

# Kennis- en onderzoeks- infrastructuur zonne-energie systemen en toepassingen in Nederland

een inventarisatie



Rijksdienst voor Ondernemend  
Nederland



**TKI Urban Energy**

*solar & smart energy solutions*

# 1. Inleiding

De overheid is samen met de topsector energie verantwoordelijk voor het programmeren en organiseren van publiek-privaat onderzoek in Nederland op het gebied van energie. Een belangrijk aandachtsgebied hierbinnen vormt onderzoek gericht op zon-pv. Om dit effectief en efficiënt te kunnen doen is het van belang om een goed overzicht te hebben van de expertise en faciliteiten die er in de sector beschikbaar zijn om dit onderzoek uit te kunnen voeren.

Onderzoeksorganisaties in Nederland die zich specifiek richten op zonne-energie systemen en toepassingen spelen een belangrijke rol in het programmeren en uitvoeren van het innovatieprogramma van de Urban Energy. Dit geldt bij uitstek voor de programmalijnen 1 (Zonnestroomtechnologie) en 3 (Multifunctionele bouwdelen), maar ook – zij het in mindere mate – voor de programmalijnen 2 (Warmte en koude installaties), 4 (Flexibele energie-infrastructuur) en 5 (Energieregelsystemen en -diensten).

In dit verband heeft RVO gevraagd aan SEAC om de relevante Nederlandse onderzoeksorganisaties (inclusief HBO), onderzoeksgroepen en onderzoeksleiders op het gebied van PV Systemen en Toepassingen te inventariseren. Interessante aspecten hierbij zijn het kwantificeren van het aantal actieve onderzoekers per onderzoeksgroep, en het benoemen van relevante focusgebieden, specifieke expertise en faciliteiten per onderzoeksgroep. Met deze gegevens dienen de betrokkenen bij de programmering van de onderzoeksagenda zonne-energie te kunnen beoordelen in hoeverre er meer afstemming en coördinatie over al deze onderzoeksgroepen nodig is, kan het veld eenvoudiger bepalen waar men welke expertise en faciliteiten beschikbaar heeft en kunnen witte vlekken worden geïdentificeerd. Met deze informatie zullen publiek-private innovatieprojecten eenvoudiger en sneller opgezet kunnen worden en zal naar verwachting de kwaliteit van deze projecten omhoog gaan.

De RVO contactpersoon voor dit werk is Marco Kolkman (project referentie is TSE1515019).

Wiep Folkerts  
Maart 2016.

## **2. Methodologie**

In een bijeenkomst op 6 januari 2016 in Utrecht is met negen primaire contactpersonen de opzet en doelstellingen van deze inventarisatie besproken. Deze negen contactpersonen (zie appendix B) vertegenwoordigen in dezen de onderzoeksgroepen op het gebied van zonne-energie systemen en toepassingen, van ECN, TNO, SEAC, Universiteit Utrecht, TU Delft, TU Eindhoven, Universiteit Twente, Zuyd Hogeschool en Radboud Universiteit.

In deze bijeenkomst is ook gezamenlijk de indeling van het vakgebied “zonne-energie systemen en toepassingen” in acht deelonderwerpen vastgesteld, alsmede de afbakening van het vakgebied ten opzichte van aanpalende vakgebieden. Het resultaat van die definiërende exercitie is beschreven in paragraaf 3.

Paragraaf 4 geeft een beschrijving van de onderzoeksgroepen. De informatie waarop paragraaf 4 is gebaseerd, is verzameld met behulp van gerichte mailings. In een eerste mailing werd aan de negen primaire contactpersonen gevraagd een invulformat in te vullen (zie Appendix A). In parallel is de lijst van contactpersonen gereviewd en aangevuld door deze negen personen. De totale lijst van contactpersonen vindt u in Appendix B.

In een tweede mailing zijn vervolgens de negen primaire contactpersonen plus de contactpersonen vanuit de zeven additionele instituten benaderd met de vraag om aanvullingen en correcties op de eerste draft rapportage te geven. De genoemde literatuurreferenties in paragraaf 4 zijn grotendeels door de onderzoeksleiders aangeleverd.

Het plan van aanpak en de lijst van contactpersonen zijn in februari 2016 afgestemd met RVO en met de TKI Urban Energy.

## 3. Definitie van het onderzoeksgebied

### 3.1. Deelonderwerpen

We kunnen het onderzoeksveld zonne-energie systemen en toepassingen beschrijven aan de hand van de volgende acht deelonderwerpen.

<i>Deel-onderwerpen</i>	<i>Kernvraag</i>	<i>Mapping op de TKI programmalijnen</i>
1. BIPV	Hoe kunnen PV producten succesvolle bouwproducten worden?	3
2. PV integratie in infrastructuur	Hoe kunnen we PV op een succesvolle manier integreren in de fysieke infrastructuur?	3
3. Schaduwtolerante PV oplossingen	Wat zijn goede PV oplossingen voor situaties met partiële beschaduwing?	1,3
4. PV Systeemconfiguratie	Wat zijn de beste systeemoplossingen voor PV in de gebouwde omgeving, ook in combinatie met lokale opslag?	3,4,5
5. ST, PVT en CPV systemen	Hoe kunnen ST, PVT en CPV systemen succesvol toegepast worden in de verschillende situaties van energiegebruik inclusief warmte?	2,3,4
6. PV in het energiesysteem	Hoe kunnen we grote hoeveelheden PV optimaal integreren in ons energiesysteem?	1,4,5
7. PV en mobiliteit	Hoe kunnen PV en elektrische mobiliteit elkaar versterken?	4,5
8. Speciale PV oplossingen	Hoe kan PV succesvol zijn in bijzondere toepassingen, zoals off-grid, consumentenproducten, glastuinbouw en woestijnen?	1,3

Onderzoeksorganisaties in Nederland die zich bezighouden met zonne-energie systemen en toepassingen spelen een belangrijke rol in het programmeren en uitvoeren van het innovatieprogramma van de Urban Energy.

Dit geldt bij uitstek voor de programmalijnen 1 (Zonnestroomtechnologie) en 3 (Multifunctionele bouwdelen), maar ook voor de programmalijnen 2 (Warmte en koude installaties), 4 (Flexibele energie-infrastructuur) en 5 (Energieregelsystemen en -diensten).

### 3.2. Onderzoeksaspecten

Voor elk van de 8 deelonderwerpen kunnen we een aantal onderzoeksaspecten formuleren, gekoppeld aan onderzoeksvragen.

	Onderzoeksaspecten							
Deel-onderwerpen	Technologie-ontwikkeling	Product- en systeem-ontwikkeling	Reliability testing	Veldtesten en performance modellen	Waarde proposities en benchmarking	Economische analyse en business modellen	Marketing strategie	Studies mbt sociale acceptatie en beleid
1 BIPV								
2 PV integratie in infrastructuur								
3 Schaduwtolerante PV oplossingen								
4 PV Systeemconfiguraties								
5 ST, PVT en CPV Systemen								
6 PV in het energiesysteem								
7 PV en mobiliteit								
8 Speciale PV oplossingen								

Het in dit rapport beschreven onderzoeks-ecosysteem richt zich met name op de hierboven in kleur aangegeven onderzoeksaspecten:

- Product- en systeemontwikkeling: design van innovatieve producten en systemen, zodanig dat een optimale afweging tussen functionaliteit, kosten en maakbaarheid bereikt wordt.
- Reliability testing: het gebruik van (versnelde) levensduurtesten en kwaliteitsbeproevingen, vaak gerelateerd aan normen en certificeringscriteria. Hiervoor worden o.a. klimaatkamers gebruikt.
- Veldtesten en performance modellen: hier gaat het om outdoor testopstellingen die o.a. gebruikt worden om opbrengstmodellen te ontwikkelen voor innovatieve producten.
- Waardeproposities en benchmarking: hier gaat het om analyse van de marktwaarde van innovaties in relatie tot wat al bestaat of wat elders ontwikkeld wordt.
- Economische analyse en business modellen: dit betreft ook kostenmodellen en kostenroadmaps, LCOE berekeningen. Vanuit business modellen (rollen en schema's) kunnen business cases (in euro) afgeleid worden.
- Marketing studies: dit betreft analyse van marktsegmentaties en marktstrategieën.

### **3.3. Afbakening ten opzichte van aanpalende onderzoeksgebieden**

Een nader begrip van deze definitie wordt verkregen door een afbakening ten opzichte van aangrenzende onderzoeksgebieden te formuleren.

In het algemeen rekenen we onderzoeksgroepen die zich voornamelijk bezig houden met PV technologie in de zin van c-Si technologie en dunne film PV technologie niet tot dit onderzoeksveld. Vanzelfsprekend wordt in deze groepen technologie ontwikkeld gericht op succesvolle toepassing, echter het inhoudelijke ontwikkelwerk richt zich daarbij op technologie t/m het functioneel geëncapsuleerd laminaat. In Nederland verwijzen we hiervoor naar Solliance (dunnefilm PV) en ECN Solar (kristallijn Silicium PV).

Het onderzoeksgebied zonne-energie systemen en toepassingen neemt een PV laminaat (c-Si of dunne film) als startpunt (behalve bij deelonderwerp 5).

Er bestaat ook een raakvlak tussen het onderzoeksveld zonne-energie systemen en toepassingen en het onderzoeksveld Smart Grids, met name op deelonderwerp 6. Hierbij is o.a. relevant op welke schaalgrootte de onderzoeksactiviteit zich richt (lokaal, district, nationaal+). We definiëren de afbakening als volgt:

De volgende onderzoeksactiviteiten nemen we wel mee:

- Ontwerp van PV systemen die "smart-grid ready" zijn (lokaal)
- PV systeemconfiguraties met lokale opslag (lokaal)
- PV modules met geïntegreerde opslag (lokaal)
- PV opbrengst voorspelling (lokaal t/m nationaal+)
- Monitoring van PV opbrengst en Performance Ratio studies (lokaal t/m nationaal+)
- Studies mbt O&M van PV (lokaal t/m nationaal+)
- Studies mbt solar mapping, solar potential en solar penetration scenario's (lokaal t/m nationaal+)

De volgende onderzoeksactiviteiten nemen we niet mee in onze afbakening:

- Onderzoek waar de focus ligt op architectuur van een smart grid
- Onderzoek waar de focus ligt op communicatietechnologie rond smart grids
- Onderzoek waarbij de focus ligt op business modellen rond smart grids.

## 4. Onderzoeksorganisaties en onderzoeksgroepen

### 4.1. ECN Petten

Onderzoeksgroep: PV Modules & Applications  
 Onderzoeksleider: Peter Blokker (blokker@ecn.nl)  
 Totaal aantal onderzoekers in de groep: 17  
 Totaal aantal onderzoekers dat zich met het beschreven onderzoeksterrein bezighoudt: 17

#### Expertise

De groep is betrokken bij een groot aantal projecten op met name de deelonderwerpen BIPV, integratie in infra, schaduwtolerantie, PV systeemconfiguraties en specials (1 t/m 4 en 8). Er is daarbij speciale aandacht voor Smart, bifacial en desert-proof modules. Binnen het onderwerp BIPV richt ECN Petten zich voornamelijk op ontwikkeling van innovatieve module concepten, reductie van kosten en het verhogen van de duurzaamheid van de modules. De groep heeft expertise op het gebied van module materialen, het laminatie proces, duurzaamheidstesten en het karakteriseren van cellen en modules.

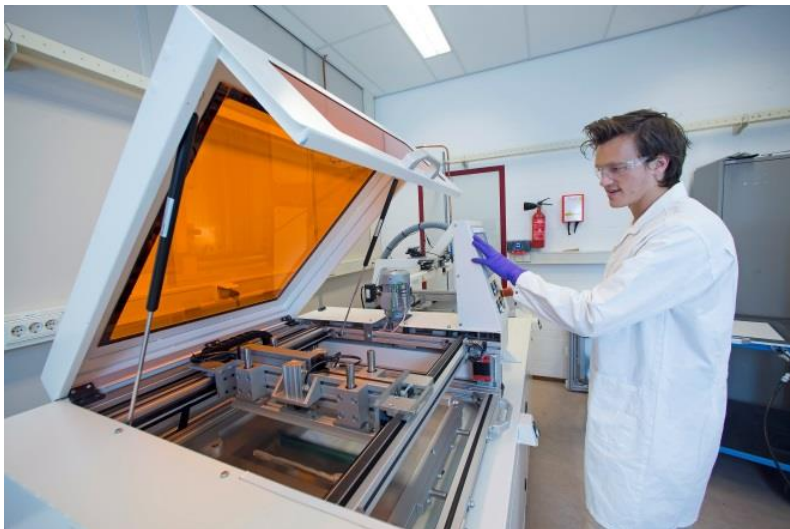
	Onderzoeksaspecten							
Deel-onderwerpen	Technologie-ontwikkeling	Product- en systeem-ontwikkeling	Reliability en levensduur	Veldtesten en performance modellen	Waarde proposities en benchmarking	Economische analyse en business modellen	Marketing strategie	Studies mbt sociale acceptatie en beleid
1. BIPV		ECN	ECN					
2. PV integratie in infrastructuur		ECN	ECN					
3. Schaduwtolerante PV oplossingen		ECN	ECN					
4. PV systeemconfiguraties		ECN	ECN	ECN				
5. ST, PVT en CPV systemen								
6. PV in het energiesysteem								
7. PV en mobiliteit								
8. Speciale PV oplossingen		ECN	ECN	ECN				

### *Faciliteiten*

- Module prototyping: zowel back contact als tabbing/stringing
- Uitgebreid karakterisatie-lab: o.a. IV, DLIT, EL, hotspot testing



- BIPV Element Lab. Faciliteit (BEL) waarin BIPV prototypes gemaakt worden en als element getest (o.a. klimaatkamer testen en mechanische proeven)



- Mogelijkheden voor het bepalen van module duurzaamheid met o.a. klimaatkamers, hail gun, coating tests, corrosie tests
- Uitgebreid karakterisatie lab voor onderzoek naar materiaal degradatie, specificaties en ingangscontrole
- Cell-to-module-system modellering en optimalisering, CoO berekeningen op cel en module niveau en LCoE berekeningen



- Outdoor module testlab waar synchroon elke 10 min de IV meting van 30 PV modules inclusief volledige meteo gegevens worden verzameld

### *Publicaties*

Wim C. Sinke: "Van toekomstdroom naar terawatts. Wetenschap en technologie voor de eeuw van de zon". Rede uitgesproken bij de aanvaarding van het ambt van hoogleraar Photovoltaic Energy Conversion, 4 februari 2016.

Bandou, F.; Hadj Arab, A.; Belkaid, M.S.; Rosca, V.; Guichoux, M.G.; Eerenstein, W.; Roosmalen, J.A.M. van; Logerais, P.O.: "Reliability of back-contact MWT modules under hot and humid conditions", British Journal of Applied Science & Technology, Ed.13, p.1-10, 2016.

P.M. Sommeling, W. Eerenstein, M.J.A.A. Goris: "ANTI-SOILING COATINGS FOR PV MODULES", EUPVSEC 2015.

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: "TESSERA: MAXIMIZING PV YIELD PERFORMANCE WITH SIZE FLEXIBILITY FOR BIPV", EUPVSEC 2015.

## 4.2. TNO

Programma: Energy Built Environment  
 Programmaleider: Huub Keizers (huub.keizers@tno.nl)  
 Totaal aantal onderzoekers dat zich met  
 het beschreven onderzoeksterrein bezighoudt: 15

### Expertise

Het werk van TNO op dit vakgebied heeft een focus op multifunctionele bouwdelen, gebouwintegratieaspecten, life cycle costs, glastuinbouw en energieopwekking, -opslag en -management in gebouwen.

Het cluster Innovatie Centrum Bouw is hierin belangrijk en er lopen productontwikkeling- en producttoepassingslijnen op zon PV en zonthermische systemen in samenwerking met Solliance en SEAC.

TNO heeft toegang tot meetdata uit de stroomversnelling renovatieprojecten.

Deel-onderwerpen	Onderzoeksaspecten							Studies mbt sociale acceptatie en beleid
	Technologie-ontwikkeling	Product- en systeem-ontwikkeling	Reliability en levensduur	Veldtesten en performance modellen	Waardeproposities en benchmarking	Economische analyse en business modellen	Marketing strategie	
1. BIPV		<b>TNO</b>	<b>TNO</b>					
2. PV integratie in infrastructuur		<b>TNO</b>	<b>TNO</b>					
3. Schaduwtolerante PV oplossingen								
4. PV systeemconfiguraties								
5. ST, PVT en CPV systemen		<b>TNO</b>	<b>TNO</b>					
6. PV in het energiesysteem		<b>TNO</b>	<b>TNO</b>					
7. PV en mobiliteit								
8. Speciale PV oplossingen								

De relevante kernexpertises van TNO zijn:

- Levensduuraspecten van bouwproducten
- Warmte in gebouwen (gebruik, opslag, opwekking, transport)



Daarnaast is TNO trekker van het vakgebied "integratie van PV in wegdek", onder leiding van Sten de Wit. Hiervoor is een proeftraject (fietspad) aangelegd bij Krommenie.

#### *Faciliteiten*

- MEC-Bouwlab. Klimaatkamers om bouwproducten te testen op 30 jaar weers- en gebruikersinvloeden.



- Thermische infrastructuur voor onderzoek aan thermische opslag en thermisch transport.
- Rekentools om de energiehuishouding in gebouwen te bepalen.
- Triltafel samen met microscopische analyse met name interessant voor wegebouw en structuur delen (incl. gebruik en analyse nieuwe PV materialen en materiaaltoepassingen en Solaroad).

#### *Publicaties*

Bluyssen, P.M., Cox, C.W.J.: "Comfort and well-being in passive solar buildings. Results from a european Audit". 23rd International Conference on Passive and Low Energy Architecture, PLEA 2006.

J. van Deelen, L. Klerk, M. Barink, Optimized grid design for thin film solar panels, Solar Energy 107 (2014) 135-144

T. Dijkmans, R. Donkervoort, H. Phaff, S. Valcke, Design challenges for a climate adaptive multi-functional lightweight prefab panel for energy-efficient retrofitting of residential buildings based on one room model simulation, ICBEST, June 2014

C. Geurts, C. van Bentum, A novel guideline for wind loads on solar energy systems, ICBEST, June 2014

M. Wit, S. de Klerks Solaroad, het wegdek als zonnepaneel. Nederlands tijdschrift voor natuurkunde, september 2015

### 4.3. SEAC

Onderzoeksgroep: Solar Energy Application Centre  
 Onderzoeksleider: Wiep Folkerts (folkerts@seac.cc)  
 Totaal aantal onderzoekers in de groep: 7  
 Totaal aantal onderzoekers dat zich met het beschreven onderzoeksterrein bezighoudt: 7

#### Expertise

SEAC is een gezamenlijk onderzoekscentrum van ECN en TNO, gelokaliseerd in Eindhoven. SEAC richt zich met name op de deelonderwerpen BIPV, PV integratie in de infrastructuur, schaduwtolerante PV oplossingen, PV systeemconfiguraties en ST, PVT en CPV systemen. Daarbinnen heeft SEAC zich gespecialiseerd in benchmark studies, outdoor veldtesten, data analyse, performance modellen, kosten-modellen en business modellen.

Bij integratie-concepten van PV in de infrastructuur is een belangrijke SEAC expertise daarnaast de kennis mbt de *primaire functie* van het betreffende object. Bij geluidsschermen is dat geluidswering en bij stortplaatsen het op een verantwoorde manier voor lange tijd storten van niet recyclebaar afval. De energie-opwekking mag niet ten koste gaan van de primaire functie.

	Onderzoeksaspecten							
	Technologie-ontwikkeling	Product- en systeem-ontwikkeling	Reliability en levensduur	Veldtesten en performance modellen	Waardeproposities en benchmarking	Economische analyse en business modellen	Marketing strategie	Studies mbt sociale acceptatie en beleid
<b>Deel-onderwerpen</b>								
1. BIPV				seac	seac	seac		
2. PV integratie in infrastructuur				seac	seac	seac		
3. Schaduwtolerante PV oplossingen				seac	seac	seac		
4. PV systeemconfiguraties				seac	seac	seac		
5. ST, PVT en CPV systemen				seac	seac	seac		
6. PV in het energiesysteem								
7. PV en mobiliteit								
8. Speciale PV oplossingen								

Ter illustratie hieronder een foto van een opstelling voor PV geïntegreerde geluidsschermen. Dit is een tijdelijke opstelling in Den Bosch, genaamd SONOB.



En van een opstelling voor PV op stortplaatsen. Deze is gelokaliseerd op de Maasvlakte.



### *Faciliteiten*

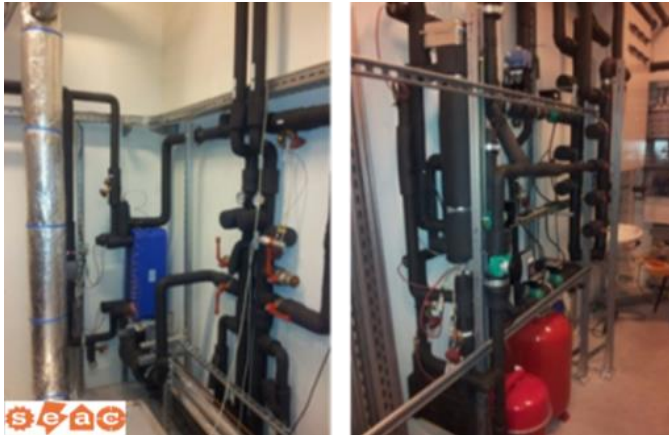
- MLPM proeftuin: 3x 1.5 kWp systeem met power analyser, t.b.v. onderzoek aan (micro-)omvormers, power optimizers en schaduwgerelateerde verliezen (locatie Eindhoven).



- BIPV proeftuin ("SolarBEAT"), samen met TU/e: 6x BIPV huis met elk 30 m2 dak/geveloppervlak met weerstation en centrale database. Electricische meet-infrastructuur, t.b.v. BIPV onderzoek.



- Meet-infrastructuur voor zon-thermisch onderzoek. De proeftuin SolarBEAT is ook voorzien van primaire en secundaire loops voor nauwkeurige analyse van warmtestromen, flow rates en temperaturen. Hiermee worden veldopstellingen voor ST en PVT geanalyseerd.



### *Publicaties*

R.M.E. Valckenborg<sup>1</sup>, J.L.M. Hensen, W. Folkerts and A. de Vries: CHARACTERIZATION OF BIPV(T) APPLICATIONS IN RESEARCH FACILITY 'SOLARBEAT', EUPVSEC 2015.

K. Sinapis, C. Tzikas, G. Litjens, M. van den Donker, W. Folkerts, W. van Sark, A. Smets: YIELD MODELLING FOR MICRO INVERTER, POWER OPTIMIZER AND STRING INVERTER UNDER CLEAR AND PARTIALLY SHADED CONDITIONS, EUPVSEC 2015.

M.N. van den Donker, B. Hauck, R. Valckenborg, K. Sinapis, G.B.M.A. Litjens, W. Folkerts, R. Borro, W. Passlack: HIGH THROUGHPUT ROOF RENOVATION USING PREFABBED AND PREWIRED WATERTIGHT PV INSULATION ELEMENTS, EUPVSEC-2014.

G. Verberne, P. Bonomo, F. Frontini, M.N. van den Donker, A. Chatzipanagi, K. Sinapis, W. Folkerts: BIPV PRODUCTS FOR FAÇADES AND ROOFS: A MARKET ANALYSIS, EUPVSEC-2014.

K. Sinapis, M.N. van den Donker, G.B.M.A. Litjens, P.P. Michiels, E.J.M.G. Philipse, A. van Hese, W. Folkerts, THE GLASS-GLASS AESTHETIC ENERGY ROOF: THERMAL BEHAVIOR FOR VARIOUS VENTILATION LEVELS, EUPVSEC-2013.

#### 4.4. Universiteit Utrecht

Onderzoeksgroep: Zonne-energie (Groep Energy&Resources, Copernicus Instituut, Faculteit Geowetenschappen)












Onderzoeksleider: Wilfried van Sark (w.g.j.h.m.vansark@uu.nl)

Totaal aantal onderzoekers in de groep: 10

Totaal aantal onderzoekers dat zich met het beschreven onderzoeksterrein bezighoudt: 10

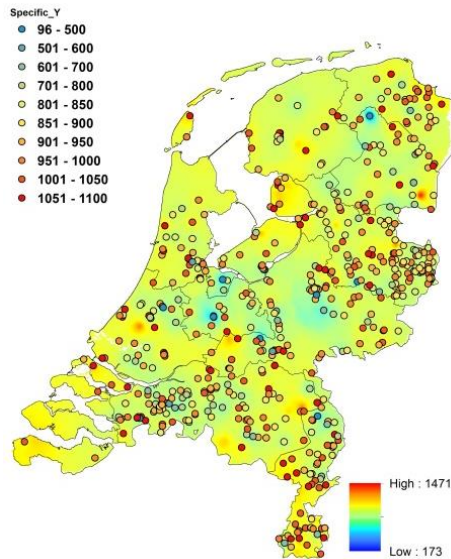
##### Expertise

Een kernexpertise van deze groep is gebaseerd op toegang tot en analyse van een grote hoeveelheid data van real-time systemen. In relatie daarmee speelt de groep ook een belangrijke rol in de TeldeZon campagne, die in 2016 voor de derde maal werd georganiseerd. De focus van de groep is op de deelonderwerpen BIPV, schaduwtolerantie, PV systeemconfiguraties, PV in het energiesysteem en PV en mobiliteit. Binnen het onderwerp BIPV is er speciale aandacht voor life cycle analysis (LCA) van BIPV (onder meer als onderdeel van de IEA-PVPS-Task 15) en ontwikkeling van concepten gebaseerd op luminescent solar concentrators (LSC). De Electric Mondrian is daar een succesvol en tastbaar voorbeeld van.

Deel-onderwerpen	Onderzoeksaspecten							Studies mbt sociale acceptatie en beleid
	Technologie-ontwikkeling	Product- en systeem-ontwikkeling	Reliability testing	Veldtesten en performance modellen	Waardeproposities en benchmarking	Economische analyse en business modellen	Marketing strategie	
1. BIPV								
2. PV integratie in infrastructuur								
3. Schaduwtolerante PV oplossingen								
4. PV systeemconfiguraties								
5. ST, PVT en CPV systemen								
6. PV in het energiesysteem								
7. PV en mobiliteit								
8. Speciale PV oplossingen								

Recent is een project Scalable Shade Tolerant Modules gestart, alsmede een project om tegenvallende performance van PV systemen te automatisch analyseren (AMDIS).

Binnen deelonderwerp "PV in het energiesysteem" is er met name aandacht voor demand side management, solar forecasting, smart grid pilot and smart sustainable districts en GIS modeling voor locale (3D) PV potentieel berekeningen. GIS modeling betekent Graphical Information System modeling, dat wil zeggen dat verschillende databases ge-mapt worden op dezelfde ruimtelijke ondergrond ("een kaart"), waardoor conclusies getrokken kunnen worden mbt ruimtelijke scenario's.



Een GIS kaart van specifieke jaaropbrengst in kWh/kWp.

Als illustratie van de genoemde expertise noemen we:

- Fieldtest van 200 PV systemen in de provincie Utrecht, met ~2 sec tijdsresolutie in opgewekt vermogen ten behoeve van solar forecasting.
- Sterke betrokkenheid bij smart solar charging in wijk Lombok met 20 bidirectionele laadpalen.
- Database van performance van >25.000 PV systemen met tenminste uurlijkse productie voor een groot aantal landen (in het kader van IEA-PVPS-Task 13)

UU is daarnaast bezig een BIPV onderwijsmodule te ontwikkelen samen met WIP, Deloitte, University of Cyprus en TU Wenen binnen Erasmus+, in het kader van het project Dem4BIPV ([www.dem4bipv.eu](http://www.dem4bipv.eu)).

### *Faciliteit*

- UPOT test centrum. Testbank voor circa 24 panelen van diverse technologieën, gecombineerd met instralings-, spectrum- en temperatuurmetingen, en skycam voor cloud analyse.



### *Plannen:*

- UPOT2 test centrum, in aanbouw. Testbank voor circa 24 panelen als onderdeel van het Silicon Competence Centre 2 project, waarin nieuwe moduleconcepten outdoors worden getest.
- 1.2 MW installatie, mid-2016 gereed, op 8 UU gebouwen. Ruim 4000 panelen met Oost, West en Zuid oriëntatie met power en instralingsmonitoring.

### *Publicaties:*

W.G.J.H.M. van Sark, J.G. Schepers, J.D.A.M. van Wees: The growing role of photovoltaic solar, wind and geothermal energy as renewables for electricity generation, Chapter 2 in Sustainability Assessment of Renewables-Based Products: Methods and Case Studies, J. Dewulf, S. De Meester, R. Alvarenga (Eds.), Wiley, 2016, pp. 19-36.

A.G.R. Vaz, B. Elsinga, W.G.J.H.M. van Sark, M.C. Brito: An artificial neural network to assess the impact of neighbouring photovoltaic systems in power forecasting in Utrecht, the Netherlands, Renewable Energy 85 (2016) 631- 641.

K. Sinapis, G. Litjens, M. van den Donker, W. Folkerts, W. van Sark: Outdoor characterization and comparison of string and module level power electronics under clear and partially shaded conditions, Energy Science & Engineering 3 (2015) 510-519.

B.B. Kausika, O. Dolla, W. Folkerts, B. Siebenga, P. Hermans, W.G.J.H.M. van Sark: Bottom up analysis of the solar photovoltaic potential for a city in the Netherlands - a working model for calculating the potential using high resolution LiDAR data, Proceedings 4th International Conference on Smart Grids and Green IT Systems (SMARTGREENS-2015) 2015, pp. 129-135.

M.van der Kam, W. van Sark: Smart charging of electric vehicles with photovoltaic power and vehicle-to-grid technology in the residential sector: a case study, Applied Energy 152 (2015) 20-30.

W. van Sark: Will luminescent solar concentrators surpass the 10% device efficiency limit? SPIE Newsroom 25 September 2014 (2014), 3 pp.

## 4.5. TU Eindhoven

	Onderzoeksaspecten							
Deel-onderwerpen	Technologie-ontwikkeling	Product- en systeem-ontwikkeling	Reliability testing	Veldtesten en performance modellen	Waarde proposities en benchmarking	Economische analyse en business modellen	Marketing strategie	Studies mbt sociale acceptatie en beleid
1. BIPV		TU/e	TU/e	TU/e		TU/e	TU/e	
2. PV integratie in infrastructuur		TU/e				TU/e	TU/e	
3. Schaduwtolerante PV oplossingen						TU/e	TU/e	
4. PV systeemconfiguraties						TU/e	TU/e	
5. ST, PVT en CPV systemen			TU/e	TU/e		TU/e	TU/e	
6. PV in het energiesysteem						TU/e	TU/e	
7. PV en mobiliteit			TU/e	TU/e		TU/e	TU/e	
8. Speciale PV oplossingen						TU/e	TU/e	

Onderzoeksgroep: System Innovations & Sustainability Transitions, School of Innovation Sciences

Onderzoekleider: Geert Verbong (g.p.j.verbong@tue.nl)

Aantal onderzoekers in de groep: 10

Het onderzoek van de groep richt zich op de energietransitie en de rol van PV daarin (Smart Grids) en daarnaast ook op Smart Mobility (raakvlak Solar & mobility) en Smart Cities. Belangrijke thema's zijn de rol van gebruikers, business modellen en institutionele factoren.

Aantal onderzoekers actief op beschreven onderzoeksterrein: ca 3

Onderzoeksgroep: Building Performance & simulation

Onderzoekleider: Jan Hensen

Aantal onderzoekers in de groep: 20

Het onderzoek draagt bij aan de realisering van een energiepositieve en gezonde gebouwde omgeving. Het onderzoek van de groep richt zich op de technische oplossingen voor energieopwekking, opslag, distributie en energie efficiency en integreert en optimaliseert dit in ontwerp, constructie en gebruik van nieuwe en bestaande gebouwen.

De bijdrage aan dit onderzoeksveld ligt op het gebied van de bouwfysische aspecten van BIPV.

Aantal onderzoekers actief op de beschreven onderzoeksterrein: ca. 3

Onderzoeksgroep: Energy Technology and Heat Transfer

Onderzoeksleders: David Smeulders/Camilo Rindt

Het onderzoek van de groep richt zich op drie thema's: heat transfer and transitional flows, microscale interphase processes en small-scale renewable energy systems. Het onderzoek op het gebied van heat transfer (Rindt/Zondag) richt zich op zon-thermische energie (deelonderwerp 5)

Totaal aantal onderzoekers in de groep: 50  
Totaal aantal onderzoekers dat zich met  
het beschreven onderzoeksterrein bezighoudt: ca. 5

Daarnaast wordt er door studententeams aan de projecten "Stella" (solar PV familie auto) en "FAST" (FC auto op basis van waterstof uit mierenzuur) gewerkt.

#### *Faciliteiten*

- De SolarBEAT faciliteit voor BIPV onderzoek wordt gezamenlijk met SEAC geëxploiteerd (zie 4.3).
- Steady state solar simulator (Eternal Sun) en zon-thermische indoor karakterisatie.



#### *Plannen*

- Een smart grid proeftuin met gebruikersonderzoek gaat opstarten. Dit is interessant voor bijvoorbeeld netwerkbedrijven en aggregator-bedrijven die inzicht willen opbouwen in gebruikersgedrag ten behoeve van het ontwerpen van goede strategieën voor demand en supply matching.

#### *Publicaties:*

J.C.C.M. Huijben (2015), Mainstreaming solar: PV business model design under shifting regulatory regimes, PhD thesis TU Eindhoven.

Kasinalis, C., Loonen, R.C.G.M., Cóstola, D. & Hensen, J.L.M., Framework for assessing the performance potential of seasonally adaptable facades using multi-objective optimization. Energy and Buildings, 79, 106-113 (2014)









#### 4.6. TU Delft

Research departments & groups	Research Leaders	staff
<i>Department Electrical Sustainable Energy:</i>		
Photovoltaic Materials and Devices ( <b>PVMD</b> )	Arno Smets/Miro Zeman	5
DC Systems, Energy Conversion and Storage ( <b>DCE&amp;S</b> )	Pavol Bauer	7
Intelligent Electrical Power Grids ( <b>IEPG</b> )	Peter Palensky	5
<i>Department Architectural Engineering and Technology:</i>		
Climate Design and Sustainability ( <b>CDS</b> )	Andy van den Dobbelsteen	6

**Contactpersoon:** Prof. Dr. Ir. Arno Smets ([a.h.m.smets@tudelft.nl](mailto:a.h.m.smets@tudelft.nl))

Het totaal aantal onderzoekers dat zich met het in dit rapport beschreven onderzoeksterrein bezighoudt: 7

#### Expertise

	Onderzoeksaspecten							
Deel-onderwerpen	Technologie-ontwikkeling	Product- en systeem-ontwikkeling	Reliability testing	Veldtesten en performance modellen	Waarde proposities en benchmarking	Economische analyse en business modellen	Marketing strategie	Studies mbt sociale acceptatie en beleid
1. BIPV								
2. PV integratie in infrastructuur								
3. Schaduwtolerante PV oplossingen								
4. PV systeemconfiguraties								
5. ST, PVT en CPV systemen								
6. PV in het energiesysteem								
7. PV en mobiliteit								
8. Speciale PV oplossingen								

De PVMD groep richt zich op een breed scala van onderwerpen van het ontwikkelen van PV materialen tot het ontwerp van PV systemen. Projecten in dit kader zijn: ontwikkelen van hoog rendement silicium gebaseerde zonnecellen/modules (wafer en dunne film) en solar-to-fuel conversie cellen, karakterisatie van en modelering van BIPV elementen (zig-zag, bifacial, concentrator, rooftop-shaped), duurzame scholen in India, gekleurde PV modules, PV traffic signs & street lights, Dutch PV portal, system sizing app, infotainment spot, PV powered E-bike charging station, use of LIDAR Data in Photovoltaic energy yield estimation.

De DCE&S groep richt zich op integratie van PV in DC grids. In dit kader neemt DCE&S deel in het TKI project "Electrical Vehicle Supported PV Smart Grid". Dit project richt zich op energieopwekking met zonnepanelen op bedrijventerreinen in combinatie met contactloos opladen van elektrische voertuigen.

De IEPG groep richt zich op het definiëren van theoretisch en technologische limieten van de toekomstige elektrische vermogenssystemen in een veranderende wereld die wordt beïnvloedt door de liberalisatie van de elektriciteitsmarkt, de ontkoppeling van generatie en transmissie door het op grote schaal introduceren van duurzame en disperse energie bronnen met behulp van toekomstige technologieën. Projecten in dit kader zijn o.a. MIGRATE Horizon2020 met als doel om oplossingen te vinden voor de technologische uitdagingen voor het elektriciteitsnetwerk in de toekomst.

De CDS groep richt zich op onderzoek naar duurzaam bouwen, met als focus duurzame energiesystemen voor de gebouwde omgeving. Vanuit die gedachte verricht de groep zogenoemde energie-potentie-studies, die een basis vormen voor meer op eigen kracht functionerende regionale, provinciale en stedelijke plannen. Andy van den Dobbelssteen was de initiator van het Prêt-à-Loger project.



TU Delft werkt veel met “studenten dream teams” die aan zaken werken als de Nuna auto, de solar boat en Prêt-à-Loger. Het doel van **Prêt-à-Loger** is om de integratie van diverse duurzame technieken in een innovatief en functioneel gebouw te demonstreren.

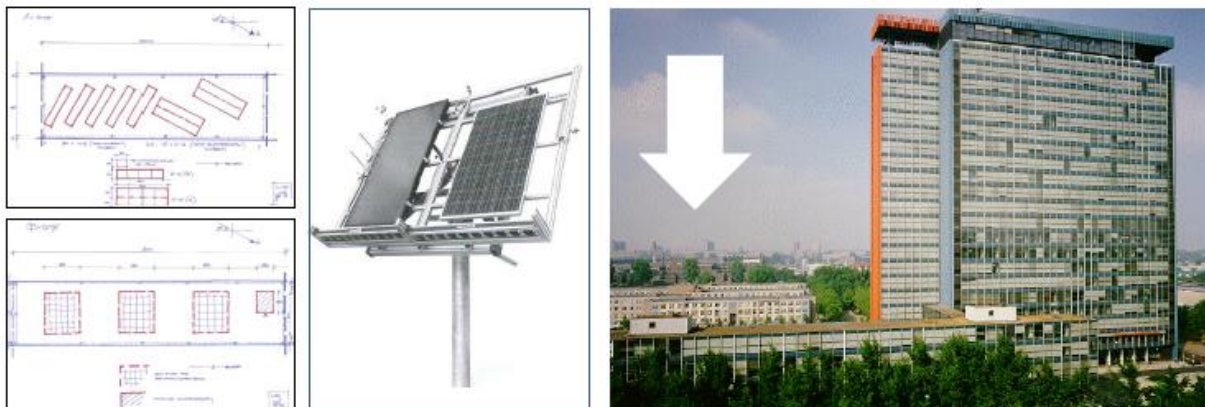
Een ander belangrijk speerpunt is vernieuwing van onderwijs. TU Delft is een wereld autoriteit in het geven en ontwikkelen van Solar Energy onderwijs en richt zich op het opleiden van de 2.500.000 mensen werkende in de zonne-energie sector wereldwijd. PVMD heeft een unieke MSc profiel ‘Solar Energy’, online onderwijs MOOC (>175.000 studenten wereldwijd), online Micro-Masters Solar Energy voor professionals, workshops en Summer cursus on campus over PV systemen. TUD is bezig zes onderwijs modules voor professionals te ontwikkelen binnen een intern TUD programma

## Faciliteiten

- De PVMD groep heeft een analyselab voor fotovoltaïsche materialen en zonnecellen. Het lab beschikt over een PASAN Flash Solar simulator en WACON solar simulator for IV metingen, 2 EQE opstellingen, SEM, AFM, FTIR, FT-photoconductivity spectroscopy, photo-thermal deflection spectroscopy, spectroscopic ellipsometry, TR-metingen, Absolute transmittance/reflectance analyzer, Variable Angle Spectrophotometry, Photoluminescence setup, Raman Spectroscopy, Hall measurement, dark conductivity measurement, Light soakers en in-situ light soaking monitoring tools.
- PV System education lab: PVMD heeft een unieke onderwijsfaciliteit: het Solar Education Lab met 7 werk/leerstations en o.a. een steady state solar simulator (Eternal Sun) en elektro-luminescentie opstelling.



- Ontwerptool voor modelleren van BIPV toepassingen en systemen: PVMD heeft tools voor het opto-elektrisch modeleren van breed scala aan zonne-energie toepassingen, waaronder complexe BIPV componenten en grote PV systemen. Deze tools worden ingezet in samenwerking met modulefabrikanten, architecten, product ontwikkelaars en installateurs.
- PV System Roof Lab – Electrical Sustainable Energy department TUDelft (*Under construction- Oplevering Oktober 2016*)



Per oktober 2016 heeft TUDelft een PV Systeem Roof Lab, met als doel alle mogelijke aspecten van PV systemen te onderzoeken. Het Roof Lab beschikt o.a. over monitoring systeem ontwikkeld aan Ljubljana Universiteit, 32 different PV system typologieën, 4 tracker systemen, state-of-the-art weer monitoring systemen, etc.

### *Publicaties*

Arno Smets, Klaus Jäger, Olindo Isabella, René van Swaaij and Miro Zeman: Solar Energy, the physics and engineering of PV conversion technologies and systems". Book 2016, ISBN 9781906860325.

Tan, Hairen; Moulin, Ettiene, Si, Fai Tong; Schüttauf, Jan-Willem; Stuckelberger, Michael; Isabella, Olindo; Haug, Franz-Josef; Ballif, Christophe; Zeman, Miro, Smets, Arno H.M., Highly transparent modulated surface textured front electrodes for high-efficiency multijunction thin-film silicon solar cells, Progress in Photovoltaics: Research and Applications 23, pp. 949-963 (2015).

Abdi, Fatwa F; Han, Lihao; Smets, Arno HM; Zeman, Miro; Dam, Bernard; van de Krol, Roel; Efficient solar water splitting by enhanced charge separation in a bismuth vanadate-silicon tandem photoelectrode, Nature communications 4, 2195 (2013).

Tan, Hairen; Santbergen, Rudi; Zeman, Miro; Smets, Arno HM; Plasmonic light trapping in thin-film silicon solar cells with improved self-assembled silver nanoparticles, Nano letters 12, 4070-4076 (2012).

#### 4.7. Universiteit Twente

Onderzoeksgroep: ARISE (Advanced Research on urban Innovations in Sustainability and Energy)  
 Onderzoeksleider: Angèle Reinders (a.h.m.e.reinders@utwente.nl)  
 Totaal aantal onderzoekers in de groep: 9  
 Totaal aantal onderzoekers dat zich met het beschreven onderzoeksterrein bezighoudt: 9

##### Expertise

Het onderzoek van ARISE richt zich op productontwikkeling en systeemontwerp op basis van duurzame energie technologie. Naast zonne-energie betreft dat o.a. LEDs, brandstofcellen en energie-opslag.

Een bijzonder aandachtsgebied is daarbij inpassing van PV in de context van industrial design. Daarbij spelen veel aspecten een rol: energie-opbrengsten, kosten, productie, milieu aspecten, esthetiek en gebruiksgemak.

In lijn daarmee omvat het onderzoeksprogramma de ontwikkeling van innovatieve ontwerpen, creatie van simulatie tools, monitoring van prototypes en LCA analyses.

	Onderzoeksaspecten							
Deel-onderwerpen	Technologie-ontwikkeling	Product- en systeem-ontwikkeling	Reliability testing	Veldtesten en performance modellen	Waarde proposities en benchmarking	Economische analyse en business modellen	Marketing strategie	Studies mbt sociale acceptatie en beleid
1. BIPV		UNIVERSITY OF TWENTE.	UNIVERSITY OF TWENTE.	UNIVERSITY OF TWENTE.				
2. PV integratie in infrastructuur								
3. Schaduwtolerante PV oplossingen								
4. PV systeemconfiguraties								
5. ST, PVT en CPV systemen								
6. PV in het energiesysteem								
7. PV en mobiliteit								
8. Speciale PV oplossingen		UNIVERSITY OF TWENTE.	UNIVERSITY OF TWENTE.	UNIVERSITY OF TWENTE.				

De manier van werken is interdisciplinair en vaak gericht op pilots samen met lokale partijen. Voorbeelden zijn: the PV flower module, Virtue of Blue, een solar kroonluchter, "Leaf Roof", bestaande uit LSC-PV elementen en een PV vluchtelingentent met flexibele PV modules.

Een nieuwe ontwikkeling is het simuleren van schaduw patronen d.m.v. 'gaming software'. Tot slot wordt er gewerkt aan mobility vraagstukken rond solar cars, boats en e-bikes.

Expertise op het gebied van monitoring uit zich vanuit modules monitoring (PV module test bench) en een geplande BIPV monitoring en monitoring in een aantal Smart grid pilots in Nederland.

## *Faciliteiten*

- PV module test bench op Citadel gebouw (UT) voor 6 PV modules, full monitoring op 1-minuut basis, met spectro-radiometer. Beschikbaar voor samenwerking met partijen die performance vergelijking van modules willen doen.



- PV systeem met monitoring in Indonesië. Beschikbaar voor samenwerking met partijen die geïnteresseerd zijn in de performance van PV systemen in tropisch klimaat.

## *Publicaties:*

Reinders, A.H.M.E., Van Sark, W.G.J.H.M. and Verlinden, P.J., Introduction to Photovoltaic Solar Energy, Book chapter for Photovoltaic Solar Energy – From Fundamentals to Applications, Hard-cover book, in press, Wiley & Sons, London, 2016

Geenhuizen, M. van, Schoonman, J. and Reinders, A.H.M.E., Diffusion of solar energy use in the built environment supported by new design, invited manuscript Journal of Civil Engineering and Architecture, Vol 8, No. 2, pp 253-260, 2014.

Veldhuis, A.J., Nobre, A.M., Peters, I.M., Reindl, T., Rüther, R. and Reinders, A.H.M.E., An Empirical Model for Rack-Mounted PV Module Temperatures for Southeast Asian Locations Evaluated for Minute Time Scales, IEEE Journal of Photovoltaics, Vol 5, No. 3, pp 774-782, 2015.

Vishwanathan, B., Reinders, A. H. M. E , De Boer, D. K. G., Desmet, L., Ras, A. J., M., Zahn, F. H. and Debije, M. G., A comparison of performance of flat and bent photovoltaic luminescent solar concentrators, Solar Energy, Vol 112, pp 120-127, 2015.

Reinders, A.H.M.E., Diehl, J.C. and Brezet, J.C., The Power of Design: Product Innovation in Sustainable Energy Technologies, Hard-cover book, 368 pages, ISBN: 978-1-1183-0867-7, John Wiley & Sons, London, 2013.






#### 4.8. Radboud Universiteit

Onderzoeksgroep: Applied Materials Science  
 Onderzoeksleider: John Schermer (j.schermer@science.ru.nl)  
 Totaal aantal onderzoekers in de groep: 10  
 Totaal aantal onderzoekers dat zich met het beschreven onderzoeksterrein bezighoudt: 8

##### Expertise

Het onderzoek van de groep richt zich vooral op de deelonderwerpen 5 (CPV systemen) en 8 (special PV oplossingen). Vanuit deze focus liggen er raakvlakken met de onderwerpen 3 (schaduwtolerante PV oplossingen, specifiek voor CPV) en 6 (PV in het energiesysteem). De groep heeft zich hierbij gespecialiseerd in het ontwikkelen en testen van receivers met geïntegreerde hoog-rendement zonnecellen (III/V materialen) voor toepassing in innovatieve CPV systemen geschikt voor integratie in de gebouwde omgeving (BI-CPV).

Naast de ondersteuning van bedrijven in de ontwikkeling van CPV systemen beschikt de groep ook over faciliteiten een expertise voor de outdoor analyse van deze CPV systemen in vergelijking met diverse flat panel systemen. De systemen worden hierbij getest onder continue monitoring van de directe, indirecte en spectraal opgeloste (tot 1700 nm) instraling, temperaturen, wolkenbedekking en meteodata. De hierbij benodigde meetapparatuur wordt jaarlijks gekalibreerd tijdens de International Spectroradiometer Intercomparison ([www.intercomparison.eu](http://www.intercomparison.eu)).

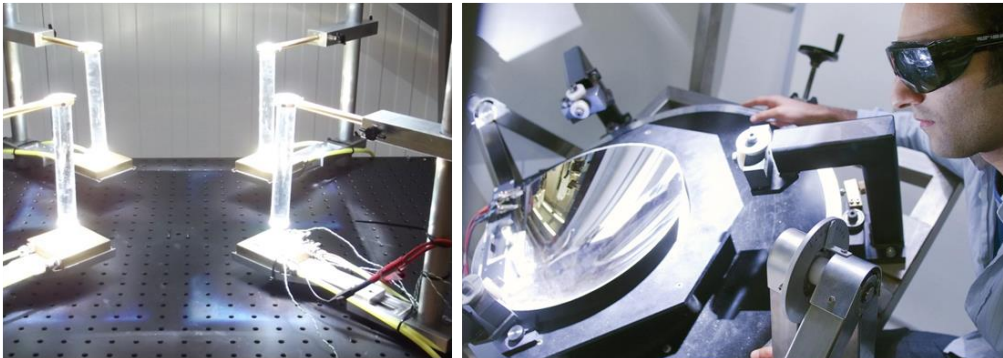
	Onderzoeksaspecten							
Deel-onderwerpen	Technologie-ontwikkeling	Product- en systeem-ontwikkeling	Reliability testing	Veldtesten en performance modellen	Waarde proposities en benchmarking	Economische analyse en business modellen	Marketing strategie	Studies mbt sociale acceptatie en beleid
1. BIPV								
2. PV integratie in infrastructuur								
3. Schaduwtolerante PV oplossingen								
4. PV systeemconfiguraties								
5. ST, PVT en CPV systemen								
6. PV in het energiesysteem								
7. PV en mobiliteit								
8. Speciale PV oplossingen								

Naast de toepassing van hoog-rendement cellen in CPV systemen, werkt de groep met verschillende bedrijven samen aan de toepassing van deze cellen in de ruimtevaart en high-end consumers products. In samenwerking met spin-off bedrijf Rera Solutions zijn lichtinstralingsmeters ontwikkeld voor de controle en outputoptimalisatie van grotere PV installaties en een zonne-radar als input voor smart-grid ontwikkelingen.

## Faciliteiten



- Clean-room ontwikkellaboratorium voor receivers met hoog-rendement cellen voor toepassing in CPV systemen, high-end consumer products en de ruimtevaart.



- Indoor Calibration Facility voor analyse van alle typen zonnecellen onder standaard test condities en analyse van concentrator cellen en receiver assemblies onder hoge lichtconcentraties tot 2000x. Via custom-made opstellingen kunnen receivers en andere concentrator componenten worden getest onder een regelbare instraling en temperatuur.



- Outdoor Calibration Facility met standaard Brusag en costum-made zonvolgsystemen voor analyse van BI-CPV systemen in vergelijking tot verschillende typen flat panel modules



- Instraling en power monitoring voor optimalisatie van PV installaties op diverse gebouwen van de Radboud campus en het 1 MWp energieveld van GDF Suez/Engie in Nijmegen.

### *Publicaties:*

L.A.A. Bunthof, F.P.M. Kreuwel, A. Kaldenhoven, M.M. van Steen, S. Kin, W.H.M. Corbeek, G.J. Bauhuis, and J.J. Schermer, *Experimental study and modeling of a novel CPVT module for building-facade Integration*, submitted.

J. Feenstra, I.F. Six, M.A.H. Asselbergs, R.H. van Leest, J. de Wild, A. Meijerink, R.E.I. Schropp, A.E. Rowan, J.J. Schermer, *Er<sup>3+</sup>/Yb<sup>3+</sup> upconverters for InGaP solar cells under concentrated broadband illumination*, *Physical Chemistry Chemical Physics* (2015) 11234.

T. Sogabe, Y. Shoji, P. Mulder, J.J. Schermer, E. Tamayo, Y. Okada, *Enhancement of current collection in epitaxial lift-off InAs/GaAs quantum dot thin film solar cell and concentrated photovoltaic study*, *Appl. Phys. Lett.* 105 (2014) 113904.

S.L. Diedenhofen, G. Grzela, E. Haverkamp, G. Bauhuis, J.J. Schermer, J.G. Rivas, *Broadband and omnidirectional anti-reflection layer for III/V multi-junction solar cells* *Sol. Energy Mat. Sol. Cells* 101 (2012) 308.

G.J. Bauhuis, P. Mulder, E.J. Haverkamp, J.J. Schermer, E. Bongers, G. Oomen, W. Köstler, G. Strobl, *Wafer reuse for repeated growth of III-V solar cells*, *Prog. Photovolt: Res. Appl.* 18 (2010) 155.

#### 4.9. Zuyd Hogeschool - SBuilt

Onderzoeksgroep: ZEGO (Zonne-energie in de gebouwde omgeving)  
 Onderzoeksleider: Zeger Vroon (zeger.vroon@zuyd.nl)  
 Totaal aantal onderzoekers (fte) in de groep: 5  
 Totaal aantal onderzoekers (fte) dat zich met het beschreven onderzoeksterrein bezighoudt: 4

In het Centre of Expertise SBuilt werkt een drietal Zuyd lectoraten nauw samen om de transitie naar een duurzaam gebouwde omgeving vorm te geven. Sinds 2009 werkt het lectoraat (onderzoeksgroep) Zego in dat verband aan het demonstreren, monitoren en onderzoeken van betrouwbaarheid van bijzondere PV oplossingen in de gebouwde omgeving.

Tot 2014 lag de focus op nieuwbouw (Wijk van Morgen) en silicium technologie, vanaf 2014 ligt de focus op renovatie en dunne film PV toepassingen. Zuyd richt zich met name op de onderwerpen BIPV, schaduwtolerantie en speciale PV oplossingen.

	Onderzoeksaspecten							
Deel-onderwerpen	Technologie-ontwikkeling	Product- en systeem-ontwikkeling	Reliability testing	Veldtesten en performance modellen	Waardeproposities en benchmarking	Economische analyse en business modellen	Marketing strategie	Studies mbt sociale acceptatie en beleid
1. BIPV			ZUYD	ZUYD	ZUYD			
2. PV integratie in infrastructuur								
3. Schaduwtolerante PV oplossingen								
4. PV systeemconfiguraties								
5. ST, PVT en CPV systemen								
6. PV in het energiesysteem								
7. PV en mobiliteit								
8. Speciale PV oplossingen								

Speciale aandacht is er voor gekleurde zonnecellen in glas in bouwelementen (schuifdeur en raam).



Daarnaast coördineert Zuyd de IEA PVPS task 15 over versnelling van BIPV in Europa.

### *Faciliteiten*

- Indoor: steady state solar simulator (Eternal Sun) + klimaatkamer
- De Wijk van Morgen 2x BIPV dak van 50 & 100 m<sup>2</sup> met power- en temperatuurmeting. Weerstation (klasse 2) op een mast van ca 12 m hoog.



- Ook in de Wijk van Morgen: 2x PV gevel balkon van max 10 m<sup>2</sup>, met power- en temperatuurmeting.



### *Publicaties:*

Ritzen, M. J., Vroon, Z. A. E. P. & Geurts, C. P. W. "Building integrated PV" *PV Systems and Applications*. Reinders, A. H. M. E. (ed.). Chichester: Wiley, peer reviewed book chapter, 2015.

Ritzen, M. J., Rovers, R., Vroon, Z. A. E. P. & Geurts, C. P. W. "Making the assessment right, or making the right assessment?" *Architecture and sustainability : critical perspectives for integrated design*. Khan, A. & Allacker, K. (eds.). Leuven: Sint-Lucas Architecture Press, p. 199-214 456 p., peer reviewed book chapter, 2015.

#### **4.10. Overige onderzoeksgroepen**

De in 4.1. t/m 4.9 genoemde onderzoeksgroepen richten zich met vier of meer onderzoekers op een of meer van de deelonderwerpen zoals beschreven in paragraaf 3. Daarnaast zijn er een zevental groepen in Nederland die raakvlakken hebben met het beschreven onderzoeksveld of op dat veld een kleinere activiteit hebben.

##### 4.10.1. Rijks Universiteit Groningen (RUG)

Aan de RUG houdt de groep van Jacqueline Scherpen (j.m.a.scherpen@rug.nl) zich o.a. bezig met smart grid inbedding van PV, waarbij aandacht is voor het modelleren, ook o.a. in combinatie met opslag en met vraagstukken rond dc versus ac.

##### 4.10.2. Wageningen Universiteit (WUR)

De WUR heeft een onderzoeksgroep ACCRES-Smart Energy, geleid door Andrea Terbijhe (andrea.terbijhe@wur.nl). In de groep houden 5 onderzoekers zich gedeeltelijk met het in dit rapport beschreven onderzoeksterrein bezig. Het betreft netto 1,5 FTE.

ACCRES is een open innovatiecentrum voor regionale duurzame energie systemen, waaronder zon. Het doel is om samen met het bedrijfsleven nieuwe concepten te ontwikkelen en testen. Er is daarbij aandacht voor opslag van energie en inpassing in elektrische infrastructuur (peakshaving, cablepooling).

Op het Wageningen UR-terrein in Lelystad staan sinds medio 2011 op de proeflocatie van ACRRES (onderdeel van Wageningen UR) 11 proefinstallaties voor zonnepanelen. Op deze Zonneweide worden verschillende typen zonnepanelen en verschillende vrije veldopstellingen continu gemonitord en vergeleken op performance en rendabiliteit.



#### 4.10.3. Avans Hogeschool

Het lectoraat van Karel Spee (cima.spee@avans.nl) omvat een team van 10 onderzoekers en bestrijkt drie onderzoeksrichtingen: 1) Machines voor produceren dunne film zonnecellen; 2) PIPV, Product Integrated PV; 3) Markt en Business voor PV producten.

In brede zin heeft het lectoraat aandacht voor productietechnologie en voor de vraag hoe de toepassing van zonnecellen versneld kan worden.

Activiteiten op het in dit rapport beschreven onderzoeksveld:

- Toepassing van PV in textiel, o.a. textiele toepassingen voor BIPV achtige applicaties, zoals festivaltenten, voetbalstadions.
- Een nog in te dienen project om zonnecellen in kunststof en composiet onderdelen te verwerken. Dit kan ook voor BIPV, hoewel dit geen hoofdthema is.
- Een andere ambitie is om een project op te starten om de gekleurde zonnepanelen zoals door Solliance/Zuyd Hogeschool ontwikkeld door te ontwikkelen (= betaalbare productietechniek).
- Toepassing van zonnecellen in de gebouwde omgeving anders dan BIPV, bijv. via "zonnebomen".

Het lectoraat Innovatie Bouwproces en Techniek van Emile Quanjel (emcj.quanjel@avans.nl) richt zich met name op de randvoorwaarden om te komen tot succesvolle integratie van innovatieve methodes en technieken door middel van innovatieve processen.

Energie is daarbij een belangrijk vraagstuk en met name PV-ontwikkelingen. BIPV kan daar een aspect van zijn. In het schema in paragraaf 3 valt dit werk onder de deelonderwerpen 1, 2 en 4.

Het lectoraat van Emile Quanjel participeert in het RAAK PRO onderzoek ism Zuyd Hogeschool (RAAK IMDEP) waarin BIPV en de integratie ervan in demonstrators / gebouwen centraal staat.

Het lectoraat van Danny Geltmeijer (Smart Energie) houdt zich vooral met Smart Grids bezig, maar ook met opslag. Dit lectoraat coördineert een studententeam dat zonneboten bouwt.

#### 4.10.4. Hogeschool van Arnhem en Nijmegen (HAN)

Het lectoraat van Mascha Smit (Duurzame energie, voorheen Piet Sonneveld) houdt zich o.a. bezig met het energiegebruik in kassen. Daarbij wordt onderzoek gedaan naar een CPV-kasconcept. Doel is bij kassen het energiegebruik met 50% te verminderen.

#### 4.10.5. Hogeschool van Amsterdam

Het lectoraat Energie en Innovatie van Robert van den Hoed (r.van.den.hoed@hva.nl) houdt zich o.a. bezig met slimme toepassing van zonne-energie in energiesystemen op de schaalgrootte van een stad of district.

#### 4.10.6. Hanze Hogeschool

Het lectoraat Energietransitie van Wim van Gemert is betrokken bij de ontwikkeling van EnTranCe, een energieproeftuin voor toegepast onderzoek. Hierin wordt o.a. aandacht besteed aan het benutten van de daken van transferia om zonne-energie te winnen (w.j.t.van.gemert@pl.hanze.nl).

#### 4.10.7. Noordelijke Hogeschool Leeuwarden

Vanuit het lectoraat Zonnestroom & Vervoer wordt onderzoek gedaan naar de integratie van zonne-stroomtechnologie in gebouwen, maar ook in bewegende objecten, zoals zonneboten. Het hogere doel is om zonneceltechnologie laagdrempelig en breder toepasbaar te maken.

Binnen het lectoraat zijn twee onderzoekslijnen gedefinieerd:

- Integratie zonneceltechnologie in producten: onderzoek naar de mogelijkheden om kristallijne PV technologie te verwerken in kunststof- en composietmodules.
- Monitoring zonneparken: bepalen van de parameters die het succes van een zonnepark bepalen.

## 5. Beschouwing

Het onderwerp van dit rapport is een inventarisatie van de kennis- en onderzoeks-infrastructuur voor het vakgebied "Zonne-energie systemen en toepassingen" in Nederland. Dit vakgebied beslaat een breed scala aan deelonderwerpen en bijbehorende onderzoeksvragen, zoals kort beschreven in paragraaf 3 van dit rapport.

Het vakgebied is sterk in ontwikkeling, hetgeen blijkt uit een groot aantal recente publicaties (in dit rapport hebben we ons beperkt tot het noemen van vijf publicaties per instituut). Daarbij staat het vakgebied ook sterk in de belangstelling van bedrijven in Nederland. Dat blijkt bijvoorbeeld uit de grote overtekening van de call voor innovatieprojecten van de TKI Urban Energy in 2015.



*Spreiding van de besproken onderzoeksgroepen over Nederland.*

De grote belangstelling voor onderzoek en innovatie op het gebied van zonne-energie systemen en toepassing is te begrijpen uit een aantal belangrijke uitdagingen waar we in Nederland (en in de wereld) voor staan. In onze transitie naar een duurzame energievoorziening ligt het in een land als Nederland - met zijn intensief ruimtegebruik *en* zijn aandacht voor kwaliteit van de publieke omgeving - voor de hand in te zetten op effectieve en esthetisch verantwoorde integratie in de gebouwde omgeving en fysieke infrastructuur. Hiervoor is veel en goed onderzoek nodig, voor een groot deel in samenwerking met bedrijven, die de zich aandienende economische kansen willen benutten.

Daarnaast vraagt de duurzame energie transitie om een goede integratie van zonne-energie en windenergie in onze energie infrastructuur. Ook op dit vlak liggen er goede innovatiekansen, bijvoorbeeld als het gaat om gecombineerde systemen met opslag en energie-management.

In Nederland zien we een groot aantal onderzoeksgroepen dat actief is op het besproken vakgebied. In totaal gaat het om een kleine honderd onderzoekers die bijdragen aan de ontwikkeling van het vakgebied. Daarbij lijken de activiteiten verhoudingsgewijs goed gespreid over de acht deelonderwerpen.


































































































































Veel groepen geven aan interesse in de gehele breedte van het onderzoeksveld te hebben. Toch is het in een nadere beschouwing wel mogelijk om aan te geven waar per groep met name de onderscheidende expertise zit.

We hebben dat weergegeven in de tabel op de volgende pagina. Hierbij moet opgemerkt worden dat deze mapping niet absoluut is, maar een accentbepaling weergeeft. Wat in eerste aanleg opvalt, is dat vrijwel het gehele onderzoeksgebied bestreken wordt door de besproken Nederlandse onderzoeksgroepen. Wel verdient het aanbeveling om op het onderwerp PV en mobiliteit (deelgebied 7) onderzoek aan nieuwe concepten in Nederland te versterken. We denken hierbij met name aan toepassing van vormvrije folie-gebaseerde PV in auto's, bussen en boten.

Op het gebied BIPV (deelgebied 1) zijn een groot aantal groepen actief, maar wel vanuit verschillende expertises of invalshoeken. De expertise van ECN in BIPV ligt voornamelijk op de PV systeem kant en van TNO voornamelijk op de bouwfysische kant. UU en UT richten zich op nieuwe concepten en TU/e op modellering. Op het deelgebied 2 (Integratie in infrastructuur) zien we vanuit TNO een focus op integratie in wegdek, terwijl ECN zich meer richt op o.a. geluidsschermen.

SEAC heeft een duidelijk profiel op veldtesten, opbrengstmodellen, benchmarking en techno-financiële analyses, voor de deelonderwerpen 1 t/m 5.

Kijken we nader naar de drie technische universiteiten, dan tekent zich op hoofdlijnen min of meer een aantal focusgebieden af. Ook hier geldt dat dit geen absolute "taakverdeling" is maar meer een focusbepaling. TU/e (met name de groep van Geert Verbong) richt zich sterk op business modellen en marktstrategieën voor PV systemen en toepassingen in de breedte, maar is daarnaast actief op BIPV (met name bouwfysisch), zonthermisch (met name modelleren) en PV en mobiliteit.

Onderzoeksaspecten								
Deel-onderwerpen	Technologie-ontwikkeling	Product- en systeem-ontwikkeling	Reliability en levensduur	Veldesten en performance modellen	Waardeproposities en benchmarking	Economische analyse en business modellen	Marketing strategie	Studies mbt sociale acceptatie en beleid
1. BIPV		   TU/e	     TU/e	    UNIVERSITY OF TWENTE	   	   	TU/e	
2. PV integratie in infrastructuur		  TU/e	 	   	   	   	TU/e	
3. Schaduwtolerante PV oplossingen		  	  	   	   	   	TU/e	
4. PV systeemconfiguraties		  	  	   	   	   	TU/e	
5. ST, PVT en CPV systemen		   	   	    	   	   	TU/e	
6. PV in het energiesysteem		   	   	    	   	    	TU/e	
7. PV en mobiliteit			TU/e	TU/e		TU/e	TU/e	
8. Speciale PV oplossingen		   	    	    		TU/e	TU/e	

TU Delft heeft een duidelijke profilering op PV systeemconfiguraties en schaduwtolerantie, maar doet daarnaast ook aanpalend werk. Universiteit Twente is sterk in autonome (off-grid) toepassingen, ook in bv consumentenproducten, maar is daarnaast ook actief in o.a. BIPV.

Tenslotte kijken we naar de profilering van Universiteit Utrecht, Zuyd en Radboud Universiteit. Universiteit Utrecht (naast een aantal activiteiten op bv BIPV) heeft een sterk profiel op onderwerp 6 (PV in het energiesysteem). Zuyd concentreert zich op werk aan BIPV middels de faciliteit Wijk van Morgen en Radboud is sterk op het gebied van toepassing van III/V cellen voor geconcentreerde systemen zoals CPV en CPVT.

In algemene zin merken we nog op dat de universiteiten zich met name bezighouden met fundamenteel onderzoek en met ontwikkelingen met laag TRL niveau (TRL = technology readiness level). De instituten ECN, TNO en het onderzoekscentrum SEAC (samenwerking van TNO en ECN) richten zich met name op onderzoek waarbij concepten van TRL 3 naar TRL7 gebracht worden.

Met dit rapport hopen we een bijdrage te leveren aan de zichtbaarheid en vindbaarheid van de onderzoeksgroepen en thema's.

# Appendix A: invulformulier

<b>Kennis- en onderzoeksinfrastructuur Zonne-energie systemen en toepassingen in Nederland</b> <b>graag alleen gele velden invullen !</b>										
<b>1. Organisatie:</b>										
Onderzoeksgroep:										
Onderzoeksleider:										
Totaal aantal onderzoekers in de onderzoeksgroep:										
Netto FTE's in onderzoek:										
Totaal aantal onderzoekers dat zich (gedeeltelijk) met het beschreven onderzoeksterrein bezighoudt:										
Netto FTE's in onderzoek op het beschreven onderzoeksterrein:										
Namen van de 0 onderzoekers:										
<b>2. Beschrijving relevante focusgebieden en specifieke expertise van de onderzoeksgroep:</b>										
Mapping FTE's op de 8 deelonderwerpen (zie derde tabblad van deze excel)										
Deelonderwerp:	1	2	3	4	5	6	7	8	TOTAAL	
Netto FTE's in onderzoek										0
<b>3. Beschrijving relevante faciliteiten per onderzoeksgroep</b>										
Faciliteit (onderzoekopstelling, apparatuur, lab, proeftuin)									Status	
A.										
B.										
C.										
D.										
<b>4. Relevante (recente) publicaties (maximaal 5 aub)</b>										

## Appendix B: lijst van contactpersonen

<i>Organisatie</i>	<i>Onderzoeksgroep ( of "programma" )</i>	<i>Contactpersoon</i>
ECN	PV Modules & Applications	Peter Blokker*
TNO	Energy in the Built Environment	Huub Keizers*
SEAC	SEAC	Wiep Folkerts*
Univ Utrecht	Energy System Analysis	Wilfried van Sark*
TU Delft	PV Materials and Devices	Arno Smets*
	DC systems, energy conversion and storage	Pavol Bauer
	Architectural Engineering & Technology	Andy van den Dobbelsteen
TU Eindhoven	System Innovations & Sustainability Transitions	Geert Verbong*
	Building Performance	Jan Hensen
	Energy Technology & Heat Transfer	Camilo Rindt
Radboud Univ	Applied Materials Science	John Schermer*
Univ Twente	Industrial Design Engineering	Angèle Reinders*
HS Zuyd	Solar Energy in the Built Environment	Zeger Vroon*
RUG	Energy systems & Smart grids	Jacqueline Scherpen
WUR	ACRRES - Smart Energy	Andrea Terbijhe
Avans HS	Solar Productietechnologie & Equipmentontwikkeling	Karel Spee
	Innovatie Bouwproces & Techniek	Emile Quanjel
HAN	Duurzame Energie	Piet Sonneveld
HvA	Energie & Innovatie	Robert van den Hoed
Hanze HS	Energietransitie	Wim van Gemert
NHL	Zonnestroom & Vervoer	Woud van Woudenberg

\* *primaire contactpersonen*