

# Hoog Geconcentreerde Zon op Fotovoltaïsche Cellen in de Gebouwde Omgeving (HCPV-GO)

Ref. TEZG113007

Openbare eindrapportage

Lectoraat Duurzame Energie  
31 oktober 2017

Betreft: Openbare eindrapportage  
Projecttitel: Hoog Geconcentreerde Zon op Fotovoltaïsche Cellen in de Gebouwde  
Omgeving (HCPV-GO)  
Project nr.: TEZG113007  
Penvoerder: Stichting Hogeschool van Arnhem en Nijmegen (HAN)  
Partners: MMID Full Service Design team B.V.  
IDeeuwes  
SIKA Energy B.V.  
S-Air International B.V. (BOVEMA)  
NTS Optel B.V.  
Periode: 1 januari 2014 - 31 juli 2017

Dit project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken,  
Subsidieregeling Energie en Innovatie (SEI), Topsector Energie, uitgevoerd door Rijksdienst  
voor Ondernemend Nederland (RVO).

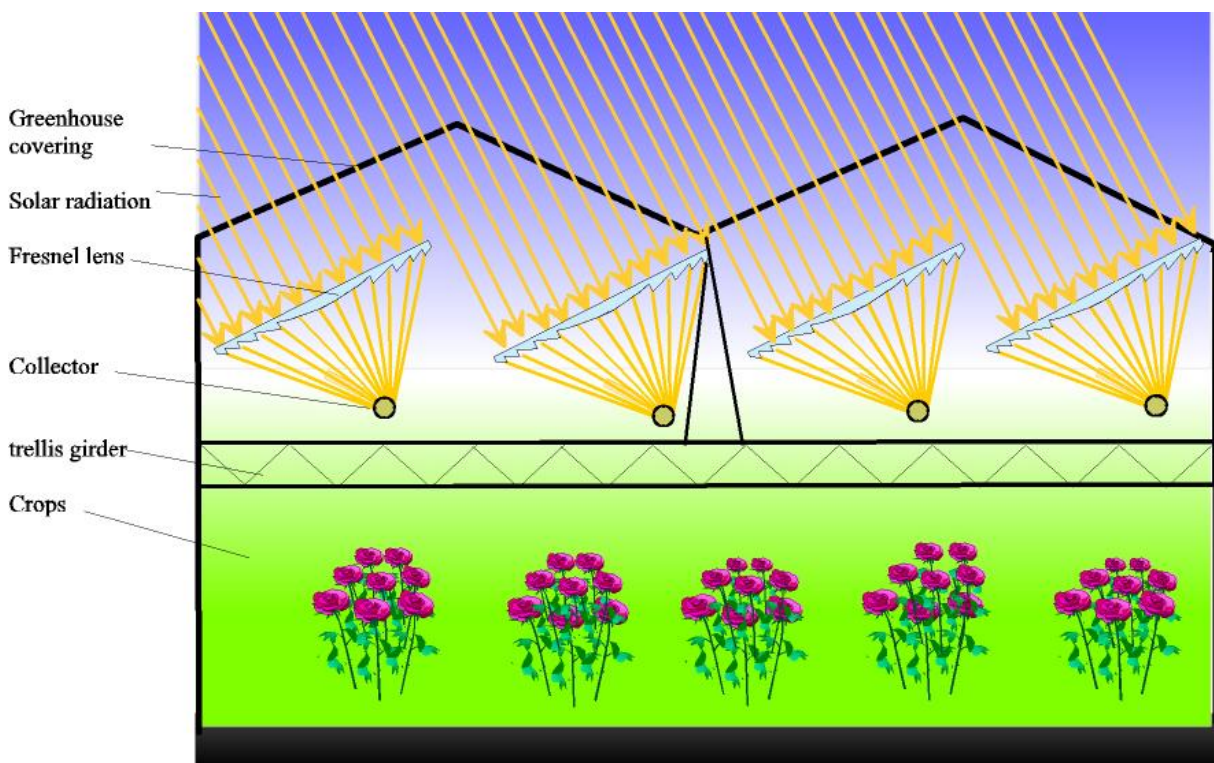
## Inhoud

1	Samenvatting uitgangspunten en doelstelling .....	3
2	Resultaten, knelpunten en toepassing .....	5
2.1	Vorbereidend werk .....	5
2.2	Zonnevolgroutine en aansturing .....	5
2.3	Ontwerp en bouw concentrator.....	7
2.4	Ontwerp en realisatie meetopstelling.....	8
2.5	Ontwerp en realisatie van multi-opstelling .....	9
2.6	Truss-opstelling voor kassen.....	9
2.7	Koeling.....	10
2.8	Opbrengstmetingen.....	11
2.9	Economisch perspectief .....	13
3	Bijdrage aan doelstellingen .....	14
4	Spin-off .....	15
5	Overzicht publicaties .....	16
6	Vermeldingen.....	17
6.1	Rapport bestellen/downloaden .....	17
6.2	Contactpersonen.....	17
6.3	Verkregen subsidie.....	17

## 1 Samenvatting uitgangspunten en doelstelling

Bij kassen en daglichtsystemen, zoals glazen daken en daklichten, is in de warmere seizoenen sprake van een overschot aan binnenkomende zonne-energie, waardoor het (te) warm wordt in de kas of in de ruimte onder het daglichtsysteem. Opvang en omzetting van dit overschot van zonne-energie geeft meerwaarde voor marktpartijen: tuinders, kassenbouwers, producent van daglichtsystemen en hun afnemers. Het hoge energiegebruik in de tuinbouw en in de gebouwde omgeving is flinke uitdaging in deze sectoren. Met de overheid zijn een aantal convenanten afgesloten. Voor de tuinbouw is afgesproken dat het energiegebruik met 30% vermindert in 2020 en voor de gebouwde omgeving is de afspraak een besparing van 20% in 2020. Door opgevangen zonne-energie om te zetten in elektriciteit en warmte kan het energiegebruik sterk verminderen.

Met een zonneconcentratiesysteem, gebaseerd op met de zon meebewegende fresnellenzen, is het mogelijk het overschot aan zonne-energie op te vangen, zie Figuur 1. Zonlicht valt door het dak op de lenzen, die het directe licht concentreren op een collector en/of zonnecel, terwijl het diffuse licht beschikbaar blijft in de ruimte. De zonnecel levert elektriciteit, de collector warmte. Hiermee wordt warmte afgevangen, wat bijdraagt aan de klimaatbeheersing van de kas, dan wel het gebouw. Uit oogpunt van lichttransmissie en lage investeringen is het van belang dat het energiesysteem in standaard lichtstraten en kassystemen geplaatst kan worden.



*Figuur 1. Schematische weergave zonneconcentratie in kassen: fresnellenzen vangen licht af. Elektriciteit en/of warmte worden opgewekt. Een deel van het licht blijft beschikbaar voor gewassen.*

Dit project 'Hoog Geconcentreerde Zon op Fotovoltaïsche Cellen in de Gebouwde Omgeving' (HCPV-GO) is erop gericht om zonneconcentratiesystemen te ontwikkelen, gebaseerd op met de zon meebewegende fresnellens. Dit maakt het mogelijk het overschot aan zonne-energie op te vangen, om te zetten in bruikbare energie en staat lichttransmissie toe. Toepassingen waar dit project zich op richt zijn enerzijds de glastuinbouw (kassen), anderzijds de gebouwde omgeving (lichtstraten).

Het einddoel van het HCPV-GO project is het zoveel mogelijk benutten van de invallende zonne-energie bij gebouwen en kassen. De doelstelling is een systeem dat bij  $1000 \text{ W/m}^2$  instraling concreet  $100 \text{ W/m}^2$  elektrische energie,  $200 \text{ W/m}^2$  thermische energie, een lichttransmissie voor diffuus licht van 60% en een vermindering van de warmtelast met 40% oplevert.

Dit betekent in de praktijk dat 10% van het zonlicht wordt omgezet in elektrische energie, 20% in warmte en dat een gedeelte weerkaatst wordt. Van het diffuus licht zal het merendeel worden doorgelaten maar niet alles omdat het systeem zelf ook plek inneemt.

Voor de realisatie van de doelstelling is uitgegaan van hoogconcentrerende PV-modules (HCPV) waarvan het onderzoek tot twee prototypes leidt: één prototype optimaal voor de toepassing in kassen waarbij de prijs zo laag mogelijk is en de inbouwhoogte minder van belang is en een tweede prototype voor de integratie in gebouwen waarbij de inbouwhoogte gering is. Met een rekenmodel wordt de relatie tussen klimaatgegevens en potentiële elektrische- en thermische energieopbrengsten van het te ontwikkelde systeem bepaald.

Verder ontstaat de volgende expertise:

- Kennis van 2D zonnevolgsystemen met HCPV-modules in de gebouwde omgeving. De hogere concentratiefactoren vragen een hoge nauwkeurigheid voor de tracking motoren en detectoren. De secundaire optiek kan de eisen van hoge nauwkeurigheid verminderen.
- Kennis van thermische warmtehuishouding van HCPV modules en thermische energieopbrengsten in Noord-Europese klimaatomstandigheden.
- Kennis van en inzicht in de optimale manier om HCPV modules te integreren in gebouwen en kassen.
- Inzicht in de effecten en mogelijkheden van HCPV modules voor koeling en verlichting van gebouwen.
- Optische systemen met fresnellens en secundaire optiek voor daglichtsystemen.

## 2 Resultaten, knelpunten en toepassing

In aanvraag van dit project is aangegeven dat de toepassing met name te zoeken is in de gebouwde omgeving en glastuinbouw. Op basis van de resultaten uit de eerdere werkpakketten zijn de volgende prototypes ontworpen en gerealiseerd:

1. Meetopstelling
2. Multi-opstelling voor gebouwde omgeving
3. Truss-opstelling voor kassen

De in dit project ontwikkelde prototypes gebruiken dezelfde concentrator (cone), die ook binnen dit project ontworpen en ontwikkeld is. Voor de prototypes 2 en 3 zijn arraysystemen gekozen, waarbij een groot aantal concentrators met behulp van een mechanische constructie centraal wordt aangestuurd en wordt bewogen om de zon te kunnen volgen.

De verschillende componenten en prototypes worden onderstaand beschreven.

### 2.1 Voorbereidend werk

Na een inventarisatie van mogelijkheden voor de optica is gekozen voor het gebruik van vlakke sferische fresnellenzen voor zowel toepassingen in de glastuinbouw als de gebouwde omgeving. De fresnellenzen concentreren direct (zon)licht wat op de lens valt, terwijl diffuus licht beschikbaar blijft voor verlichting of gewassen.

Voor de fotonvoltaïsche zonnecel is gekozen voor een hoog-efficiënte triple junction cell (TJC) van 1 cm<sup>2</sup> en met een efficiëntie van 40%.

Er zijn binnen dit project verschillende modellen ontwikkeld, waaronder een model waarmee kan worden ingeschat hoeveel zonlicht kan worden afgevangen voor opwekking van elektrische energie door middel van PV en voor thermische energie, en hoeveel direct zonlicht langs de lenzen van de HCPV-GO-units valt en de grond bereikt. Hieruit blijkt dat het directe zonlicht dat op de grond terecht komt sterk varieert als functie van de seizoenen ('s zomers veel meer dan 's winters). 's Winters is de opbrengst zeer gering door de lage stand van de zon en door de sterke onderlinge beschaduwing van de HCPV-GO units.

Daarnaast is een simulatiemodel ontwikkeld om de opbrengst van een HCPV-GO-unit te bepalen. Hieruit volgt onder andere dat de opbrengst afhangt van de focusseerafstand en dat, bij perfecte optica, 's zomers theoretisch een elektrisch rendement tot circa 31% kan worden gehaald, en 's winters tot zo'n 25%.

### 2.2 Zonnevolgroutine en aansturing

Er is binnen dit project een software-routine ontwikkeld om de positie van de zon snel en nauwkeurig te kunnen bepalen. Daarnaast is er een regeling ontwikkeld om de meetopstelling nauwkeurig aan te kunnen sturen en naar de positie van de zon te kunnen richten. Het systeem volgt de zon gedurende de hele dag, en over het hele jaar.

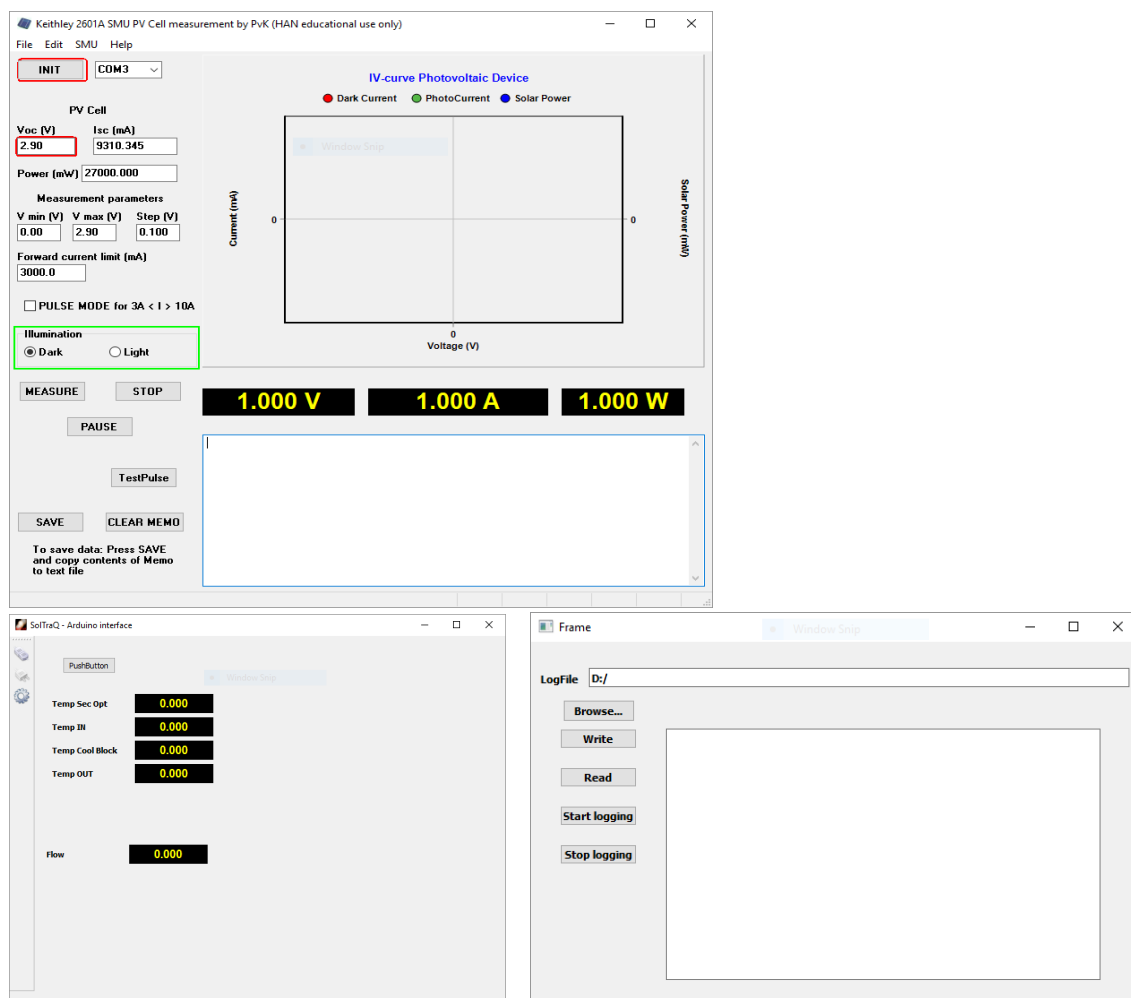
De routine is geschikt voor diverse coördinaatsystemen en is nauwkeuriger en sneller dan bestaande, vergelijkbare routines. De code is *open source* en 'lichtgewicht'. De routine kan zowel op een PC als PLC (programmable logic controller) of microcontroller worden gebruikt.

Tijdens dit werk is een aantal fouten aan het licht gekomen in de NEN 5060 norm voor zonne-instraling (dit is gecommuniceerd aan de NEN middels een errata).

Er is ook een methode ontworpen om te kunnen corrigeren voor een (geplande of ongeplande) imperfecte ophanging van de HCPV-GO-units. Deze kan worden gebruikt om de oriëntatie van de units te kalibreren en het volproces te corrigeren.

De ontwikkelende regeling voor het zonnevolgen kan zowel op Windows, Mac als Linux platforms gebruikt kan worden. Hiermee is het gelijktijdig volgen van de zon en open-loop besturing van de motoren gedemonstreerd. Er is ook een closed-loop regeling ontworpen, die gebruik maakt van een 3D kompas, versnellingsmeters en/of een zonnensensor om het uitrichten van de lens op de zon adaptief bij te stellen. De software bevat opties die het verzamelen en loggen van meetgegevens, zoals temperaturen, mogelijk maken en de tracking kan handmatig aangepast worden.

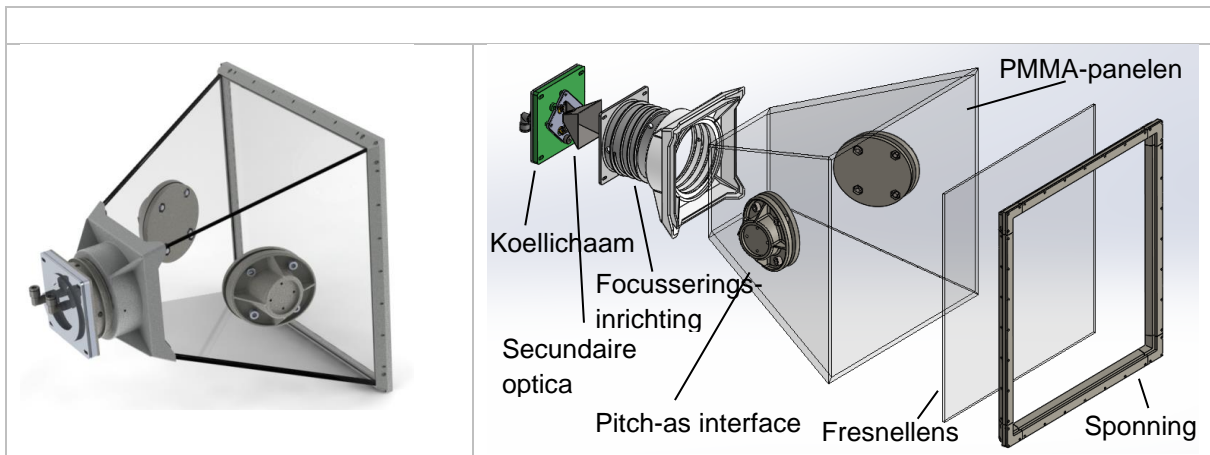
Bij het beëindigen van dit project waren er nog wat afwijkingen te zien in de mechanische positionering, hier wordt nog aan gewerkt. Echter voor het uitvoeren van de metingen bleek het voldoende om handmatig te corrigeren.



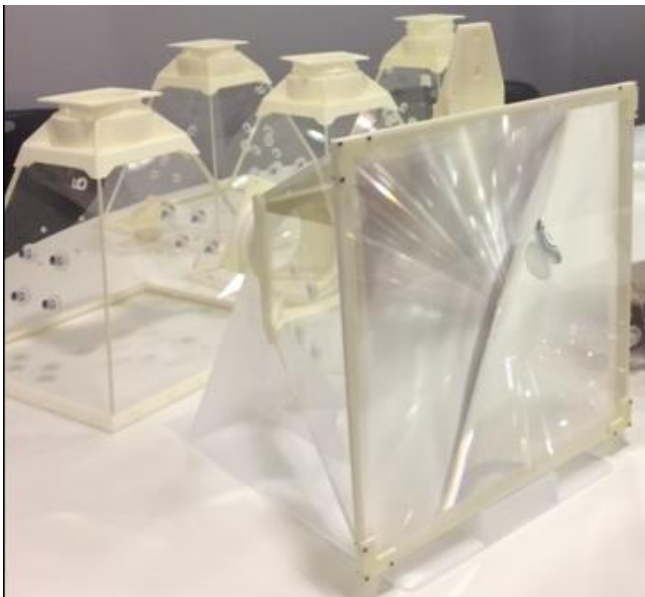
Figuur 2. Screenshots van de zonnevolg software (Soltraq). Boven: Main Window, linksonder: thermometermodule, rechtsonder: logging module.

### 2.3 Ontwerp en bouw concentrator

Na verschillende iteraties is in 2016 de laatste hand gelegd aan het ontwerp van de concentrator (cone) met de triple junction zonnecel (TJC) en fresnellens, zie Figuur 3 en Figuur 4. Hierbij is zoveel mogelijk gekozen voor transparante materialen, zodat licht wat niet geconcentreerd wordt beschikbaar blijft voor gewassen of verlichting van ruimtes. De concentrator bestaat uit een vlakke fresnellens, transparante zijvlakken, een zonnecel (triple junctiecel of TJC) van 1 cm<sup>2</sup> en een koellichaam.



Figuur 3. Ontwerp van de HCPV concentrator en exploded view.

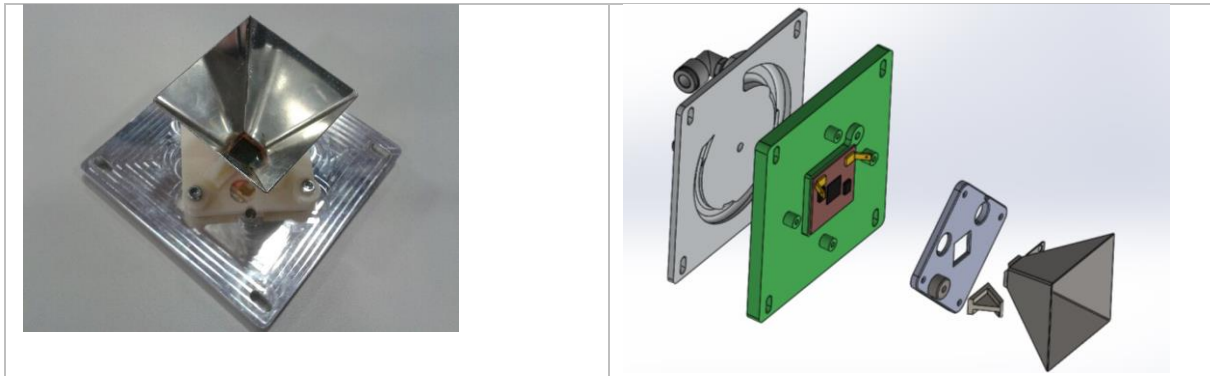


Figuur 4. Geproduceerde concentrators.

De TJC wordt met geleidingspasta op een koelblok aangebracht. Een klemplaat klemt de TJC op het koelblok en schernt de elektronica (diodes) op de chip af tegen direct zonlicht (Figuur 5). Tevens dient de klemplaat als montageplaat voor de secundaire optica. Deze fungeren als een soort spiegels die extra efficiëntie leveren en daarbij voorkomen dat de hoog-geconcentreerde bundel zonlicht naast de zonnecel valt, en lokaal oververhitting veroorzaakt.



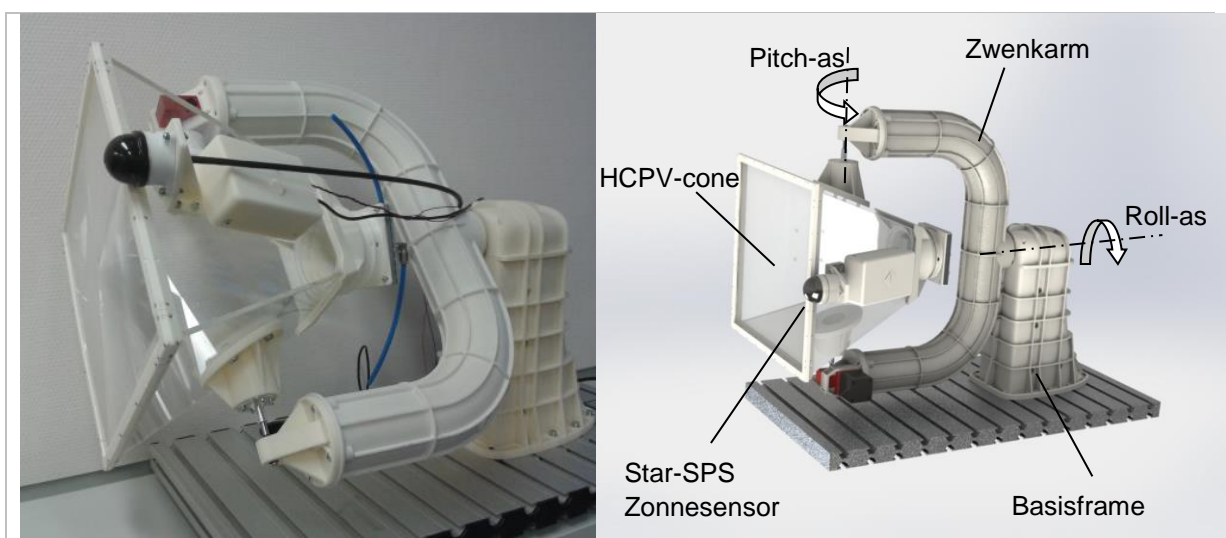
Het aluminium koellichaam, dat in het kader van dit project ontworpen is, bevindt zich onder de zonnecel. Het is aan de bovenkant glad afgewerkt, zodat de TJC met *thermal tape* goed aan het koellichaam te bevestigen is. Door het koellichaam stroomt water. Bij grotere systemen stroomt het water door een aantal verschillende koellichamen en zal zo opgewarmd worden. Deze zo verzamelde warmte is later te benutten.



Figuur 5. Samenstelling TJC-koellichaam en secundaire optica.

#### 2.4 Ontwerp en realisatie meetopstelling

De enkelvoudige meet-module is gerealiseerd met de concentrator zoals boven beschreven, en bestaat verder uit een zwenkarm en basisframe voorzien van motoren en sensoren om de zon te kunnen volgen, zie Figuur 6. Het 2-assige HCPV-tracking systeem maakt het mogelijk om gefocuseerd zonlicht gedurende de dag op een hoog rendement TJC te projecteren om elektrische energie op te wekken, zie Figuur 6. De zwenkarm is een dunwandige, met ribben verstijfde buis om een hoge stijfheid te verkrijgen, geproduceerd middels een 3D-printtechniek.



Figuur 6. Realisatie van het prototype van de enkelvoudige HCPV-meetopstelling.

Voor het meten van de stroom die door de TJC-zonnecel gegenereerd wordt is een zogenaamde sourcemeter gebruikt, gekoppeld aan de bij de HAN ontwikkelde zonnevolgrououtine. Ook de temperaturen van het koelblok, de zonnecel, het inkomende en uitgaande koelwater en de omgevingstemperatuur kunnen gemeten worden. Daarnaast wordt met een pyranometer het invallende zonlicht gemeten.

## 2.5 Ontwerp en realisatie van multi-opstelling

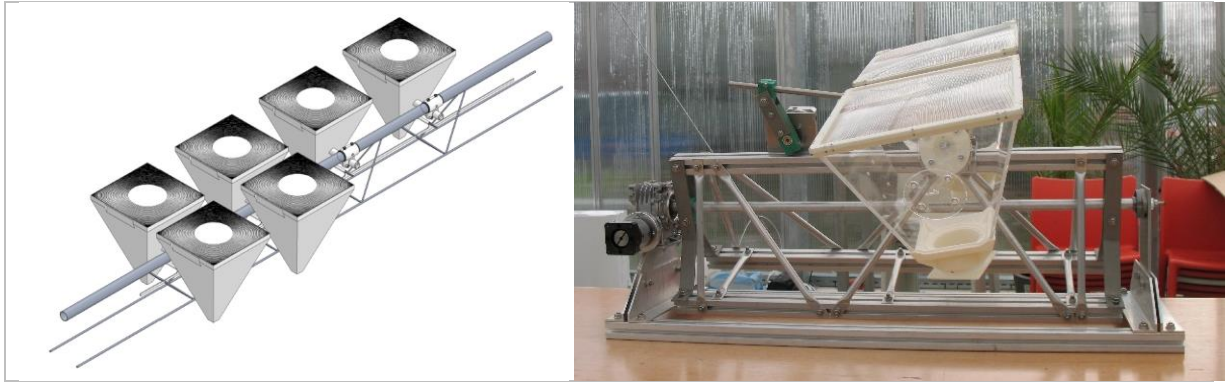
Het prototype voor gebouwde omgeving bevat een 12-tal HCPV-concentrators in twee modules van elk 6, en is in staat om ongeveer 1m<sup>2</sup> zonlicht op te vangen. Het systeem wordt aan één enkel punt opgehangen aan een constructie in de gebouwde omgeving (bv. atrium) en is mechanisch uitgebalanceerd teneinde de concentrators met minimale kracht te kunnen richten. De verschillende concentrators worden gecentraliseerd aangestuurd. Het demo-systeem is gemonteerd in een verrijdbaar subframe. Figuur 7 toont het gerealiseerde prototype in het verrijdbare frame met 8 van de 12 concentrators gemonteerd.



*Figuur 7. HCPV-GO multi-systeem voor gebouwde omgeving met hierin 8 van de 12 concentrators en in verrijdbaar subframe.*

## 2.6 Truss-opstelling voor kassen

Voor de glastuinbouw is gekozen voor een cardanische opstelling waarbij de overbrugging van een afstand van 4 tot 5 tussen spanten als uitgangspunt is genomen, zie Figuur 8. De eerste rotatie-as van het systeem is de bovenste buis van de tralieligger. De tweede draaiingsas is hier dwars op geplaatst. Door de verschillende modules te koppelen om afstanden van tientallen meters te overbruggen, kan de tweede beweging met één motor uitgevoerd worden.

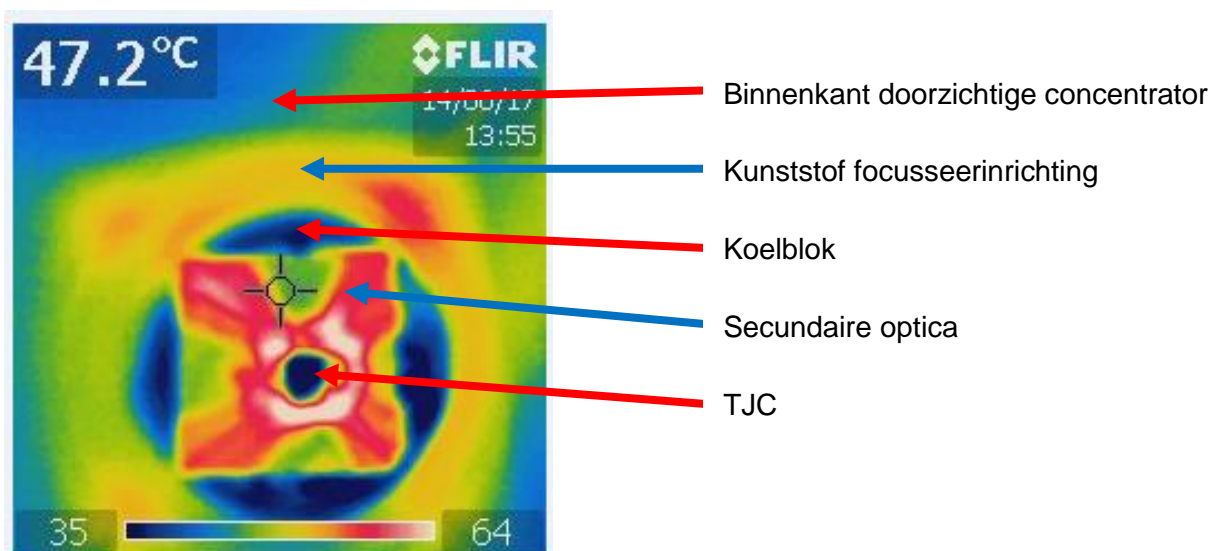


Figuur 8. Cardanische systeem op basis van een tralieligger. Rechts is een tafelmodel te zien.

Om dit systeem te testen is eerst een tafelmodel gebouwd met twee concentrators. Met dit model is het mogelijk de volledige zonnebaan te volgen met twee stappenmotoren. Regeling van de aansturing gebeurt op basis van zonnensensoren. Bij schaduw kan het systeem terug vallen op historische waarden.

## 2.7 Koeling

De TJC zonnecel heeft bij hogere temperaturen een lagere efficiëntie. Om oververhitting te voorkomen is goede geleiding tussen de TJC en het koellichaam essentieel. Om de thermische geleiding tussen de triple-junction cell (TJC) en het koelblok van de HCPV-GO-opstelling te meten zijn verschillende experimenten opgezet. Er kan geconcludeerd worden dat de thermische geleiding tussen TJC en koelblok voldoende goed is. In een van de tests is de temperatuur van de TJC direct na volle instraling met een warmtecamera bepaald, zie Figuur 9. De TJC heeft een temperatuur van slechts zo'n 35 °C, de secundaire optica blijkt het warmst te worden.



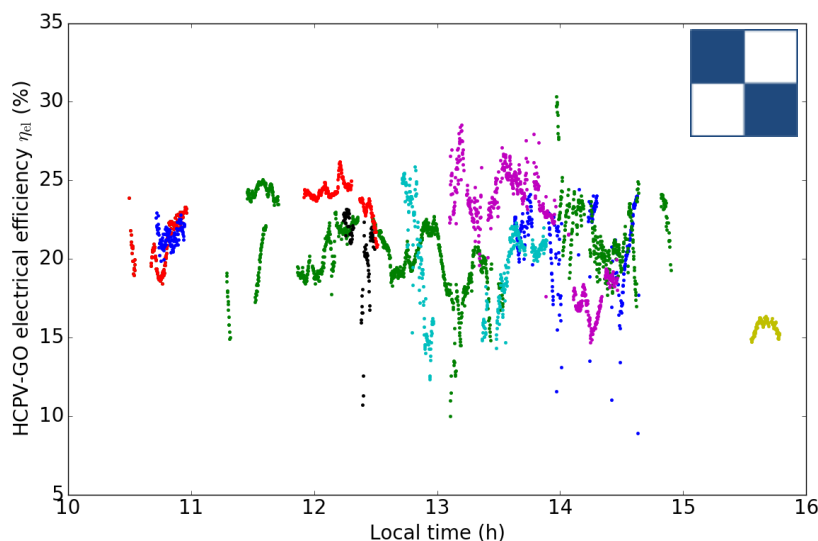
Figuur 9. Opname met thermische camera van TJC en secundaire optica, na volgsessie

## 2.8 Opbrengstmetingen

In de laatste periode van dit project, voorjaar en zomer 2017, zijn metingen uitgevoerd aan de enkelvoudige HCPV-GO meetopstelling. Deze unit, met cardanische aandrijving van twee draaiassen, was opgesteld in het Solar Demo Centrum (SDC) van de HAN in Arnhem. Zowel de elektrische als de warmte-opbrengst is geregistreerd.

Tijdens de zomer van 2017 zijn in het Solar DemoCentrum van de HAN metingen uitgevoerd aan de *single unit* meetopstelling om de elektrische en thermische opbrengst te bepalen. Aangezien bij volledige lensopening en zomerse instraling de fotostroom die de TJC opwekt groter is dan wat de meetapparatuur toestaat, is gekozen voor het diafragmeren van de frontlens van de concentrator (Figuur 10). Na variëren van de diafragma's is een map van de lens-efficiëntie gemaakt (Figuur 11). De efficiëntie in de hoeken van de lens blijkt beduidend lager dan in het centrale gedeelte.

Uit de metingen kunnen blijkt dat de huidige concentrator een elektrisch rendement heeft van  $21.2 \pm 2.0\%$ . Met een opgegeven efficiëntie van de TJC van 40% volgt een efficiëntie van de optica van  $53.0 \pm 5.0\%$ . De maximale gemeten *absolute* elektrische opbrengst bedraagt  $180.3 \text{ W per m}^{-2}$  lensoppervlak.

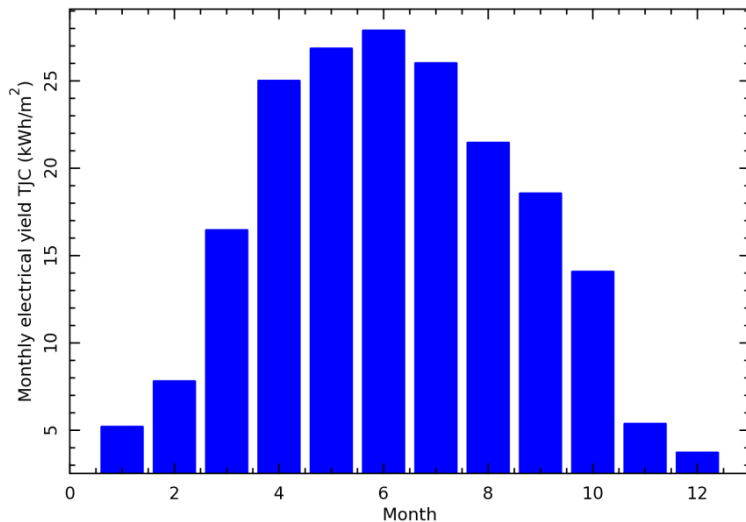


Figuur 10. Elektrische efficiëntie voor meting van de opbrengst met diafragma van twee tegenovergestelde kwarten (insert).

15.7	52.9	52.9	15.7
52.9	85.3	85.3	52.9
52.9	85.3	85.3	52.9
15.7	52.9	52.9	15.7

Figuur 11. Kaart van de efficiëntie (%) van het lensoppervlak.

Op basis van de gemeten resultaten zijn de verwachte maandopbrengsten bepaald voor de regio Gelderland. Deze zijn weergegeven in Figuur 12. Merk op dat deze waarden gebaseerd zijn op een gemiddelde maandelijksse instraling over 10 jaar, zodat extreme waarden niet voorkomen.



Figuur 12. Maandopbrengsten (gemiddeld over meerdere jaren), gebaseerd op een elektrisch rendement van HCPV-GO van 21.2% voor regionale toepassing.

De jaarlijkse elektriciteitsopbrengst bij gemiddelde zonneshij in de regio zou 198.6 kWh per m<sup>2</sup> lensoppervlak bedragen.

De warmteopbrengst is ook bepaald. Voor een enkele unit kan  $29.3 \pm 4.2\%$  van de zonne-energie die wordt opgevangen door de lens gebruikt worden om water op te warmen met  $6.4 \pm 0.7$  °C. Hieruit volgt een efficiëntie van de optica van  $48.9 \pm 6.9\%$ . Dit komt binnen de meetonzekerheid overeen met de uit de elektrische opbrengst gevonden waarde van  $53.0 \pm 5.0\%$ .

Bij een instraling van  $1000 \text{ W/m}^2$  zou dit systeem bruto  $212 \pm 20 \text{ W/m}^2$  elektrische energie en  $293 \pm 42 \text{ W/m}^2$  thermische energie leveren. Hiermee bedraagt de vermindering van de warmtelast van het *directe* zonlicht dat op het lensoppervlak valt  $50.5 \pm 4.7\%$ . De vermindering van de totale warmtelast in de kas hangt af de verhouding tussen het glasoppervlak van (het dak van) de kas en het totale oppervlak van de lenzen van alle HCPV-GO units die in de kas zijn geïnstalleerd.

## 2.9 Economisch perspectief

De economische aanpak en slaagkans voor de commerciële toepassingen van de prototypes is bekeken. Er is een schatting gemaakt van de marktomvang, verwachte omzet, kosten, terugverdientijd en winstmarge. De terugverdientijd is bepaald als 6,2 en 5,9 jaar voor glastuinbouw en gebouwde omgeving, respectievelijk. Projectpartners geven aan dat dit in de bouw en in de tuinbouw acceptabel wordt geacht. De ontwikkelde technologische principes worden mogelijk beschermd door een octrooi. Voor de langere termijn is de verwachting dat een aanzienlijke deel van de markt van kassen voor potplantteelt overgaat naar technologieën van dit type.

De besparing die de projectresultaten opleveren zijn voornamelijk voor de tuinders en de gebruikers van gebouwen. De investering verdient zich binnen zeven jaar terug en brengt daarna ongeveer 40€ per m<sup>2</sup> op (400.000 € per ha).

### 3 Bijdrage aan doelstellingen

In dit project is gewerkt aan het ontwikkelen van kennis en prototypes voor toepassingen van systemen van geconcentreerde zonne-energie in de gebouwde omgeving, met name de glastuinbouw en lichtstraten. Er is succesvol samengewerkt met verschillende partners.

Er zijn drie prototypes opgeleverd:

- Een meetopstelling
- Een multi-opstelling voor gebouwde omgeving
- Een truss-opstelling voor kassen

De opstellingen maken gebruik van dezelfde, binnen dit project ontworpen, concentrator. Op basis van meetresultaten aan de in dit project ontwikkelde meetopstelling kan gesteld worden dat bij een instraling van  $1000 \text{ W/m}^2$  de concentrator bruto  $212 \text{ W/m}^2$  elektrische energie en  $293 \text{ W/m}^2$  thermische energie zou leveren, waarmee ruimschoots aan de gestelde doelstelling van het project voldaan wordt.

Voor de concentrator voldoet de bruto opbrengst van zowel warmte als elektriciteit aan de in aanvraag gestelde doelstelling voor een instraling van  $1000 \text{ W}$ . De multi- en truss-opstelling konden binnen de tijdsduur van dit project niet uitvoerig getest worden, zodat nog geen uitspraak gedaan kan worden over de netto-opbrengst voor grootschalige toepassingen met gecentraliseerde aansturing.

De zonnevolgroutine is op dit moment nog nauwkeuriger dan de mechanische opstellingen en aansturing. Het is dan ook wenselijk nog een closed-loop correctie aan te brengen op de systemen zodat de tracking gecorrigeerd kan worden en de tracking error geminimaliseerd wordt.

Wat betreft de lichttransmissie kan nog geen definitieve uitspraak gedaan worden: bij het maken van de prototypes is zoveel mogelijk gekozen voor transparante materialen, maar voor een commercieel systeem zou dit nog verder doorgevoerd moeten worden. Hier bestaan al concrete ideeën over.

Ook de doelstellingen van het project betreffende kennisontwikkeling zijn gehaald. Er is kennis ontwikkeld op het gebied van hoog-geconcentreerde zonne-energie, relevante optica zoals de fresnellens en de secundaire optische systemen, betreffende de prototype-ontwikkeling voor specifieke toepassingen, zonnevolgroutines en aansturing. Er zijn studenten opgeleid binnen dit project (stagiaires en afstudeerders) en publicaties zijn gerealiseerd. Kennis is gedeeld met projectpartners.

Op basis van de in dit project opgedane kennis en ervaring bestaan concrete ideeën voor het verbeteren van de prototypes naar een commerciële toepassing voor hetzij lichtstraten dan wel kassen. Daarom is nu met de partners besloten om vanuit het Lectoraat Duurzame Energie van de HAN een vervolgproject in te zetten. Dit RAAK-MKB project getiteld '*CONSOLE: Ontwikkeling van geconcentreerde zonne-energiesystemen voor commerciële toepassingen*' (ref. RAAK.MKB06.005) is in juli 2017 goedgekeurd en per 1 september 2017 van start gegaan, en richt zich op de doorontwikkeling van de HAN-prototypes rond geconcentreerde zonne-energie tot commerciële systemen, vanuit een samenwerking met een netwerk van 10 bedrijven en een branche-organisatie.

## 4 Spin-off

De betrokken partners hebben op basis van de gehaalde resultaten aangegeven verder te willen gaan met het ontwikkelen van de in dit project gerealiseerde prototypes tot een commerciële toepassing. Op basis van de behaalde efficiëntie lijkt er inderdaad een markt voor deze toepassingen te zijn. De binnen dit project gerealiseerde studies hebben daarbij ook concrete aanwijzingen opgeleverd voor verdere optimalisatie, zoals een verbetering van de energie-opbrengst en verlaging van de kosten.

Zo is een mogelijke richting voor vervolgonderzoek om de opbrengst te verhogen een optische studie, om meer zonlicht van de randen en hoeken van de lens op de triple-junction cell te laten vallen. Ook een studie naar de secundaire optica zou kunnen leiden naar een verbetering van het optische rendement.

Op basis van voorgaande discussie is met de partners besloten om vanuit het Lectoraat Duurzame Energie van de HAN een vervolgproject in te zetten. Dit RAAK-MKB project getiteld '*CONSOLE: Ontwikkeling van geconcentreerde zonne-energiesystemen voor commerciële toepassingen*' (ref. RAAK.MKB06.005) is in juli 2017 goedgekeurd en per 1 september 2017 van start gegaan, en richt zich op de doorontwikkeling van de HAN-prototypes rond geconcentreerde zonne-energie tot commerciële systemen, vanuit een samenwerking met een netwerk van 10 bedrijven en een branche-organisatie.



## 5 Overzicht publicaties

De volgende publicaties zijn gerealiseerd:

<i>jaar</i>	<i>betreft</i>	<i>titel</i>	<i>onderzoekers</i>
2015	Proceedings CPV-11, Aix-les-Bains, FR, 13-4-2015	CPV in the built environment	Marc van der Sluys, Paul van Kan and Piet Sonneveld
2015	Poster CPV-11, FR, 13-4-2015	CPV in the built environment	Marc van der Sluys, Paul van Kan and Piet Sonneveld
2015	Poster EUPVSEC 2015, Hamburg, DE, 1-9-2015	EUPVSEC 2015 - Feasibility study of an electricity delivering Fresnel greenhouse	P. J. Sonneveld , M. van der Sluys, A. van Rhijn and M. Hebbink
2016	Errata, voor intern gebruik en gestuurd aan NEN - verbeteringen van de NEN-norm	Errata NEN 5060 Hygrothermische eigenschappen van gebouwen - Referentieklimaatgegevens v2	Marc van der Sluys
2017	Wetenschappelijk artikel in voorbereiding, te zenden naar Solar Energy	SoTrack: a free, fast and accurate routine to compute the position of the Sun	Marc van der Sluys, Paul van Kan

Daarnaast zijn er meerdere stagiairs en afstudeerders betrokken geweest:

<i>jaar</i>	<i>betreft</i>	<i>titel</i>	<i>stagiair</i>
2015	Stageverslag	Zonnevolger	Zhihao Wu (st.nr.506877)
2015	Stageverslag	Solarconcentratie system voor HCPV-GO: Systeem gebaseerd op basis van lineaire lenzen	Koen Filius (st.nr.558525)
2015	Stageverslag	Solarconcentratie system voor HCPV-GO: Systeem gebaseerd op basis van een truss	Samed Yildirim (st.nr.559082)
2015	Stageverslag	HCPV-GO Project Experiencing and engineering in a solar concentrator project	Denis Tussiot (int.-master-Frankrijk)
2016	Stageverslag	Final Development of a concentrated solar energy system	Paulo Henrique de Brito Santos (st.nr. 73682)
2016	Stageverslag	HCPV-GO en zichtbaarheid lectoraat	Jop Voogt (st.nr. 514030)
2015	Afstudeerverslag	Onderzoek Solar power-optimizer voor CPV	Frederik Mellema (st.nr.493411)

Voor meer informatie over deze publicaties kunt u contact opnemen met één van de genoemde contactpersonen (paragraaf 6.2).

## 6 Vermeldingen

### 6.1 Rapport bestellen/downloaden

U kunt een kopie van dit rapport opvragen bij een van de contactpersonen, of via onze website: <https://www.han.nl/onderzoek/kennismaken/technologie-en-samenleving/lectoraat/duurzame-energie/>

### 6.2 Contactpersonen

Voor meer informatie kunt u contact opnemen met de volgende personen:

Piet Sonneveld  
Associate lector Energie-Innovatie  
Tel. 06 - 1335 6481  
Email: piet.sonneveld@han.nl

Mascha Smit  
Lector Duurzame Energie  
tel. 06 - 2321 4203  
Email: mascha.smit@han.nl

Wendy Pleket  
Proces-coördinator  
Tel. 06 - 5524 0828  
Email: wendy.pleket@han.nl

### 6.3 Verkregen subsidie

Dit project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Subsidieregeling Energie en Innovatie (SEI), Topsector Energie, uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO).