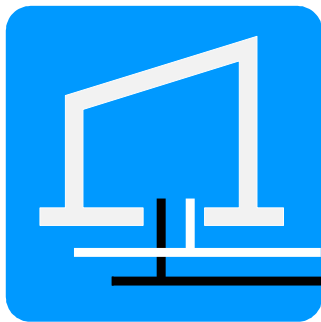
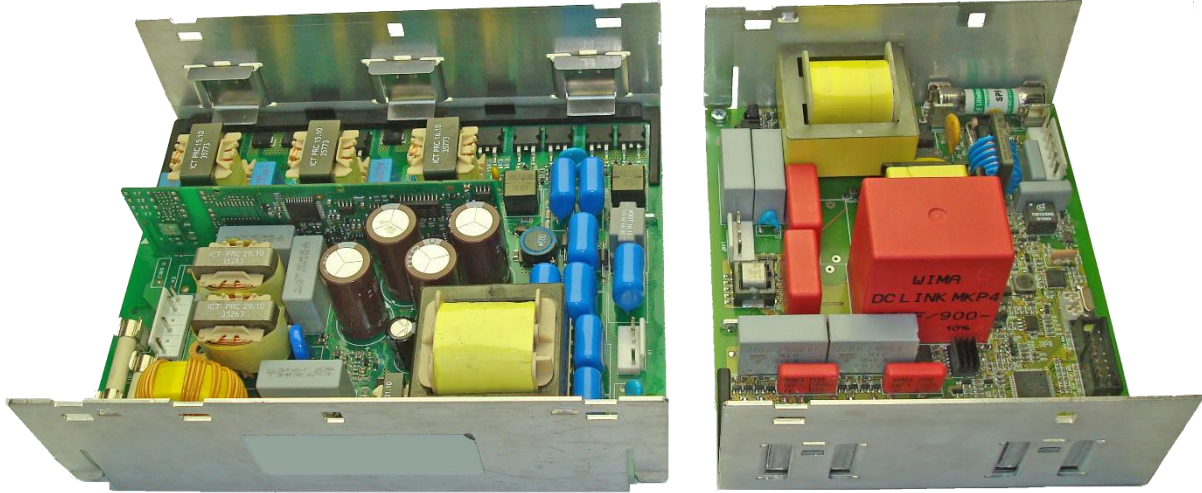


## 'DC en duurzaamheid gaan samen in glastuinbouw'



# STICHTING GELIJKSPANNING

Dit project is mogelijk gemaakt door het programma 'Kas als Energiebron' van het Ministerie van Economische Zaken en het Productschap Tuinbouw. Daarnaast is het project mede mogelijk gemaakt door een bijdrage vanuit het Rabobank Projectenfonds



December 2014  
**Stichting Gelijkspanning**  
Harry Stokman  
Pepijn van Willigenburg  
Jeffrey Backes

## Managementsamenvatting

De Stichting Gelijkspanning heeft in 2010 het initiatief genomen voor het project 'Gelijkspanning breng(t) je verder'. Dit project is financieel ondersteund in het kader van het programma 'Kas als Energiebron'. Samen met belangrijke partners als Direct Current b.v., Joulz, Rabobank, De Haagse Hogeschool, Agrolux, Gavita Nederland en Vreeken Bouvardia, heeft de Stichting de experimentele ontwikkeling van gelijkspanningsarmaturen voor de glastuinbouw op zich genomen. In elk armatuur wordt nu wisselspanning (AC) omgezet naar gelijkspanning (DC). Het centraal maken van deze omzetting is energie-efficiënter en waarschijnlijk brengt deze verandering ook andere voordelen met zich mee. In de sector gebruikelijke SON-T belichting is energie-intensief in gebruik en arbeids- en materiaalintensief bij installatie. In een proefopstelling bij Vreeken Bouvardia in PrimAviera in de Haarlemmermeer worden op dit moment 48 DC-armaturen gebruikt in een separaat gelijkspanningsnet. Het project heeft aangetoond dat gelijkspanning gebruiken voor assimilatie-belichting aanzienlijke besparingen voor telers kan opleveren, van bijna € 10.000 tot wel € 20.000 per hectare per jaar.

Het ontwikkeltraject en de proefopstelling hebben 3 belangrijke resultaten opgeleverd.

1 – DC gevoede SON-T armaturen verbruiken per armatuur 1,6 tot 1,9% minder elektrische energie (VA) ten opzichte van de best presterende AC ballast op de markt. Per belichte hectare is de besparing per jaar € 2.000 (84  $\mu\text{Mol}/\text{m}^2$ ) tot € 3.400 (175  $\mu\text{Mol}/\text{m}^2$ ) per jaar. Daarbij is uitgegaan van 2357 branduren en een kostprijs van € 0,10 per kVA / kWh.

2 – DC gevoede SON-T armaturen zullen, bij voldoende schaalgrootte, goedkoper te produceren zijn dan huidige AC gevoede SON-T armaturen. Daardoor zal de initiële investering lager uitvallen, waardoor er minder rente betaald hoeft te worden en afschrijvingen lager uitvallen. Per armatuur zal naar verwachting de verkoopprijs voor de teler € 37,50 (600W) tot € 45,- per stuk lager uitvallen dan de huidige best-of-market AC-armatuur. Dat resulteert in een jaarlijkse besparing van € 3.900 tot € 5.700 per hectare per jaar. Hierin zijn rente en een lagere afschrijving gecombineerd.

3 – DC gevoede armaturen bieden op component-niveau een langere levensduur. In huidige AC armaturen is de omzetting van AC naar DC bepalend voor de levensduur van het armatuur. Als deze omzetting niet meer in het armatuur plaats vindt, kan de levensduur toenemen. 7 jaar wordt nu gezien als aannemelijk, met gelijkspanning kan de levensduur van het armatuur 10 jaar of langer worden. Dat houdt in dat afschrijvingen 30 tot 40 procent lager worden. Per hectare kan dat resulteren in een lagere afschrijving van € 8.000 tot € 14.000. De looptijd van het project zelf is te kort geweest om deze langere levensduur ook in de praktijk aan te tonen.

Voordat telers deze technologie kunnen inzetten en de aangegeven besparingen kunnen realiseren, zijn er nog twee belangrijke drempels te overwinnen. Ten eerste moeten de elektrische infrastructuur voor in kassen worden ontwikkeld. Zonder deze infrastructuur hebben de DC-armaturen geen toegevoegde waarde en werken ze zelfs niet. Ten tweede is de daadwerkelijk te behalen besparing ook afhankelijk van de gekozen strategie en prijspositionering van de uiteindelijke aanbieder(s). Voor het succes van de technologie is een snelle uitrol met een aantrekkelijk prijspeil wenselijk, dat hoeft niet per se succesvol te zijn voor de leverancier(s).

Recente doorontwikkeling van de DC-armaturen heeft de besparing per armatuur al verbeterd naar 2,0 tot 2,4%. In een grootschalige demonstratie (bijvoorbeeld via DEI: <http://www.rvo.nl/subsidies-regelingen/tender-demonstratie-energie-innovatie>) kunnen deze nieuwe versies toegepast gaan worden. Dit vergroot het besparingspotentieel van de armaturen verder. Voor de goede orde: een besparing van 2,4% op het totale energieverbruik van het armatuur klinkt heel beperkt, het betekent wel dat het energieverbruik van de voorschakeling (de ballast) min of meer is gehalveerd, ten opzichte van het energieverbruik van de beste concurrent. Dat is heel knap.

Tijdens het project is op diverse momenten contact en afstemming gezocht met de sector. In diverse media is op verschillende momenten verteld over dit project en over de resultaten tot dan toe. In mei 2013 is de testopstelling feestelijk geopend door Jaap Bond, lid Gedeputeerde Staten van de Provincie Noord-Holland in het bijzijn van projectpartners en regionale en lokale vertegenwoordigers.

In de Haarlemmermeer is, mede op initiatief van enkele projectpartners, een Green Deal van kracht. In deze Green Deal wordt uitgesproken dat regionale en landelijke overheden zich actief inzetten om belemmeringen in wet- en regelgeving te overwinnen om gelijkspanningstoepassingen te kunnen demonstreren. Voor meer informatie over deze Green Deal kunt u het volgende document bekijken: <http://www.ondernemendgroen.nl/SiteCollectionDocuments/OndernemendGroen/B127-Green%20Deal%20Gelijkspanning%20Haarlemmermeer.pdf>

## Inhoudsopgave

1	INLEIDING .....	4
1.1	Terugkoppeling doelstelling gehonoreerde projectplan .....	4
2	TOELICHTING HOOFDLIJNEN UITGEVOERDE ACTIVITEITEN .....	5
2.1	Fase 1: vooronderzoek .....	5
2.2	Prototype ontwikkeling en kleinschalige test .....	5
2.3	Fase 3: opgeschaalde praktijkproef belichting met DC .....	6
3	BESCHRIJVING OPZET MEETOPSTELLINGEN .....	8
3.1	Meting Philips AC ballast 1000W .....	8
3.2	Meting DC-HID-1k v2.0 1000W .....	9
3.3	Meetresultaten samengevat .....	10
4	MEETRESULTATEN ARMATUUR .....	12
4.1	Techniek .....	12
4.2	Bedrijfseconomisch .....	13
5	VERWACHTINGEN ARMATUREN EN INFRASTRUCTUUR .....	15
5.1	Terugkoppeling naar het ingediende projectplan .....	15
5.2	Het projectplan bijgewerkt naar 2013 .....	15
5.3	Toelichting op de nu verwachte besparing .....	16
5.4	Verwachtingen voor de nabije toekomst .....	17
6	SAMENVATTEN EN VOORUITKIJKEN .....	19
	BIJLAGEN .....	20
Bijlage 1	Betrokkenheid HHS studenten en hun verslagen .....	21
Bijlage 2	Warmtebeelden AC en DC vergelijking armaturen .....	22
Bijlage 3	Overzicht foutrapportages .....	23
Bijlage 4	Model besparing elektrische energie .....	24
Bijlage 5	Model besparingen investeringen .....	25
Bijlage 6	Vergelijking traditionele AC-infrastructuur met DC-verbeteringen .....	26
Bijlage 7	Ondersteunend rekenmodel besparingen paragraaf 5.3 .....	27
Bijlage 8	Afschrijvingsmodel AC en DC installatie 84 $\mu\text{Mol}/\text{m}^2$ .....	28
Bijlage 9	Afschrijvingsmodel AC en DC installatie 140 $\mu\text{Mol}/\text{m}^2$ .....	29
Bijlage 10	Afschrijvingsmodel AC en DC installatie 175 $\mu\text{Mol}/\text{m}^2$ .....	30

# 1 INLEIDING

In dit hoofdstuk kijken we eerst even terug naar het oorspronkelijke, gehonoreerde projectplan om helder te stellen wat was beloofd. Er wordt specifiek ingezoomd op de te nemen stappen in de eerste drie fases, om te kijken of die stappen genomen zijn en waarom mogelijk is afgeweken van het plan.

## 1.1 Terugkoppeling doelstelling gehonoreerde projectplan

### Hoofddoelstelling

Het aantonen van de technische haalbaarheid van met name een belichtingsinstallatie op gelijkspanning in een glastuinbouwbedrijf om daarmee een 5% lagere energievraag aan te tonen en daarmee het rendement van glastuinbouwbedrijven te verbeteren.

### Technologische doelstellingen

Aantonen dat plantenbelichting uitgevoerd kan worden met behulp van een verdeelnet in de kas op basis van gelijkspanning, waarbij de armaturen direct aangesloten worden op gelijkspanning. Hierbij zal tevens aangetoond moeten worden dat de veiligheid van een dergelijk net te waarborgen is. Hiervoor zullen tijdens het project richtlijnen worden opgesteld.

In de bijlage 'Toekomstperspectief DC' wordt gedetailleerd aangegeven wat de technische voordelen van het gebruik van gelijkspanning zijn. Er wordt stilgestaan bij de elektriciteitsdistributie in zijn geheel en wat gelijkspanning betekent voor plantbelichting in het bijzonder.

Het aantonen van de technische prestaties van een dergelijk belichtingsnet maakt het mogelijk om op te schalen naar een gelijkspanningsnet voor een gehele kas wat gevolgd kan worden door een gelijkspanningsdistributienet voor een gebied.

### Energiedoelstellingen

Aantonen dat er energie bespaard kan worden door de energievoorziening in de kas op gelijkspanning in te richten. Deze energiebesparing, met name te halen door het aanpakken van belichting, levert direct een financiële besparing op. De grootste winst in de belichtingsinstallatie zal te behalen zijn in de armaturen. Deze zullen minder energie gaan verbruiken, minder warm worden, en technologisch eenvoudiger worden. Daardoor worden de armaturen eenvoudiger om te produceren. Daardoor zal ook de kostprijs van een armatuur zakken.

### Nevendoelestellingen

- Minder CO<sub>2</sub> uitstoot voor de tuinbouw, realisatie van de duurzaamheidsdoelstellingen voor de Nederlandse tuinbouw. Een 5% kleinere energievraag levert een gelijke reductie in CO<sub>2</sub> uitstoot.
- Verlaging onderhouds- en uitvalkosten van armaturen, pompen en motoren.
- Verbetering van het draagvlak van de glastuinbouw in het algemeen door te investeren in verduurzaming van de sector. Minder energieverbruik en minder CO<sub>2</sub> uitstoot zijn hier de meetbare parameters.

### **Reflectie**

We kijken nu terug na afronding van de eerste drie fases. Daarin hebben we diverse prototypes ontwikkeld en daarop ook weer verbeterlagen gemaakt. Er is echter nog geen uitontwikkeld of verkoopklaar product of een bruikbare infrastructuur voor in de kas. Dat houdt in dat we de volledige impact van de ontwikkelde prototypes en van de uiteindelijk beoogde overgang naar gelijkspanning nog niet kunnen overzien, berekenen en/of toelichten.

## 2 TOELICHTING HOOFDLIJNEN UITGEVOERDE ACTIVITEITEN

Ter ondersteuning van de leesbaarheid hebben we in de onderstaande beschrijving van de geplande en gerealiseerde stappen per fase onder elkaar gezet. Van elke fase geven we eerst puntsgewijs de beloofde resultaten neer, deze zijn cursief gedrukt. Vervolgens lichten we de daadwerkelijke behaalde resultaten direct daaronder toe.

### 2.1 Fase 1: vooronderzoek

- *Resultaten / doelen*
  - *Onderzoek naar mogelijke besparingen uitgevoerd hebben*
  - *Projectvoorstel en begroting opstellen*
  - *Financiering rond krijgen*
  - *Projectorganisatie opzetten*

#### **Behaalde resultaten**

Het project is, zoals ook in de aanbiedingsbrief is gecommuniceerd, gestart in november 2010. Daarmee is ook aangegeven dat de benodigde resultaten (projectvoorstel, begroting, financiering en projectorganisatie) voor deze fase allen zijn behaald. Het vooronderzoek is in samenwerking met studenten en docent/onderzoekers van 'De Haagse Hogeschool' uitgevoerd<sup>1</sup>. Mede vanwege deze samenwerking is De Haagse Hogeschool sinds begin 2013 de initiatiefnemer van het SIA-RAAK project 'Gelijkspanning breng(t) je verder'<sup>2</sup>.

### 2.2 Prototype ontwikkeling en kleinschalige test

#### Fase 2A: kleinschalige pilot ("houtje-touwtje")

- *Resultaten / doelen*
  - *Werkende testopstelling ontwikkelen voor de benodigde testen.*
  - *Testen op:*
    1. *Stroomverbruik gedurende belichtingsinterval (bij gelijke PAR)*
    2. *Constantheid en hoeveelheid PAR (bij gelijk uitgangsvermogen)*
    3. *Wel/geen WKK*
    4. *Regionale verschillen netten (aanbieders)*
    5. *Nieuwe kas / 5 jaar oud / ouder?*
    6. *Verschillende gewassen?*
  - *Doelstelling is het aantonen van de realiseerbare besparing in energieverbruik.*

#### Fase 2B: ontwikkeling armatuur, bus, software

- *Resultaten / doelen*
  - *Ontwikkeling prototype armatuur en haalbare besparingen*
  - *Ontwikkeling infrastructuur in de kas met kostenindicatie*
  - *In samenwerking met één of meerdere leveranciers een (open source?) pakket ontwikkelen dat vanuit de bekende software belichting kan aansturen. Plug-in software?*

#### **Behaalde resultaten**

In de oorspronkelijke opzet is uitgegaan van het willen maken van een kleine testopstelling. Daar is om een aantal redenen van afgeweken:

1) het maken van een kleine serie van 10 stuks was, voor wat betreft de in te kopen onderdelen, vrijwel even kostbaar als het maken van een serie van 50 stuks, laat staan het maken van twee kleine series, voor 600W en 1000W elk. De kostprijs per prototype is zo lager gehouden, waardoor het beschikbare budget beter is ingezet.

---

<sup>1</sup> Zie bijlage 1 voor de namen van de auteurs en de periodes. De verslagen zelf worden als aparte bijlagen met deze rapportage mee verstuurd.

<sup>2</sup> [www.hhs.nl/gelijkspanning](http://www.hhs.nl/gelijkspanning)

2) Het vinden van een geschikte locatie was zeer lastig. Het bleek met name lastig om een teler te vinden die bereid was bij de grootschalige proefopstelling, boven de bloemen of groenten te willen ophangen.

3) In bestaande wet- en regelgeving is in het werken met een DC-installatie eigenlijk niet voorzien. Binnen het project 'DC = DeCent'<sup>3</sup>, de proeftuin in de Haarlemmermeer die daarbij hoort én de Greendeal die met de Rijksoverheid is gesloten, is wel die ruimte.

Dit zijn de belangrijkste argumenten waarom er is gekozen voor het uitvoeren van één middelgrote test van 51 armaturen 600 W bij één teler in Rijsenhout: Jaap Vreeken, Bouvardiateler. Dit in plaats van een kleine en een grootschaliger test. Voor deze test is gebruik gemaakt van verbeterde versies van de eerste prototypes. In overleg met de bestaande installateur van deze teler is ook de benodigde DC-installatie aangelegd, om de nieuwe armaturen van spanning te voorzien. Daarmee is het houtje-touwtje karakter van fase 2A ook ingeruild voor een hoogwaardiger uitstraling, van zowel de geteste armaturen als de tijdelijke elektrische installatie.

Er zijn werkende prototypes ontwikkeld voor armaturen van zowel 600W als 1000W. Dat is een duidelijke meerwaarde ten opzichte van één armatuur, zoals oorspronkelijk beoogd. Daarin is dan ook meer tijd gaan zitten dan vooraf geraamd. Van beide prototypes is de lichtopbrengst en het bijbehorende energieverbruik<sup>4</sup> vergeleken met printplaten van Philips, zowel 600W als 1000W, verpakt in behuizingen van Gavita. Deze resultaten worden in paragraaf 3.3 behandeld. Het doen van verschilmetingen (wel/geen WKK, verschillende netbeheerders, oude/nieuwe kas en diverse gewassen) heeft niet plaats kunnen vinden vanwege de eerder aangehaalde redenen.

Er is op dit moment nog geen prototype van de te gebruiken infrastructuur. Dit is in de pilot opgelost met een voor deze specifieke installatie gebouwde AC/DC converter, gekoppeld aan nieuw aangelegde bedrading. Wel is er een vooronderzoek uitgevoerd naar de wijze van aanleg van belichtingsinstallaties werkend op wisselspanning. Daar wordt in hoofdstuk 5 nader op ingegaan.

### 2.3 Fase 3: opgeschaalde praktijkproef belichting met DC

- *Resultaten / doelen*
  - *Proefproductie armaturen (100 tot 200 stuks)*
  - *Integratie onderdelen en testen proefopstelling*
  - *Doelstelling: betrouwbaarheid en veiligheid aantonen*
  - *Doelstelling: voorspelde besparing daadwerkelijk realiseren*

#### **Behaalde resultaten**

De proefproductie van 60 stuks (600W) heeft plaatsgevonden, bij een leverancier in Nederland. Dit is niet de beoogde producent, omdat assemblage in grote aantallen veel voordeliger in China kan plaatsvinden. Van de 60 stuks zijn er 51 gebruikt in de test, het restant voor andere demonstraties, vervanging en optimalisatiedoelinden.

De installatie heeft inmiddels ruim 4500 branduren gemaakt. Tijdens de bedrijfsuren zijn er enkele fouten opgetreden. Deze zijn, in nieuwere ontwerpversies van de printplaat, op zeer kleine schaal gemaakt, verbeterd. Tijdens het in bedrijf zijn worden continu de prestaties (temperatuur, energieverbruik) gemonitord. Dat werkt naar behoren en geeft juist een goed beeld van prestaties en tegelijkertijd van de aanwezige veiligheidsvoorzieningen. Specifieke foutmeldingen en de ontwikkelde veiligheidsvoorzieningen komen in paragraaf 4.1 nader aan bod.

---

<sup>3</sup><http://www.dcisdecent.nl/dec/72-direct-current-bv-siemens-en-joulz-sluiten-green-deal>

<sup>4</sup> Zie bijlage twee voor beelden van de warmteontwikkeling bij een 600W AC en 600W DC armatuur

De voorspelde energiebesparing (3% tot 5%) wordt op dit moment nog niet behaald. Resultaten, zoals weergegeven in hoofdstuk 3, laten nu een besparing zien van 1,6% tot 1,9%. De genoemde verbeteringen uit hoofdstuk 5 (paragraaf 5.4) tillen deze percentages op zeer korte termijn al omhoog naar 2,2% tot 2,5%. Daarmee worden de doelstellingen (de aangegeven bandbreedte) zeer dicht benaderd.

De besparingen in bedrijfseconomische zin werden in het projectplan geraamd op € 15.000 per hectare per jaar, met een mogelijk bijkomende besparing op onderhoud. De besparing van € 15.000 werd vooral gerealiseerd door een lager verwacht energieverbruik en het vermoeden van een lagere investering. De cijfers uit hoofdstuk 5, paragraaf 5.3, geven aan dat er inderdaad zeer waarschijnlijk sprake zal zijn van een langere levensduur, naast het aangetoonde lagere energieverbruik en de haalbare lagere investering bij voldoende productieaantallen. Door de langere levensduur kunnen vervangingsinvesteringen later uitgevoerd worden. De details zijn in die bewuste paragraaf te lezen. Op dit punt in de rapportage wordt volstaan met de uitspraak dat het haalbaar wordt geacht om een besparing van € 13.000 tot € 15.000 per hectare per jaar te realiseren bij een gemiddelde belichtingsintensiteit.

Dit gezamenlijk geeft op dit moment alle vertrouwen dat armaturen die werken op gelijkspanning in de toekomst zeer goed in alle tuinbouwbedrijven toegepast kunnen gaan worden.



### 3 BESCHRIJVING OPZET MEETOPSTELLINGEN

In dit hoofdstuk wordt eerst de toegepaste meetmethodiek toegelicht. Dit gebeurt eerst voor een 1000W armatuur, daarna voor een 600W. Aan het eind van dit hoofdstuk worden de meetresultaten kort weergegeven.

#### 3.1 Meting Philips AC ballast 1000W

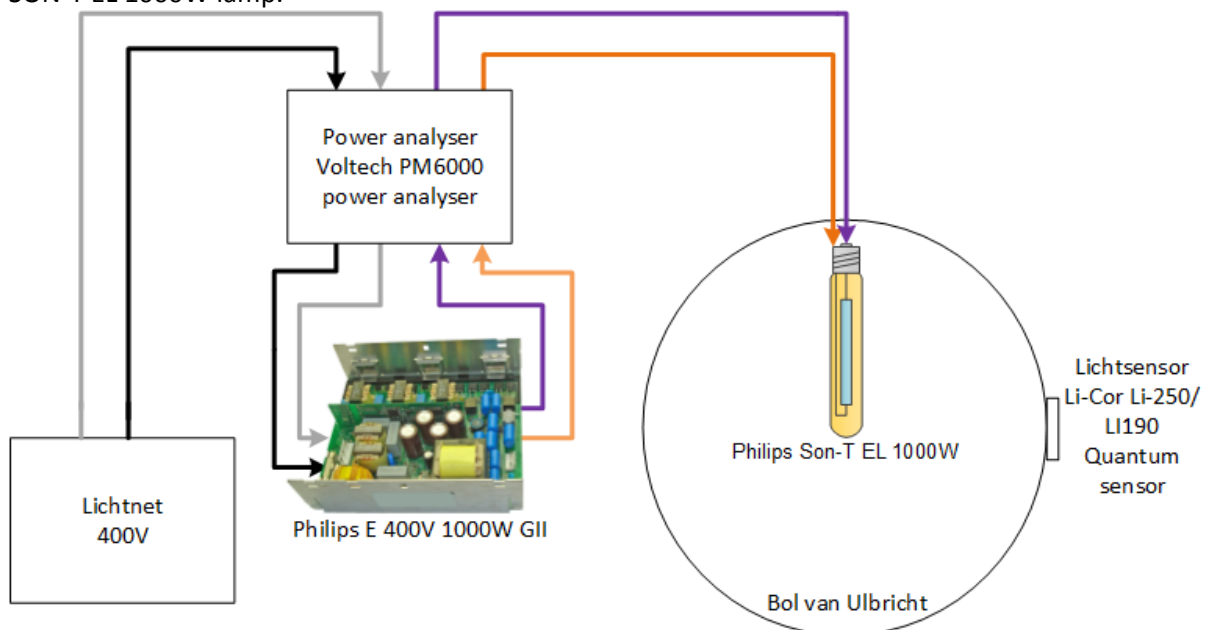
Bij Gavita zijn diverse metingen uitgevoerd. De eerste meting is uitgevoerd aan een Philips E 400V 1000W GII ballast.

##### Doel van de meting:

Het bepalen van het elektrisch rendement van de ballast, en het bepalen van de lichtoutput van de lamp die geïnitieerd wordt door de ballast.

##### Meetschema:

In Figuur 1 is het meetschema weergegeven. Het lichtnet (met een spanning van 400V) is aangesloten op de power analyser welke vervolgens de ballast voedt. De output van de ballast is ook aangesloten op de power analyser zodat het vermogen wat naar de lamp wordt gestuurd ook gemeten kan worden. Rechts in beeld is een Bol van Ulbricht weergegeven. Hierin is de lamp bevestigd. Deze bol wordt gesloten tijdens de meting zodat al het licht nauwkeurig kan worden opgevangen door de lichtsensor die aan de bol is bevestigd. De meting is uitgevoerd met een Philips SON-T EL 1000W lamp.



Figuur 1 - Meetschema AC ballast Philips E 400V 1000W GII

##### Meetapparatuur:

###### Specificaties power analyser

Type	Voltech PM600
Voltage connections:	<ul style="list-style-type: none"><li>• Measurements to 2000Vpk, DC to 10MHz, continuous</li><li>• 4000Vpk for 1 second</li><li>• Differential input impedance: 1Mohm in parallel with 26pF</li><li>• High and low input impedance to ground: 22pF</li></ul>
Current connections:	<ul style="list-style-type: none"><li>• Measurements to 2.5Vpk, DC to 10MHz, continuous</li><li>• 50Vpk for 1 second</li><li>• Differential input impedance: 2Mohm in parallel with 12pF</li><li>• High and low input impedance to ground: 22pF</li></ul>



Lichtsensoren	
Type	Li-Cor Li-190 quantum sensor
Uitgebreide specs	<a href="http://www.licor.com/env/products/light/quantum_sensors/190specs.html">http://www.licor.com/env/products/light/quantum_sensors/190specs.html</a>

Lichtmeter	
Type	Li-Cor Li-250A
Uitgebreide specs	<a href="http://www.licor.com/env/products/light/250Aspecs.html">http://www.licor.com/env/products/light/250Aspecs.html</a>

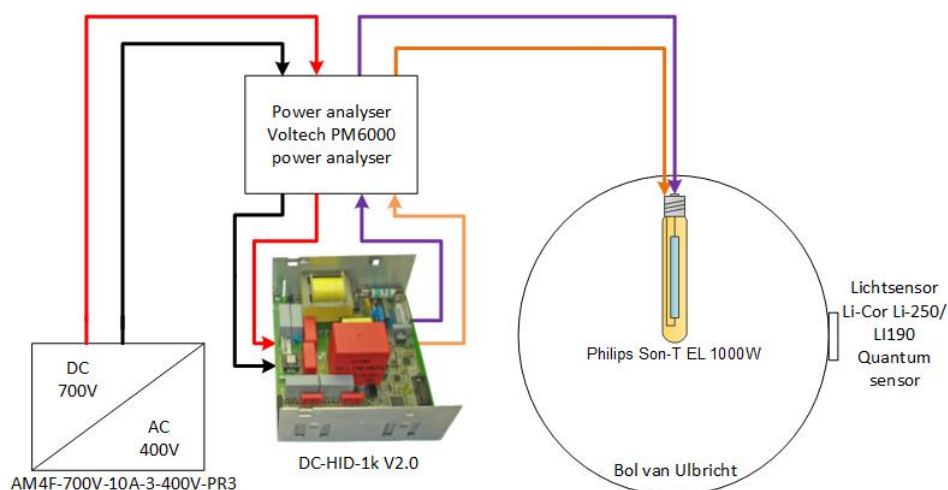
### 3.2 Meting DC-HID-1k v2.0 1000W

#### **Doel van de meting:**

Het bepalen van het elektrisch rendement van de ballast, en het bepalen van de lichtoutput van de lamp die geïnitieerd wordt door de ballast.

#### **Meetschema:**

In Figuur 2 is het meetschema weergegeven. Het lichtnet (met een spanning van 400V) is aangesloten op de AM4F-700V-10A-3-400V-PR3. Dit is een geschakelde voeding die 700V maakt. De 700V is aangesloten op de poweranalyser welke vervolgens vanaf de power analyser de DC-ballast voedt. De output van de ballast is ook aangesloten op de power analyser zodat het vermogen wat naar de lamp wordt gestuurd ook gemeten kan worden. Rechts in beeld is een Bol van Ulbricht weergegeven. Hierin is de lamp bevestigd. Deze bol wordt gesloten tijdens de meting zodat al het licht nauwkeurig kan worden opgevangen door de lichtsensoren die aan de bol is bevestigd. De meting is uitgevoerd met een Philips SON-T EL 1000W lamp.



Figuur 2 - Meetschema meting 1000W DC ballast

#### **Meetapparatuur:**

Specificaties power analyser	
Type	Voltech PM600
Voltage connections:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Measurements to 2000Vpk, DC to 10MHz, continuous</li> <li>• 4000Vpk for 1 second</li> <li>• Differential input impedance: 1Mohm in parallel with 26pF</li> <li>• High and low input impedance to ground: 22pF</li> </ul>
Current connections:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Measurements to 2.5Vpk, DC to 10MHz, continuous</li> <li>• 50Vpk for 1 second</li> </ul>

- Differential input impedance: 2Mohm in parallel with 12pF
- High and low input impedance to ground: 22pF

Lichtsensoren	
Type	Li-Cor Li-190 quantum sensor
Uitgebreide specs	<a href="http://www.licor.com/env/products/light/quantum_sensors/190specs.html">http://www.licor.com/env/products/light/quantum_sensors/190specs.html</a>

Lichtmeter	
Type	Li-Cor Li-250A
Uitgebreide specs	<a href="http://www.licor.com/env/products/light/250Aspecs.html">http://www.licor.com/env/products/light/250Aspecs.html</a>

### 3.3 Meetresultaten samengevat

De onderstaande waarden zijn tot stand gekomen door gemiddelden te nemen van de meetwaarden van 10 AC en 10 DC armaturen.

1000W

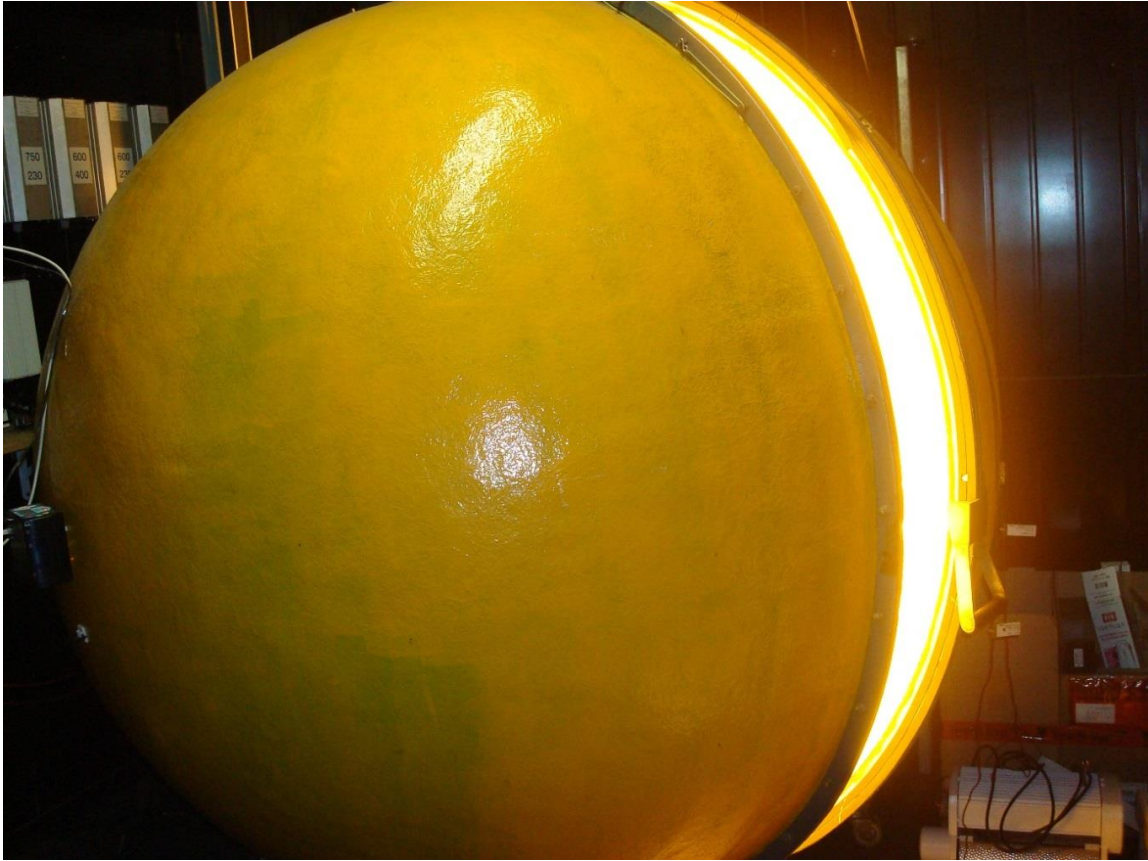
1000W AC		1000W DC	
IN		IN	
$U_{in}$	401V	$U_{in}$	700,4 VDC
$I_{in}$	2,60A	$I_{in}$	1,47A
$P_{in}$	1043,7VA	$P_{in}$	1027,4W
NAAR LAMP		NAAR LAMP	
$U_L$	216,3V	$U_L$	210,2V
$I_L$	4,66A	$I_L$	4,79A
$P_L$	1006,2W	$P_L$	1007W
f	112,93kHz	f	105,56kHz
PAR	2056,0 $\mu$ Mol	PAR	2068,0 $\mu$ Mol

Tabel 1: Metingen armaturen 1000 W

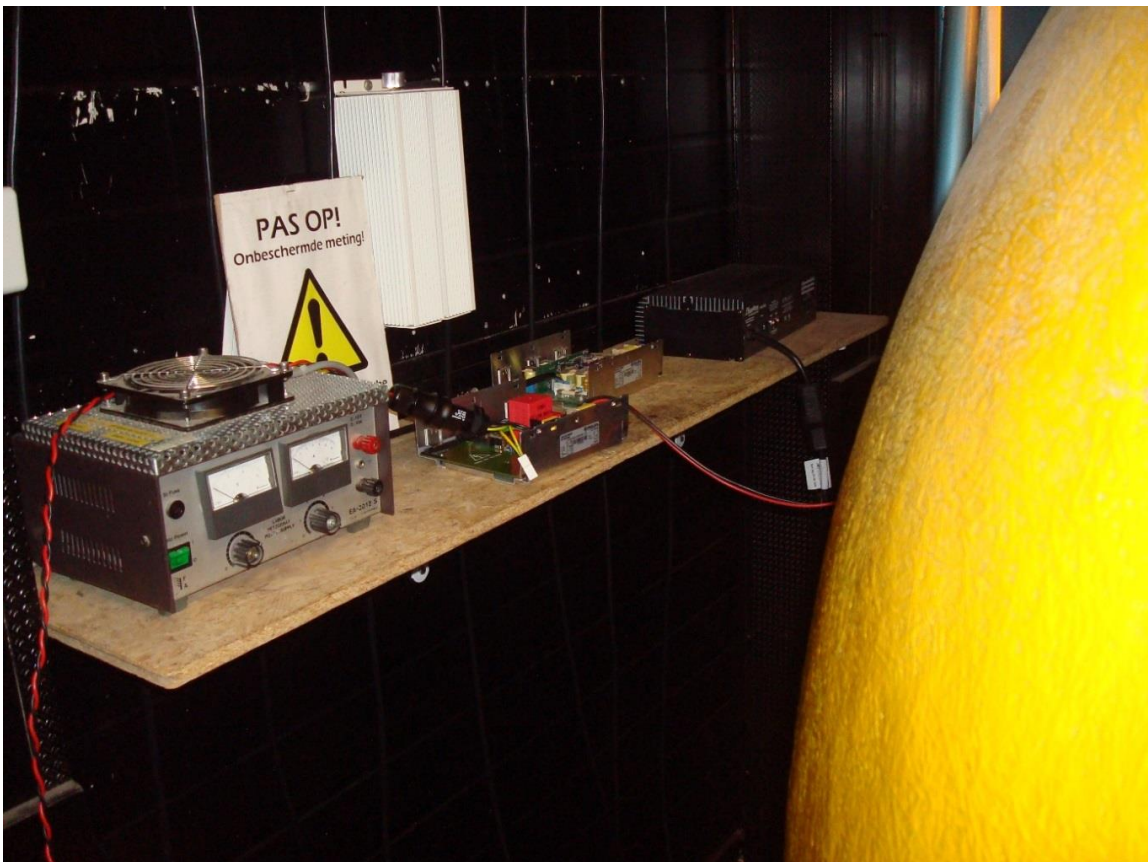
600 W

600W AC		600W DC	
IN		IN	
$U_{in}$	400,9V	$U_{in}$	700,1 VDC
$I_{in}$	1,58A	$I_{in}$	0,91A
$P_{in}$	633,4VA	$P_{in}$	637,7W
NAAR LAMP		NAAR LAMP	
$U_L$	192,2V	$U_L$	233,7V
$I_L$	3,17A	$I_L$	2,68A
$P_L$	608,8W	$P_L$	625,7W
f	112,79kHz	f	107,18kHz
PAR	1177,4 $\mu$ Mol	PAR	1219,5 $\mu$ Mol

Tabel 2: Metingen armaturen 600 W



*Figuur 3 - meetbol voor lichtopbrengst - Bol van Ulbricht*



*Figuur 4 – Meetopstelling en aansluiting armaturen bij Bol van Ulbricht*

## 4 MEETRESULTATEN ARMATUUR

In dit hoofdstuk bespreken we de meetresultaten nader en maken we enkele relevante vergelijkingen; energieverbruik,  $\mu\text{Mol}/\text{VA}$ , besparing in  $\text{€}/\text{m}^2$ .

### 4.1 Techniek

- lichtopbrengst 48 stuks
  - De ontwikkelde DC armaturen zijn, onder meer vanuit veiligheidsoverwegingen, afgeregeld op het uitgangsvermogen, zoals dat door de lamp wordt gevraagd. Dat uitgangsvermogen zorgt voor de uiteindelijke lichtopbrengst. Dat uitgangsvermogen is redelijk vergelijkbaar bij AC en DC armaturen<sup>5</sup>. De lichtopbrengst is, over het geheel gezien, dus redelijk vergelijkbaar met 48 AC lampen.
  - Zie ook de tabel verderop op deze pagina met een cijfermatige vergelijking op basis van de prestatie van een genormaliseerd armatuur.
  
- rendementssprong ballast zelf
  - Blijkt uit tabellen één en twee op pagina 8
    - Bij 1000W: 17W besparing op 37W origineel verbruik van het armatuur zelf, dus 46%!
    - Bij 600W: 13W besparing op 25W origineel verbruik van het armatuur zelf, dus 52%!

Berekening verhoudingsgetallen								
	Ingangsmeting		Lampmeting		verbruik AC armatuur	verbruik DC armatuur	besparing	
	AC - ingang	DC - ingang	AC - lamp	DC - lamp				
600W	633,4	637,7	608,8	625,7	24,6	12	12,6	VA
	1177,4	1219,5	1177,4	1219,5				$\mu\text{Mol}$
	1,86	1,91	1,93	1,95				$\mu\text{Mol}/\text{VA}$
1000W	1043,7	1027,4	1006,2	1007	37,5	20,4	17,1	VA
	2056	2068	2056	2068				$\mu\text{Mol}$
	1,97	2,01	2,04	2,05				$\mu\text{Mol}/\text{VA}$

Tabel 3: besparing per armatuur bij gebruik DC-printplaten

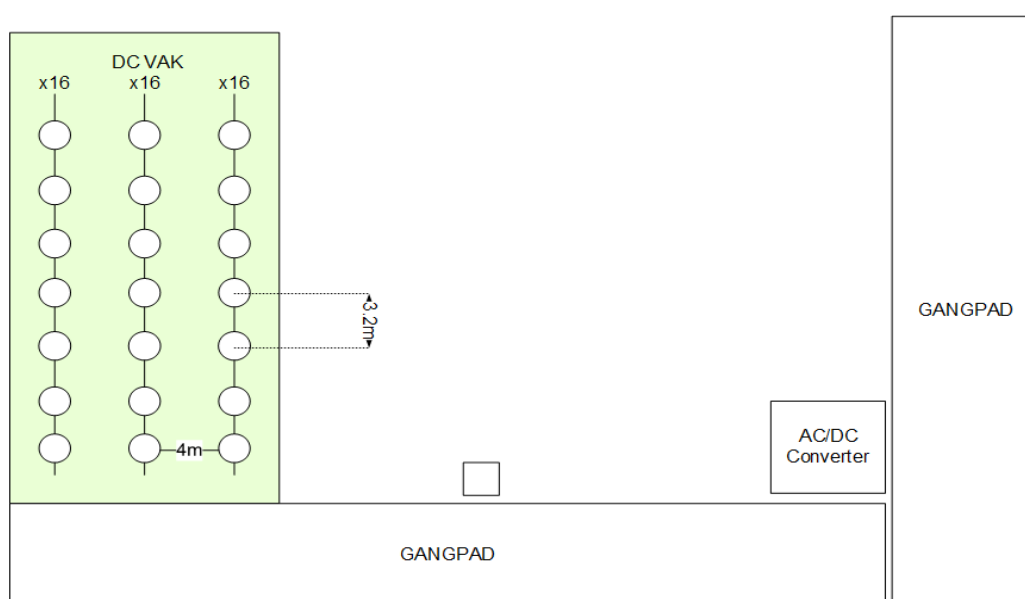
- verbruik 48 stuks
  - Op basis van de bovenstaande tabel is de besparing voor de 48 armaturen bij Vreeken  $48 * 12,6 * 1500 = 907 \text{ kWh}$  (als je VA beschouwd als W...). Verdere besparingen in kabelverliezen zijn met deze kleine afstanden significant kleiner dan het verbruik van het armatuur zelf en derhalve buiten beschouwing gelaten.
- verhoudingsgetal  $\mu\text{mol}/\text{W}$  (gebaseerd op tabellen één en twee op pagina 8)
  - Hieruit blijkt dat de lichtopbrengst (in  $\mu\text{Mol}/\text{W}$ ) in de orde grootte 2% tot 3% beter is bij een DC armatuur.

Berekening verhoudingsgetallen							
	Ingangsmeting		DC / AC	Lampmeting		DC / AC	
	AC - ingang	DC - ingang	%	AC - lamp	DC - lamp	%	
600W	633,4	637,7	100,7%	608,8	625,7	102,8%	VA
	1177,4	1219,5	103,6%	1177,4	1219,5	103,6%	$\mu\text{Mol}$
	1,86	1,91	102,9%	1,93	1,95	100,8%	$\mu\text{Mol}/\text{VA}$
1000W	1043,7	1027,4	98,4%	1006,2	1007	100,1%	VA
	2056	2068	100,6%	2056	2068	100,6%	$\mu\text{Mol}$
	1,97	2,01	102,2%	2,04	2,05	100,5%	$\mu\text{Mol}/\text{VA}$

Tabel 4: lichtopbrengst in  $\mu\text{Mol}$  per VA – vergelijking AC en DC

<sup>5</sup> In ieder geval die van de marktleider in SON-T belichting.

- Belangrijkste problemen/lessen tijdens ontwikkeling (foutrapporten etc)
  - Tijdens het testen zijn er een aantal armaturen defect geraakt. Een aantal fouten waren te verklaren door een productiefout en een puls-trafo met niet de juiste isolatiespanning. Hier zal in het volgende ontwerp rekening mee gehouden worden
  - Bij een ander exemplaar is ook de hulpvoeding voor de controller defect geraakt. Dit ontwerp is inmiddels veranderd, naar een ontwerp met een betere isolatie en een betere efficiëntie. In een nieuwe versie van de ballast zal deze worden toegepast.
  - In alle gevallen was het goed om te zien dat ondanks dat er een defect ontstaan is door diverse oorzaken, de zekering altijd is gesprongen. Dit is een goed teken. Daarnaast waren ook geen grote branden te zien op de print.
  - Uitgebreide foutrapporten zijn bijgevoegd voor meer informatie<sup>6</sup>.



Figuur 5 – Schematische weergave testopstelling in Bouvardiaktekerij Vreeken

## 4.2 Bedrijfseconomisch

- Berekening van de kostenreductie in € / m<sup>2</sup> voor 48 armaturen per jaar, op basis van gemeten energiebesparingen in het armatuur. Er is gekozen voor het gebruik van de gemiddelde belichtingsduur in de glastuinbouw, zoals onderzocht door Wageningen UR<sup>7</sup>. Specifieke gegevens voor Vreeken zijn na kort onderzoek minder geschikt bevonden.

Besparing 48 600W DC armaturen bij Vreeken			
dimensies	3,2 tralie/kap	verbruik	2357 branduren
	4 poot		0,0126 kW besparing
	16 aantal lampen per kap		670 aantal armaturen
	3 kappen	€ 0,10	kostprijs kWh
	614,4 m <sup>2</sup>	€ 1.989,78	besparing per ha per jaar
		€ 122,25	besparing op testoppervlakte per jaar
	energieverbruik	€ 0,20	besparing per m <sup>2</sup> per jaar

Tabel 5: calculatie bedrijfseconomische besparing van 48 armaturen

<sup>6</sup> Zie bijlage drie voor een tabel met geconstateerde fouten tijdens de proefperiode bij Vreeken. De rapportages zelf worden als aparte bijlagen toegevoegd. Deze zijn niet bestemd voor verspreiding.

<sup>7</sup> Bron: [http://www.energiek2020.nu/fileadmin/user\\_upload/energiek2020/onderzoek/licht/docs/LEI-elektriciteitsconsumptie\\_glastuinbouw.pdf](http://www.energiek2020.nu/fileadmin/user_upload/energiek2020/onderzoek/licht/docs/LEI-elektriciteitsconsumptie_glastuinbouw.pdf)



- Kostenreductie in € / m<sup>2</sup> voor twee imaginaire bedrijven van 10.000 m<sup>2</sup>, waarvan er één met 6.000 lux<sup>8</sup> of 84 μMol/m<sup>2</sup> en één met 10.000 lux of 140 μMol/m<sup>2</sup> wordt belicht (2357 branduren). De kostenreductie is volledig gebaseerd op het lagere energieverbruik van de armaturen. Zie het volgende hoofdstuk voor het totale bedrijfseconomische overzicht.
  - 6.000 Lux / 84 μMol/m<sup>2</sup>: besparing per armatuur van 600 W<sup>9</sup>12,6 VA, maal 670 armaturen maal 2357 branduren is 20.789 kVA, ofwel € 2.079 bij € 0,10 per kVA.
  - 10.000 Lux of 140 μMol/m<sup>2</sup>: besparing per armatuur van 1000 W<sup>10</sup>17,1 VA, maal 680 armaturen maal 2357 branduren is 27.407 kVA, ofwel € 2.740 bij € 0,10 per kVA.

---

<sup>8</sup> Bron: [http://www.wageningenur.nl/upload\\_mm/5/9/6/6b8a1c59-8085-490c-8af1-417685c62106\\_Gebruiksaanwijzingbelichtingsmodel.pdf](http://www.wageningenur.nl/upload_mm/5/9/6/6b8a1c59-8085-490c-8af1-417685c62106_Gebruiksaanwijzingbelichtingsmodel.pdf)

<sup>9</sup> Gerekend met 1200 μMol, volgend uit meetrappen uit hoofdstuk 3

<sup>10</sup> Gerekend met 2060 μMol, volgend uit meetrappen uit hoofdstuk 3

## 5 VERWACHTINGEN ARMATUREN EN INFRASTRUCTUUR

Dit hoofdstuk begint weer met een terugblik naar 2010. In het ingediende projectplan is in paragraaf 4.1 een voorstelling gegeven voor de toen bedachte besparingen door te gaan belichten op DC. In paragraaf 5.1 wordt dat deel van het projectplan integraal weergegeven. In paragraaf 5.2 maken we, volgens diezelfde opzet, een overzicht van de nu realiseerbare besparingen, op basis van het prototype en de kennis die nu aanwezig is. In paragraaf 5.3 wordt toegelicht, welke resultaten en aannames, gebaseerd op uitgevoerde activiteiten, tot die opzet leiden. In paragraaf 5.4 kijken we ook vooruit naar de verwachtingen die we hebben opgebouwd, zowel in techniek als op bedrijfs-economisch vlak. In de komende jaren wordt in vervolprojecten onderzoek- en ontwikkelwerk verricht om de haalbaarheid daarvan te toetsen.

### 5.1 Terugkoppeling naar het ingediende projectplan

*'Voor een willekeurig nieuw glastuinbouwgebied van 50 hectare, met 20 ha snijbloemen, 20 ha glasgroente en 10 ha potplanten, betekent dit het volgende:*

*25 ha belicht*

- *Besparing energie*
  - *8 ha 6.000 Lux<sup>11</sup>      mogelijke energiebesparing verbruik per ha:      71.000 kWh*
  - *9 ha 10.000 Lux      mogelijke energiebesparing verbruik per ha:      113.000 kWh*
  - *8 ha 12.500 Lux      mogelijke energiebesparing verbruik per ha:      141.229 kWh*
- *Bij € 0,10 per kWh is dat per jaar een besparing van € 271.483 (2.714.832 kWh), ofwel meer dan € 10.500 per belichte ha*
  - *Gerekend met opwekking in een WKK: 1 m<sup>3</sup> levert, bij een elektrisch rendement van 42%, 3,69 kWh, Voor het eigen verbruik hoeft dus 735.726 m<sup>3</sup> minder aardgas te worden verbruikt, wat een CO<sub>2</sub> reductie betekent van 1.324.000 kg CO<sub>2</sub>.*
  - *Gerekend met opwekking in een centrale: 1 kWh bevat 0,582 kg CO<sub>2</sub>.  
→ 1.571.400 kg CO<sub>2</sub> productie minder!*
- *Besparing investering bij lampen van 1000 W*
  - *6.000 Lux      minder investeren per ha:      €      24.500*
  - *10.000 Lux      minder investeren per ha:      €      38.885*
  - *12.500 Lux      minder investeren per ha:      €      48.580*
  - *Bij lampen met 600W is de besparing per lamp kleiner, maar per hectare groter, doordat er meer lampen nodig zijn om het belichtingsniveau te behalen*
- *De totale investering vermindert met € 934.605, ofwel ruim € 37.384 per belichte ha, dat scheelt ongeveer € 4.500 rente en aflossing per jaar per belichte ha*
  - *15 jaar, 5% rente*
  - *In verdere jaren neemt de rentelast af, dan is de besparing lager'*

### 5.2 Het projectplan bijgewerkt naar 2013

*25 ha belicht*

- *Besparing energie<sup>12</sup>*
  - *8 ha 84 µMol/m<sup>2</sup>      mogelijke energiebesparing verbruik per ha:      20.789 kVA*
  - *9 ha 140 µMol/m<sup>2</sup>      mogelijke energiebesparing verbruik per ha:      27.407 kVA*
  - *8 ha 175 µMol/m<sup>2</sup>      mogelijke energiebesparing verbruik per ha:      34.259 kVA*

<sup>11</sup> In het ingediende projectplan is gerekend met Lux, dat handhaven we in paragraaf 5.1. In paragraaf 5.2 maken we de vertaalslag van Lux naar µMol/m<sup>2</sup> met het verhoudingsgetal  $\frac{1000}{14}$ . 1000 Lux belichtingssterkte komt overeen met 14 µMol/m<sup>2</sup>. Zie voetnoot 4 voor de bron van deze verhouding.

<sup>12</sup> Zie bijlage vier voor een specificatie van deze raming

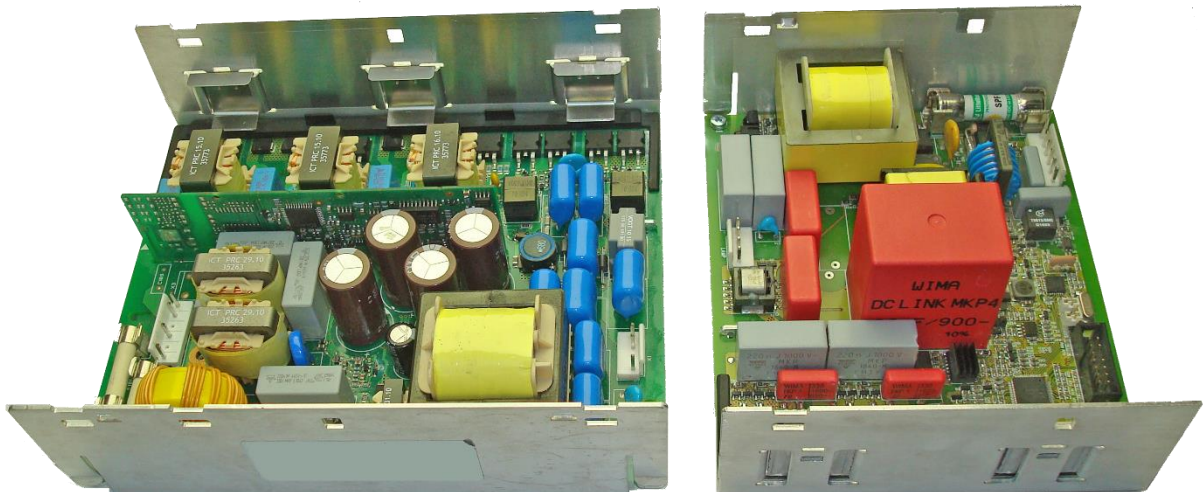


- Bij € 0,10 per kVA is dat per jaar een besparing van € 68.705 (687.047 kVA), ofwel € 2.748 per belichte ha
  - **Gerekend met opwekking in een WKK: 1 m<sup>3</sup> levert, bij een elektrisch rendement van 42%, 3,69 kWh, Voor het eigen verbruik hoeft dus 186.191 m<sup>3</sup> minder aardgas te worden verbruikt, wat een CO<sub>2</sub> reductie betekent van 335.067 kg CO<sub>2</sub>.**
  - **Gerekend met opwekking in een centrale: 1 kWh bevat 0,582 kg CO<sub>2</sub>.  
→399.861 kg CO<sub>2</sub> productie minder!**
- Besparing investering<sup>13</sup>
  - 84 μMol/m<sup>2</sup>(600W) minder investeren per ha: € 26.250
  - 140 μMol/m<sup>2</sup>(1000W) minder investeren per ha: € 30.600
  - 175 μMol/m<sup>2</sup>(1000W) minder investeren per ha: € 38.250
- De totale investering vermindert met € 791.400, ofwel 31.656 per belichte ha, dat scheelt ongeveer € 4.747 rente en afschrijving (lees aflossing) per jaar per belichte ha
  - 10 jaar, 5% rente
  - In verdere jaren neemt de rentelast af, dan is de besparing lager

**De gemiddelde besparing, per belichte hectare, bedraagt zo € 2.748 + € 4.747 = € 7.495 per jaar**

### 5.3 Toelichting op de nu verwachte besparing

- De verwachte energiebesparing is al toegelicht in hoofdstukken drie en vier.
- De verwachte kostenbesparing per geïnstalleerd armatuur: ongeveer € 40
  - behuizingen zijn kleiner en kunnen van andere, goedkopere materialen gemaakt worden door geringere warmteontwikkeling
  - kleinere printplaat met minder en/of goedkopere componenten(zie onderstaande armaturen, AC links en DC rechts).



*Figuur 6 – Vergelijking opbouw en componenten AC armatuur (links) en DC armatuur (rechts)*

- Er is substantieel minder koper en aluminium nodig per installatie door een ander model te gebruiken voor infrastructuur. Dit is ontworpen, nog niet gemaakt of getest<sup>14</sup>.
- Arbeidsuren in aanleg worden minder door eenvoudigere aanleg, vooral minder/dunnere en kortere kabels trekken. Dit is nu verdisconteerd in de bovenstaande lagere prijs per armatuur.

<sup>13</sup> Zie bijlage vijf voor een specificatie van deze raming

<sup>14</sup> Zie bijlage zes voor een toelichting op dit punt

- *Dit is wel afhankelijk van bereiken van voldoende schaalgrootte in productie!*
- De verwachte kostenbesparing door een langere levensduur.
  - Bij gelijke afschrijvingsperiodes (10 jaar), met de hierboven beschreven besparingen in energieverbruik en de lagere investeringen, ontstaan voor de drie verschillende belichtingsniveaus de volgende voordelen:
    - Bij een installatie van 84  $\mu\text{Mol}/\text{m}^2$  gemiddeld € 6.016 per hectare per jaar<sup>15</sup>
    - Bij een installatie van 140  $\mu\text{Mol}/\text{m}^2$  gemiddeld € 7.331 per hectare per jaar<sup>16</sup>
    - Bij een installatie van 175  $\mu\text{Mol}/\text{m}^2$  gemiddeld € 9.136 per hectare per jaar<sup>17</sup>
    - Hierbij dient opgemerkt te worden dat bij kortere levensduren en dus kortere afschrijvingsperiodes de besparingen toenemen.
  - Echter, de levensduur van DC-armaturen zal langer zijn dan van hun AC tegenhangers. Het niet gebruiken van elektrolytische condensatoren (de geschakelde voeding) zorgt ervoor dat er componenten gebruikt kunnen worden, die een langere levensduur hebben. De meest kritische componenten kunnen volgens specificaties 12 tot 15 jaar mee (30.000 tot 40.000 branduren). Tegelijkertijd geven telers aan dat huidige AC-installaties maximaal 7 jaar meegaan, meestal korter. De haalbare besparing voor kwekers, op basis van deze parameters, bedragen dan:
    - Bij een installatie van 84  $\mu\text{Mol}/\text{m}^2$  gemiddeld € 11.866 per hectare per jaar<sup>18</sup>
    - Bij een installatie van 140  $\mu\text{Mol}/\text{m}^2$  gemiddeld € 15.637 per hectare per jaar<sup>19</sup>
    - Bij een installatie van 140  $\mu\text{Mol}/\text{m}^2$  gemiddeld € 19.545 per hectare per jaar<sup>20</sup>
  - *De aannahme in de bovenstaande rekensommen is dat de besparing zo volledig mogelijk terecht komt bij de teler en niet wordt opgevangen in een premium-prijs voor het product. Dat moet zich in de praktijk nog wel bewijzen!*

#### 5.4 Verwachtingen voor de nabije toekomst.

Om de genoemde besparingen ook daadwerkelijk te realiseren bij de kweker, zijn nog een behoorlijk aantal inspanningen nodig. Hieronder gaan we in op 1) de ontwikkeling van de elektrische installatie om de armaturen op aan te sluiten, 2) de doorontwikkeling van het bestaande armatuur en 3) het aansluiten van andere verbruikers als koelmachines, pompen en ventilatoren op de gelijkspanningsinfrastructuur.

##### **Ontwikkeling elektrische installatie voor armaturen**

Op het niveau van de installatie als geheel zien we vooral een enorme besparing in de wijze van stroomvoorziening. De stroomvoorziening met gelijkspanning zal gebruik maken van een bus-systeem en met minder en dunnere bekabeling plaatsvinden. De analyse van de voorzieningen bij Vreeken en de beschikbare kennis over gelijkspanning lijken te resulteren in reductie van 1500 kg koper en enkele honderden kilo's aluminium per hectare kas. De impact daarvan hebben we gepoogd te becijferen in paragraaf 5.3.

##### **INSPANNING**

We verwachten nog zo'n 700 tot 900 ontwikkelingsuren nodig te hebben om de infrastructuur te ontwikkelen en te testen, inclusief de aansluiting naar de armaturen. Er is ook een AC/DC converter nodig, die de bestaande aansluiting omzet naar gelijkspanning. Die moet worden ontworpen,

<sup>15</sup> Zie bijlage zeven voor de totstandkoming van deze getallen

<sup>16</sup> Zie bijlage zeven voor de totstandkoming van deze getallen

<sup>17</sup> Zie bijlage zeven voor de totstandkoming van deze getallen

<sup>18</sup> Zie bijlage zeven en verder voor de totstandkoming van deze getallen

<sup>19</sup> Zie bijlage zeven en verder voor de totstandkoming van deze getallen

<sup>20</sup> Zie bijlage zeven en verder voor de totstandkoming van deze getallen

ontwikkeld en getest, met vermogens tot één of twee MW. Hiervoor ramen we 1400 tot 1600 uur werk. Na deze inspanning is een prototype op serieuze schaal (5.000 m<sup>2</sup> en ongeveer 500kW) in werking gesteld.

### **Doorontwikkeling DC armatuur**

Na het traject van de metingen is inmiddels ook al een verbeterproces opgestart, om het energieverbruik van de armaturen nog verder te reduceren. Er wordt verwacht, dat bij de volgende demonstratie, het rendement van het armatuur nog verder verbeterd zal worden. Componenten met een lager eigen energieverbruik en bijvoorbeeld een communicatiecircuit dat minder vermogen vraagt zijn richtingen voor verbeteringen. Een verbetering van 3W op het verbruik van 12W (600W armatuur) en een verbetering van 5W bij een verbruik van 20W (1000W armatuur) is zeer realistisch. Een efficiency van 98% of zelfs 99% ligt dus binnen handbereik. Daarmee presteren DC armaturen een factor 3 (best-in-market) tot 4 beter dan vergelijkbare AC armaturen.

### **INSPANNING:**

Het door ontwikkelen van zowel een 600W als een 1000W ballast tot een verkoop-klaar product vraagt nog 300 tot 400 uren werk, voor verbeteringen, tests en externe beproevingen.

### **Geschikt maken van infrastructuur en andere verbruikers voor DC**

Naast het aansluiten van de assimilatiebelichting op gelijkspanning, zien we ook grote kansen om andere verbruikers, met name koelmachines en pompen, op gelijkspanning aan te sluiten. Ook daar verwachten we een reductie in energieverbruik te zien. Qua orde grootte moet u deze besparing zien in de orde van 2% tot 5%.

### **INSPANNING**

Deze andere verbruikers vertegenwoordigen ongeveer 7% tot 15% van de totale elektrische energiebehoefte van een teler. Dit percentage is vooral afhankelijk van de belichtingsinstallatie en de bedrijfsuren. Hoe zwaarder de belichtingsinstallatie, hoe kleiner het aandeel van de andere verbruikers, bij een vaststaande belichtingsduur. Per verbruiker zal onderzocht moeten worden of en hoe de aansluiting op gelijkspanning technisch mogelijk te maken is en wat het effect is op de totale energiehuishouding. We ramen per groep (pompen, koeling, ventilatoren) 500 uur werk om aansluiting in prototype mogelijk te maken. Daarbij zijn aanpassingen aan de verbruikers zelf, los van een voorziening voor inschakelen en identificatie niet inbegrepen.

## 6 SAMENVATTEN EN VOORUITKIJKEN

In de eerste drie fasen van het project 'DC en duurzaamheid gaan samen in glastuinbouw' is zeer succesvol onderzoek en ontwikkelingswerk verricht. Het resultaat daarvan mag er zijn. Er zijn twee prototypes voor armaturen ontwikkeld, voor 600W en voor 1000W. Deze zijn in een representatieve praktijksituatie getest bij Vreeken Sierteelt b.v. in de Haarlemmermeer. Deze DC-armaturen bieden een zeer aantrekkelijk bedrijfseconomisch perspectief.

De directe energiebesparingen zijn voor veel telers interessant. De hoogte daarvan valt in absolute zin wel wat lager uit dan gehoopt of verwacht. Dit hangt sterk samen met het grote verbruik van de lampen zelf. Een efficiëntere ballast heeft een kleine invloed op de energiebehoefte van de lampen. In relatieve zin is de besparing per ballast wel zeer substantieel. De energiebehoefte van de ballast van de marktleader kan worden gehalveerd en mogelijk nog verder worden beperkt.

De indirecte besparingen zijn eigenlijk de grootste ontdekking van dit project. De besparingen in materialen zijn enorm. Qua installatiewerk zal er veel minder koper en aluminium nodig zijn voor de infrastructuur. Dat heeft ook een enorm effect op de benodigde arbeid. Wellicht kan in de toekomst deze installatie zelf bijna volledig geprefabriceerd worden. Ook in het armatuur zelf zijn grote veranderingen. Minder componenten, die wellicht goedkoper zijn en vooral een veel langere levensduur met zich mee brengen, zullen zorgen voor de grootste winst voor de telers. Het gehele gevolg zal een lagere investering zijn, dus ook lagere rentelasten, en een installatie die langer mee gaat en dus minder afschrijvingskosten heeft.

Vanuit het perspectief van het projectmanagement zijn zeer zeker verbeteringen te zien. De oorspronkelijke inschattingen voor het benodigde ontwikkelwerk waren te optimistisch. Het project heeft veel vertraging opgelopen en heeft veel meer inspanning (en dus ook eigen bijdrage) gevraagd van de projectpartners. Het resultaat lijkt vooralsnog deze extra inspanning zeker waard.

De eerste vervolgstap is het ontwikkelen van de infrastructuur om deze DC armaturen op aan te sluiten. Dan worden de besparingen in het systeem evident. Gelijktijdig of kort daarop kunnen ook de gewenste verbeteringen aan de armaturen worden doorgevoerd<sup>21</sup> en kan ook de marktintroductie gaan plaatsvinden. De gemeente Haarlemmermeer (via het duurzaam bedrijf 'Meermakers') heeft al concrete belangstelling getoond om met innovatiekredieten de uitrol te faciliteren en regie te laten bij de initiatiefnemers. Daaraan is ook eind 2013 en begin 2014 gewerkt met diverse partners. De perspectieven zijn goed, de handtekening is echter nog niet gezet.

Op dit moment (mei 2014) is Direct Current B.V. begonnen aan een nieuwe revisie van het ontwerp voor beoogde massaproductie samen met Gavita Nederland B.V. Het verlies binnen de 1000W driver kan nog met 6 Watt worden verlaagd: 1 W in de hulp voeding, 2,5 W in het inrush gedeelte en 2,5 W bij de mosfet brug. Hierdoor is koeling van de driver overbodig geworden. En voor de 600W kunnen we 4 Watt verbetering aanbrenge. Bij deze verbetering kan het aluminium koelframe overbodig worden en vervallen koelribben op de behuizing. Dit heeft een positief effect op de (productiekosten van) de behuizing. Verder gaat de hoogte van de print afnemen doordat er in de productieversie kleinere condensatoren worden toegepast. Daarnaast wordt de spoel wordt verdeeld over meerder kleinere spoelen zodat de hoogte van de print onder de 18 mm blijft. Dat zorgt er weer voor dat de behuizing van de driver 35mm dik kan worden. Voor de AC variant is de hoogte 90mm. Het resultaat is nog minder materiaalverbruik en minder lichthinder.

---

<sup>21</sup> Zoals ook benoemd in paragraaf 5.4

## BIJLAGEN

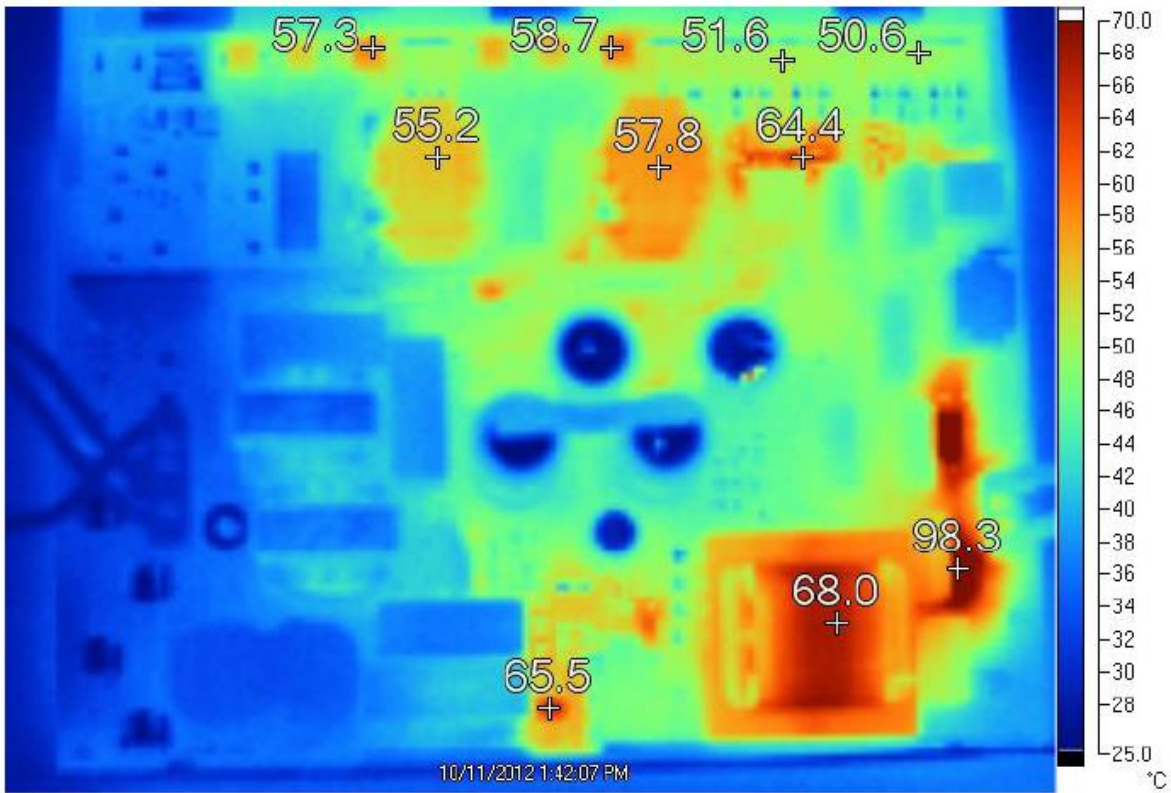
## Bijlage 1    Betrokkenheid HHS studenten en hun verslagen

- EPRO 7 project
  - Jeffrey Backes en Stef Blanken
  - Eindrapport opgeleverd juni 2010
  - De bijgevoegde versie (1.3) is niet geschikt voor verdere verspreiding
- Minor Expertisecentrum
  - Jeffrey Backes en Leendert Brak
  - Eindrapport is het vooronderzoek voor afstudeerwerk (jan 2011)
- Afstuderen (Bachelor Electrical Engineering)
  - Jeffrey Backes, Leendert Brak en Marvin Daleman
  - Eindrapport opgeleverd mei 2011
  - De bijgevoegde versie (1.6) is niet geschikt voor verdere verspreiding

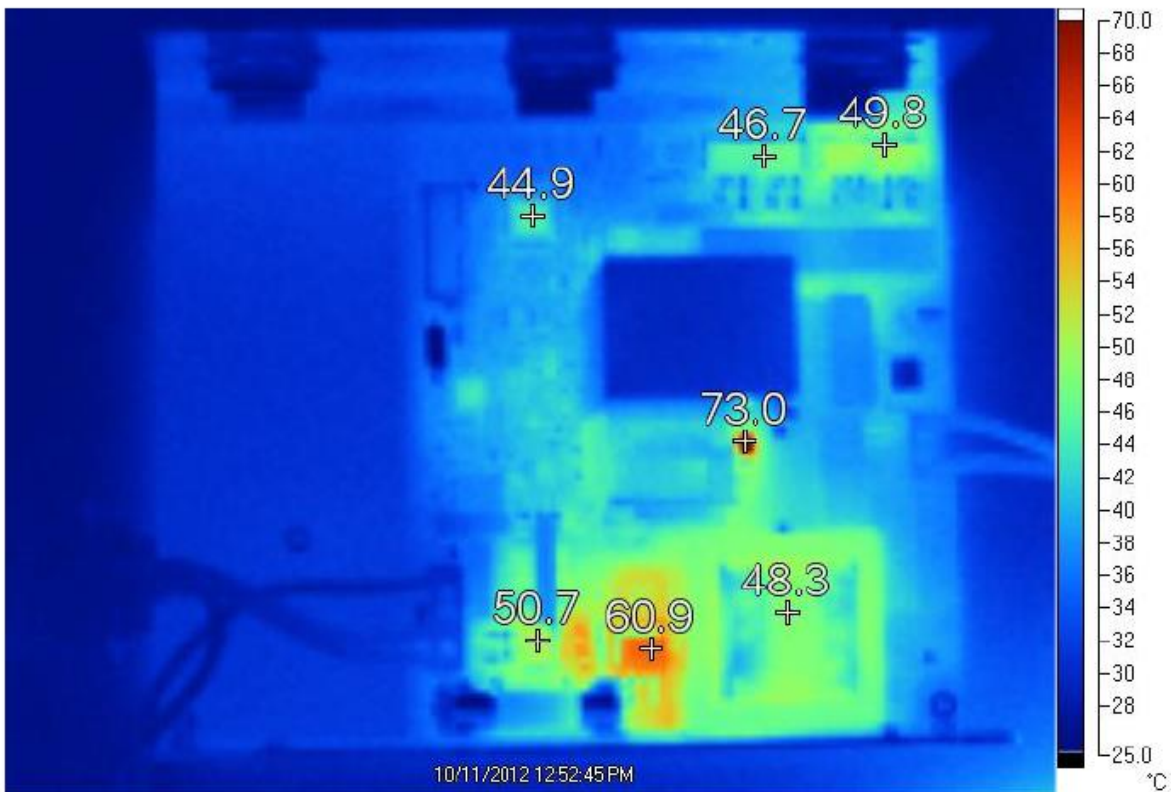


Bijlage 2 Warmtebeelden AC en DC vergelijking armaturen  
let op 600W versies van beide armaturen!

AC armatuur 600W na 30 min, open behuizing:



DC armatuur 600W na 30 min, open behuizing:





### Bijlage 3 Overzicht foutrapportages

<b>Versie rapportage</b>	<b>Nummer</b>	<b>Omschrijving fout</b>
12-3-13	MR 10138-v1a	Lamp defect
11-3-13	MR 10139-v1c	Mosfet stuk door overspanning (-700VDC streng)
07-05-13	MR 11167-v2a	Mosfet stuk door overspanning (-700VDC streng)
07-05-13	RAP 11184-v1a	Mosfet stuk door overspanning (-700VDC streng)

## Bijlage 4 Model besparing elektrische energie

Bij verschillende belichtingsintensiteiten weergegeven.

	AC			DC				branduren
	verbruiken			te besparen (VA per branduur)				
	werkelijk			600W	2,0%	1000W	1,6%	2.357
	V-uitgang	VA	verlies	V-uitgang	VA	verlies	besparing DC	
600W	608,8	633,4	24,6	625,7	637,7	12,0	12,6	VA
1000W	1006,2	1043,7	37,5	1007	1027,4	20,4	17,1	VA

	Watt (off)	μMol	aantal	opp. (m <sup>2</sup> )	μMol/m <sup>2</sup>	Besparingen	
						per ha	kVA
8 ha 6.000 Lux	600	1.200	700	10.000	84,00	20.789	kVA
9 ha 10.000 Lux	1000	2.060	680	10.000	140,08	27.407	kVA
8 ha 12.500 Lux	1000	2.060	850	10.000	175,10	34.259	kVA

	ha	kVA totaal	kostprijs kVA	
8 ha 6.000 Lux	8	166.310	€ 0,10	€ 16.631
9 ha 10.000 Lux	9	246.665	€ 0,10	€ 24.666
8 ha 12.500 Lux	8	274.072	€ 0,10	€ 27.407
	25	687.047	kVA	€ 68.705
				€ 2.748 per belichte ha

LEGENDA	
	invulbaar
	gekoppeld aan andere cellen
	meetwaarden
	berekende waarde

## Bijlage 5 Model besparingen investeringen

10.000 m<sup>2</sup>

	kosten per stuk / lamp			
	600 W el	1000 W el	DC 600 W	DC 1000 W
behuizingen	€ 20,00	€ 40,00	€ 17,50	€ 35,00
print	€ 75,00	€ 100,00	€ 65,00	€ 85,00
lampen	€ 20,00	€ 45,00	€ 20,00	€ 45,00
bekabeling	€ 80,00	€ 100,00	€ 55,00	€ 75,00
kosten p.s.	€ 195,00	€ 285,00	€ 157,50	€ 240,00

	besparing per armatuur		
	bij 84 µMol/m <sup>2</sup>	bij 140 µMol/m <sup>2</sup>	bij 175 µMol/m <sup>2</sup>
	€ 2,50	€ 5,00	€ 5,00
	€ 10,00	€ 15,00	€ 15,00
	€ -	€ -	€ -
	€ 25,00	€ 25,00	€ 25,00
	€ 37,50	€ 45,00	€ 45,00

700	680	850	aantal lampen
-----	-----	-----	---------------

	aantal	opp. (m <sup>2</sup> )	µMol/m <sup>2</sup>
8 ha 6.000 Lux	700	10.000	84,00
9 ha 10.000 Lux	680	10.000	140,08
8 ha 12.500 Lux	850	10.000	175,10

	700	680	850	
	€ 26.250,00	€ 30.600,00	€ 38.250,00	minder investeren per ha
	8	9	8	aantal ha's
	€ 210.000	€ 275.400	€ 306.000	totaal per lichtintensiteit

totaal 25 ha	€ 791.400
	25
per ha	€ 31.656

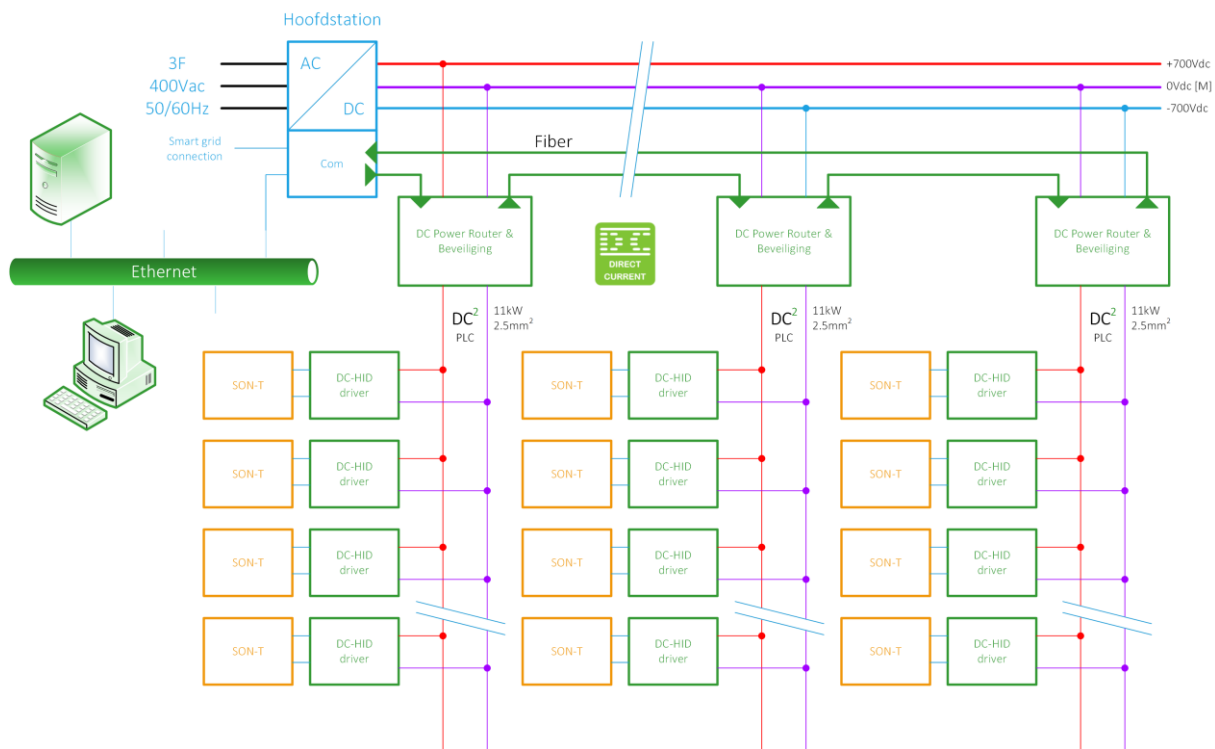
LEGENDA	
<span style="background-color: yellow; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span>	invulbaar
<span style="background-color: orange; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span>	gekoppeld aan andere cellen
<span style="background-color: lightgreen; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span>	meetwaarden
<span style="background-color: lightblue; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span>	berekende waarde

## Bijlage 6 Vergelijking traditionele AC-infrastructuur met DC-verbeteringen

In de huidige AC-infrastructuur in de kas wordt gewerkt met centrale distributiepanelen in de kas. Deze distributiepanelen worden vanaf de hoofdaansluiting met lange en dikke kabels gevoed. Vanaf de distributiepanelen worden een aantal rijen armaturen gevoed. Op de distributiepanelen is het nodige schakelmateriaal aanwezig en wordt er zorggedragen voor de beveiliging. De distributiepanelen zijn kostbaar en ook de voedingskabels naar de distributiepanelen zijn vaak een hoge kostenpost.

Met gelijkspanning kan dit anders. In onderstaand blokschema wordt duidelijk gemaakt dat centrale distributiepanelen tot het verleden behoren en worden vervangen door een decentrale aansluiting op een DC bus waar communicatie en energie samengaan. Deze bus wordt weergegeven met de rode, paarse en blauwe draad. Kabels tussen de DC-bus en de armaturen zijn zo beduidend korter dan kabels die distributiepanelen en armaturen in de AC wereld verbinden. Door de andere beveiliging en de hogere distributiespanning bij DC zijn deze kabels ook nog eens dunner dan in de AC situatie.

### Bestaande tuinbouw gebieden



## Bijlage 7 Ondersteunend rekenmodel besparingen paragraaf 5.3

Bij gelijke afschrijvingsperiode

samengestelde besparing - gelijke afschrijving				
	bij 84 $\mu\text{Mol}/\text{m}^2$	bij 140 $\mu\text{Mol}/\text{m}^2$	bij 175 $\mu\text{Mol}/\text{m}^2$	
energie	20.789	27.407	34.259	kVA besparing / ha / jr
	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ bij inkoop net
	€ 2.079	€ 2.741	€ 3.426	Besparing energielasten / ha
financiële lasten	€ 26.250,00	€ 30.600,00	€ 38.250,00	besparing in investering
5%	€ 1.312,50	€ 1.530,00	€ 1.912,50	renteverschil 1ste jaar / ha
10%	€ 2.625,00	€ 3.060,00	€ 3.825,00	aflossings/afschrijvingsverschil / ha / jr
	€ 6.016,37	€ 7.330,72	€ 9.163,40	totale besparing / ha / jr

LEGENDA	
	invulbaar
	gekoppeld aan andere cellen
	meetwaarden
	berekende waarde

Bij verschillende afschrijvingsperiodes (AC = ervaringen kweker, DC = component lifetime analysis). Zie bijlage 8, 9 en 10 voor details.

samengestelde besparing - verschil in afschrijving				
	bij 84 $\mu\text{Mol}/\text{m}^2$	bij 140 $\mu\text{Mol}/\text{m}^2$	bij 175 $\mu\text{Mol}/\text{m}^2$	
energie	20.789	27.407	34.259	kVA besparing / ha / jr
	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ bij inkoop net
	€ 2.079	€ 2.741	€ 3.426	Besparing energielasten / ha
financiële lasten	€ 26.250,00	€ 30.600,00	€ 38.250,00	besparing in investering
5%	€ 1.312,50	€ 1.530,00	€ 1.912,50	renteverschil 1ste jaar / ha
	€ 8.475,00	€ 11.366,00	€ 14.207,00	aflossings/afschrijvingsverschil / ha / jr
	€ 11.866,37	€ 15.636,72	€ 19.545,40	totale besparing / ha / jr

LEGENDA	
	invulbaar
	gekoppeld aan andere cellen
	meetwaarden
	berekende waarde

## Bijlage 8 Afschrijvingsmodel AC en DC installatie 84 µMol/m<sup>2</sup>

investering	<b>600W AC</b>	€	136.500	investering	<b>600W DC</b>	€	110.250
rente			5%	rente			5%
afschrijvingstermijn			7	afschrijvingstermijn			10

startbedrag	rente	afschrijvingen	saldo einde jaar	jaarlasten		startbedrag	rente	afschrijvingen	saldo einde jaar	jaarlasten
€ 136.500	€ 6.825	€ 19.500	€ 117.000	€ 26.325	1	€ 110.250	€ 5.513	€ 11.025	€ 99.225	€ 16.538
€ 117.000	€ 5.850	€ 19.500	€ 97.500	€ 25.350	2	€ 99.225	€ 4.961	€ 11.025	€ 88.200	€ 15.986
€ 97.500	€ 4.875	€ 19.500	€ 78.000	€ 24.375	3	€ 88.200	€ 4.410	€ 11.025	€ 77.175	€ 15.435
€ 78.000	€ 3.900	€ 19.500	€ 58.500	€ 23.400	4	€ 77.175	€ 3.859	€ 11.025	€ 66.150	€ 14.884
€ 58.500	€ 2.925	€ 19.500	€ 39.000	€ 22.425	5	€ 66.150	€ 3.308	€ 11.025	€ 55.125	€ 14.333
€ 39.000	€ 1.950	€ 19.500	€ 19.500	€ 21.450	6	€ 55.125	€ 2.756	€ 11.025	€ 44.100	€ 13.781
€ 19.500	€ 975	€ 19.500	€ -	€ 20.475	7	€ 44.100	€ 2.205	€ 11.025	€ 33.075	€ 13.230
€ 136.500	€ 6.825	€ 19.500	€ 117.000	€ 26.325	8	€ 33.075	€ 1.654	€ 11.025	€ 22.050	€ 12.679
€ 117.000	€ 5.850	€ 19.500	€ 97.500	€ 25.350	9	€ 22.050	€ 1.103	€ 11.025	€ 11.025	€ 12.128
€ 97.500	€ 4.875	€ 19.500	€ 78.000	€ 24.375	10	€ 11.025	€ 551	€ 11.025	€ -	€ 11.576
€ 78.000	€ 3.900	€ 19.500	€ 58.500	€ 23.400	11	€ 110.250	€ 5.513	€ 11.025	€ 99.225	€ 16.538
€ 58.500	€ 2.925	€ 19.500	€ 39.000	€ 22.425	12	€ 99.225	€ 4.961	€ 11.025	€ 88.200	€ 15.986
€ 39.000	€ 1.950	€ 19.500	€ 19.500	€ 21.450	13	€ 88.200	€ 4.410	€ 11.025	€ 77.175	€ 15.435
	€ 51.675	€ 234.000					€ 40.793	€ 132.300		
	Totaal	€ 285.675	€ 21.975,00	per jaar		Totaal	€ 173.093	€ 13.314,81	per jaar	
			gemiddeld					gemiddeld		

## Bijlage 9 Afschrijvingsmodel AC en DC installatie 140 µMol/m<sup>2</sup>

investering	<b>1000W AC</b>	€	193.800	investering	<b>1000W DC</b>	€	163.200
rente			5%	rente			5%
afschrijvingstermijn			7	afschrijvingstermijn			10

startbedrag	rente	afschrijvingen	saldo einde jaar	jaarlasten		startbedrag	rente	afschrijvingen	saldo einde jaar	jaarlasten
€ 193.800	€ 9.690	€ 27.686	€ 166.114	€ 37.376	<b>1</b>	€ 163.200	€ 8.160	€ 16.320	€ 146.880	€ 24.480
€ 166.114	€ 8.306	€ 27.686	€ 138.429	€ 35.991	<b>2</b>	€ 146.880	€ 7.344	€ 16.320	€ 130.560	€ 23.664
€ 138.429	€ 6.921	€ 27.686	€ 110.743	€ 34.607	<b>3</b>	€ 130.560	€ 6.528	€ 16.320	€ 114.240	€ 22.848
€ 110.743	€ 5.537	€ 27.686	€ 83.057	€ 33.223	<b>4</b>	€ 114.240	€ 5.712	€ 16.320	€ 97.920	€ 22.032
€ 83.057	€ 4.153	€ 27.686	€ 55.371	€ 31.839	<b>5</b>	€ 97.920	€ 4.896	€ 16.320	€ 81.600	€ 21.216
€ 55.371	€ 2.769	€ 27.686	€ 27.686	€ 30.454	<b>6</b>	€ 81.600	€ 4.080	€ 16.320	€ 65.280	€ 20.400
€ 27.686	€ 1.384	€ 27.686	€ -	€ 29.070	<b>7</b>	€ 65.280	€ 3.264	€ 16.320	€ 48.960	€ 19.584
€ 193.800	€ 9.690	€ 27.686	€ 166.114	€ 37.376	<b>8</b>	€ 48.960	€ 2.448	€ 16.320	€ 32.640	€ 18.768
€ 166.114	€ 8.306	€ 27.686	€ 138.429	€ 35.991	<b>9</b>	€ 32.640	€ 1.632	€ 16.320	€ 16.320	€ 17.952
€ 138.429	€ 6.921	€ 27.686	€ 110.743	€ 34.607	<b>10</b>	€ 16.320	€ 816	€ 16.320	€ -	€ 17.136
€ 110.743	€ 5.537	€ 27.686	€ 83.057	€ 33.223	<b>11</b>	€ 163.200	€ 8.160	€ 16.320	€ 146.880	€ 24.480
€ 83.057	€ 4.153	€ 27.686	€ 55.371	€ 31.839	<b>12</b>	€ 146.880	€ 7.344	€ 16.320	€ 130.560	€ 23.664
€ 55.371	€ 2.769	€ 27.686	€ 27.686	€ 30.454	<b>13</b>	€ 130.560	€ 6.528	€ 16.320	€ 114.240	€ 22.848
	€ 73.367	€ 332.229					€ 60.384	€ 195.840		
	Totaal	€ 405.596	€ 31.199,67	per jaar gemiddeld		Totaal	€ 256.224	€ 19.709,54	per jaar gemiddeld	



## Bijlage 10 Afschrijvingsmodel AC en DC installatie 175 µMol/m<sup>2</sup>

investering	<b>1000W AC</b>	€	242.250	investering	<b>1000W DC</b>	€	204.000
rente			5%	rente			5%
afschrijvingstermijn			7	afschrijvingstermijn			10

startbedrag	rente	afschrijvingen	saldo einde jaar	jaarlasten		startbedrag	rente	afschrijvingen	saldo einde jaar	jaarlasten
€ 242.250	€ 12.113	€ 34.607	€ 207.643	€ 46.720	<b>1</b>	€ 204.000	€ 10.200	€ 20.400	€ 183.600	€ 30.600
€ 207.643	€ 10.382	€ 34.607	€ 173.036	€ 44.989	<b>2</b>	€ 183.600	€ 9.180	€ 20.400	€ 163.200	€ 29.580
€ 173.036	€ 8.652	€ 34.607	€ 138.429	€ 43.259	<b>3</b>	€ 163.200	€ 8.160	€ 20.400	€ 142.800	€ 28.560
€ 138.429	€ 6.921	€ 34.607	€ 103.821	€ 41.529	<b>4</b>	€ 142.800	€ 7.140	€ 20.400	€ 122.400	€ 27.540
€ 103.821	€ 5.191	€ 34.607	€ 69.214	€ 39.798	<b>5</b>	€ 122.400	€ 6.120	€ 20.400	€ 102.000	€ 26.520
€ 69.214	€ 3.461	€ 34.607	€ 34.607	€ 38.068	<b>6</b>	€ 102.000	€ 5.100	€ 20.400	€ 81.600	€ 25.500
€ 34.607	€ 1.730	€ 34.607	€ 0	€ 36.338	<b>7</b>	€ 81.600	€ 4.080	€ 20.400	€ 61.200	€ 24.480
€ 242.250	€ 12.113	€ 34.607	€ 207.643	€ 46.720	<b>8</b>	€ 61.200	€ 3.060	€ 20.400	€ 40.800	€ 23.460
€ 207.643	€ 10.382	€ 34.607	€ 173.036	€ 44.989	<b>9</b>	€ 40.800	€ 2.040	€ 20.400	€ 20.400	€ 22.440
€ 173.036	€ 8.652	€ 34.607	€ 138.429	€ 43.259	<b>10</b>	€ 20.400	€ 1.020	€ 20.400	€ -	€ 21.420
€ 138.429	€ 6.921	€ 34.607	€ 103.821	€ 41.529	<b>11</b>	€ 204.000	€ 10.200	€ 20.400	€ 183.600	€ 30.600
€ 103.821	€ 5.191	€ 34.607	€ 69.214	€ 39.798	<b>12</b>	€ 183.600	€ 9.180	€ 20.400	€ 163.200	€ 29.580
€ 69.214	€ 3.461	€ 34.607	€ 34.607	€ 38.068	<b>13</b>	€ 163.200	€ 8.160	€ 20.400	€ 142.800	€ 28.560
	€ 91.709	€ 415.286					€ 75.480	€ 244.800		
	Totaal	€ 506.995	€ 38.999,59	per jaar gemiddeld		Totaal	€ 320.280	€ 24.636,92	per jaar gemiddeld	