



## Impactevaluatie Interreg V Vlaanderen-Nederland

Case Study Rapport PV OpMaat | 2 april 2019

In opdracht van

Autonom Provinciebedrijf Provinciaal Secretariaat  
Europese Structuurfondsen - Interreg  
Koningin Elisabethlei 22  
2018 Antwerpen

**IDEA**   
CONSULT *thinking ahead*

*member of*  
**IDEAGROUP**





# Inhoudsopgave

1 / Inhoud en doelstelling PV OpMaat	3
1.1. Achtergrond en context PV OpMaat	3
1.2. Interventielogica	4
2 / Activiteiten en output van PV OpMaat	6
2.1. Realisaties van PV OpMaat	6
2.2. Bijdrage aan programmaindicatoren	11
3 / (Verwachte) resultaten & impact	12
3.1. Analyse van de resultaten PV OpMaat	12
3.2. Succesfactoren & good practice elementen	14





## 1 / Inhoud en doelstelling PV OpMaat

We beschrijven ten eerste kort de inhoud en doelstellingen van PV OpMaat, en lichten onze interventielogica voor het project toe.

### 1.1. Achtergrond en context PV OpMaat

In het kader van het Samenwerkingsprogramma Interreg Vlaanderen - Nederland hebben 8 kennisinstellingen en een groot aantal bedrijven de krachten gebundeld voor het project PV OpMaat. Het project is op 1 januari 2016 gestart en wordt uitgevoerd door Solliance<sup>1</sup>. PV OpMaat speelt in op de massale installatie van zonnepanelen in de regio Vlamingen-Nederland en streeft naar efficiëntere en beter op maat geïntegreerde zonnepanelen voor woningen en gebouwen. Met het PV OpMaat project worden bijkomende projecten gerealiseerd voor geïnteresseerde producenten en installateurs.

Op vlak van PV materialen en productie:

- ▶ Kleinere PV Proefstukken, niet transparant, semi-transparant en gekleurd, voor het onderzoeken en aantonen van kwaliteit en duurzaamheid van maatgesneden elektrische PV verbindingen
- ▶ Realiseren van opschaling van alle drie typen PV naar tegelformaat (10x10cm<sup>2</sup> en 30x30 cm<sup>2</sup>)

Op vlak van maatgesneden BIPV-producten en electronica:

- ▶ Geïntegreerde niet-transparante, semi-transparante en gekleurde dunne film PV demonstratoren met interconnectie en elektronica

Op vlak van geïntegreerde PV in bouwdemo's:

- ▶ Demo's van geïntegreerde niet-transparante, semi-transparante en gekleurde PV in bouwelementen (BIPV bouwdemo's voor buiten-exposure)
- ▶ Prestatiemetingen aan in bouw geïntegreerde dunne film PV systemen onder Nederlandse/Belgische praktijkomstandigheden

Het totale budget van het project is 7 miljoen euro. Hiervan is circa 3,2 miljoen euro als EFRO-subsidie verkregen

PV OpMaat bestaat uit de volgende partners

---

<sup>1</sup> Publiek-privaat samenwerkingsverband van bedrijven en kennisinstellingen dat zich richt op de ontwikkeling van dunne film zonnecellen; het Nederlandse SEAC, hét onafhankelijke centrum voor de toepassing van zonne-energiesystemen en het Vlaamse EnergyVille, het energiecentrum voor duurzame energie en intelligente energiesystemen. Naast projectcoördinator TNO zijn ECN, imec, Holst Centre, Forschungszentrum Jülich, de universiteiten van Eindhoven, Hasselt en Leuven, en ZUYD Hogeschool hierbinnen deelnemers

Tabel 1: Partnerstructuur

Onderwijs - & kennisinstellingen
Technische Universiteit Eindhoven
Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk onderzoek (TNO)
Katholieke Universiteit Leuven
Stichting Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN)
Interuniversitair Micro-Elektronica Centrum (IMEC)
Universiteit Hasselt
Zuyd Hogeschool
Forschungszentrum Juelich GmbH

## 1.2. Interventiologica

Zoals voor iedere case, hebben we een interventiologica voor PV OpMaat opgemaakt die wegeeft hoe de activiteiten en (beoogde) uitkomsten zouden moeten bijdragen aan de gewenste resultaten voor SD 2C en het programma als geheel (zie figuur hieronder). De case studie gaat na in hoeverre deze logica is waargemaakt.

Het project PV OpMaat draagt bij aan de specifieke **doelstelling** 2C *Innovatie van koolstofarme producten/diensten/toepassingen/processen door industrieel onderzoek en experimentele ontwikkeling, door samenwerking tussen bedrijven onderling en van bedrijven met O&I-centra en kennisinstellingen en door vroege implementatie van innovatieve koolstofarme technologieën.*

Vanuit deze hoofddoelstelling is de **projectdoelstelling** tot stand gekomen: *Het realiseren van een zichzelf verbeterende keten voor het ontwikkelen, vervaardigen en toepassen van bouwelementen op basis van geïntegreerde maatgesneden dunne film PV.*

In samenwerking met private en publieke partijen uit deze keten worden naast specifieke onderzoeksactiviteiten, een aantal concrete demonstratoren ontwikkeld op basis van onafhankelijk onderzoek. Deze demonstratoren zijn een middel om richting en focus te geven aan onderzoek naar nieuwe methoden voor vervaardiging, integratie en bepaling van performantie en levensduur van PV. Zij maken aantoonbaar welke specifieke eisen en wensen vanuit de gewenste bouwtoepassing realiseerbaar zijn, en daarmee het onderzoek en de ontwikkeling van nieuwe producten versnellen. Hierbij liggen grote kansen zowel voor het onderzoek, de daar op volgende ontwikkeling, en de markttoepassing in het programmagebied. Focus van het project ligt daarmee op onafhankelijk onderzoek, en het stroomlijnen van de vraagsturing op dit onderzoek om daarmee de route naar toepassing in de praktijk te versnellen.

In dit project wordt geleerd van de huidige installatiepraktijk op basis van reeds verkrijgbare (dunne film) PV panelen, en door verbeterde afstemming tussen: vraagsturing uit de bouw, producenten van geïntegreerde bouwelementen en technologie aanbieders voor maatgesneden dunne film PV. Door deze aanpak wordt het in dit project te verrichten onderzoek versneld, en de impact vergroot waardoor zowel regionale bedrijvigheid als uitbreiding van bouwgeïntegreerde duurzame energieopwekking wordt gestimuleerd.

Hiertoe zullen 3 demonstratoren gerealiseerd worden voor innovatieve PV geïntegreerde bouwcomponenten:

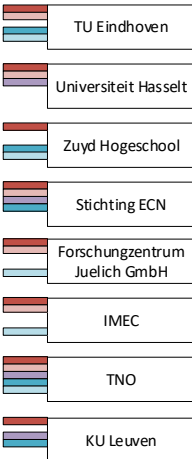
- ▶ Gebouw geïntegreerde, egaal transparante PV glaspanelen
- ▶ Geïntegreerd bouwelement met maatgesneden PV (aangetoonde vrije maatvoering, en inclusief electronica)
- ▶ Opschaling van kleurafstembare PV naar tegelformaat (10x10cm<sup>2</sup>; optioneel 30x30 cm<sup>2</sup>)

Een meer generiek doel is om op basis van het hier verrichte onderzoek productgerichte business cases te ontwikkelen waarmee de publiek-private samenwerking rond Solliance, SEAC en Energyville benut zal worden om binnen het eigen programmagebied nieuwe bedrijvigheid te genereren en bij te dragen aan bredere toepassing van duurzame energieopwekking in de gebouwde omgeving.

De verschillende partners dragen in verschillende fases bij aan het project. Zoals in onderstaande schematische weergave van de interventiologica is weergegeven.

# Duurzame groei: Overgang naar een koolstofarme economie in alle bedrijfstakken

## PV OpMaat

Projectpartners	Activiteiten	Output	Kennisopbouw	Gedragsverandering	Resultaat
	WP2: Communicatie	PR en communicatie richting begunstigden	De potentie van PV technologie wordt bekend via de ontwikkelde demonstrators	Organisaties nemen kennis van toepassing van nieuwe technieken/maatregels	Hogere energie-efficiëntie bij bedrijven
		Communicatie langs de waardeketen	Meer kennis over productgerichte business cases voor publiek-private samenwerking rond bredere toepassing van duurzame energieopwekking.	Gebouweigenaren en bedrijven worden gemotiveerd om energiebesparende maatregelen te nemen	Hoger aandeel hernieuwbare energie
		Kennisoverdrachtbijeenkomsten en workshops			
		Profilering door lezingen en beurspresentatie	Onafhankelijk onderzoek om de route naar toepassing in de praktijk te versnellen	Hogere investeringsbereidheid in toepassing van maatregels/technieken voor energie-efficiëntie	Meer energie-efficiëntie
		Publicaties en demonstraties			
		WP3: PV materialen en productie	Semitransparante CIGS PV	Organisaties nemen deel in demonstratie en pilotsprojecten	Toename in gebruik energiebesparende technieken
	Niet transparante CIGS PV				
	Perovskiet PV				
	Optimalisatie duurzaamheid laserschrijf proces				
	Optimalisatie duurzaamheid printverbinding proces				
	WP4: Maatgesneden BIPV-producten en electronica		Demonstrator modules op maat		
		Niet transparante demo			
Transparante demo					
Gekleurde demo					
WP5: Geïntegreerde PV in bouwdemo's	Testinstallaties				
	Meting en modellering				
	Optimalisatie van energieopbrengst				
WP6: Betrouwbaarheid en levensduur	Leren uit commerciële praktijk				
	Leren uit proeftuinen				
	Leren uit versnelde levensduurtesten				

- Doelgroepen:**
- Kennis en onderwijsinstellingen die (mede) onderzoek en ontwikkeling verrichten op het gebied van duurzame energieopwekking en -toepassing voor een meer koolstofarme economie
  - Private partijen die actief zijn in het vervaardigen van materialen, productietechnologie en producten op het gebied van PV energie en PV geïntegreerde bouwcomponenten.





## 2 / Activiteiten en output van PV OpMaat

Deze sectie beschrijft de belangrijkste output en deliverables van dit project en hun samenhang met de rest van de interventielogica. We zullen nagaan in hoeverre alle voorziene acties en deliverables zijn opgeleverd, en zo niet, waarom niet en het effect daarvan op het waarmaken van de interventielogica. Ook kijken we naar de bijdrage van het project aan de programma-indicatoren.

### 2.1. Realisaties van PV OpMaat

Onderstaande sectie laat zien hoe de werkpakketten binnen PV OpMaat zijn opgebouwd gericht op het realiseren van het gewenste resultaat. We overlopen hieronder de belangrijkste realisaties.

In het project zijn 6 werkpakketten opgenomen:

- ▶ Werkpakket 1 & 2: Projectmanagement & Communicatie
- ▶ Werkpakket 3: PV Materialen en productie
- ▶ Werkpakket 4: Maatgesneden BIPV-producten en electronica
- ▶ Werkpakket 5: Geïntegreerde PV in bouwdemo's
- ▶ Werkpakket 6: Betrouwbaarheid en levensduur

#### **Werkpakket 1 en 2: Projectmanagement & communicatie**

Het project is voortvarend van start gegaan, maar er zijn meerdere hindernissen op het pad gekomen tijdens de uitvoering. Zo is er vanaf de tweede helft van 2018 veel tijd gaan zitten in de voorbereiding van de verlengingsaanvraag met alle wijzigingen, waaronder de samenvoeging van TNO en ECN. Deze voorbereiding betaalde zich uit met het verkrijgen van de verlenging, maar werd er wel een streep gezet door de gevraagde extra budgetten voor enkele PPL-partners.

Consequentie van bovenstaande bezigheden is dat niet genoeg tijd besteed kon worden aan de aansturing van het project. Daardoor zijn er vertragingen ontstaan bij de oplevering van demo-1 (golfplatendak met PV te Heerlen) en demo-4 (kerkraam met de laatste technologische zonneceltechnologie).

Bovendien begint na een aanvankelijk succes de bedrijfsparticipatie via PPL-partners weg te zakken. De gevraagde investering van de PPL-bedrijven om de demo's tot een succes te kunnen maken blijkt moeizaam op te brengen, en men geeft aan aanvullende financiering nodig te hebben. Deze vraag kan door Interreg echter niet worden vervuld, en het kost de projectverantwoordelijke steeds meer moeite om deze bedrijven betrokken te houden. Verschillende samenwerkingen zijn om deze reden al stopgezet. Dit vertaalt zich ook naar verminderde interesse van de PPL's in de consortia bijeenkomsten en workshops.

#### *Communicatie langs de waardeketen*

Aan de hand van de vier demonstratieprojecten vindt de communicatie langs de waardeketen plaats. Om meer publiciteit en aandacht van de doelgroepen te genereren wordt gebruik gemaakt van het feit dat de concrete demonstrator opstellingen niet tegelijk, maar na elkaar gereedkomen. Deze periode is dat met name de derde demonstrator die wordt

opgestart voor lichtgewicht golfdaken met geïntegreerde dunne film PV, specifiek voor asbestvervanging in daken van gebouwen in de agrarische sector.

Daarnaast geeft het project via workshops, presentaties/demonstraties op beurzen en congressen, en publicaties visibiliteit aan haar realisaties.

### Werkpakket 3: PV Materialen en productie

De voorziene activiteiten in dit werkpakket zijn:

- a. Semitransparante CIGS PV
- b. Niet transparante CIGS PV
- c. Perovskiet PV
- d. Optimalisatie duurzaamheid laser-schrijf proces
- e. Optimalisatie duurzaamheid print-verbinding proces

Hieronder is de status per subactiviteit weergegeven op basis van de outputindicatoren. Na de tabel volgt een kwalitatieve beschrijving van de voortgang.

Output van het WP	Streef-waarde	Totaal behaald
Kleinere PV Proefstukken van alle drie typen voor het onderzoeken en aantonen van kwaliteit en duurzaamheid van maatgesneden elektrische PV verbindingen	3	3
Niet transparante PV Demonstrator elementen op 10x10cm <sup>2</sup> en 30x30cm <sup>2</sup> schaal voor realisatie van geïntegreerde demonstratoren in WP4 (1 of meer stuks afhankelijk van te integreren demonstrator)	1	6
Semi-transparante PV Demonstrator elementen op 10x10cm <sup>2</sup> en 30x30cm <sup>2</sup> schaal voor realisatie van geïntegreerde demonstratoren in WP4 (1 of meer stuks afhankelijk van te integreren demonstrator)	1	4
Gekleurde PV Demonstrator elementen op 10x10cm <sup>2</sup> en 30x30cm <sup>2</sup> schaal voor realisatie van geïntegreerde demonstratoren in WP4 (1 of meer stuks afhankelijk van te integreren demonstrator)	1	2

#### a. Semitransparante CIGS PV

In het eerste half jaar van 2018 was het werk aan semitransparante CIGS binnen PVopMaat al afgerond. Binnen Solliance is de ontwikkeling verder voortgezet binnen aanpalende projecten, waarbij de werkzaamheden zijn verlegd naar folie materialen. Aan de hand van kennis opgedaan tijdens de ontwikkeling van het laser schrijfproces is er een eerste semi-transparant CIGS demonstrator op polyimide gerealiseerd. De folies waarbij het CIGS gedeeltelijk is verwijderd kunnen als halffabricaat worden verwerkt in bijvoorbeeld isolatie glas of in gelamineerd glas dat zijn toepassing vindt in de utiliteitsbouw. Dit werk wordt de komende jaren samen met de CIGS-industrie voortgezet.

#### b. Niet transparante CIGS PV

Binnen PVopMaat hebben het tweede half jaar van 2018 geen activiteiten plaats gevonden binnen de niet-transparante CIGS PV. Wel heeft het voorgaande werk aan CIGS op glas heeft geresulteerd in een verdere cell efficiency verhoging tot 16.4% (oude record 15.6%).

Als spin-off van het werk binnen PVopMaat heeft het onderzoek zich geconcentreerd op het overzetten van de behaalde resultaten op glaspanelen naar metaalfolies. Aan de hand hiervan kan een halffabricaat worden gerealiseerd dat verwerkt kan worden tot producten met aangepaste maatvoering. Dit werk wordt komend jaar voortgezet in samenwerking met de staalindustrie.

#### c. Perovskiet PV

De eerder ontwikkelde module van 13.8% op 15 x 15 cm<sup>2</sup> bleek thermisch niet stabiel. Daarom is er in 2018 hard gewerkt om de module stabiliteit te verbeteren. Deze stabielere perovskiet cel is begin 2018 tot stand gekomen door combinatie van de perovskiet laag met andere contactlagen. Dit is vervolgens aangepast om het mogelijk te maken de cel met schaalbare depositie processen te vervaardigen. Vervolgens heeft de opschaling van perovskiet cellen naar perovskiet modules aan de hand van deze nieuwe architectuur plaatsgevonden. Aan het einde van 2018 is het gelukt om stabiele perovskiet modules te maken met een efficiëntie van 13.6%.

Verder is er gewerkt aan semi-transparante perovskiet modules. Ook deze zijn gerealiseerd op 15 x 15 substraat afmetingen. Met deze modules worden duurproeven uitgevoerd. De eerste resultaten laten zien dat de modules 1000 uur bij 85 C goed kunnen doorstaan.

Op celniveau is eraan gewerkt om perovskieten met verschillende kleuren te maken. Hierbij is het mogelijk gebleken om het absorptiespectrum te verschuiven van 800nm naar 750nm.

Tot slot is er ook een translucente flexibele module gemaakt. De translucentie kan ingesteld worden van 10% tot meer dan 50% (deze modules kunnen bijvoorbeeld tussen twee glasplaten ingebouwd worden om PV-ramen te maken).

Voor werkpakket 4 zijn er 4 15x15 cm<sup>2</sup> modules gemaakt, waarvan er uiteindelijk 3 zijn gebruikt in de pastorij-raam demonstrator:

- 1 opaque
- 1 semi-transparante
- 1 opaque waar een gekleurde folie voor wordt geplaatst

#### d. *Optimalisatie duurzaamheid laser-schrijf proces*

In 2017 is het laser-schrijf proces geoptimaliseerd, welke begin 2018 succesvol is opgeschaald tot het grootste formaat.

Binnen PVOpMaat is het tweede half jaar van 2018 niet gewerkt aan het laser-schrijf proces. Als spin-off van het voorgaande werk is in aanpalende projecten een semi-transparante CIGS demonstrator op polyimide gerealiseerd.

#### e. *Optimalisatie duurzaamheid print-verbinding proces*

Op de Universiteit van Hasselt zijn op aangebrachte demonstratoren duurtesten uitgevoerd. Binnen werkpakket 3 van PV OpMaat zijn het tweede half jaar van 2018 geen verdere werkzaamheden verricht op dit onderdeel.

### **Werkpakket 4: Maatgesneden BIPV-producten en electronica**

De voorziene activiteiten in dit werkpakket zijn:

- a. Demonstrator modules op maat
- b. Niet transparante demo
- c. Transparante demo
- d. Gekleurde demo

Hieronder is de status per subactiviteit weergegeven op basis van de outputindicatoren. Na de tabel volgt een kwalitatieve beschrijving van de voortgang.

Output van het WP	Streef-waarde	Totaal behaald
Geïntegreerde niet-transparante dunne film PV demonstratoren met interconnectie en elektronica op basis van output werkpakket 3 (1 of meer geïntegreerde PV demonstratoren voor WP5)	1	0
Geïntegreerde semi-transparante dunne film PV demonstratoren met interconnectie en elektronica op basis van output werkpakket 3 (1 of meer geïntegreerde PV demonstratoren voor WP5)	1	0
Geïntegreerde gekleurde dunne film PV demonstratoren met interconnectie en elektronica op basis van output werkpakket 3 (1 of meer geïntegreerde PV demonstratoren voor WP5)	1	0

#### *Demonstrator modules op maat*

Er is geopteerd om met verschillende materialen geproduceerd binnen werkpakket 3 (CIGS, Perovskiet, Opaque gekleurd en semi transparant) een demonstrator te bouwen. Vervolgens is er, om hier alle verschillende demonstratoren van activiteit *b*, *c* en *d* in te integreren, geopteerd voor een raam met onderverdelingen. Voor de vermogensomvorming is er gekozen om samen met Taylor een micro DC/DC inverter te gebruiken om de verschillende celtechnologieën samen op een 24 volt bus te laten werken. Dit laat toe om de verschillende custom demonstratoren in één grotere demo te integreren.

- ▶ CIGS van TNO en Perovskiet zonnecellen van imec werden in de demonstrator geïntegreerd (*Niet transparante demo*).
- ▶ Een semi transparante demonstrator werd gekozen op basis van Perovskiet en in de demonstrator ingebouwd (*Transparante demo*)
- ▶ Een groen gekleurde CIGS-cel is ingebouwd in de glas module (*Gekleurde demo*)

Momenteel zijn alle actieve materialen van de *b*, *c* en *d* demo op een enkel glas gelamineerd en is dit glas klaar om te dubbelen en in te bouwen in een raam. Dit wordt nu verder uitgevoerd door Ceyssens Glas.

### **Werkpakket 5: Geïntegreerde PV in bouwdemo's**

De voorziene activiteiten in dit werkpakket zijn:

- a. Testinstallaties



- b. Meting en modellering
- c. Optimalisatie van energie opbrengst

Hieronder is de status per subactiviteit weergegeven op basis van de outputindicatoren. Na de tabel volgt een kwalitatieve beschrijving van de voortgang.

Output van het WP	Streefwaarde	Totaal behaald
Demo van geïntegreerde semi-transparante PV in bouwelement (BIPV bouwdemo voor buiten-exposure)	1	1
Demo van geïntegreerde niet-transparante PV in bouwelement (BIPV bouwdemo voor buiten-exposure)	1	1
Demo van geïntegreerde gekleurde PV in bouwelement (BIPV bouwdemo voor buiten-exposure)	1	2
Concrete casusrapporten: prestatie metingen aan in bouw geïntegreerde dunne film PV systemen onder NL/B praktijkomstandigheden	5	0

#### a. Testinstallaties

In dit werkpakket zijn 4 demonstrators gerealiseerd op 3 locaties, zijnde:

- ▶ Niet transparante dunne films producten voor de vervanging van asbestdaken op de Wijk van Morgen door Zuyd Hogeschool. Deze is gerealiseerd in de periode oktober 2018-januari 2019. In deze demo worden producten van Hyet/Eternit en Solliance/Eternit van werkpakket 4 getest.
- ▶ Semitransparante dunne film BIPV voor gevels op testlocatie Heverlee door KU Leuven. Deze is gerealiseerd in juli 2017. Een uitgebreide beschrijving is gegeven in januari 2018 over deze demo en locatie.
- ▶ Twee demo's zijn ontwikkeld ten aanzien van gekleurde dunne film BIPV-producten voor gevels en daken op Solar Beat Eindhoven door TNO-Solliance en TNO-SEAC. Deze zijn gerealiseerd in de periode april- juli 2018.

#### b. Meting en modellering

In dit werkpakket zullen 4 demonstrators (zoals beschreven in a) gemonitord worden:

- ▶ De niet transparante dunne films producten voor de vervanging van asbestdaken op de Wijk van Morgen door Zuyd Hogeschool zal gemonitord worden van maart 2019-augustus 2019.
- ▶ De semitransparante dunne film BIPV voor gevels op testlocatie Heverlee door KU Leuven wordt sinds augustus 2017 gemonitord en de metingen zullen doorgaan tot september 2019.
- ▶ De twee demo's ontwikkeld ten aanzien van gekleurde dunne film BIPV-producten voor gevels en daken op Solar Beat Eindhoven door TNO-Solliance en TNO-SEAC worden gemonitord sinds de zomer van 2018 en zullen gemonitord worden tot augustus 2019

#### c. Optimalisatie van energie opbrengst

Voor de businesscase van de producten is de energieopbrengst van de ontwikkelde producten van groot belang. In alle 4 de demo's is de onderzoeksvraag gesteld hoe de energieopbrengst zo "goed" mogelijk kan zijn en hoe deze zich onder verschillende weeromstandigheden gedraagt ten opzichte van bestaande producten. De energie opbrengsten van de 4 demo's worden gemonitord en aanbevelingen worden gedaan voor verdere verbeteringen aan de producten. Deze aanbevelingen worden in nauw overleg met werkpakket 6 aan het eind van het project gerapporteerd.

### Werkpakket 6: Betrouwbaarheid en levensduur

De voorziene activiteiten in dit werkpakket zijn:

- a. Leren uit de commerciële praktijk
- b. Leren uit proeftuinen
- c. Leren uit versnelde levensduurtesten

Hieronder is de status per subactiviteit weergegeven op basis van de outputindicatoren. Na de tabel volgt een kwalitatieve beschrijving van de voortgang.



<b>Output van het WP</b>	<b>Streefwaarde</b>	<b>Totaal behaald</b>
Rapport: versnelde levensduurtest op demo 1	1	1
Rapport: versnelde levensduurtest op demo 2	1	1
Rapport: versnelde levensduurtest op demo 3	1	1
Publicaties van mechanismen die kwaliteit bepalen in patroneren/verbinden van PV	3	2
Publicaties van verbeteringen van performantie/levensduur van op maat gepatroneerde/verbonden PV	3	1
Gedemonstreerde kwaliteitsverbetering bij op maat patronering/verbinding op PV proefstukken (aantal proefstukken)	3	0

#### *a. Leren uit de commerciële praktijk*

In dit werkpakket wordt de energieopbrengst van 2 verschillende commerciële technologieën (c-Si en CIGS-modules) met elkaar vergeleken onder reële weerscondities.

Het verschil tussen CIGS en c-Si data kan verklaard worden door de temperatuurscoëfficiënt die voor beide technologieën verschillend is. Hiermee kan binnen de statistische fout de observaties voor beide technologieën worden verklaard.

De methodologie, in dit werkpakket ontwikkeld om meetdata van sites te corrigeren voor beschaduwning, is ondertussen ingediend ter publicatie.

Gezien de resultaten van de testen gepubliceerd zijn of worden en dus toegankelijk voor alle bedrijven is er geen probleem betreffende de wetgeving op bedrijfssteun.

#### *b. Leren uit proeftuinen*

De KU Leuven heeft een demo installatie van semi-transparante PV-panelen op een facade van zijn VLIET testgebouw. Metingen uit het tweede half jaar van 2018 hebben de conclusie uit de vorige rapportage bevestigd: een opstelling zonder ventilatie heeft de voorkeur, dit omdat het verschil in PV-opbrengst tussen geventileerde en niet geventileerde opstellingen klein is.

Er is ook vastgesteld dat de temperatuur van de driedubbel glasramen met ventilatie beduidend lager is dan zonder de ventilatie, wat te verwachten is. Maar zoals reeds vastgesteld in het eerste half jaar van 2018 heeft dat weinig effect op de energy-opbrengst van de 2 opstellingen, gezien het CdTe PV-materiaal een kleine temperatuurscoëfficiënt heeft. Verder, de instraling door een nominaal 40% transparant dubbel glasraam, met en zonder PV, is bijna gelijk. De kleine verschillen kunnen toegewezen worden aan de verschillen in absorptie en reflectie van het PV-materiaal tov. het niet PV materiaal. Naar binnenklimaat eigenschappen presteren beide glasramen dus bijna identiek.

Demo 3A werd in het eerste half jaar van 2018 geïnstalleerd en gemonitord in het tweede half jaar. In deze demo worden composietmaterialen verwerkt om de PV-gevelpanelen een andere structuur te geven. Gele, groene en grijze kleurschakeringen werden ingewerkt met harsen of met folies en vervolgens bestudeerd.

De belangrijkste conclusies zijn dat de gele en grijswitte schakeringen met hars een klein verlies aan energieopbrengst kennen. De kleuring met folies vertoont een aanzienlijk verlies aan opbrengst. Het samenbrengen van de PV actieve elementen en de composietmaterialen zorgen voor extra schaduw effecten op de PV-panelen, die niet voorzien waren bij een eerste ontwerp. Volgend deze demo is een oplossing uitgewerkt om via bypass diodes het effect van dit probleem in de toekomst te verminderen.

Gezien de resultaten van de testen gepubliceerd zijn of worden en dus toegankelijk voor alle bedrijven is er geen probleem betreffende de wetgeving op bedrijfssteun.

#### *c. Leren uit versnelde levensduurtesten*

In deze periode is een versnelde levensduur test afgewerkt om 2 semi-fabricaten van actieve CIGS PV-cellen met elkaar te vergelijken. Hier is een rapport over geschreven. Er werden damp-heat en thermische cycling testen gedaan op mini-modules. In alle gevallen waarbij de encapsulatie correct werd aangebracht, blijken de beide semi-fabricaten de testen goed te doorstaan en kunnen gebruikt worden voor demo's in outdoor testen.

In gevallen waar de samples de test niet doorstonden, bleken fabricatiefouten de oorzaak. Deze fouten zijn vooral te wijten aan schade waar de elektrische connecties uit de modules komen of door thermische spanningen in de gelamineerde lagen van de modules. Hierom worden er nu verbeterde fabricatie methodes toegepast om deze fouten te vermijden.

Een publicatie over de round robin-testen is bijna afgewerkt en wordt in het eerste half jaar van 2019 ingediend.

Het rapport over de testen met de semi-fabricaten wordt niet gedeeld met bedrijven. De andere resultaten van de testen zullen gepubliceerd worden en dus toegankelijk voor alle bedrijven. Daarom is er geen probleem betreffende de wetgeving op bedrijfssteun.

## 2.2. Bijdrage aan programma-indicatoren

De indicatoren geven een eerste beeld hoe het project PVOpMaat erin slaagt bij te dragen aan de beoogde realisatie en resultaten van het Interreg-programma. We geven hieronder een korte duiding.

PVOpMaat draagt als project bij aan de resultaten van doelstelling 4F (Koolstofarme economie: Innovatie bedrijven). Onderstaande tabel geeft per programma-indicator inzicht in de voortgang van PVOpMaat betreffende de doelstellingen van het project.

Indicator	Voortgang	Streefwaarde project	Voortgang project	Streefwaarde SD	Aandeel SD
aantal bedrijven dat steun ontvangt	155%	60	93	575	10%
aantal bedrijven dat subsidie ontvangt	140%	10	14	230	4%
aantal bedrijven dat niet-financiële steun ontvangt	158%	50	79	345	14%
private investeringen als cofinanciering voor overheidssteun voor bedrijven	29%	570.000	163.803	2.875.000	20%
aantal bedrijven dat samenwerkt met onderzoeksinstellingen	186%	50	93	175	29%
private investeringen als cofinanciering voor overheidssteun voor o&o-projecten	29%	570.000	163.803	2.000.000	29%
aantal bedrijven dat steun ontvangt met het oog op producten die nieuw voor de markt zijn	130%	10	13	30	33%
aantal bedrijven dat steun ontvangt met het oog op producten die nieuw voor het bedrijf zijn	87%	15	13	60	25%
aantal bedrijven dat deelneemt in een onderzoeksproject	155%	60	93	400	15%
aantal ondersteunde innovatiegerichte samenwerkingstrajecten tussen bedrijven onderling	67%	3	2	15	20%
aantal ondersteunde demonstraties en pilots	100%	3	3	45	7%
aantal kmo/mkb-bedrijven dat steun ontvangt	190%	40	76	460	9%

PV OpMaat haalt bijna alle doelstellingen voor zijn indicatoren, waarbij een aantal doelstellingen worden overtroffen. Alleen in de doelstellingen voor de indicatoren *private investeringen als cofinanciering voor overheidssteun voor bedrijven/O&O projecten* heeft het project nog stappen te maken.

De achterstand in deze doelstellingen is te verklaren door de vertraging die het project heeft opgelopen. Naar verwachting zullen in het laatste deel van het project ook deze doelstellingen nog gehaald worden.

Het overtreffen van het leeuwendeel van de doelstellingen, met name omtrent de deelname van bedrijven, duidt op een grotere deelname aan het project dan was voorzien tijdens de opzet. Bedrijven blijken enthousiast om deel te nemen aan het project, zelfs zonder financiële ondersteuning.





### 3 / (Verwachte) resultaten & impact

Deze sectie gaat nader in op in hoeverre de projectrealisaties en kennisontwikkeling inderdaad hebben geleid tot de vooropgestelde gewenste resultaten zoals gedefinieerd in de rechterkant van de interventielogica, met name:

- ▶ Gedragsveranderingen, in de vorm van grensoverschrijdende kennisnetwerken, toepassing van energiebesparende maatregelen door gebouweigenaren en bedrijven, investeringen in toepassing van technieken voor energie-efficiëntie en toename in gebruik energiebesparende technieken;
- ▶ Finale projectresultaten gelinkt aan programmaresultaten: hogere energie-efficiëntie bij bedrijven, hoger aandeel hernieuwbare energie en hogere energie-efficiëntie

Ook staan we stil bij de verschillende (mogelijk onverwachte) intervenierende factoren en effecten die van invloed zijn geweest op de interventielogica. Vervolgens beschrijven we een aantal succesfactoren die belangrijk zijn geweest in de uitvoering van het project en haar resultaten.

#### 3.1. Analyse van de resultaten PV OpMaat

##### **Grensoverschrijdend kennisnetwerk**

Via PVOpMaat is er een sterk netwerk opgebouwd, waarbinnen de verschillende actoren allemaal hun plaats hebben kunnen vinden. Dit heeft plaatsgevonden doordat de verschillende actoren geen concurrenten van elkaar zijn, maar elk een onderdeel van de schakel zijn. Er zijn nieuwe contacten ontstaan, waaruit ook nieuwe samenwerkingen zijn gevloeid. Het opgebouwde netwerk is op veel punten ook grensoverschrijdend waardoor complementaire sterktes samen worden gebracht. Dit sterke grensoverschrijdende netwerk biedt ook mogelijkheden en vertrouwen voor de toekomst.

Een van de speerpunten van het project PVOpMaat was dan ook om de kennisoverdracht en kennisvergroting omtrent PV-zonnecellen en -zonnepanelen. Dit is breed aangepakt via onder andere kennisbijeenkomsten, workshops, demonstraties, publicaties in wetenschappelijke bladen. Alleen in de eerste drie maanden van 2016 hadden 127 bedrijven deelgenomen aan kennisoverdracht en hadden 93 bedrijven actief geparticipeerd in workshops. Deze aanpak heeft in een flink aantal gevallen geleid tot succesvolle vorming van clusters van bedrijven rond specifieke project demo's. Het heeft geleid tot de tot standkoming van 15 PPL partijen.

Vanuit de brede aanpak is er een betere aansluiting tussen het PV-werkgebied en de bouwwereld gecreëerd. Dit was nodig omdat denkwijzen en begrippen ver uiteen liggen. Verder heeft er, onder andere door middel van de workshops, kennisdesseminatie en professionalisering van de branche plaatsgevonden. Dit is vooral terug te zien in het grote aantal bedrijven dat deel heeft genomen aan kennisoverdracht, en het aantal bedrijven dat actief deel heeft genomen aan de workshops.

Daarnaast werd in het in 2015 verschenen Solar Trendrapport een stijging van 600 miljoen in omzet (van 1,8 miljard in 2013 naar 2,4 miljard in 2014) van de Nederlandse zonne-energiesector vermeld. Ook werd in dit rapport aangegeven dat

gebouwintegratie en dunne film technologie als een van de belangrijkste technologische ontwikkelingen worden gezien, waarin PVOpMaat nu voor concrete voortgang zorgt.

Tot slot heeft de brede aanpak geleid tot een goede externe profilering van zowel het project zelf (en de daarbinnen ontwikkelde activiteiten) als het totale werkveld van productie en integratie van dunne film PV in de regio. Door deze verbeterde profilering is er meer betrokkenheid vanuit het bedrijfsleven en een betere bekendheid van de (toekomstige) mogelijkheden van gebouwintegratie en dunne film technologie.

### **Verhoogde motivatie om energiebesparende maatregelen te nemen**

Door middel van de circulaire relatie tussen werkpakket 3, 4, 5 en 6 zijn nieuwe technieken en methodes ontwikkeld, getest, en middels terugkoppeling vanuit deze testen verder aangepast. Voortvloeiend uit deze relatie zijn resultaten behaald op het gebied van cell efficiency; optimalisatie van een aantal processen en het gebruik van perovskiet. Vervolgens zijn er demo's gebouwd voor verschillende panelen waar onder verschillende omstandigheden zijn getest. Tot slot zijn testen omtrent betrouwbaarheid en levensduur van panelen uitgevoerd.

Door de ontwikkelingen rondom CIGS materiaal en modules zijn betere en efficiëntere CIGS modules gerealiseerd. Hierdoor wordt nu een hoger energie rendement gehaald door CIGS modules, welke ook op glas kunnen worden geplaatst. Vanwege dit verhoogde rendement is de aanschaf van dit soort modules aantrekkelijker geworden: de aanschaf betaalt zich sneller terug. Dit geldt ook voor perovskiet. Ook van dit materiaal is het de effectiviteit en het rendement verhoogt.

Het bouwen en testen van de vier verschillende demo-panelen heeft verschillende doeleinden gekend. Allereerst heeft het tot een grotere aantrekkingskracht tot de markt geleid doormiddel van verdere verbetering van de panelen. Dit is aan de hand van testen gedaan. Daarnaast heeft het ook de taak gehad van het werven van meer interesse en het vergroten van de kennis langs de volledige waardeketen doormiddel van publicaties en presentaties. Dit heeft een groei van het draagvlak van PV tot gevolg gehad.

Een laatste versteviging van het draagvlak kwam voort uit het verbeteren van de betrouwbaarheid en de levensduur. Dit was ook een laatste mogelijkheid om het vertrouwen van de markt in (de toekomst van) PV te vergroten. Dit is onder andere behaald door het verkleinen van de kans op productiefouten. Verder leidde de conclusie dat kleuring van de platen minder grote negatieve effecten heeft dan verwacht tot een grotere aantrekkingskracht tot de markt.

Al met al heeft PVOpMaat voor de markt bijgedragen aan het motiveren van gebouweigenaren en bedrijven om energiebesparende maatregelen te nemen, het verhogen van de investeringsbereidheid in toepassing van de nieuwe technieken voor efficiëntie van zonne-energie en het verspreiden van kennis omtrent de toepassingen van nieuwe technieken omtrent zonnepanelen.

Verderbouwend op de resultaten omtrent semi-transparante CIGS PV zal binnen Solliance de ontwikkeling verder voortgezet worden binnen aanpalende projecten, waarbij de werkzaamheden zijn verlegd naar folie materialen. De folies waarbij het CIGS gedeeltelijk is verwijderd kunnen als halffabricaat worden verwerkt in bijvoorbeeld isolatie glas of in gelamineerd glas dat zijn toepassing vindt in de utiliteitsbouw. Dit werk wordt de komende jaren samen met de CIGS-industrie voortgezet.

### **Toepassing van nieuwe technieken in de markt**

Allereerst is het economisch aantrekkelijker geworden om op maat gemaakte PV oplossingen toe te passen in de gebouwde omgeving. Verschillende projectpartners geven aan dat zij verwachten dat de vermarkting binnen 5 à 10 jaar winstgevend zal zijn, zonder hulp van extra financiering. De efficiëntieverbetering van de PV modules en de verbrede bekendheid heeft hier sterk aan bijgedragen: men went steeds meer aan het idee van geïntegreerde PV oplossingen.

Hierbij geven de partners aan dat het cluster dat ontstaan is door PVOpMaat een groot belang heeft om duurzaam verder te werken. Het zijn namelijk geen directe concurrenten, maar juist verschillende partners binnen de keten. Vanuit PV OpMaat zijn al verschillende vervolgotrajecten voor samenwerking opgestart. Voordat de marktintroductie tot volledig wasdom kan komen is er wel behoefte aan een partij die deze installatie en productie op een efficiënte manier kan verzorgen.

### **Hoger aandeel hernieuwbare energie en hogere energie-efficiëntie**

Nu de technologie makkelijker te vermarkten is zal de energie-efficiëntie van de gebouwde omgeving ook gaan toenemen. Gebouwen met geïntegreerde PV-panelen gaan immers hun eigen energie opwekken. Dit zal bijdragen aan het overkoepelende doel om de energie-efficiëntie in de grensregio te verbeteren.

Mits de marktintroductie van de resultaten van PV OpMaat goed verloopt, kan een groei in de betrokken bedrijvigheid worden verwacht. Hierbij gaat het om bijvoorbeeld installateurs, ontwerp bureaus, en producenten. Het is lastig om in te schatten hoe groot deze markt zal worden. Een indicatie kan wel gegeven worden op basis van de huidige omvang van de G-IPV markt.

Op het moment is de G-IPV markt 'maar' een miljoenenmarkt vergeleken met de miljardenmarkt van zonnecellen. Echter, de G-IPV markt is groeiende (meer en meer huiseigenaren tonen interesse) en het heeft nog enorme potentie. De



verwachting is dat de opbrengsten vanuit G-IPV zullen groeien van de huidige 1 à 2 gigawatt, tot 1.000 – 2.000 gigawatt. Een deel van deze groei is toe te schrijven aan het project.

### 3.2. Succesfactoren & good practice elementen

We identificeren een aantal belangrijke factoren die bijdragen aan de resultaten van het project, en die mogelijk als aandachtspunt of good practice kunnen dienen voor andere projecten:

- ▶ **Coördinatie binnen een grensoverschrijdend netwerk kan uitdagend zijn.** Onder PV OpMaat hebben Vlaamse bedrijven en instellingen vooral kennis en kunde op het gebied van materialen geleverd, het ecosysteem rond Eindhoven is geraadpleegd voor zijn kracht in high tech apparatuur, en de inbreng van Solliance partner FZ Jülich (D) heeft met name toonaangevende expertise geleverd op het gebied van karakterisering en evaluatie en op het gebied van lasertechnologie voor het patroneren en bewerken van zonnecelmaterialen. Tot slot is belangrijke kritische massa bereikt door het samenbrengen van onderzoekspecialismen rond dunne film PV-technologie. Tezamen zijn de partners in staat geweest om geïntegreerde PV-producten te onderzoeken en te ontwikkelen in een volledigheid die ze niet zelfstandig hadden kunnen realiseren.
- ▶ De behaalde projectresultaten zijn met name toe te wijzen aan de **complementariteit van de projectpartners**. Door deze complementariteit is het project vanuit verschillende perspectieven behandeld (o.a. verschillende typen organisaties, onderzoeksinstanties, architecten). Dit heeft tot nieuwe inzichten geleid. Zo blijkt bijvoorbeeld dat PV met een mooi uiterlijk maar lager rendement een beter verkooprendement heeft dan PV met het hoogste rendement.
- ▶ Een goede **business case**, waarbij het bedrijfsleven ook de meerwaarde van de innovatie ziet voor hun eigen concurrentiepositie en een maatschappelijke relevantie helpen bij de (snelle) uitrol van de innovatie;
- ▶ Daarnaast moeten we ook vaststellen dat er **wereldwijd groeiende erkenning** is van de potentie van PV in de gebouwde omgeving. PVOpMaat heeft daarmee ingespeeld op een markt waarin veel groeimogelijkheden zijn, niet enkel binnen west Europa, maar op globaal niveau. De intensieve communicatieactiviteiten hebben hier zeker aan bijgedragen. Zo is een projectpartner nu onderdeel van een internationale handelsmissie.
- ▶ Hoewel PV OpMaat inhoudelijk een groot succes is, hebben de projectpartners sterke kritiek op een **aantal administratieve procedures**. De verantwoordingsprocedure richting het secretariaat wordt door alle partners op zijn minst als pittig gezien. Hiervoor zijn verschillende redenen benoemd. Deze worden hieronder uiteengezet.
- ▶ Het systeem waarin declaraties moeten worden ingevoerd is voor veel partners ingewikkeld. Hierbij wordt met name gesproken over het hoge detailniveau waarmee declaraties ingediend moeten worden. Als gevolg worden er declaraties afgewezen doordat ze niet voldoen aan de eisen die gesteld zijn. Voor het KMO/MKB met een relatief kleine omzet is dit een groot risico voor de bedrijfsvoering. Het voelt bij deze partijen ook erg tegenstrijdig: het programma wil het KMO/MKB stimuleren, maar lijkt daarbij geen rekening te houden met de risico's die hieraan verbonden zijn voor de individuele bedrijven. Uit de gesprekken blijkt ook dat deze gedetailleerde manier van declareren nog niet (bij iedereen) bekend was toen het project werd opgestart. Verschillende projectpartners geven dan ook aan dat ze geen deel zouden nemen aan het project als ze van tevoren hadden geweten dat de administratieve verplichtingen zo veel tijd in beslag zouden nemen.
- ▶ Ook bij de grotere organisaties is er irritatie ontstaan over **de administratieve lasten**. Als hoofdpunt wordt hierbij genoemd dat de regelgeving erg strak wordt aangehouden. Dit is op zich niet erg, maar het is vooral lastig voor de partners omdat er geen duidelijke verklaring lijkt te zijn waarom de regels zijn opgezet. De regels leiden volgens de partners namelijk niet tot een efficiëntieverbetering. Bij deelname aan andere (Europese) subsidietrajecten is de ervaring dat met deze regels flexibeler om wordt gegaan.