

# Openbaar Eindrapport project “AERII”: Industrialization and System Integration of the Aesthetic Energy Roof Concept

*M.N. van den Donker, Solar Energy Application Centre (SEAC), High Tech Campus 21, Eindhoven, Nederland, [vandendonker@seac.cc](mailto:vandendonker@seac.cc), [www.seac.cc](http://www.seac.cc)  
E.J.M.G. Philipse, AERSpire B.V., Tesla 1, Heerlen, Nederland, [estherphilipse@aerspire.com](mailto:estherphilipse@aerspire.com), [www.aerspire.com](http://www.aerspire.com)*

## Project samenvatting

In het AERII project is een internationaal consortium onder aanvoering van AERSpire de uitdaging aangegaan om een nieuw ontwikkeld esthetisch, gebouw-geïntegreerd zonne-energie systeem te industrialiseren en in de markt te introduceren. Het project is gestart met een marktstudie. Hierin is onderzocht wat de marktprijs van bestaande gebouw-geïntegreerde systemen is, waarom de prijs hoger is dan conventionele zonne-energiesystemen en op welke wijze deze marktprijs omlaag gebracht kan worden. Parallel is de industrialisatie van de fabricage en afwerking van de AER PV elementen ontwikkeld, inclusief productie processen, productie hulpmiddelen, procedures, handleidingen en quality control. Een belangrijke mijlpaal was de realisatie van een prototype dak op de SolarBEAT veldtest locatie (TU/e campus) in Eindhoven waarbij zowel AER PV elementen als dummy elementen zijn geïnstalleerd. Ook is hier de nieuwe generatie van het montagesysteem geïnstalleerd. Dit unieke montagesysteem draagt bij aan een maximale natuurlijke warmteafvoer van de AERSpire PV elementen. Met het prototype dak is aangetoond dat de nieuwe generatie van het AERSpire montagesysteem de warmteafvoer aan de achterzijde van het paneel met 20% extra verbetert en de panelen tot 5 °C extra afkoelt. Als sluitstuk is een grootschalig project gerealiseerd door AERSpire, bestaande uit een 70 kWp PV systeem op 14 rijwoningen. Hiervan is 8 maanden performance data verzameld en geanalyseerd. Hiermee is aangetoond dat de conclusies uit het prototypedak op de SolarBEAT locatie 1:1 vertaald mogen worden in de projecten die met de huidige generatie AERSpire systemen zullen worden uitgevoerd. Het door AERSpire en Heijmans Woningbouw gerealiseerde project aan de Karel de Grotelaan in Eindhoven heeft eind 2015 de Ensoc verkiezing ‘Mooiste zonnestroomproject van Nederland’ gewonnen.

Het AERII project is binnen de looptijd en met slechts een lichte budgetoverschrijding gerealiseerd, waarbij alle projectdoelstellingen zijn gehaald. De projectresultaten zijn gepresenteerd op internationale conferenties en nationale beurzen. Ook heeft het project veel publiciteit en media-aandacht gegenereerd. De projectpartners kijken terug op een succesvol project waar veel commerciële spin-off en innovatieve vervolgprojecten uit zullen voortvloeien.

## Project achtergrond

De toepassing van PV panelen neemt wereldwijd een grote vlucht. In de dicht bevolkte Nederlandse bebouwde omgeving is er beperkte ruimte voor grote energievelden vol PV panelen. Door de steeds strengere normen in de bouw en de doelstellingen voor 2020 worden er in de bebouwde omgeving op daken van woonhuizen steeds meer PV producten toegepast. Het gros van de huidig beschikbare producten hebben hier echter hun beperkingen in de mogelijkheden en toepasbaarheid. Een belangrijk nadeel van de huidig toegepaste PV systemen is de minder aantrekkelijke uitstraling, wat op dit moment nog voor een groot deel van de woning- en vastgoed-eigenaren een reden is om geen PV producten aan te schaffen.

Meerdere fabrikanten, wereldwijd maar ook in Nederland zelf, springen op deze marktbehoefte in en zijn bezig om esthetisch verantwoorde zonne-energieproducten te ontwikkelen. Van deze ‘Building Integrated PhotoVoltaic’ (BIPV) systemen wordt

echter beweerd dat de prijs te hoog is waardoor een groot marktaandeel voor BIPV uitblijft. Hoe hoog is deze prijs dan precies? Waarom is hij te hoog? En hoe kunnen we de prijs reduceren?

## Project doelstelling

In het AERII project heeft een internationaal consortium, bestaande uit Nederlandse en Belgische partijen, de uitdaging aangepakt om het Aesthetic Energy Roof (AER) concept te industrialiseren en op te schalen. Onder leiding van AERSpire, samen met de partners Soltech, Heijmans Woningbouw en SEAC, is het project gerealiseerd.

## Project werkplan

Het project was opgedeeld in een vijftal werkpakketten met zelfsturende teams. WP1 hield zich bezig met het projectmanagement, planning, doelstellingen, budgetten en rapportage. WP2 verzorgde een mondiale marktstudie naar BIPV producten en mondde uit in een functionele

specificatie van het te ontwikkelen BIPV systeem. WP3 ontwikkelde een geïndustrialiseerde economische fabricagemethode voor de productie en afwerking van de AER PV elementen. WP4 ontwikkelde een nieuwe generatie montagesysteem, realiseerde een prototype dak op de onderzoekslocatie SolarBEAT (TU/e campus) en onderzocht de performance van het prototype dak in een veldtest. Hierbij werd speciale aandacht gegeven aan de optimalisatie van de het natuurlijk ventilerende montagesysteem.

In WP5 werd 8 maanden data verzameld uit een grootschalig functioneel project, gerealiseerd door Heijmans Woningbouw en AERspire. Met deze data werd de werking van dit grootschalige functionele dak vergeleken met de werking en de uitkomsten van de resultaten van het prototype dak op de SolarBEAT locatie. Dit met als doelstelling om met de resultaten van het prototypedak ook onderbouwde uitspraken te kunnen doen voor de resultaten op functionele projecten.

## Project resultaten

### Marktstudie

De marktstudie startte in 2014 met een product survey. Middels een internet zoektocht, beursbezoeken en een samenwerking met de database [www.bipv.ch](http://www.bipv.ch) van het Zwitserse SUPSI werd een overzicht verkregen van de nationaal en internationaal beschikbare BIPV producten.

De resultaten staan weergegeven in figuur 1. Er zijn een aantal opvallende observaties te maken aan de hand van dit onderzoek:

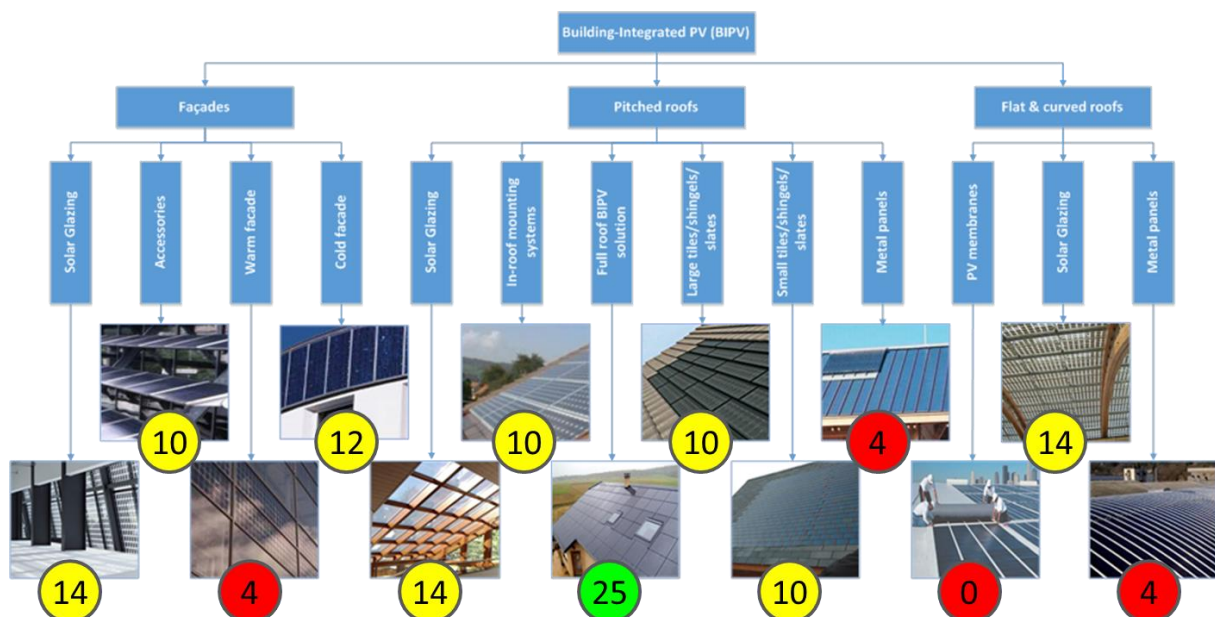
- Er zijn in totaal 109 producten gevonden, wat veel meer is dan vooraf gedacht. Blijkbaar leeft er meer in de BIPV sector dan initieel gedacht en zijn er veel partijen bezig om deze markt te betreden.

- De categorie 'full roof systems' is veruit het populairst, met 25 geïdentificeerde producten. De bedrijvigheid in deze categorie wijst erop dat deze markt als meest aantrekkelijk wordt ervaren en er veel partijen mee bezig zijn om in deze categorie producten te ontwikkelen.

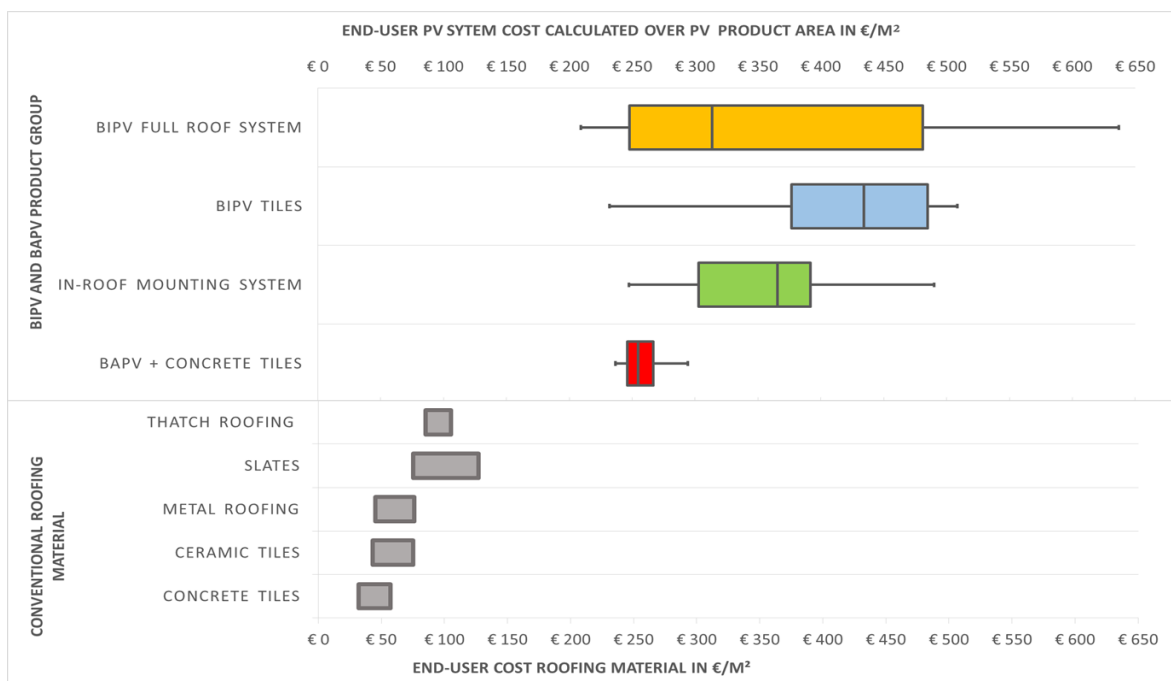
Het binnen AERII ontwikkelde product laat zich als 'full roof system' categoriseren. Om een doorbraak te bewerkstelligen zal het product zich binnen deze categorie moeten onderscheiden in uitstraling, prijs en marktbenadering.

Als tweede onderwerp binnen de marktstudie hebben we een prijs survey uitgevoerd. Hierin werden 22 bedrijven bereid gevonden een offerte te maken voor het dak van een denkbeeldig referentie huis. De verkregen eindgebruiker prijzen inclusief BTW staan weergegeven in figuur 2, waarin ze tevens worden vergeleken met de reguliere bouwmaterialen. Met de uitkomsten van deze studie zijn de volgende observaties te maken:

- Een PV paneel bovenop de dakbedekking (BAPV) geïnstalleerd kost circa 250 €/m<sup>2</sup> en is hiermee circa 5x zo duur als reguliere dakbedekking van circa 50 €/m<sup>2</sup>.
- De goedkoopste BIPV oplossingen zijn vergelijkbaar in prijs met de conventionele PV panelen bovenop de dakbedekking en liggen ook rond de 250 €/m<sup>2</sup>.
- Gemiddeld genomen zijn BIPV systemen echter een stuk duurder dan conventionele PV oplossingen, circa 350 €/m<sup>2</sup> voor in-roof en full roof systemen en zelfs 450 €/m<sup>2</sup> voor zonnepanelen systemen.
- De prijs spreiding binnen de BAPV offertes was klein. Dit duidt erop dat hier veel op prijs geconcentreerd wordt en de diverse aanbiedingen elkaar op basis van prijs niet veel ontlopen.
- De prijs spreiding binnen de BIPV offertes was



**Figuur 1.** Resultaten van de product survey. Het getal geeft het aantal gevonden producten per product categorie weer.



**Figuur 2.** Resultaten van de BIPV prijs survey, weergegeven als box-and-whisker plots voor de gevonden eindklant prijzen inclusief BTW per product categorie.

erg groot. Dit duidt er op dat er in deze markt nog nauwelijks op prijs geconcurrereerd wordt en er voor de verkochte systemen andere criteria dan prijs doorslaggevend zijn in de koopbeslissing van de consument, zoals esthetische uitstraling, vertrouwen in techniek of organisatie, lokale bekendheid, vindbaarheid en communicatie.

Om nader te kunnen onderbouwen op welk onderdeel en waarom de BIPV producten duurder zijn hebben we alle 22 bedrijven gevraagd hun verkoopprijs op te splitsen in diverse categorieën. Een zeer belangrijk verschil werd gevonden in de prijs van de PV panelen zelf.

Standaard PV panelen werden in 2014 aan consumenten aangeboden voor circa 0.90€/Wp. Bij BIPV oplossingen werden weliswaar standaard panelen gebruikt, maar werd doorgaans wel een duurder merk paneel met hogere kwaliteit aangeboden waardoor de consumenten prijs voor de PV panelen op 1.20€/Wp uitkwam. Wanneer er een niet-standaard paneel gebruikt werd, zoals bij zonnedakpan systemen en sommige full roof systemen, kwam de prijs voor het PV paneel nog veel hoger uit, namelijk 2.70€/Wp. Hier speelt de complexiteit van het product en de economy of scale in de productie een belangrijke rol. Een tweede belangrijk verschil in kosten was te zien bij het montage systeem en de installatiekosten, dat voor de conventionele PV systemen totaal 0.35€/Wp kostte en voor BIPV systemen op circa 0.70€/Wp lag. Naast de economy of scale die hier ook weer een rol speelt kunnen deze extra kosten deels verklaard worden door de extra benodigde materialen voor het bereiken van het

waterkerende oppervlak en de extra arbeidsuren om deze extra materialen te installeren.

De prijsstudie, uitgevoerd in 2014, gaf belangrijke aanknopingspunten voor het binnen AERII verder te ontwikkelen product. Om een succesvol esthetisch BIPV systeem in de markt te zetten diende als richtlijn de 250 €/m<sup>2</sup> als verkoopprijs aangehouden te worden. De industrialisatie van de productie en de afwerking van de AER PV elementen diende zo opgezet te worden dat er eenvoudig naar grotere volumes opgeschaald kan worden. Een tweede aanknopingspunt was dat het montagesysteem zo ontwikkeld diende te worden dat de installatie eenvoudig en snel kon verlopen. Het AERSpire systeem heeft al het voordeel dat gootjes en andere materialen, om het oppervlak waterkerend te maken, niet nodig zijn.

#### Prototype dak

Met Soltech werd er gewerkt aan een economische productiemethode die de throughput per uur aanzienlijk liet toenemen en die het mogelijk maakte de BIPV panelen tegen een verbeterde prijs te vervaardigen.

Binnen de productie processen zijn procedures, werkinstructies, productie hulpmiddelen en een verscherpte quality control ontwikkeld, die ervoor hebben gezorgd dat alle handelingen niet alleen foutloos maar ook sneller uitgevoerd kunnen worden. De ontwikkelde productiemethodes zijn getoetst en geoptimaliseerd in een aantal productie testbatches, onder andere tijdens de vervaardiging van de 16 AER PV elementen en 8 passtukken voor het prototype dak op de SolarBEAT testlocatie in Eindhoven, welke in februari 2015 daadwerkelijk

gebouwd en in bedrijf genomen is. Voor het prototype dak is een vooraf goed doordacht meetplan opgesteld, waarbij uiteindelijk meer dan 100 sensoren geïnstalleerd zijn om de temperatuurhuishouding van de ventilatieschacht en de stroomproductie van het PV dak nauwkeurig te kunnen onderzoeken en volgen.

Een 4-seizoenen meting van het prototype dak heeft onder andere de volgende observaties opgeleverd:

- De performance van het AERII prototype dak was erg goed. Gemeten van mei 2015 tot mei 2016 had het dak een performance ratio van 85% en een opbrengst van 1036 kWh/kWp/a. Het mag opgemerkt worden dat dit een extreem hoge opbrengst is voor een PV systeem, en zeker voor een BIPV dak. De opbrengst was 7.5% hoger dan het op de testlocatie aanwezige commerciële BIPV referentiedak.
- Het AERspire montagesysteem draagt significant bij aan extra koeling van de panelen. Warmte lekt extra weg aan de achterlangs stromende ventilatielucht. De natuurlijke stroming van lucht volgt een directe, ononderbroken weg, zonder obstakels, achter de panelen langs, van de goot naar de nok van het dak. Het ontwerp van het montagesysteem verhoogt hiermee de warmteoverdracht van de panelen op de achterlangs stromende lucht met circa 20% en kan op een hete dag de panelen lokaal tot 5 °C extra koelen.



**Figuur 3.** Prototype AER dak op de SolarBEAT testlocatie op de TU/e campus in Eindhoven.

#### Metingen grootschalig functioneel dak

Ter afsluiting van het project zijn er 8 maanden performance data gegenereerd van een grootschalig project uitgevoerd door AERspire en Heijmans Woningbouw met als doel de uitkomsten van het SolarBEAT prototypedak te vertalen in een functioneel werkend project. Dit nieuwbouw project is gebouwd voor Woonbedrijf op de Karel de Grotelaan in Eindhoven en bestaat uit 14 rijwoningen. Het zuidelijk georiënteerde dakvlak, is volledig voorzien van een AERspire oplossing met

circa 70 kWp geïnstalleerd vermogen, bestaande uit zo'n 400 AER PV elementen en AER dummy elementen. Tijdens de fabricage van deze zonnepanelen kon de industrialisatie verder geïmplementeerd en geoptimaliseerd worden. Ook werden voor de randafwerking rond schoorsteen, nok, goot en boeiboord detailleringen in overleg met Heijmans Woningbouw nader vormgegeven en gerealiseerd. Het dak is in juli 2015 geïnstalleerd en het AERspire systeem is in augustus 2015 in bedrijf genomen. Eind 2015 won dit project de prestigieuze Ensoc verkiezing tot 'Mooiste Zonnestroom Project van Nederland'. Het dak is te bezichtigen op GPS coördinaten 51.420940, 5.448110.



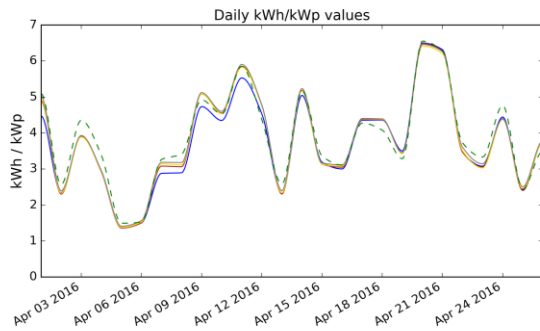
**Figuur 4.** Functioneel AERspire dak op de Karel de Grotelaan in Eindhoven.

Een uitdaging in de analyse van deze 14 rijwoningen was de bomenrij die voor de huizen staat. Deze bomenrij wierp schaduw op een deel van de woningen tijdens zonnige winterochtenden en -avonden. Om toch een betrouwbare vergelijking te kunnen maken werden de niet-beschaduwde en beschaduwde meetpunten apart bekeken.

De 8 maanden monitoring van deze 14 functionele woningen en de vergelijking van deze resultaten met de resultaten van het prototype op SolarBEAT hebben de volgende inzichten opgeleverd:

- De goede performance van het SolarBEAT prototype dak werd geëvenaard in het functionele dak. Ook hier is een performance ratio van rond de 85% gemeten, met de daarmee corresponderende jaaropbrengst van circa 1000 kWh/kWp.
- Zelfs voor de woningen met beschaduwing komt de totale verwachte opbrengst voor een gemiddeld jaar uit op 900-950 kWh/kWp/a. Dit is, afhankelijk van de mate van beschaduwing van de woning, tussen de 4-10% lager dan wanneer er geen schaduw van de bomenrij zou zijn.
- Door de vergelijkbare resultaten van de 14 functionele woningen en het prototype dak op SolarBeat mag gesteld worden dat ook deze functionele woningen tot 7,5% meer opbrengen dan de commerciële BIPV referentie op SolarBEAT.

- Zowel beschaduwde als onbeschaduwde daken leveren beduidend meer dan het door CBS vastgestelde landelijk gemiddelde voor PV systemen van 875 kWh/kWp/a. Hiermee is bewezen dat goed ontworpen dakgeïntegreerde BIPV systemen net zo goed kunnen presteren als conventionele PV systemen.



**Figuur 4.** kWh opbrengst van het Karel de Grotelaan project (doorgetrokken strepen, diverse kleuren voor verschillende huisnummers) vergeleken met het prototype system op SolarBEAT (stippellijn) in de maand april.

### Project conclusies

De BIPV product survey heeft aangetoond dat er in de ontwikkeling en toepassing van BIPV veel meer leeft dan men er zich mogelijk van bewust is. In totaal zijn er 109 producten in diverse product categorieën gevonden. De grootste categorie is die van 'full roof system' waartoe ook het AER concept behoort. Dit toont aan dat er in deze categorie veel activiteiten lopen.

BIPV oplossingen zijn in Nederland nog steeds duur. Vergeleken met de concurrerende gangbare oplossing van traditionele dakpannen met een BAPV systeem, zijn de BIPV systemen circa 100 €/m<sup>2</sup> duurder (eindklant prijs inclusief BTW). Wanneer er van 'standaardpanelen' wordt afgeweken wordt het prijsverschil nog groter, tot circa 2x zo duur voor de high-end BIPV systemen.

Het AERspire concept is goed gepositioneerd tussen de overige 109 concepten. De marktkansen voor 'full roof systems' worden hoog ingeschat door vele marktpartijen. De glas-glas technologie die AERspire toepast heeft een zeer geringe degradatie en lange levensduur. De AERspire oplossing heeft de belofte om een zeer concurrerende oplossing te worden door de eenvoud van het concept.

Binnen het AERII project zijn de productkosten met circa 30% teruggebracht door de optimalisatie van productieprocessen, invoeren van gedetailleerde werk-instructies, handleidingen, quality control en de ontwikkeling van productie hulpmiddelen.

De productie en finishing van de AER PV elementen is verder geïndustrialiseerd, waardoor een kostprijsreductie kan plaatsvinden die de kostprijs van de beschikbare goedkopere BIPV oplossingen kan benaderen.

Deze optimalisaties zijn doorgevoerd tijdens diverse testruns van de productie en de finishing van de AER PV elementen voor het prototype dak en tevens voor de grote productiebatch van 400 AER PV elementen en dummy elementen voor het functionele dak, wat samen met Heijmans Woningbouw is gerealiseerd.

Het prototype AER dak is een jaar lang gemonitord op de SolarBEAT test locatie. De veldtest op SolarBEAT heeft aangetoond dat het AER montagesysteem de koeling aan de achterzijde van het paneel met circa 20% verbetert. Op een zonnige dag is het AER PV element tot 5 °C koeler door het slimme ontwerp.

De jaaropbrengst van het AERspire systeem op de SolarBEAT test locatie behaalde meer dan 1000 kWh/kWp/a wat niet alleen zeer hoog is voor een BIPV maar zelfs ook voor een regulier PV systeem, gezien de gemiddelde opbrengst van Nederlandse PV systemen van circa 875 kWh/kWp/a (bron CBS).

Uitgebreide monitoring van 14 rijwoningen met een AER dak, gesitueerd op de Karel de Grotelaan in Eindhoven, toonde aan dat de performance van het AERspire systeem, ook in deze functionele toepassing, een opbrengst kan halen van tegen de 1000 kWh/kWp/a. Door de aanwezige bomenrij die in de winter schaduw op een aantal van de daken werpt zal bij deze beschaduwde woningen in de praktijk een opbrengst van 900-950 kWh/kWp/a worden gehaald.

En met deze uitgebreide (duur)testen op zowel de SolarBEAT test locatie als in de rij functionele woningen en de gedetailleerde analyse van de metingen kan gesteld kan worden dat het AER systeem het beste van twee werelden combineert: De esthetica van een in-dak systeem met de goede performance van een op-dak systeem. De projectpartners zijn verheugd in dit project te hebben kunnen bewijzen dat een goed ontworpen dakgeïntegreerd BIPV systemen net zo goed kan presteren als conventionele PV systemen.

### Dankbetuiging

Het AERII project is uitgevoerd binnen het internationale Solar ERA.NET raamwerk in een Nederlands-Belgische samenwerking. Het project is financieel gesteund door het Nederlandse TKI solar energie, RVO en het IWT.