

# Publiek Eindrapport – BIPVPOD-NL



Versie: definitieve versie

Status: openbaar

Author: Roland Valckenborg



*Veldtest karakterisatie van gevelsysteem (links boven) van Wallvision BV, prefab daksysteem (schuin dak, linker dakvlak rondom dakraam) van ReBor BV en gekleurd daksysteem van AERspire BV (schuin dak, rechter dakvlak).*



*Labkarakterisatie van 'panel-on-demand' (POD) op gebied van fysieke afmetingen en kleur.*

## Contents

Samenvatting.....	3
Project gegevens .....	3
Uitgangspunten .....	3
Doelstelling.....	3
Samenwerkende partijen .....	3
Resultaten en knelpunten .....	3
BIPV status report 2017.....	3
BIPVpod Building regulations for BIPV products.....	4
Lab karakterisaties.....	4
Prototypes en veld testen .....	6
Bijdrage aan doelstelling .....	8
Spin off (en vervolg) .....	9
Openbare kennisverspreiding .....	10
Rapport beschikbaarheid .....	12
Contactpersonen .....	12
Conclusie en aanbevelingen.....	12
Dankwoord .....	14
Appendix A: Format Publiek Eindrapport volgens RVO .....	15

## Samenvatting

### Project gegevens

- Project nummer: TEID215005
- Project titel: 'Building Integrated PhotoVoltaic Panels On Demand – in the Netherlands = BIPVPOD-NL
- Project duur: van 1 Januari 2016 t/m 31 Mei 2019

### Uitgangspunten

De aanleiding voor het BIPVpod-NL project is een on vervulde markt vraag naar betaalbare maatgesneden zonnepanelen voor esthetische integratie in gebouwen. Een drietal concurrerende markt partijen werkt samen met kennisinstellingen aan de ontwikkeling van 'panel on demand' technologie. Er wordt internationaal samengewerkt binnen Solar ERA.NET en IEA PVPS Task15.

### Doelstelling

Het doel van het project is het ontwikkelen van technologie waarmee tegen lage kosten dunne film PV-panelen op een door de klant gespecificeerde afmeting en vorm geleverd kunnen worden. Vervolgens zullen hiermee drie verschillende toepassingen in gebouwen ontwikkeld worden: Een dak, een prefab dak en een gevel.

### Samenwerkende partijen

- Penvoerder: TNO (SEAC en Solliance)
- Medeaanvragers:
  - ECN (inmiddels gefuseerd met TNO)
  - AERSpire BV: [www.aerspire.com](http://www.aerspire.com)
  - ReBor BV: <https://www.loci-zonnepanelendak.nl/nl/>
  - Wallvision BV: <http://zigzagsolar.com>

## Resultaten en knelpunten

Er zijn diverse rapportages gemaakt van de resultaten van dit project. Openbaar zijn:

### BIPV status report 2017

Dit heeft SEAC in 2017 uitgebracht. Het is gratis te downloaden op: [https://www.seac.cc/wp-content/uploads/2017/11/171102\\_SUPSI\\_BIPV.pdf](https://www.seac.cc/wp-content/uploads/2017/11/171102_SUPSI_BIPV.pdf) Dat is ook vaak gedaan; binnen een half jaar na het online zetten, telden we zo'n 50.000 downloads (!). Verder zijn de 250 hard copy boeken al bijna allemaal verspreid. De belangrijkste PV-conferentie voor BIPV is de EU PVSEC. SEAC bracht het Status Report in 2017 (samen met het Zwitserse instituut SUPSI) officieel uit op deze EU PVSEC conferentie in München en werd daarmee wereldberoemd. Of met andere woorden: binnen de PV-sector kunnen we trots melden dat dit boekwerk een van de meest actuele en meest gebruikte referenties over de BIPV markt is. Helaas weten we niet zo goed in hoeverre de bouwsector ook bekend is met dit BIPV-markt status report, alhoewel wij (en al onze partners) áltijd en overall dit BIPV-markt Status Report onder de aandacht brengen.



**Figuur 1:** Het BIPV status report is - sinds introductie in 2017 - dé wereldwijde standaard geworden voor een overzicht van alle mogelijke BIPV-producten.

## BIPVpod Building regulations for BIPV products

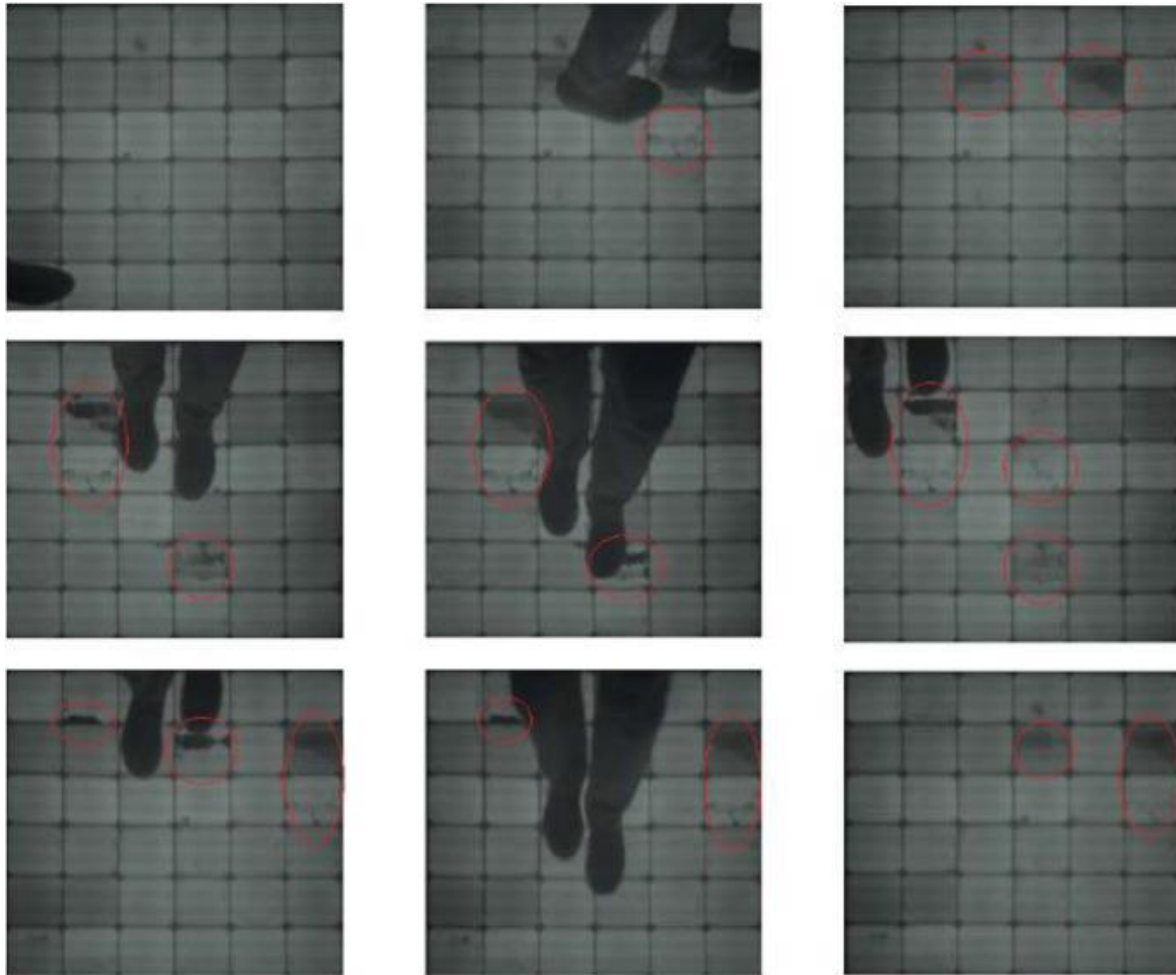
Over de wet- en regelgeving is er een aparte rapportage gemaakt. In principe is de Europese regelgeving op het gebied van BIPV gerapporteerd, met een focus op de Nederlandse markt. Nadat dit rapport uitgebracht is (1 maart 2016), is binnen de IEA Taak 15, subtaak 15C actief aan de slag gegaan met bouwregelgeving. Deze subtaak concentreert zich op Europa, vanwege het feit dat de ruime meerderheid v.d. deelnemende landen uit Europa komt, maar neemt ook wereldwijde ontwikkelingen mee. TNO-SEAC is Informative Participant in deze subtaak. Dat betekent dat met een minimale inspanning/resources we in Nederland toch erg goed op de hoogte blijven van alle recente ontwikkeling. Geïnteresseerden bedrijven of organisaties die een BIPV-product willen ontwikkelen of toepassen, kunnen contact opnemen met de TNO-contact persoon die actuele info over bouwregelgeving kan delen.

## Lab karakterisaties

Er zijn diverse lab karakterisaties gedaan op het vlak van:

- Partiële beschaduwing: effect op elektrische opbrengst
- Partiële beschaduwing: effect op reliability (robustheid en duurzaamheid)
- Mechanische belastingsexperimenten op kristallijn silicium modules; zie hieronder Figuur 2
- PV-panelen 'On-Demand' gemaakt via 'On-Demand' semi-halffabrikaten
- Kleuring van PV-actief materiaal in dunne film panelen via de route die door het Duitse zusterproject BIPVPOD-DE geproduceerd wordt.

Al deze aspecten zijn uitgewerkt in wetenschappelijke publicaties. Zie het aparte hoofdstuk hieronder voor een complete lijst van deze publicaties.

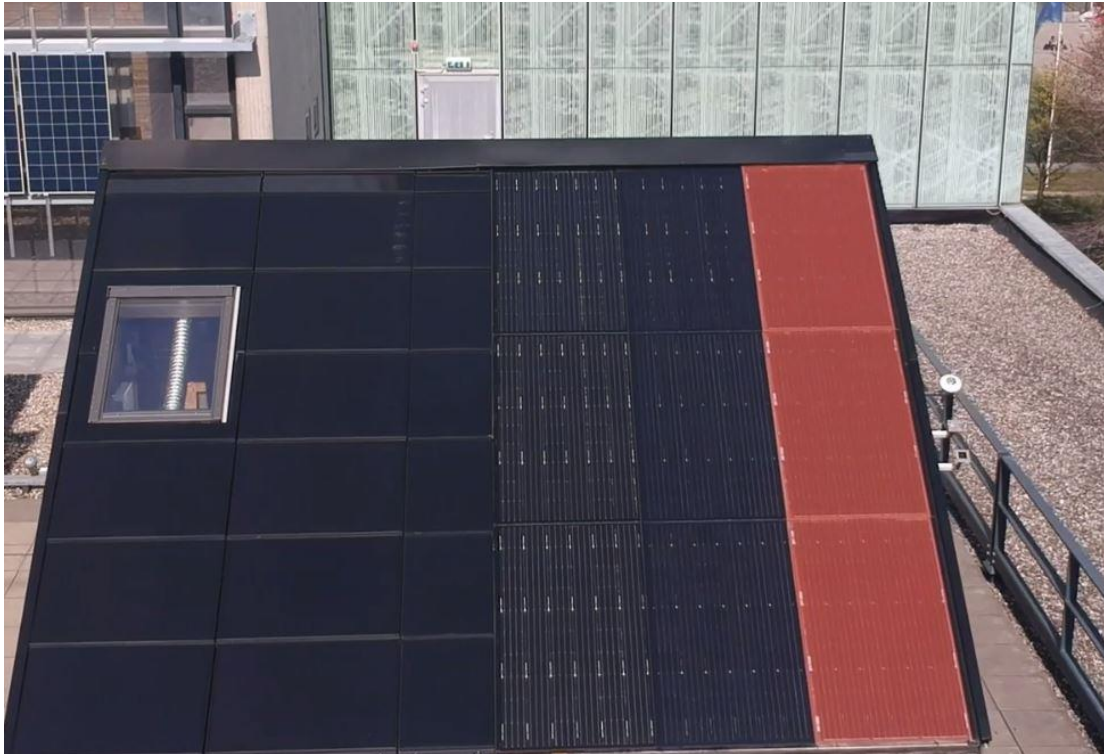


**Figuur 2:** Screenshots uit de films die opgebouwd zijn uit vele Elektro-Luminescentie (EL) beelden op kristallijn silicium panelen. Mechanical loading door mensen (vaak voorkomend (bijna onvermijdelijk) bij BIPV-installatie) is duidelijk te zien op deze beelden van gewone PV-panelen met een backsheet. Dezelfde EL-techniek op glas-glas PV-panelen laat geen donkere cellen zien.

## Prototypes en veld testen

Elke project partner heeft een prototype op realistische schaal opgeleverd; concreet is dat:

- AERspire BV: BIPV daksysteem met 'Panel-On-Demand' op het gebied van kleur. Voldaks zonnedak wordt gerealiseerd door dummies te gebruiken aan zijkanten. Onderkant en nok zijn 'in-huis' ontwikkeld. Zie hieronder in hoofdstuk conclusies de belangrijkste bevindingen.



**Figuur 3: Prototype AERspire daksysteem aan de rechterkant van het dakvlak; foto vanuit drone. Linkerzijde dakvlak prototype van ReBor prefab daksysteem.**

- ReBor BV: BIPV prefab daksysteem met 'Panel-On-Demand' op het gebied van maatvoering. Het dakraam in de veld test op SolarBEAT (op locatie Technische Universiteit Eindhoven) is bewust gecreëerd op een positie zodanig dat er geen enkel bestaand (dunne film) PV-paneel past tussen raam en zijkant dak. Zie hieronder in hoofdstuk conclusies de belangrijkste bevindingen.



Figuur 4: Prototype ReBor prefab daksysteem met raam geplaatst 'bewust op lastige locatie in dakvlak', omdat in bestaande bouw ramen bijna nooit matchen met PV-paneel afmetingen.

- Wallvision BV: BIPV gevelsysteem met 'Panel-On-Demand' op het gebied van schaduw effecten veroorzaakt door de ZigZag-constructie zelf (zogenaamde 'self-shading') bij specifieke topologien en bepaalde oriëntaties (kompas richtingen: O,Z,W,N) en locatie van gevel. Zie hieronder in hoofdstuk conclusies de belangrijkste bevindingen.



Figuur 5: Prototype ZigZag Solar gevelsysteem. In totaal 3 rijen van 3 ZigZag-cassettes worden ingezet voor diverse onderzoeksvragen. Hiervoor extra sensoren en PV-panelen toegepast (de witte vlakken en schijven) die niet in een commerciële installatie aanwezig zijn.

## Bijdrage aan doelstelling

Zoals al aangekondigd in het oorspronkelijke projectplan, ligt het zwaartepunt van dit project in programmalijn 3. Dit project is gehonoreerd binnen de TKI iDEEGO-regeling (tegenwoordig TKI Urban Energy) waarbij programmalijn 3 focust op 'Fysieke integratie'. De innovatiethema's geven uitgebreider aan wat de specifieke doelstellingen van programmalijn 3 zijn:

Multifunctionele bouwdelen (MFB)	Multifunctionele bouwdelen voor de utiliteitsbouw	X
	Multifunctionele bouwdelen voor de woningbouw	X
	MFB voor civieltechnische infrastructuurelementen	
	Praktijkproeven innovatieve multifunctionele bouwdelen	X

Tabel 1: Innovatiethema's van programmalijn 3 van de TKI iDEEGO-regeling.

BIPVPOD heeft op de volgende manier bijgedragen aan de doelstelling van Multifunctionele Bouwdelen (MFB), in dezelfde volgorde van de 'beloftes' uit het projectplan:

1. Verhoging van de esthetische waarde van de PV-toepassing door gebruik te maken van dunne-film technologie, waar geen contrast is tussen tabs, cellen, en backsheet; dunne film geeft een homogener geheel. Dit is zeker gelukt door het ReBor prefab (en voldak) systeem met gebruikmaking van homogene zwarte CIGS-panelen. Ook het Terracotta voldak van AERspire is zeer homogeen gekleurd, alhoewel hier tot stand gekomen met kristallijne PV en niet dunne film PV vanwege de ambitie om naast hun standaard ook producten met een hogere esthetische waarde aan het productportfolio toe te voegen. Aanvullend aan de realisatie van een testdak met o.a. Terracotta AER elementen heeft AERspire ook producten gemaakt waarbij zichtbaar wordt dat middels print danwel coating de esthetische mogelijkheden oneindig zijn. Figuur 6 geeft twee voorbeelden van een AER PV element in leien en in sedum uitvoering.



Figuur 6: Linkerkant voorbeeld van leien uitvoering. Rechterkant sedum uitvoering.

Bij een ZigZag gevelsysteem krijgt de klant complete keuzevrijheid vanwege het 'compleet uit het zicht halen' van de PV-technologie.

2. Dunne film PV-technologie is beter geschikt om met 'Panel-On-Demand' een compleet oppervlak (dak of gevel van woning of utiliteit) vol te krijgen. Dit is wel degelijk gelukt voor de ZigZag-gevel. Voor het ReBor-prefab daksysteem moet er helaas nog met dummie elementen gewerkt worden rondom dakramen, dakkapellen, of andere dakdoorvoeren. Wat betreft de dummie elementen en paspannen heeft AERspire binnen dit project wel een oplossing gevonden waarbij ze in



samenwerking met een Nederlandse partner in de identieke BOM van hun glas-glas zonnepaneel ook de vulstukken kunnen realiseren. Het voordeel hierbij is dat de volledige uitstraling van het dakvlak homogeen is en ook de blijvende gelijke kleurstelling van de verschillende elementen in de tijd niet veranderd door een verschillend verkleuringsproces bij gebruik van verschillende materialen. Verder kan de dunne film PV-technologie beter omgaan met partiële beschaduwing die inherent aanwezig is in BIPV. Dit aspect is overtuigend aangetoond, waarbij wel opgemerkt dient te worden dat CIGS dunne film PV-technologie in diverse types geproduceerd worden die elk op hun eigen specifieke wijze omgaan met partiële beschaduwing.

3. De dunne film PV-technologie zou low-cost oplossingen moeten geven vanwege het uitsparen van traditionele bouwmaterialen. Dit is slechts deels aangetoond, voor systemen die gebruik maken van standaard dunne-film PV-panelen, gebruikt als half-fabriekaat in het bouwproduct. Als er speciale afmetingen ('Panel-on-Demand') nodig zijn dan is het een probleem dat de markt hiervoor nog klein is. Daardoor ontstaan er dan toch nog hogere prijzen dan de mainstream bouwmaterialen. Maar het ligt zeker in de verwachting dat deze doelstelling in de toekomst uit gaat komen, mits de markt voldoende groeit.
4. Een simpele en effectieve ketensamenwerking met meer industrieel (ver)bouwen. Binnen BIPVPOD is dit aspect slechts relatief op het eind van het project aan bod gekomen. ReBor BV heeft een complex nieuwbouw dak geleverd met technologie uit BIPVPOD. De architect kwam hierbij met een Voorlopig Ontwerp (VO), hetgeen ReBor heeft kunnen detailleren met PV-panelen en dummies op een zodanig niveau dat de aannemer het kan (laten) bouwen en elektrische installeren. Ook AERspire heeft haar proces zodanig op orde dat er efficiënt geoffreerd kan worden en bij gunning uiteraard ook efficiënt snel geïnstalleerd (zowel bouw als elektra) kan worden. Hierbij is de toepassing van paspannen voor een volledige vlakvulling inmiddels een standaard geworden welke door de realisatie in verschillende projecten en een aantal verbeterstappen hierin nu een goede uitontwikkelde oplossing is.

## Spin off (en vervolg)

Alle project partners ervaren dat BIPV het laatste jaar (2018) echt op een kantelpunt is aangekomen: de BIPV-markt trekt aan! Verder krijgt de energietransitie in Nederland zeer concrete opvolging met een klimaatakkoord met gigantische ambities voor de gebouwde omgeving. TNO-SEAC ziet ook nieuwe bedrijven met nieuwe BIPV-producten opkomen. Dit kan men zien als spin-off vanuit kennis opgedaan in dit BIPVPOD-NL project. Uiteraard zullen de partners/bedrijven AERspire, ReBor, en Wallvision niet zomaar alle opgedane kennis binnen BIPVPOD delen met deze nieuwe bedrijven die in competitie zijn met hun BIPV-systeem.

T.a.v. vervolgactiviteit is het consortium verheugd dat een vervolgproject-aanvraag BIPVPOD 2 gehonoreerd is binnen TKI Urban Energy; het project is zelfs inmiddels (2019Q1) al van start gegaan.

## Openbare kennisverspreiding

Dit zijn de openbare, wetenschappelijke publicaties (gesorteerd op voorletter eerste auteur):

- C. Tzikas, G. Gomez, M. van den Donker, K. Bakker, A.H.M. Smets, and W. Folkerts, 'Do Thin Film PV Modules Offer an Advantage under Partial Shading Conditions?', *EU PVSEC 33* (2017), 5BV.4.21, pp. 1593-1596
- C. Hagedoorn, M. Götz, N. Neugebohrn, A. Weeber, and M. Theelen, 'Damp Heat-Induced Degradation Mechanism of an Al-doped ZnO/Ag/ZnO TCO for Thin Film Solar Cells', *Thin Solid Films* (2019) in preparation.
- K. Bakker, H.N. Ahman, T. Burgers, N. Barreau, A. Weeber, and M. Theelen, 'Propagation mechanism of reverse bias induced defects in Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> solar cells and modules', to be submitted to *Solar Energy Materials and Solar Cells* (2019)
- K. Bakker, H.N. Ahman, K. Aantjes, N. Barreau, A. Weeber, and M. Theelen, 'Composition and morphology around reverse bias induced defects in CIGSe solar cells', to be submitted to *Journal of Photovoltaics* (2019)
- K. Bakker, A. Weeber, and M. Theelen, 'The influence of partial shading on CIGS modules: A literature overview', to be submitted to *Journal of Material Research* (2019)
- K. Bakker, H.N. Ahman, N. Barreau, A. Weeber, and M. Theelen, 'Propagation of reverse bias induced wormlike defects in CIGSe solar cells', oral presentation at *IEEE PVSC 2019*
- P. Illich, R.M.E. Valckenborg, et al. 'Comparative Performance Measurements of Identical BIPV-Elements in Different Climatic Environments - A Round Robin Action within the IEA PVPS Task 15 Collaboration', *EU PVSEC 35* (2018), 6BV.1.32, pp. 1794-1800
- P. Bonomo, I. Zanetti, F. Frontini, M.N. van den Donker, F. Vossen, and W. Folkerts, 'BIPV Products Overview for Solar Building Skin', *EU PVSEC 33* (2017), 6DO.10.1, pp. 2093-2098
- R.M.E. Valckenborg, R. Loonen, X. Xin, X., D. Verduijn, W. Folkerts and J.L.M. Hensen, 'Performance analysis of the ZigZagSolar BIPV façade system', *Proceedings of Advanced Building Skins* (2016).
- R.M.E. Valckenborg, S. Sasidharan, C. Tzikas, R. Santbergen, W. van de Wall, and W. Folkerts, 'Finding The Most Suitable PV Technology For A Zigzag-Structured PV Façade In NW-Europe', *EU PVSEC Brussels* (2018), 6BV.1.41, pp. 1821-1827
- R.M.E. Valckenborg, W. van de Wall, W. Folkerts, J.L.M. Hensen, and A. De Vries, 'ZigZag Structure in Façade Optimizes PV Yield While Aesthetics Are Preserved', *EU PVSEC 32* (2016), 6DO.7.5, pp. 2486-2491
- W. Folkerts, R.M.E. Valckenborg, M. van den Donker, C. de Keizer, C. Tzikas, M. de Jong and K. Sinapis, 'Performance assessment of various BIPV concepts', *Proceedings of Advanced Building Skins* (2017), pp. 1378-1388

Alle publicaties voor de EU PVSEC zijn gratis te downloaden vanaf website: <https://www.eupvsec-proceedings.com/>

Hieronder staan de openbare, niet-wetenschappelijke / algemene publicaties:

- Een video van Elektro Luminescentie (EL) beelden van de mechanische impact die een mens geeft als hij over een kristallijn silicium PV-paneel loopt. Er wordt een vergelijk getoond tussen een standaard glas-folie paneel en een glas-glas PV-paneel. Deze video maakt direct duidelijk dat je ten alle tijden moet voorkomen om te hoge mechanische belasting op een paneel te zetten; denk daarbij aan mechanische belasting tijdens transport en installatie, en uiteraard ook niet bij uiteindelijk gebruik. Meer dan 4000 views. Link: <https://www.youtube.com/watch?v=avTfxWCgZAc>
- Het BIPV status report 2017 is wereldwijd hét standaard boek geworden; gratis ter beschikking gesteld via: [https://www.seac.cc/wp-content/uploads/2017/11/171102\\_SUPSI\\_BIPV.pdf](https://www.seac.cc/wp-content/uploads/2017/11/171102_SUPSI_BIPV.pdf)
- Artikel in Solar Magazine, juni 2016, free download: <https://solarmagazine.nl/nieuws-zonne-energie/i11588/juni-2016-editie-solar-magazine-verschenen>
- Nieuwsitem op SEAC-website: <https://www.seac.cc/project-bipvpod-kicks-off/>
- BIPVPOD veldtest gaat van start: <https://www.seac.cc/en/zigzagsolar-pilot-with-flexible-thin-film-pv/>
- Partner Wallvision installeert grote façade: <https://www.seac.cc/en/zigzagsolar-facade-installed-sittard/>



Figuur 7: Bij een vol jaar outdoor veldtest metingen komen alle weer-extremen voor. Rechts is te zien dat de twee prototypes van ReBor en AERspire vol sneeuw komen te liggen zoals alle schuine daken. Het ZigZag-gevelsysteem blijft echter sneeuwvrij, ondanks het feit dat de plateau's met de PV-panelen onder dezelfde hoek zijn gemonteerd als de schuin dak systemen.

## Rapport beschikbaarheid

Dit publiek eindrapport is als pdf te downloaden op: <https://www.seac.cc/publicaties/>

## Contactpersonen

- TNO: Roland Valckenborg, [roland.valckenborg@tno.nl](mailto:roland.valckenborg@tno.nl)
- AERSpire BV: [www.aerspire.com](http://www.aerspire.com), Esther Philipse, [estherphilipse@aerspire.com](mailto:estherphilipse@aerspire.com)
- ReBor BV: <https://www.loci-zonnepanelendak.nl/nl/>, Rene Borro, [rborro@rebor.nl](mailto:rborro@rebor.nl)
- Wallvision BV: <http://zigzagsolar.com>, Wim van der Wal, [wall@wallvision.nl](mailto:wall@wallvision.nl)

## Conclusie en aanbevelingen

De belangrijkste kunnen als volgt samengevat worden:

- Het effect van partiële beschaduwning op elektrisch opbrengst is afhankelijk van de exacte beschaduwingsrichting. In het geval van kristallijne PV-panelen, kunnen er by-pass diodes worden toegepast om de negatieve effecten van landscape schaduw te beperken; voor portrait schaduw is dit helaas niet mogelijk. Voor dunne film PV-panelen is de situatie complexer omdat het afhankelijk is van het specifieke 'type' dunne film, maar bij een juiste keuze van de paneel oriëntatie, kunnen dunne film panelen zeer schaduw tolerant zijn. Er zijn in dit project toch aansluitingsopties gevonden om ook voor dunne film, het effect van partiële beschaduwning zo minimaal mogelijk te houden.
- Het effect van partiële beschaduwning op robuustheid/levensduur (reliability is eigenlijk het beste woord) is ook onderzocht voor kristallijn en dunne film PV-panelen. Door het gebruik van bypass diodes schakelden de kristallijn silicium modules zichzelf (gedeeltelijk) uit tijdens partiële beschaduwning, zodat er geen langdurige negatieve effecten waren. Door zeer scherp en agressief beschaduwen van dunne film panelen, onder de slechts mogelijke oriëntatie, kon dit leiden tot de vorming van defecten, die een negatieve invloed op de levensduur hebben. Ook hier geldt dat de precieze effecten afhankelijk zijn van het 'type' dunne film. In CIGS panelen kon dit komen door de vorming van 'wormlike defects'. In dit project is de optimale oriëntatie voor dunne film modules, voor zowel opbrengst als levensduur in kaart gebracht, waarbij er geen schade werd gevonden.
- Mechanisch belastingsexperimenten zijn uitgevoerd op kristallijne PV-panelen. De Elektro-Luminescentie (EL) meettechniek is het meest geschikt om schade na belasting in kaart te brengen. Dat is ook gedaan in de vorm van filmpjes, die internationaal veel aandacht hebben gewekt. Richting de applicatie van BIPV kan geconcludeerd worden dat glas-glas uitvoeringen van kristallijn silicium robuuster zijn dan glas-backsheet uitvoeringen. En dat voor dunne film panelen er totaal geen schade lijkt op te treden.
- PV-panelen gemaakt van semi-halffabriekaat zijn op maat gesneden in diverse afmetingen en ook elektrisch aangesloten. Ze functioneerden daarbij als een PV-paneel. De serie-weerstand zal eerst verbeterd moeten worden, voordat deze 'semi-halffabriekaat-on-Demand' als volwaardig 'Panel-on-Demand' op de markt gebracht kan worden.

- Kleur opties zijn kort bekeken, en van één v.d. kleuropties (ontwikkeld binnen BIPVPOD-DE) is bewezen dat de gekleurde stack daadwerkelijk stabiel is, mits er maar geen water bij het PV-actieve materiaal kan komen, hetgeen weer leidt tot strenge eisen t.a.v. de barrière laag, die standaard aanwezig is in dunne film panelen. Het is een aanbeveling om met meer resources naar de diverse kleur opties in BIPV te gaan kijken, omdat kleur door de markt gevraagd wordt. Binnen het inmiddels goedgekeurde BIPVPOD-2 (NL only) krijgt kleur een zeer hoge prioriteit.
- Het prototype dat AERspire geleverd heeft voor de outfield veldtest karakterisatie is ingezet met als hoofdonderzoeksvraag: 'Op welke wijze beïnvloedt de kleurencoating de elektrische opbrengst, temperatuur, en esthetiek van het PV-paneel?'. Er kan geconcludeerd worden dat de inktdots - die de kleur aan het paneel geven - dusdanig klein zijn, dat een klant vanaf afstand daadwerkelijk een homogene uitstraling ervaart. De kristallijn silicium panelen die op deze wijze zwart gemaakt zijn, lijken de 'concurrentie' met de homogeen zwarte dunne film panelen (Solibro CIGS) van de ReBor veldtest opstelling te verliezen, alhoewel esthetiek behoorlijk subjectief is. Voor de panelen die op deze wijze terracotta gemaakt zijn, is het resultaat mooi. Uit de analyse van de temperatuurmetingen blijkt dat de zwarte panelen een beetje warmer worden, terwijl de terracotta panelen kouder blijven. Het vervolgproject BIPVPOD2 geeft nog meer prioriteit aan het effect van kleur op temperatuurhuishouding. Last-but-not least, kan er voor de elektrische opbrengst geconcludeerd worden dat de zwarte panelen marginaal minder opleveren, en de terracotta panelen significant minder. Ook hier is de aanbeveling om de exacte techniek van het kleuren van het front glas veel nauwkeurig te bestuderen, hetgeen we in BIPVPOD2 oppakken.
- Het prototype dat ReBor geleverd heeft voor de outfield veldtest karakterisatie is ingezet met als hoofdonderzoeksvraag: 'Welke inverter topologie is het meest geschikt voor dunne film CIGS panelen?' Na meer dan een vol jaar outdoor testing kan geconcludeerd worden dat de inverter mét transformer (Mastervolt) beter presteert dan de transformerless inverter (Ginlong). Dit is in contradictie met de algemene observatie vanuit datasheets, dat transformerless inverters normaal beter presteren dan inverters mét transformer (oudere technologie). Deels wordt dit resultaat veroorzaakt door de systeemdimensionering. Voor een klein 'veld'/array van dunne-film PV-panelen zijn er eigenlijk geen inverters beschikbaar die qua vermogensklasse perfect matchen met het totale vermogen van de string. De eerst beschikbare keuze (van Ginlong) is al direct ruim tweemaal over-gedimensioneerd en heeft daarom een slechtere efficiëntie in het bereik van de veldtest karakterisatie op SolarBEAT. De conclusie van deze veldtest resultaten mag dan ook niet gegeneraliseerd wordt. Het verdient aanbeveling om een groter PV-systeem te nemen indien er onderzoek gedaan wordt naar inverter keuzes voor dunne film, ook al gaat dit gepaard met een groter budget voor veldtest onderzoek.
- Het prototype dat Wallvision geleverd heeft voor de outdoor veldtest karakterisatie is ingezet met als hoofdonderzoeksvraag: 'Wat is de meest geschikte PV technologie en systeem configuratie voor een ZigZag-gestructureerde PV-façade (in NW-Europa)?' Na meer dan twee jaar outdoor onderzoek met 3 verschillende topologiën ( $\alpha r = 62^\circ, 55^\circ, \text{ en } 45^\circ$ ), kan er geconcludeerd worden dat de instralingsverdeling in een ZigZag cassette als functie van de tijd voor een compleet jaar met alle seizoenen, een complexe berekening vereist. Desalniettemin is het Wallvision BV gelukt om zelf (in-huis) een instralingsmodel te ontwikkelen. Dit model is

gevalideerd met de veldtest data. Er kan geconcludeerd worden dat de metingen zeer goed overeenkomen met de modelmatig berekende instraling, en dat er dus voldoende vertrouwen is in de voorspellende waarde van het instralingsmodel van Wallvision. De volgende stap van instraling naar elektrische opbrengst (in kWh/kWp/periode waarbij periode staat voor bv. dag, maand, of jaar) kan relatief eenvoudig gemaakt worden m.b.v. een vaste Performance Ratio (PR), hetgeen bewezen is middels matrixen via de IEC 61853-methodiek. De laatste stap is slechts een vermenigvuldigingsfactor die aangeeft hoeveel kWp er per reëel façade oppervlak geïnstalleerd kan worden. Hiermee krijgt de architect, of projectontwikkelaar een eenvoudig tool in handen waarmee er uitgerekend kan worden hoeveel kWh/m<sup>2</sup> façade per periode het ZigZag systeem elektrische opbrengt. Een vol jaar outdoor veldtest metingen geeft voor ZigZag met c-Si-PV een opbrengst van 84 kWh/m<sup>2</sup>/jaar, en voor CIGS-PV 71 kWh/m<sup>2</sup>/jaar, hetgeen zeer dichtbij de modelberekening zit. Deze opbrengsten zijn bovendien in dezelfde range als opbrengsten van 'gewone' PV-panelen verticaal geplaatst, die esthetisch dus niet de keuzevrijheid hebben, die de ZigZag-cassette biedt met de decoratieve plaat.

## Dankwoord

“Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Subsidieregeling energie en innovatie (SEI), Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.”

## Appendix A: Format Publiek Eindrapport volgens RVO

Voor dit publiek eindrapport is het vereiste format gedownload van de RVO-website, begin December 2018. Dat format ziet er als volgt uit:

Het openbare eindrapport moet de volgende elementen bevatten en is gesteld in de Nederlandse taal:

- Samenvatting van de uitgangspunten en de doelstelling van het project en de (eventueel) samenwerkende partijen
- Beschrijving van de behaalde resultaten, de knelpunten en het perspectief voor toepassing;
- Beschrijving van de bijdrage van het project aan de doelstellingen van de regeling (duurzame energiehuishouding, versterking van de kennispositie)
- Spin off binnen en buiten de sector
- Overzicht van openbare publicaties over het project en waar deze te vinden of te verkrijgen zijn;
- Vermelding waar en tegen welke prijs meer exemplaren van dit rapport te bestellen zijn;
- Vermelding van contactpersoon (personen) voor meer informatie
- Vermelding van de verkregen subsidie op de volgende manier