



# Openbaar eindrapport INHYPE

---

## Gegevens project

- Projectnummer: TEZ0114002
- Project titel: Inherent High-Yield PV Element - INHYPE
- Penvoerder en medeaanvragers:  
ECN, Petten, penvoerder  
Heliox BV, Best,  
Eurotron BV, Bleskensgraaf  
Stafier BV, Zevenaar
- Projectperiode: 1-9-2015 t/m 31-5-2016
- Publicatiedatum openbaar rapport: Augustus 2016



## Samenvatting van uitgangspunten, doelstelling en samenwerkende partijen

Zonnepanelen hebben een significant lagere opbrengst als ze deels beschaduwd worden. Een schaduw van 1% kan de opbrengst al met 30% verminderen. Dit beperkt de toepassing in de gebouwde omgeving waar schaduw vaak aanwezig is.

De standaard oplossing voor dit probleem is om elektronische schakelingen aan het systeem toe te voegen of om het ontwerp aan te passen zodat het minder gevoelig wordt voor schaduw. De eerste oplossing heeft er toe geleid dat de panelen minder gevoelig zijn voor schaduw, maar wel tegen hogere kosten. Of dit uiteindelijk kosteneffectief is moet nog blijken. Het aanpassen van het ontwerp zorgt ook voor een toename in de kosten omdat de fabricage ingewikkelder wordt. In dit project is een zonnepaneel ontwikkeld dat een hoge opbrengst heeft onder schaduwcondities, zonder dat de complexiteit van de fabricage toeneemt.

Het consortium gebruikt de bestaande achterzijde technologie van ECN en Eurotron. Hierdoor kunnen dezelfde apparaten worden gebruikt als voor de fabricage van de standaard achterzijde technologie panelen. Alleen voor het plaatsen van de cellen is een kleine aanpassing nodig, omdat in dit concept gebruik wordt gemaakt van kleinere cellen. De verbeterde schaduw tolerantie wordt verkregen door een geoptimaliseerde elektrische schakeling tussen de cellen. Doordat dit concept anders is dan de standaard modules is er een speciale omvormer nodig. Ook deze omvormer is in dit project ontwikkeld. Deze omvormer kan eenvoudiger zijn dan voor een standaard paneel omdat de spanning nagenoeg onafhankelijk is van de schaduw fractie.

## Beschrijving van de behaalde resultaten, de knelpunten en het perspectief voor toepassing

### Introductie

Hoewel er een groot beschikbaar oppervlak is voor gebouw geïntegreerde toepassingen van zonnepanelen heeft dit vaak het nadeel dat de panelen gedurende de dag in meer of mindere mate schaduw ondervinden. Schaduw op een zonnepaneel kan de opbrengst aanzienlijk reduceren. Omdat de panelen alleen op die plaatsen worden gelegd waar niet of nauwelijks schaduw komt, gaat het vaak ten koste van de esthetische uitstraling van het systeem.



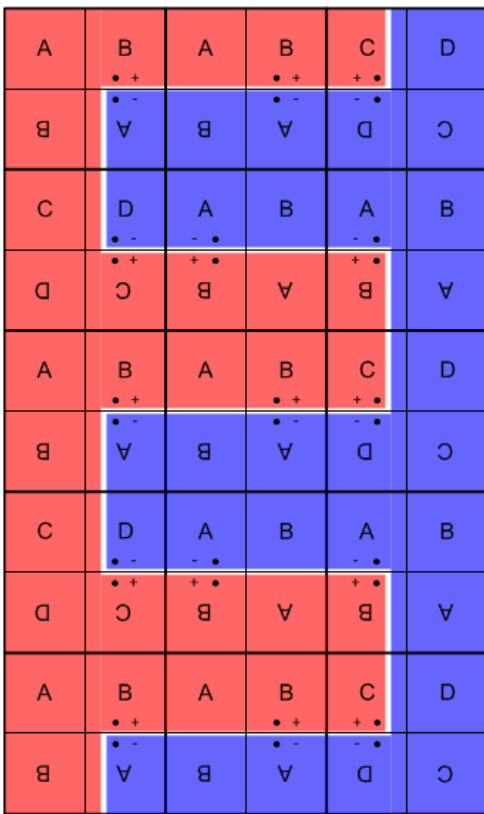
Fig. 1. a) Dak met zonnepanelen met een grote schaduw van de schoorsteen. b) Dak met zonnepanelen die deels beschaduwd worden. c) Oplossing van dit project waarbij de panelen over het hele dak kunnen worden gelegd met marginale reductie in opbrengst.

ECN en Eurotron hebben gewerkt aan een nieuwe zonnepaneel technologie, de zogenaamde MWT zonnepaneel-technologie [1]. Dit type paneel levert een hogere efficiëntie, geautomatiseerde fabricage en een goede esthetische uitstraling. Recent heeft ECN gewerkt aan modificatie van dit concept [2] welke de opbrengst van het paneel minder gevoelig maakt voor schaduw [3]. Dit betekent dat het gehele beschikbare dakoppervlak kan worden benut en daarmee de esthetische uitstraling van een dak of façade kan worden verbeterd. Dit betekent tevens dat het systeem groter kan worden en daarmee de installatiekosten kunnen worden gereduceerd.

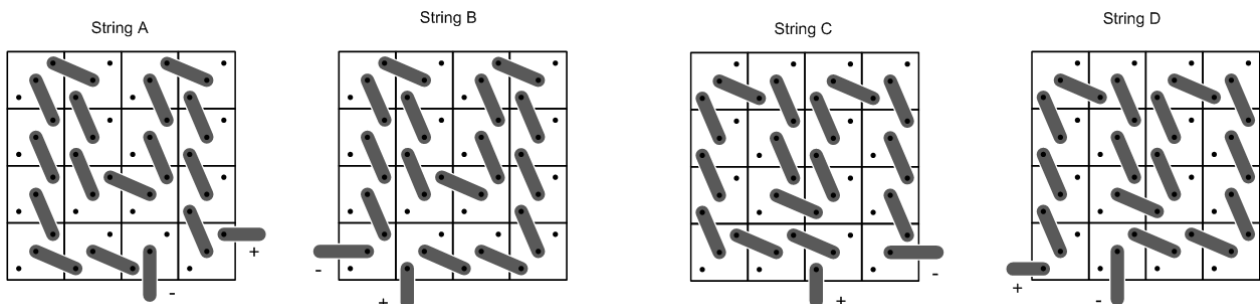
*Concept*

Het concept, TESSERA genaamd, bestaat uit 15 blokken met elk 64 mini zonnecellen. Deze cellen zijn in serie geschakeld en elk blok is parallel geschakeld met de andere blokken. Als een schaduw op het zonnepaneel valt, vallen alleen de blokken met schaduw (deels) uit, maar blijven de andere gewoon vermogen leveren. Op deze manier gaat er minder vermogen verloren dan bij standaard zonnepanelen. Omdat de elektrische schakeling in deze panelen anders is, zal ook de spanning en stroom die door het paneel geleverd wordt anders zijn. Daarom is binnen het project een micro-omvormer ontwikkeld die aansluit bij de elektrische eigenschappen van het TESSERA-paneel.

De cellen zijn geschakeld door een enkele laag geleidende folie, waarbij het folie is onderverdeeld in positieve en negatieve secties welke gescheiden worden door een isolatie baan. Hierdoor heeft elk blok toegang tot een positieve en negatieve sectie. Er worden 4 verschillende basis blokken onderscheiden, A, B, C, en D, met elk zijn eigen elektrische schakeling. Met deze vier blokken kan een hele module worden opgebouwd (zie figuur 2).



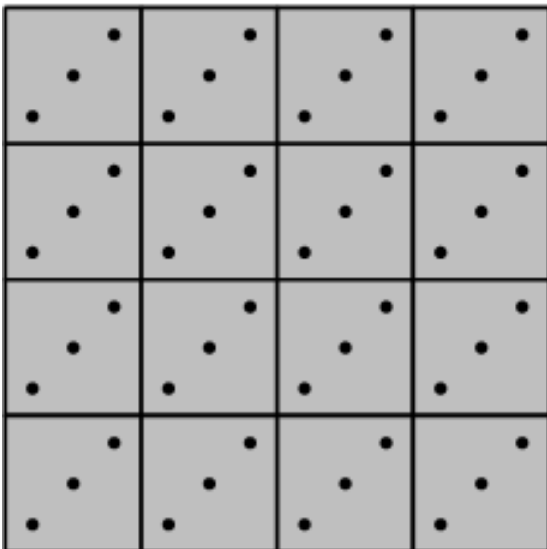
**Figuur 2: Lay-out van een zonnepaneel met 4 basis blokken, A, B, C, D**



**Figuur 3: Schakelingen in de basis blokken, A, B, C, D**

Elk blok heeft een net iets andere schakeling tussen de cellen. Zie figuur 3. De cellen zelf hebben alleen achterzijde contacten en worden gesneden uit een grote cel, zie figuur 4, die op standaard cellijnen gefabriceerd kan worden.

Wafer  
footprint

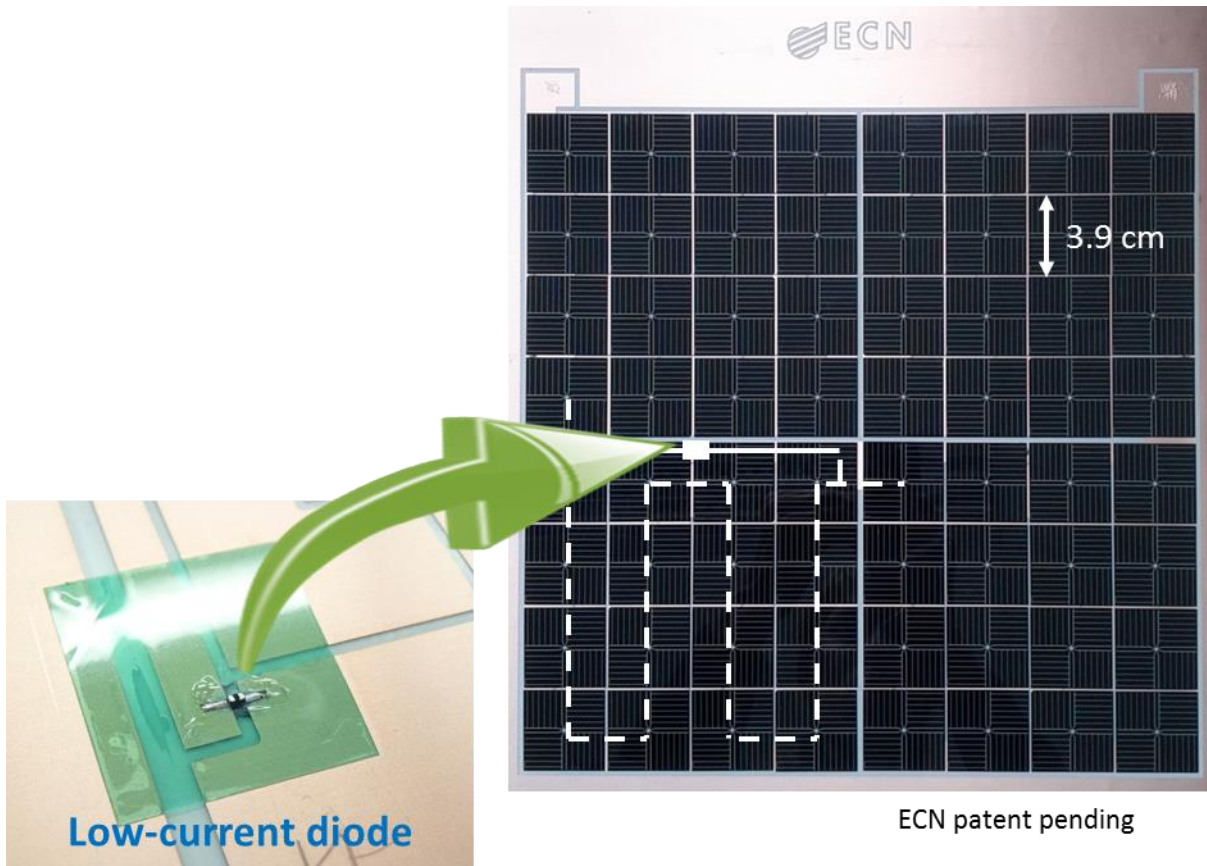


Cell  
footprint



**Figuur 4 : Metaal contact patroon aan de achterzijde van cel met standaard afmetingen en van een mini-cel.**

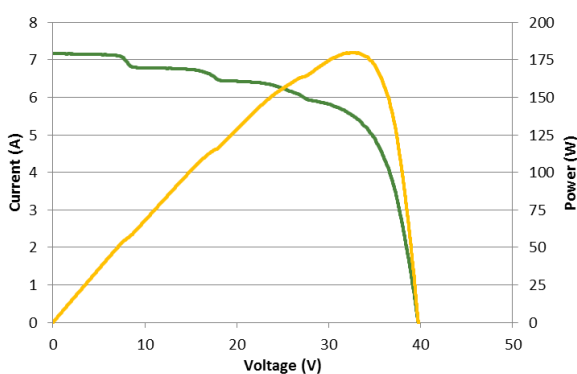
*Resultaten*



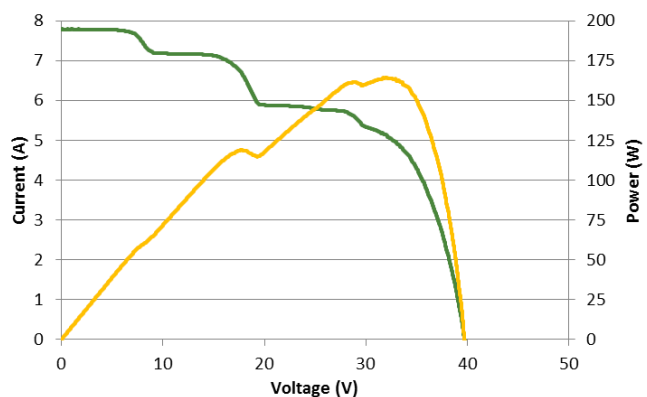
**Figuur 3: 8x8 cel test zonnepaneel**

Kleine testzonnepanelen zijn gemaakt en de werking onder verschillende schaduwcondities is getest: schaduw door een boom en schaduw door een paal. De metingen laten zien dat de spanning van het paneel niet afhankelijk is van de hoeveelheid schaduw op het paneel.

***schaduw van een boom***



***schaduw van een paal***

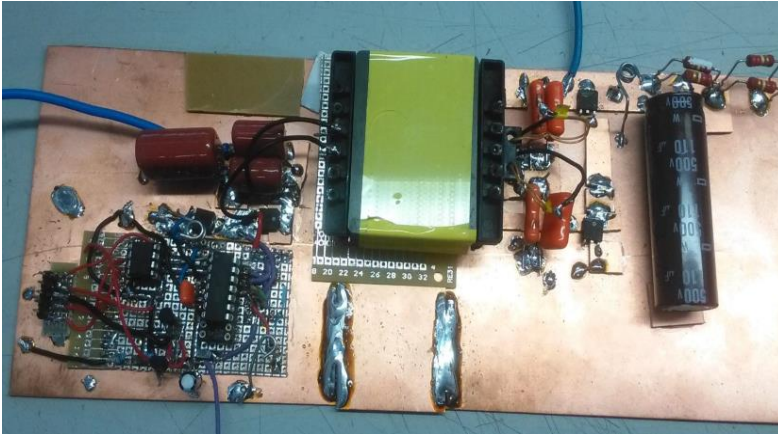


**Figuur 4: Werking van een 8x8 cel TESSERA test paneel onder verschillende schaduw condities.**

Dit verschilt aanzienlijk met een standaard zonnepaneel, waar de spanning over een groot gebied varieert. Dit betekent dat de micro-omvormer voor een TESSERA-paneel eenvoudiger kan worden uitgevoerd. Het

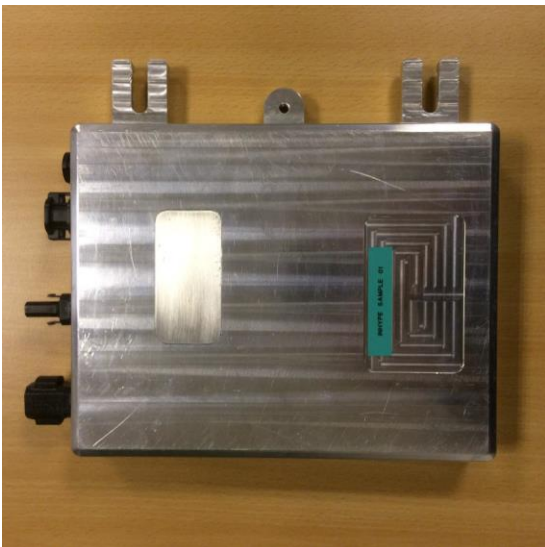
spanningsgebied om het maximum vermogen te vinden kan worden verkleind en het ligt in de verwachting dat het scannen van de intervallen breder kan zijn en/of minder diep.

Het algoritme is hieraan aangepast en geïmplementeerd in de micro-omvormer. Een eerste prototype is gemaakt en getest.



**Figuur 5: Ontwikkeling van de micro-omvormer**

Uiteindelijk zijn er 6 prototypes gemaakt voor de Tessera panelen en 6 prototype micro-omvormers voor standaard 60-cell zonnepanelen.



**Figuur 6: Micro-omvormer prototype**

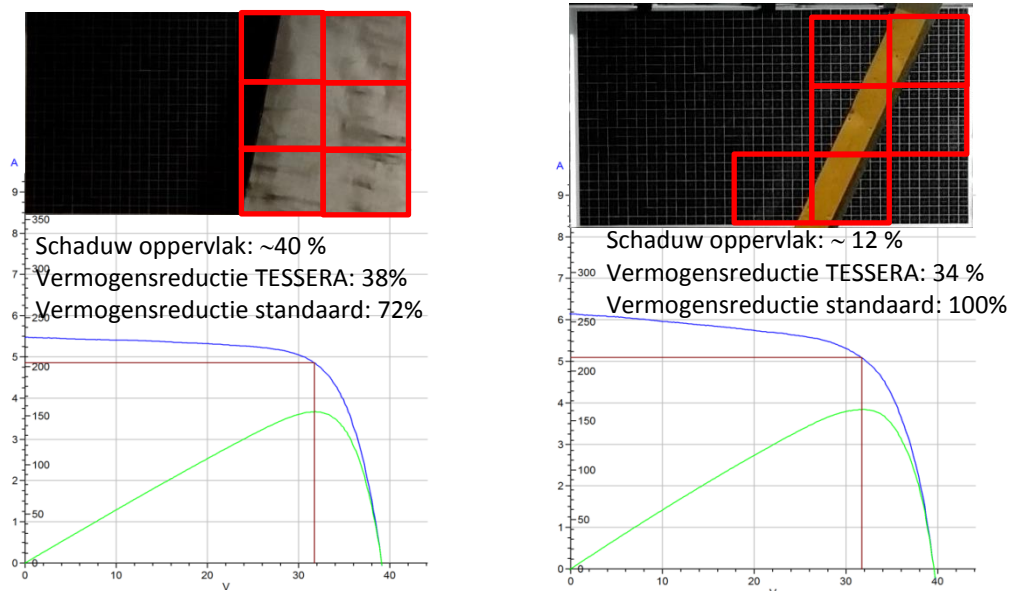
#### *Module fabricage*

Het lag in de verwachting dat 6 grote panelen zouden worden gemaakt, waarbij diodes tijdens het lamineren mee gelamineerd zouden worden. Helaas gaf het meelamineren van de diodes zulke grote problemen dat voor de uiteindelijke panelen de diodes niet geïntegreerd werden. Daarnaast waren er bij de fabricage ook problemen met krimp in het folie dat tussen de cellen en het geleidende folie zit, waardoor de uitlijning niet meer in orde was. Uiteindelijk zijn er toch 2 grote panelen gemaakt, waarvan alleen de tweede enigszins werkte. Na reparatie werkte deze toch behoorlijk en kon er een aantal test onder schaduw worden gedaan.

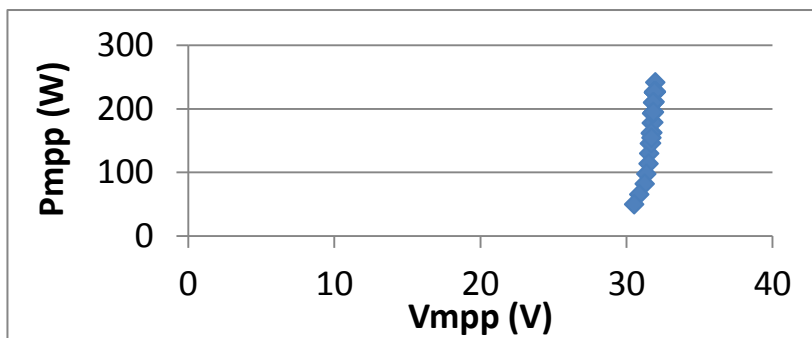


**Figuur 7: Grote TESSERA module**

Het paneel is gemeten in een PASAN flash tester. Hieronder is te zien hoe een paal en een deels transparante doek zijn gebruikt om de schaduw op het paneel te realiseren. De resultaten laten zien dat in het geval van de deels transparante doek, het beschaduwde oppervlak ca. 40% is en de reductie in vermogen ca. 38%. Een normaal zonnepaneel zou onder deze condities ongeveer 72% minder vermogen genereren. Ook de paal schaduw geeft voor het TESSERA concept een veel lagere reductie in vermogen: 34% t.o.v. bijna 100% voor een standaard paneel.



**Figuur 8: Gemeten effect van schaduw op een TESSERA zonnepaneel**

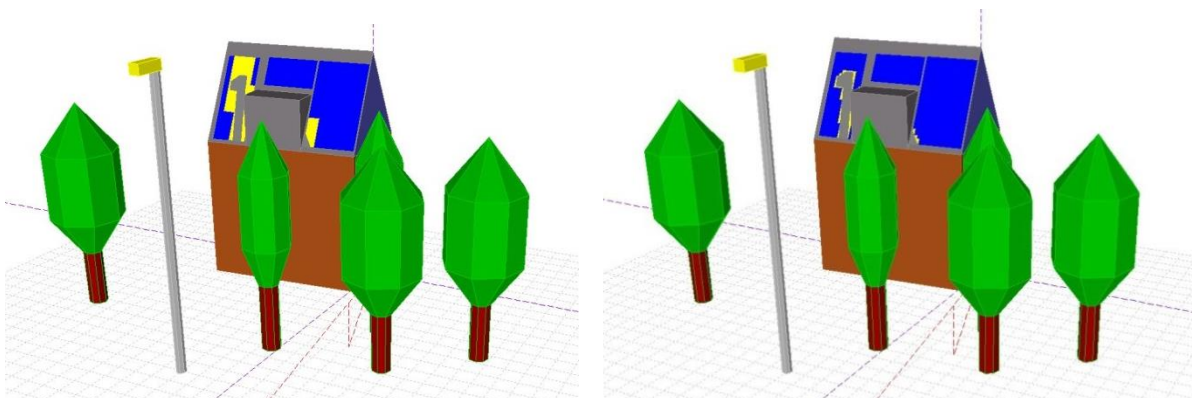


**Figuur 9: Gemeten vermogen bij maximum vermogen punt als functie van de spanning bij maximum vermogen punt**

Een ander interessant punt is dat de spanning bij maximum vermogen nauwelijks varieert als de schaduw condities veranderen. Dit is te zien in figuur 9, waar het vermogen bij het maximum vermogen punt ( $P_{mpp}$ ) als functie van de spanning bij maximum vermogen punt ( $V_{mpp}$ ) wordt getoond. Dit was één van de voorspellingen aan het begin van het project en heeft het gunstige effect dat de omvormer met een nagenoeg vaste spanning kan werken.

Helaas konden er geen buitenmetingen aan een grootschaliger systeem worden gedaan door de genoemde problemen bij de fabricage van de panelen.

#### *Opbrengst berekeningen*



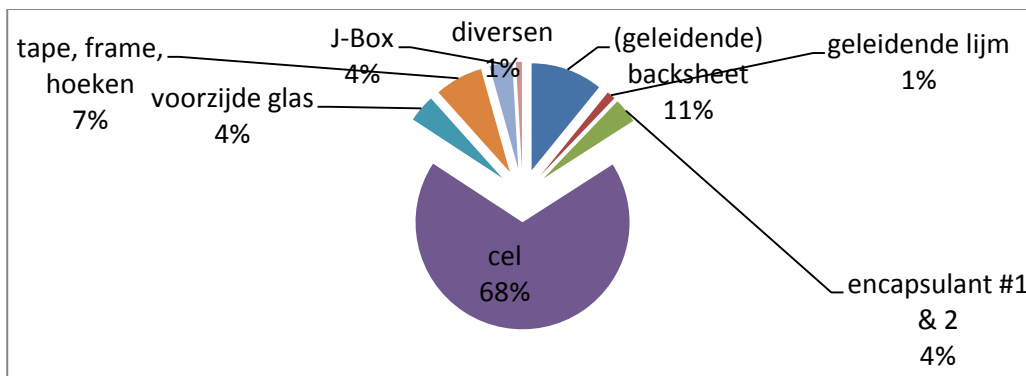
**Figuur 10: Lay-out van het gebruikte model om de invloed van schaduw op de jaaropbrengst te berekenen: links voor standaard panelen en rechts voor TESSERA panelen. Het gele oppervlak geeft het oppervlak van de panelen dat een gereduceerde opbrengst heeft door de schaduw**

Het TESSERA-paneel en de micro-omvormer zijn gemodelleerd in het software programma PVSyst. Figuur 10 laat het model zien van een typisch huis in Nederland. De straatlantaarn voor het huis en de dakkapel geven verschillende schaduwen op het dak. Het effect van de schaduw is berekend en vergeleken met het effect op een standaard module met 3 strings. Het resultaat voor 10 Januari tussen 11 en 12 uur laat zien dat een standaard paneel met micro-

omvormers een verlies heeft van 32% terwijl een TESSERA-paneel slechts 17% verlies heeft. Dus een verschil van 24%. Op jaarbasis is de winst van de TESSERA-paneel ten opzichte van een standaard paneel zo'n 4%.

#### Task 5.4: Cost of ownership berekening

De kostenberekeningen zijn gebaseerd op een calculatiesheet voor de productie van back-contact modules van Eurotron. Deze calculatiesheet is aangepast voor specifieke aspecten van TESSERA zoals extra machinebenodigdheden voor het snijden van minicellen en het integreren van diodes in de laminaten. Ook het extra personeel dat voor deze machines nodig is, is meegenomen in de berekening. Daarnaast is meer geleidende lijm nodig voor het hogere aantal contactpunten van de minicellen en is een lagere celopbrengst voorzien. Hieronder is een kostenverdeling weergegeven van de verbruiksgoederen op basis van de kostenberekeningen.



Figuur 11: Kostenverdeling verbruiksgoederen o.b.v. kostenberekeningen

De vastgestelde kosten zijn vergeleken met de kosten van standard modules. De extra kosten voor een TESSERA module bedragen 0,83 eurocent/Wp. De kostenverdeling is weergegeven in Tabel II.

Tabel II Kostenverdeling TESSERA module

19 % extra personeel	0.04 €ct/Wp
40 % extra apparatuur	0.26 €ct/Wp
0.5 % extra celbreuken	0.16 €ct/Wp
10% meer module materiaal	0.37 €ct/Wp
<b>Totaal</b>	<b>0.83 €ct/Wp</b>
	1.65 % duurder dan de back-contact standaard

De kosten vallen dus 1,65% hoger uit voor TESSERA dan voor standaardmodules, maar op jaarbasis is de opbrengst zo'n 4% hoger. Hieruit blijkt dat het TESSERA-concept ook kosteneffectief is.

### 1.1. Conclusies en aanbevelingen

Het TESSERA-concept is gedemonstreerd en werkt volgens de voorspelde schaduwreactie. Bij de productie van full-size modules treden enkele problemen op die oplosbaar zijn. De krimp van de EVA kan waarschijnlijk vermeden worden door het beschermfolie voor het ponsen te verwijderen. Dit experiment wordt voortgezet in het vervolgproject SSTM. Het probleem van uitlijning van de achterzijde contacten wordt ook in dit project geadresseerd. Er zijn gesprekken gaande met de cellederancier en nieuwe tests zijn voorzien. De verwachting is dat met deze aanpassingen modulefabricage mogelijk is. Aan de integratie van de diode moet meer aandacht besteed worden. Hoewel is aangetoond in een aantal testen bij ECN dat deze werkt, bleek de fabricage van kleine laminaten bij Eurotron niet mogelijk. Om de oorzaak van dit probleem te ontdekken is verdere analyse van de laminaten nodig.



Een andere optie is een concept zonder diodes. In dit concept worden cellen gebruikt die bij het aanleggen van een negatieve spanning een verbeterd resultaat geven. Dit onderzoek vindt plaats binnen het SSTM-project.

De berekeningen tonen aan dat de toename in efficiëntie groter is dan de extra kosten van het paneel en systeem. Daarmee is het voordeel van het TESSERA concept in het geval van schaduw aangetoond.

## 2.1. Wijzigingen en problemen in de uitvoering van het project

### *Organisatie*

In principe is het project volgens plan uitgevoerd tot aan het laatste stadium van het project. Er zijn twee wijzigingsverzoeken ingediend en goedgekeurd:

1. In het originele plan was een serieconnectie van kleine cellen voorzien, maar in de ontwerpfase is een optimaler ontwerp ontstaan dat gebaseerd is op een combinatie van seriële en parallelle connecties.
2. Er is een aanzienlijke vertraging ontstaan in de levering van cellen door de fabrikant. Ondertussen zou de voorbereiding van de fabricage van modules doorgang vinden, maar waren de taken niet voldoende omschreven. Dit heeft geleid tot een vertraging in de bestelling van moduleglas. Om de modules te kunnen maken is een projectverlenging van drie maanden aangevraagd en geaccordeerd.

### *Technologie*

Een aantal technologische knelpunten deden zich voor aan het einde van het project tijdens de modulefabricage. Deze problemen betroffen de integratie van diodes tijdens laminering, celpositionering, het krimpende EVA, en uitlijning van de metalen contactpunten op de cellen. Hierdoor kon de testopstelling op het dak niet gerealiseerd worden en buitenmetingen niet uitgevoerd worden.

## Beschrijving van de bijdrage van het project aan de doelstellingen van de regeling (duurzame energiehuishouding, versterking van de kennispositie)

De TKI Solar heeft als doel mogelijk te maken dat 3% van alle elektriciteit in 2020 gegenereerd wordt door middel van PV, en in 2030 een concurrerende positie voor PV in de elektriciteitsproductie (inclusief commercieel en industrie) realiseren. Om dit doel te bereiken zijn drie programmalijnen gedefinieerd: ontwikkelingen in wafer-based siliciumtechnologie (WBS), systeemtoepassingen en dunne film technologie. Dit project draagt bij aan het WBS programma, met als doel de ontwikkelde oplossing toe te passen in projecten in de gebouwde omgeving (BAPV). Integratie in gebouwen en infrastructuur (BIPV) zal in een volgende stap aangepakt worden. De volgende doelstellingen van het WBS-programma zijn in dit project geadresseerd:

1. Ontwikkeling van innovatieve technologie voor wafer-based cellen en modules.
2. Toepassing van nieuwe materialen en geavanceerde cel- en moduleconcepten, inclusief toepassing van specifieke oplossingen, in combinatie met de relevante fabricageprocessen en –apparatuur.
3. De productiekosten van de module moeten minder dan 0,40 €/Wp zijn, en op systeemniveau 0,8-1,0 €/Wp waarbij elektriciteitsproductiekosten 0,08 -0,10 €/Wp bedragen.
4. Hoogrendementspanelen met een rendement van 24% op paneel niveau, of 22% via oplossingen met lagere kosten.
5. Bijdragen aan een hogere omzet van de Nederlandse PV-sector (bijv. via export) en creatie van banen. In 2020 moet een omzet van 2 miljard bereikt worden en 7500 FTE werkzaam zijn in deze sector.

De voornaamste bijdragen worden geleverd aan doelstellingen 2,3 en 5. 1 en 4 vereisen nieuwe zonnecel- en moduletechnologie. Deze ontwikkelingen kunnen in INHYPE-modules worden geïntegreerd, voor zover van toepassing. Een ander doel van het wafer-based programma betreft duurzame panelen, verminderen van toepassing van zeldzame materialen, verlenging van de levensduur en ontwerp van recyclebare modules. Hoewel dit niet direct



de focus van dit project is, wordt verwacht dat oplossingen voor dit onderwerp verwerkt kunnen worden in de INHYPE-module.

### Spin off binnen en buiten de sector

Op dit moment is er geen directe spin-off van het project naar het bedrijfsleven. Er is een vervolg TKI project gestart waarin de technologie verder wordt ontwikkeld en waar met name de automatisering van de productie zal worden aangepakt. De verwachting is dat na afloop van dat project de spin-off naar de markt kan plaatsvinden.

### Overzicht van openbare publicaties over het project en waar deze te vinden of te verkrijgen zijn

Lijst van publicaties en presentaties: beschikbaar via ECN Solar Energy.

Maarten de Bruijne, Mark J. Jansen, Koen M. de Groot, Anna J. Carr, Lars G. Okel, Mario J.H. Kloos, Wilma Eerenstein, Rudi Jonkman, Robert van der Sanden, Jan Bakker, Bart de Gier, Adriaan Harthoorn	29th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Amsterdam, 22-26 september 2014	SHADE PERFORMANCE OF A NOVEL HIGH-VOLTAGE BACK-CONTACT MODULE	Poster en paper
W. Eerenstein, M.J. Jansen, K.M. de Groot, A.J. Carr, L.A.G. Okel, M.J.J.A. Goris, J.A.M. van Roosmalen, E.E. Bende, Rudi Jonkman, Robert van der Sanden, Jan Bakker, Bart de Gier, Adriaan Harthoorn	30th European PV Solar Energy Conference and Exhibition (EUPVSEC 2015), Hamburg, Duitsland, 14-18 september 2015	TESSERA: MAXIMIZING PV YIELD PERFORMANCE WITH SIZE FLEXIBILITY FOR BIPV	Poster en paper
Anna J. Carr, Koen de Groot, Mark J. Jansen, Evert E. Bende, John van Roosmalen, Lars Okel and Wilma Eerenstein, Rudi Jonkman, Robert van der Sanden, Jan Bakker, Bart de Gier, Adriaan Harthoorn	IEEE PVSC 42 2015	Tessera: Scalable, Shade Robust Module	Poster en paper Bekroonde Poster
Wilma Eerenstein	7th Back Contact Workshop , Freiburg, 4-5 november 2015	Back Contact Applications	presentatie
Wilma Eerenstein	Intersolar, München, 10 June 2015	Scalable, Shade Robust Modules	presentatie
J.C.P. Kester, W. Eerenstein, A.J. Carr, K.M. de Groot, L. Okel, M.J. Jansen, E.E. Bende, J.A.M. van Roosmalen , J. Bakker, B. de Gier, R. Jonkman, R. van der	Advance Building Skins	Tessera: a size-flexible, shade robust PV system for integration in roofs and facades	presentatie



Sanden, A. Harthoorn			
Anna J. Carr, Mark J. Jansen, Maarten de Bruijne, Lars Okel, Mario Kloos, Wilma Eerenstein	40th IEEE Photovoltaics Specialists Conference, 8-13 June 2014, Denver, USA	A High Voltage MWT Module with Improved Shadow Performance	Poster and paper

### Meer exemplaren van dit rapport

Meer exemplaren van dit rapport kunnen digitaal worden verkregen via het hieronder genoemde contact.

### Contact voor meer informatie

Meer informatie over dit project kan verkregen worden via:

- Mevrouw L.H. Slooff-Hoek, ECN, slooff@ecn.nl.

### Subsidie

Vermelding van de verkregen subsidie op de volgende manier:

*“Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.”*

### Literatuur

- [1] M. Späth, P. C. de Jong, I. J. Bennett, T. P. Visser, J. Bakker, Proceedings of the 33<sup>rd</sup> IEEE Photovoltaic Specialists Conference, (2008), 174-179.
- [2] Patent ‘Assembly of photo-voltaic cells’, M.J. Jansen, A.J Carr, E.E. Bende, J.A.M. van Roosmalen, B. Heurtault, N. Guillevin. Patent nr P102235NL00.
- [3] W. Eerenstein et al., to be presented and published at the Renewable Energy World conference, Cologne, 3-5 June 2014.