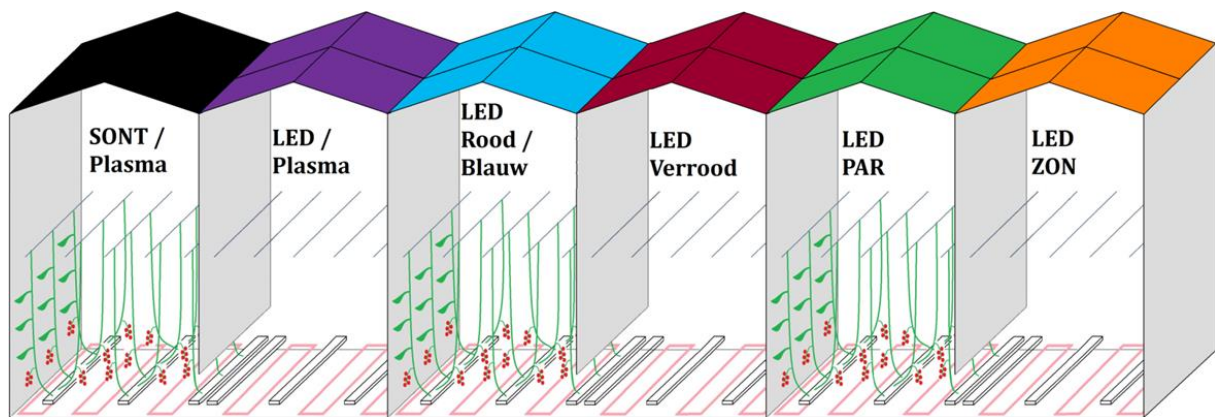
#### 1. Spectrum

Licht is een vorm van elektromagnetische straling. Groeilicht is het deel van het spectrum waar de plant gevoelig voor is: photosynthetically active radiation (PAR)<sup>28</sup>. Als katalysator voor het fotosyntheseproces zijn simpelweg fotonen nodig binnen het PAR spectrum. Toch heeft ook de specifieke golflengte invloed. Niet alleen is een plant niet voor elke golflengte even gevoelig (McCree curve<sup>29</sup>) ook zijn er specifieke processen die door lichtkleur worden gestuurd: stuurlicht. Denk hierbij aan strekking, bladstand, kleuring.

Bij de traditionele groeilichtbronnen is op het voorgaande geanticipeerd. Denk aan de SON-T Agro lampen met een groter aandeel rood licht (= meer fotonen bij hetzelfde energieverbruik) of kwiklampen die werden ingezet voor planten die een groter aandeel blauw licht nodig hebben.

Met de komst van het monochromatische<sup>30</sup> LED is het mogelijk het groeilicht spectrum zeer genuanceerd te bepalen. Niet voor niets bestaat het licht spectrum van de meest gebruikte LED systemen niet uit alleen het energetisch meest efficiënte rood, maar worden bijvoorbeeld blauw en verrood toegevoegd.

Bij de toepassing van stuurlicht lijkt vooral kennis een beperking. Wat zijn de effecten van de andere kleuren? Is er voordeel van een volledig breed spectrum, zoals bij plasmalampen? Wat is het effect van infraroodstraling; ook onderdeel van hele elektromagnetisch spectrum. aanwezig bij SON-T, afwezig bij LED? Diverse onderzoeken worden hiertoe uitgevoerd.

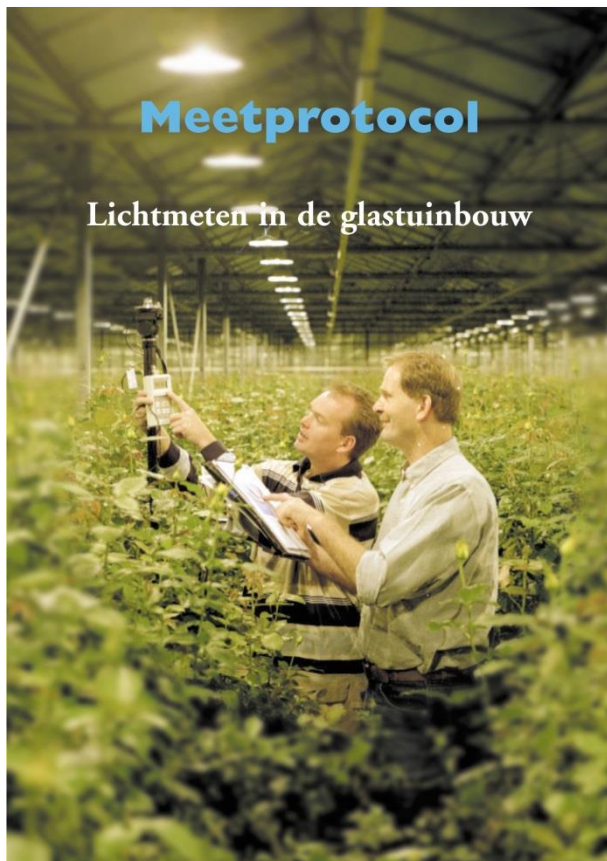


Figuur 6 Voorbeeld proefopstelling spectrumonderzoek<sup>31</sup>

#### 2. Lichtniveau

Vaak is het lichtniveau; de lichtstroom per vierkante meter teeltoppervlak, gemeten in  $\mu\text{mol/s/m}^2$  PAR, de leidende factor bij het ontwerp van een belichtingsinstallatie. Voor de traditionele belichtingsinstallaties (van boven) vormt het 'Meetprotocol lichtmeten in de glastuinbouw', opgesteld door leveranciers en onderzoekers, een uniforme en breed gedragen leidraad.





*Figuur 7 Voorblad Meetprotocol lichtmeten in de glastuinbouw<sup>32</sup>*

Met de komst van tussenlicht wordt een derde dimensie toegevoegd aan het ontwerp van een belichtingsinstallatie. Meten in het horizontale vlak is niet langer afdoende, waarmee de roep om uitbreiding van het meetprotocol toeneemt. Te meer omdat er in vergelijkende tests van tussenbelichting en topbelichting met, op papier, gelijkwaardige hoeveelheden licht, betere producties bij tussenbelichting worden geclaimd<sup>33</sup>.

### 3. Lichtverdeling

Wat voor het lichtniveau (zie 2.) geldt, geldt ook voor de lichtverdeling. Met de intrede van tussenlicht is uniformiteit (verhouding tussen hoogste en laagste lichtniveau in een meetvak) niet alleen in het horizontale, maar zeker ook in het verticale vlak gewenst. De ruimte bij tussenbelichting is beperkt (vaak 1,60 meter hart-op-hart), waardoor bladeren dichtbij de lichtbron komen en verzadiging van deze bladeren lokaal optreedt door plaatselijke pieken in het (verticale) lichtniveau.

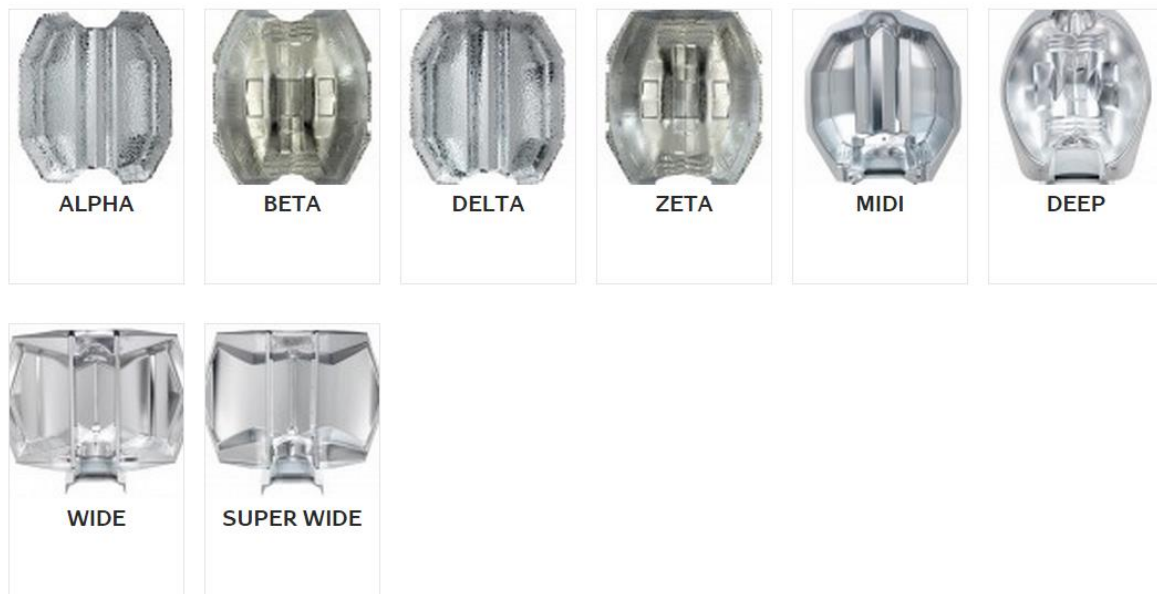
### 4. Lichtrichting

De zon is een lichtbron die nagenoeg parallelle stralen oplevert, welke overigens wel door bewolking diffuus kan worden. Kunstlichtinstallaties bestaan uit een verzameling puntlichtbronnen die, al dan niet met behulp van reflectoren, in de gewenste richting stralen. Het stralingsprofiel van de reflector bepaalt de optimale configuratie van armaturen bij het gewenste gewas en in de gewenste kas. Ook



heeft de vorm van de reflector invloed op de penetratie van het licht tussen het gewas. Diepstralende reflectoren, zoals de Beta/Zeta serie van Hortilux<sup>34</sup> worden gepromoot met dat argument.

Diffusiteit van het licht is een begrip waarvan zowel bij dag- als bij kunstlicht de voordelen worden geclaimd. Door het licht in een oneindig aantal richtingen te verstrooien, worden verdeling en penetratie in het gewas verbeterd. Diffuus glas is uitgebreid onderzocht door onder meer Wageningen UR<sup>35</sup>. Maar ook bij reflectoren van SON-T armaturen wordt diffusiteit ingezet middels reflectoren met 'hamerslag' uit gecoat aluminium versus vlakke, geanodiseerde aluminium reflectoren.



*Figuur 8 Fragment website Hortilux Schröder met diverse verschijningsvormen reflectoren<sup>36</sup>*

## 5. Daglengte

Naast het sturende effect van specifieke spectra (zie 1.) is de daglengte een andere voorname variabele waarmee de teelt gestuurd wordt. Denk alleen maar aan de beïnvloeding van de bloei van chrysanten door middel van verduistering en belichting. Zonder deze twee hulpmiddelen zou jaarrond teelt van dit product niet mogelijk zijn.

## 6. Restwarmte

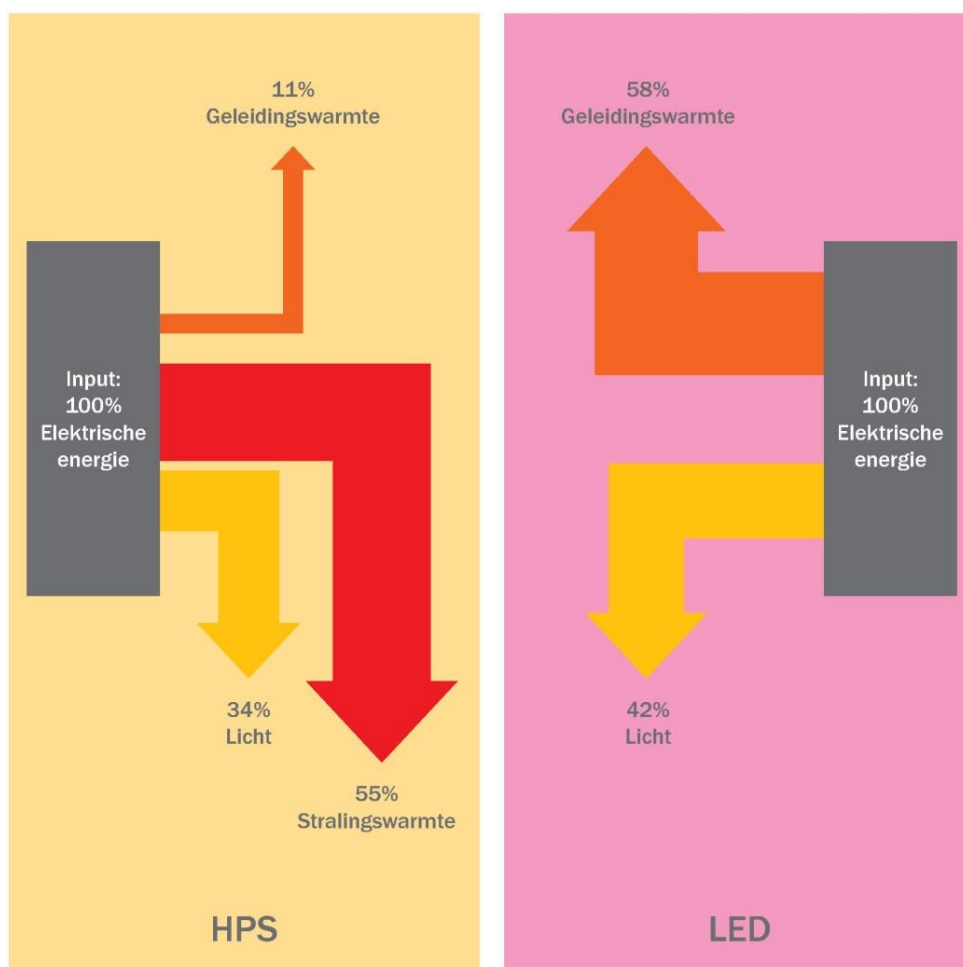
Zoals eerder vermeld (3.3-5) gaat kunstlicht altijd vergezeld van warmte en kan hiertoe koeling worden ingezet. Hoewel LED armaturen op dit moment significant (licht-)efficiënter zijn dan SON-T armaturen, wordt ook bij LED het merendeel van de elektrische energie omgezet in warmte. Bij SON-T betreft dit voornamelijk stralingswarmte. In sommige gevallen heeft deze stralingswarmte een rechtstreeks, positief of negatief effect op het gewas, maar de warmte wordt ten allen tijde in de kas gebracht.

Ook bij 'aan de lucht' gekoelde LED-armaturen (o.a. koelribben) is dit het geval, waarbij moet worden aangetekend dat dit geen stralingswarmte is, maar geleidingswarmte, die door convectie van de lucht wordt afgevoerd. Het gebrek aan stralingswarmte wordt in veel gewassen als een nadeel ervaren; onderzoeken bij b.v. Tomaat en Gerbera waarbij top LED belichting werd gebruikt toonden aan dat er

extra buisinput nodig was (Onderzoeken bij WUR en Demokwekerij tussen '10 en '14). Om deze reden wordt in warmte behoeftige teelten momenteel een hybride vorm van topbelichting toegepast waarbij een deel van het licht (en dus stralingswarmte) door SON-T wordt ingebracht.

Kijken we naar tussenbelichting in de vorm van statisch gekoelde LEDs dan wordt de warmte afgegeven *tussen* het gewas. Dit verklaart eveneens het feit dat er in opgaande groente gewassen momenteel voornamelijk tussenbelichting in wordt gezet.

LED biedt in tegenstelling tot SON-T wel de *mogelijkheid* om licht en warmte actief van elkaar te scheiden met behulp van een koelmedium zoals water. Dit biedt de mogelijkheden om in situaties waarbij licht wél en warmte niet gewenst is, de warmte af te voeren en in een buffer op te slaan voor later gebruik. Dit voorkomt nodeloos energieverlies openen van isolatieschermen en luchtramen teneinde de warmte te vernietigen.



Figuur 9: Omzetting elektrische energie in licht en warmte HPS vs. LED o.b.v. actuele data

#### Discussie

Naast het feit dat de LED technologie nog relatief kostbaar is, vormt het gebruik van de restwarmte van de LED momenteel voor veel teelten nog een uitdaging. Statisch gekoelde armaturen bovenin de kas zorgen er in sommige gevallen voor dat er extra buisinput nodig is, hetgeen ongewenst is. Watergekoelde armaturen maken het mogelijk om warmte naar keus in te zetten, echter werken dergelijke systemen kostenverhogen. Geforceerd luchtgekoelde armaturen kunnen de warmte terug brengen in het gewas middels luchtcirculatie, echter is er niet de keuze vrijheid om de warmte uit de kas te houden.

### 3.6 Presentatie

Aan het einde van het project zijn de resultaten van het project gedeeld met de markt op een tweetal locaties.

Allereerst vond op 9 december 2014 in de Demokwekerij Westland een inspiratie dag plaats, georganiseerd door telersvereniging TTO<sup>37</sup>. Hier werden de leden (10% glastuinbouwareaal Nederland) rondgeleid en gediscussieerd over innovatie en onderzoek. De Belichtingsnavigator was daarbij een van de geëxposeerde onderwerpen, waarbij de bezoekers door Stefan Persoon van Inno Agro te woord werden gestaan. De bijbehorende projectposters zijn vervolgens nog enige tijd vrij toegankelijk in de Demokwekerij getoond.

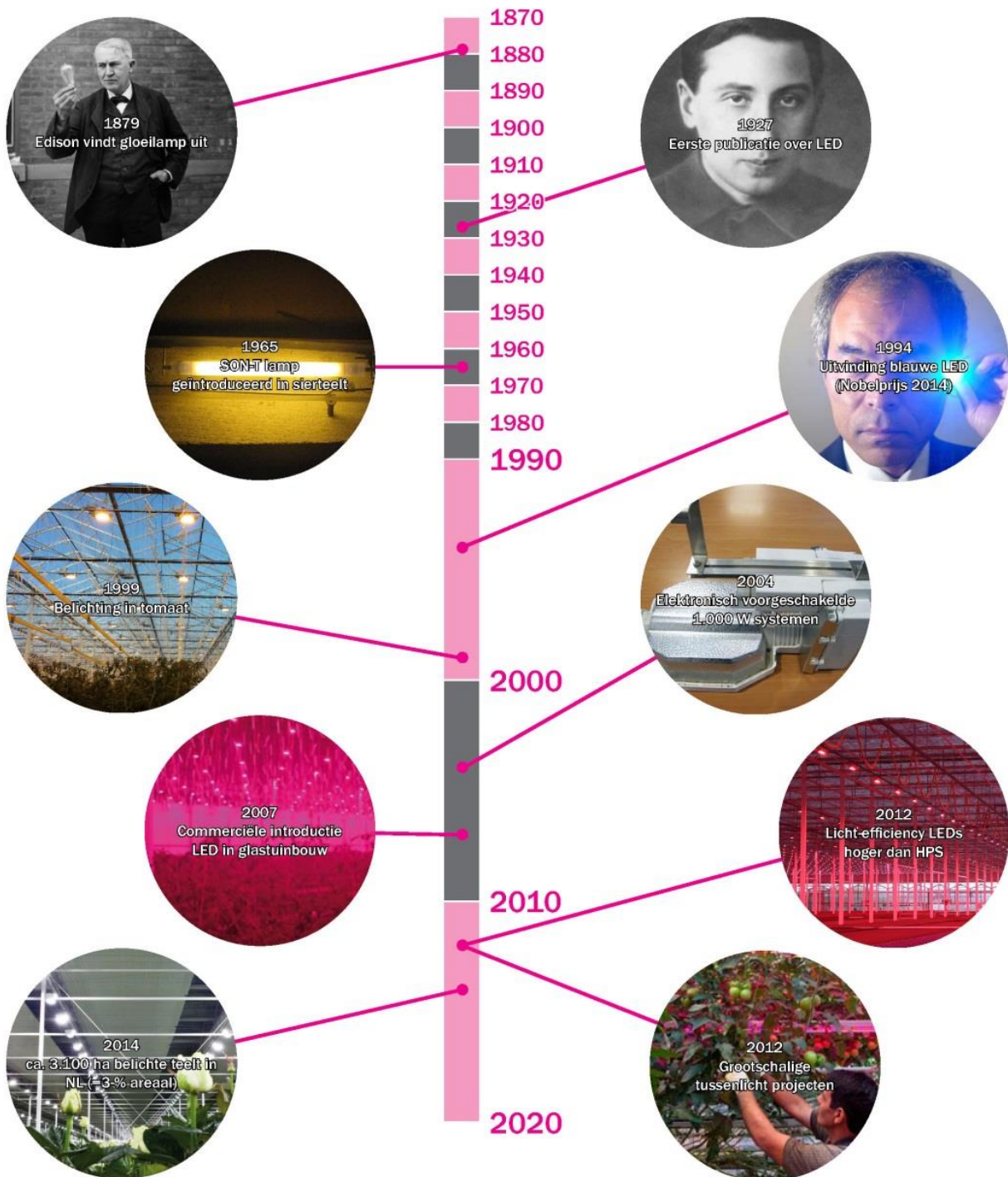
Op 10 december 2014 vond bij Wageningen UR Glastuinbouw in Bleiswijk het Licht Event plaats<sup>38</sup>. Onder de titel 'Technische ontwikkelingen, zowel in kunstlicht als in daglicht(beïnvloeding)' verzorgden Gert-Jan Swinkels van Wageningen UR Glastuinbouw en Stefan Persoon van Inno Agro een workshop. Hierbij heeft Persoon het publiek kennis laten maken met de Belichtingsnavigator.



Figuur 10: Nieuwsberichten bijeenkomsten<sup>39 40</sup>

## 4 Conclusies en aanbevelingen

Hoewel kunstlicht, zelfs LED, een lange geschiedenis kent en groeilicht ook al een halve eeuw wordt toegepast in de sierteelt, is belichting in de glastuinbouw pas de laatste 15 jaar écht in een stroomversnelling gekomen. Achtereenvolgens belichting in de groenteteelt, 1.000 Watt EVSA systemen en de introductie van LED en tussenlicht vertegenwoordigen grote stappen op het gebied van technische innovatie, verbetering van de efficiency en vergroting van de groeilichtmarkt.



Figuur 11: Milestones in groeilicht

Tot de kredietcrisis van 2008 gingen technische innovatie in groei en areaaltoename arm in arm. Resultaat: belichting is een bestaansrecht in vele teelten, maar tegelijkertijd een van de grootste energieverbruikers in de glastuinbouw. Sinds de start van de crisis is een nieuwe realiteit aangetreden. Het areaal groeit nauwelijks, afzet- en financieringsmarkt zitten op slot. Daarbij is het bewustzijn gekomen dat de groei van het energieverbruik in de glastuinbouw beteugeld moet worden. Een ambitie die wordt geborgd in het programma 'Kas als energiebron' waartoe ook dit project toe behoort.

Hoewel vrijwel elke parameter in deze roadmap voor een deel van de geïnterviewde partijen 'gesneden koek' is, constateren wij dat er eigenlijk nauwelijks partijen zijn die het gehele speelveld overzien; een onderbouwing van de probleemstelling. Veel aandacht voor teelt bij onderzoeksinstellingen en kwekers, maar daarentegen een monopolie op techniek en specificaties bij de toeleveranciers. Op hun beurt bemoeien die zich nauwelijks met andere variabelen in de bedrijfshuishouding van een kweker. Neem warmte; een bij belichting onderbelichte parameter die onlosmakelijk met licht verbonden is. Juist dit overzicht is noodzakelijk om beslissingen te nemen die resulteren in rendabel belichten mét maximale energiebesparing.

Opvallend is echter wel dat de initiële doelgroep van het project, kwekers en financiers, afwachtend reageert op de belichtingsnavigator. De nood van de dag overschaduwde het vormen van een echte toekomstvisie op belichting. Innovatie is volgens hen vooralsnog iets dat door 'de markt' moet worden opgepakt en pas bij hen in beeld komt indien bewezen.

Vreemd genoeg zijn het juist de toeleveranciers die de meerwaarde van de belichtingsnavigator inzien. Door het uniform en begrijpelijk presenteren van informatie kunnen gerenommeerde leveranciers zich onderscheiden van de 'cowboys' waarmee de markt nog altijd overspoeld wordt.

Onze aanbeveling is dan ook om dit draagvlak bij toeleveranciers te gebruiken om via het platform 'belichtingsnavigator' kwekers en financiers te overtuigen voor de meest energiezuinige vorm van belichting te kiezen. De applicatie wordt een handzame verzamelplaats van tools voor de doelgroep. Hier hebben de initiatiefnemers en de toeleveranciers een gecombineerd belang; het informeren van de kweker/financier. Uiteraard dienen reeds bestaande en bewezen tools, zoals het 'Meetprotocol lichtmeten in de glastuinbouw' hierin te vinden te zijn. Aanvullende tools die wij op korte termijn aanbevelen:

- Lichtmeetprotocol in 3D t.b.v. tussenbelichting
- Rekentabel eenheden licht
- Database gewassen en stuurlicht (spectrum en daglengte)
- Rekenmodellen gas en elektraverbruik



## 5 Literatuur

Voor de samenstelling van dit rapport zijn de volgende publicaties geraadpleegd:

- <sup>1</sup> Website: [http://en.wikipedia.org/wiki/Technology\\_roadmap](http://en.wikipedia.org/wiki/Technology_roadmap)
- <sup>2</sup> Rapport 'Groeï elektriciteitsconsumptie glastuinbouw. Hoe verder?', LEI, 2013
- <sup>3</sup> Website: <http://www.ad.nl/ad/nl/1040/Den-Haag/article/detail/2157191/2008/09/12/Petitie-tuinders-tegen-hoge-gasprijs.dhtml>
- <sup>4</sup> Website: <http://www.bndestem.nl/algemeen/economie/geen-concrete-afspraken-oekra%C3%AFne-rusland-en-eu-over-gasprijs-1.4509597>
- <sup>5</sup> Website: <http://energiepro.fd.nl/nieuws/271788-1408/gratis-of-negatief-geprijsd>
- <sup>6</sup> Rapport: 'De wereld breekt open', Prof. Dr. Wim de Ridder, 2011
- <sup>7</sup> Rapport: Energiemonitor van de Nederlandse glastuinbouw 2013, LEI, 2014
- <sup>8</sup> Rapport: Energiemonitor van de Nederlandse glastuinbouw 2013, LEI, 2014
- <sup>9</sup> Rapport: Energiemonitor van de Nederlandse glastuinbouw 2013, LEI, 2014
- <sup>10</sup> Website  
<http://www.energymatters.nl/Actueel/Publicaties/tabid/80/articleType/ArticleView/articleId/137/Barometer-WKK-in-glastuinbouw-Marktpositie-WKK-op-korte-termijn-slecht-herstel-op-lange-termijn-april-2013.aspx>
- <sup>11</sup> Website: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Arbeidsfactor>
- <sup>12</sup> Website: [http://nl.wikipedia.org/wiki/Totale\\_harmonische\\_vervorming](http://nl.wikipedia.org/wiki/Totale_harmonische_vervorming)
- <sup>13</sup> Rapport: 'DC en duurzaamheid gaan samen in glastuinbouw', Stichting Gelijkspanning 2014
- <sup>14</sup> Rapport: 'DC en duurzaamheid gaan samen in glastuinbouw', Stichting Gelijkspanning 2014
- <sup>15</sup> Brochure: 'Goed zicht op uw winst' Philips GreenVision DIM
- <sup>16</sup> Brochure: 'MASTER GreenPower Plus 600 W EL & 1000 W EL', Philips, 2015
- <sup>17</sup> Brochure: 'GreenPower LED toplighting', Philips, 2015
- <sup>18</sup> Website: <http://www.lemnis-oreon.com/nl/>
- <sup>19</sup> Brochure: 'Professional Grow Lights 2015', Valoya
- <sup>20</sup> Website: [http://nl.wikipedia.org/wiki/Lumen\\_%28eenheid%29](http://nl.wikipedia.org/wiki/Lumen_%28eenheid%29)
- <sup>21</sup> Website: [http://www.lighting.philips.nl/application\\_areas/horticultural/vegetables-and-fruits.wpd](http://www.lighting.philips.nl/application_areas/horticultural/vegetables-and-fruits.wpd)
- <sup>22</sup> Website: [http://www.lighting.philips.nl/application\\_areas/horticultural/vegetables-and-fruits.wpd](http://www.lighting.philips.nl/application_areas/horticultural/vegetables-and-fruits.wpd)
- <sup>23</sup> Website: <http://www.hortilux.nl/wp-content/uploads/2013/04/Leaflet-HortiLED.pdf>
- <sup>24</sup> Rapport: Energiemonitor van de Nederlandse glastuinbouw 2013, LEI, 2014
- <sup>25</sup> Website:  
[http://www.lighting.philips.nl/connect/ingelicht/juni%202012/12PHLL040\\_Installateurs.pdf?origin=3\\_be\\_nl\\_ingelicht\\_li\\_june\\_chapter1](http://www.lighting.philips.nl/connect/ingelicht/juni%202012/12PHLL040_Installateurs.pdf?origin=3_be_nl_ingelicht_li_june_chapter1)
- <sup>26</sup> Website: <http://www.dicapital.nl/>
- <sup>27</sup> Website: <http://www.twitter.com/>
- <sup>28</sup> Website: [http://nl.wikipedia.org/wiki/Fotosynthetisch\\_actieve\\_straling](http://nl.wikipedia.org/wiki/Fotosynthetisch_actieve_straling)
- <sup>29</sup> Website: [http://en.wikipedia.org/wiki/Photosynthetically\\_active\\_radiation](http://en.wikipedia.org/wiki/Photosynthetically_active_radiation)
- <sup>30</sup> Website: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Monochroom>



---

<sup>31</sup> Inno Agro

<sup>32</sup> Rapport: 'Meetprotocol lichtmeten in de glastuinbouw'

<sup>33</sup> Brochure: 'Licht met meerwaarde Philips GreenPower LED interlighting licht tussen het gewas',  
Philips

<sup>34</sup> Website: <http://www.hortilux.nl/nl/product/beta-2/>

<sup>35</sup> Website: <http://www.wageningenur.nl/nl/show/Verschillen-diffuus-glas-op-een-rijtje.htm>

<sup>36</sup> Website: <http://www.hortilux.nl/nl/producten/>

<sup>37</sup> Website: <http://www.demokwekerij.nl/nieuws/kwekers-tto-bepalen-onderzoeksvragen-voor-2015/>

<sup>38</sup> Website: <http://www.wageningenur.nl/nl/activiteit/Licht-Event.htm>

<sup>39</sup> Website: <http://www.twitter.com/>

<sup>40</sup> Website: [http://www.energiek2020.nu/alle-berichten-energiek2020/detail/volle-bak-op-themabijeenkomst-licht/?utm\\_source=twitterfeed&utm\\_medium=twitter#.VR7TqPmsWkE](http://www.energiek2020.nu/alle-berichten-energiek2020/detail/volle-bak-op-themabijeenkomst-licht/?utm_source=twitterfeed&utm_medium=twitter#.VR7TqPmsWkE)