

## Openbaar eindrapport TSE Haalbaarheidsstudie “Esthetische Zonnepanelen voor Zonnegevels en Daken”



Projectperiode: 4 juli 2018 tot en met 30 juni 2019  
Penvoerder: **Soluxa**  
Toernooiveld 100, 6525EC, Nijmegen  
Medeaanvragers: **Radboud Universiteit Nijmegen**  
Huygensgebouw, Heyendaalseweg 135, 6525 AJ Nijmegen  
**SMP Creative**  
Nijverheidsweg 80, 6541 CN Nijmegen  
Projectperiode: 4 juli 2018 tot en met 30 juni 2019  
Publicatiedatum: 1 november 2020  
Projectnummer: TESN118035  
Projectomvang: € 49.945  
Auteur: Dr. Lourens van Dijk, [Lourens.vanDijk@ru.nl](mailto:Lourens.vanDijk@ru.nl)

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

## Aanleiding

Vanwege het klimaatakkoord moet 70% van de elektriciteit in 2030 door windmolens en zonnepanelen opgewekt worden en moeten 1 miljoen gebouwen voor 2050 volledig duurzaam zijn. Een architect die een nul-op-de-meter gebouw met meer dan twee verdiepingen wil realiseren wordt geconfronteerd met het feit dat dit alleen haalbaar is indien niet alleen het dak, maar ook het geveloppervlak wordt bekleed met zonnepanelen [7]. Het geveloppervlak zal daarom de komende jaren steeds vaker ingezet worden voor het opwekken van duurzame zonne-energie zoals in het project EnergiekAmstelveen en de Dutch Windwheel. Om dit grootschalig te kunnen doen is het cruciaal dat hier mooie oplossingen voor beschikbaar komen. De meeste architecten en burgers vinden sombere donkere gebouwgevels namelijk slechts in een beperkt aantal gevallen een acceptabele optie. Daarnaast is er weerstand tegen zonneparken die het landschap vervuilen terwijl de potentie voor het opwekken van duurzame energie door gebouwen nog maar amper is benut. Om draagvlak vanuit de samenleving te garanderen is het daarom wenselijk om duurzame energie op een aantrekkelijke en betaalbare manier in te passen in de gebouwde omgeving.



**Figuur 1.** a) Blauwe zonnepanelen op een bestaande gebouwgevel. b) Geïntegreerde zwarte zonnepanelen in een gevel van nieuwbouw.

Figuur **1a)** laat een van de eerste zonnegevels van Nederland zien. Het aanzicht van deze gevel wordt bepaald door de aluminium frames die goed zichtbaar zijn. Figuur **1b)** laat een recent voorbeeld zien van zwarte geïntegreerde zonnepanelen in een woningcomplex om zo een nul-op-de-meter gebouw te realiseren. Deze voorbeelden laten de potentie van zonnegevels zien, maar onderstrepen gelijktijdig dat donkere zonnepanelen niet altijd bijdragen aan het gebouwaanzicht. Het exterieur van een gebouw bepaalt niet alleen de uitstraling, maar heeft ook invloed op de leefbaarheid. Mensen vinden het minder aangenaam om te wonen in een omgeving met grote zwarte gevelvlakken omdat dit een somber gevoel kan geven. Gekleurde gevels dragen daarentegen wel bij aan de verfraaiing van de leefomgeving. Een architect wil echter artistieke vrijheid hebben en niet worden beperkt tot alleen zwart en daarom is kleuraanbod gewenst. Bestaande oplossingen voor gekleurde panelen hebben diverse tekortkomingen: 1) de prijs is te hoog voor grootschalige implementatie, 2) de panelen hebben een laag rendement en 3) ze zijn niet compatibel met standaard gevelmontagesystemen. Gekleurde panelen zijn op dit moment meer dan vier keer zo duur als zwarte zonnepanelen. De hoge prijs en het lage rendement van huidige technologieën belemmeren grootschalige marktintegratie.

## Samenvatting van de uitgangspunten en de doelstelling van het project

De TSE-haalbaarheidsstudie naar de Vibrant technologie voor gekleurde zonnepanelen is succesvol afgerond. De Vibrant technologie maakt het mogelijk om standaard, relatief goedkope

zonnepanelen van elke gewenste kleur te voorzien met een minimaal rendementsverlies. Tijdens de haalbaarheidsstudie zijn diverse punten onderzocht. Zo is de technische haalbaarheid van de technologie is onderzocht en zijn de mogelijkheden voor industriële productie uitgewerkt. Daarnaast zijn de verschillende toepassingsmogelijkheden voor gekleurde zonnepanelen zijn in kaart gebracht en de verwachte winstmarges en marktvolumes van de verschillende marktsegmenten zijn geanalyseerd. Verder zijn diverse verkoopkanalen onderzocht en er is een samenwerking met partners opgezet voor de verdere ontwikkeling van de technologie.

Concurrerende technologieën voor gekleurde zonnepanelen zijn verkend. Hierbij is duidelijk geworden dat de te ontwikkelen Vibrant technologie op diverse terreinen onderscheidend is. Diverse kenmerken van gekleurde zonnepanelen zijn vergeleken, zoals de toepasbaarheid, het rendement, kleurhelderheid, esthetische uitstraling, integratie complexiteit, levensduur en de kosten van diverse kleurtechnieken. Verder is op basis van gesprekken met diverse partijen duidelijk geworden voor welke toepassingen gekleurde zonnepanelen het meest geschikt zijn en wat een acceptabel prijsniveau is.

**Overige toepassingen.** Kleur maakt het mogelijk om zonnepanelen te monteren op plekken waar zwarte panelen geen optie zijn, en dat geldt niet alleen voor de focustoepassing gevels. Figuur 2 toont toepassingen op a) dijken [2], b) in het landschap [2] en c) voor geluidsschermen.



**Figuur 2** Voorbeelden van overige toepassingen. **a)** Artist impression van groene panelen op een dijk [Stowa]. **b)** Tweezijdige panelen geïntegreerd in een weiland waarbij agrarisch gebruik mogelijk blijft [next2sun]. **c)** Zonnepanelen als geluidsscherm [Solar Highway].

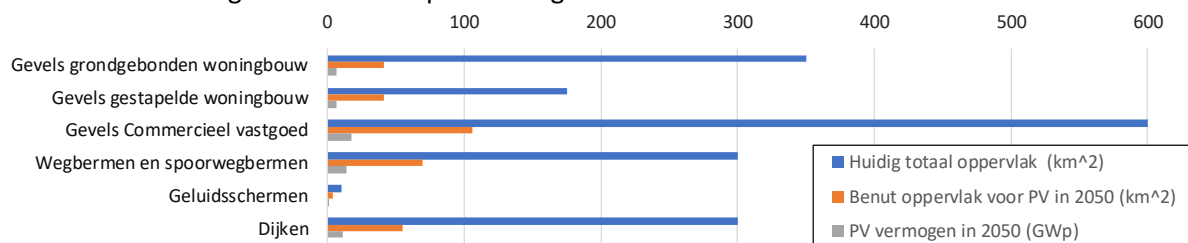
### Behaalde resultaten, de knelpunten en het perspectief voor toepassing

**Economische haalbaarheid & Marktonderzoek.** Op basis van gesprekken met diverse marktpartijen en het Universitair Vastgoed Bedrijf blijkt dat de Vibrant technologie zeer competitief is. Er zijn testsamples van glas gemaakt en deze zijn aan potentiële klanten getoond om de marktafceptatie te analyseren.

**Markt.** Geveltoepassing blijkt de meeste toegevoegde waarde op te leveren door de hoge mate van zichtbaarheid en doordat het zonnepaneel in plaats komt van een standaard gevelpaneel. Er is

daarnaast interesse getoond in groene panelen aan de rand van zonneparken en op dijken en gekleurde zonnepanelen in geluidsschermen. Er is dus veel marktpotentie.

**Toepassingsgebied.** De focus ligt op geveltoepassing voor utiliteitsbouw en flats omdat gekleurde panelen daar de meeste toegevoegde waarde bieden. De gevelmarkt is een B2B markt waarbij er veel panelen per project afgezet worden. Figuur 1 laat toont de grootte van de verschillende markten waarvoor gekleurde zonnepanelen ingezet kunnen worden.



**Figuur 3.** Overzicht van omvang van verschillende categorieën waar gekleurde panelen toegepast kunnen worden.

**Businesscase eindgebruiker.** Figuur 4 toont een vergelijking van de kosten van PV-gevelbekleding en standaard gevelbekleding van Alucobond of Eternit. De eindgebruiker kan opgewekte elektriciteit salderen of krijgt hiervoor een terugleververgoeding. De gemiddelde elektriciteitsprijs in 2019 ligt rond de 0.23 €/kWh voor een kleinverbruiker. Gekleurde PV gevelbekleding is dus effectief goedkoper dan standaard gevelbekleding. Het is daarom de verwachting dat PV gevelbekleding de komende jaren standaard gevelpanelen zal vervangen.

Omschrijving	Soluxa PV Gevelbekleding	Gevel van Alucobond of Eternit
Geventileerd montage systeem	€ 50	€ 50
Isolatie	€ 30	€ 30
Montagekosten	€ 70	€ 70
Bekabeling en aansluiting	€ 30	€ 0
Gevelmateriaal per m2	€ 170	€ 100
Marge	€ 40	€ 40
<b>Totale kosten per m2</b>	<b>€ 390</b>	<b>€ 290</b>
Meerprijs	€ 100	
Jaarlijkse opbrengst per m2 (€0.23/kWh)	€ 25	
Terugverdientijd	4 jaar	

**Figuur 4.** Vergelijking kosten van gekleurde zonnegevel en klassieke gevel van Alucobond of Eternit. De terugverdientijd van de PV gevelbekleding is 4 jaar bij toepassing op een zuidgevel.

**ROI & Terugverdientijd.** De meerprijs voor PV gevelbekleding is slechts 100 €/m<sup>2</sup> en jaarlijks brengt dit €25 op. Indien de gekleurde zonnepanelen in plaats komen van standaard gevelbekleding dan levert dit op een zuidgevel een return on investment (ROI) van 25% en een terugverdientijd van 4 jaar. Dit hoge rendement komt deels door de vermeden kosten van een standaard gevelpaneel. Op een oost- en westgevel is de jaarlijkse opbrengst €19. Het financieel rendement is dan 19.0% en de terugverdientijd 5.3 jaar.

Indien de zonnepanelen op een bestaande gevel gemonteerd worden en niet in plaats komen van een standaard gevelpaneel, dan is het financieel rendement 12.5% en de terugverdientijd 8 jaar voor de zuidgevel. Deze situatie is o.a. van toepassingen op gevels van grondgebonden woningen en kantoorgebouwen tot 100 werknemers. De gunstige oriëntatie van gevels biedt door de afschaffing van salderen veel voordelen doordat een groter deel van de opgewekte stroom direct gebruikt kan worden hetgeen in de toekomst financieel voordeel oplevert.

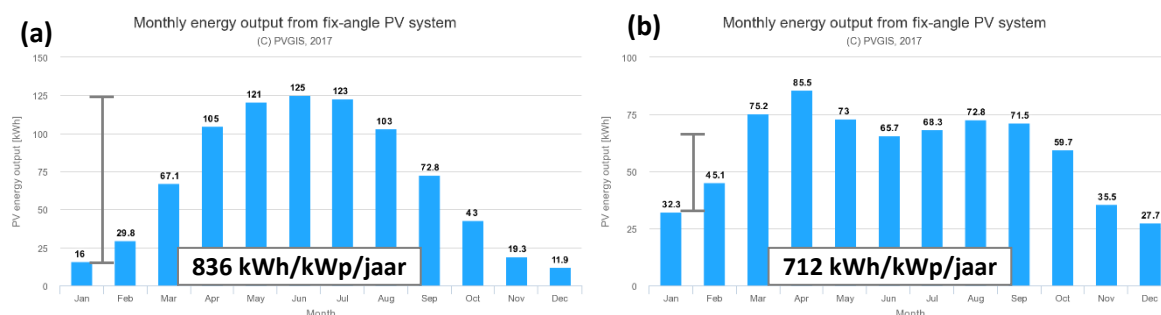
**Instraling op een zuidgevel t.o.v. dak.** Figuur 5 toont het berekende vermogen van **a)** een oost-west PV-systeem op een dak en **b)** een PV-systeem op een zuidgevel. De data zijn berekend voor Nijmegen en afkomstig van het Joint Research Center [7]. De opbrengst van een oost-west dakopstelling is ±836 kWh/kWp/jaar. Een zuidgevel heeft een jaarlijkse energieproductie rond de ±712 kWh/kWp/jaar. Er zijn twee belangrijke conclusies te trekken:

- 1) Een zuidgevel levert dus ongeveer  $(712/836=)$  85% op t.o.v. een dakopstelling. Het dak moet dus als eerste worden benut. Echter, het dakoppervlak is met name voor hoogbouw beperkt en daarom is het noodzakelijk om de gevel ook te benutten.
- 2) Een zonngevel levert een meer constant vermogen door het jaar heen. Het vermogen van de dakopstelling in juni en januari scheidt een factor 10, terwijl dit bij een zuidgevel maar een factor 2 is. Dit heeft uiteraard te maken met het feit dat een zuidgevel in de winter relatief veel opwekt door de lage stand van de zon.



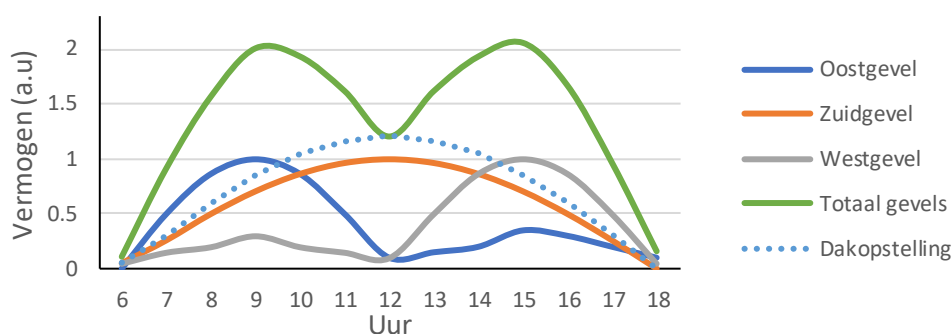
## Photovoltaic Geographical Information System

European Commission  
Joint Research Centre  
Ispra, Italy



**Figuur 5.** Gesimuleerde jaarlijkse opwekking van zonne-energie in Nijmegen: **a)** 15 graden dakhelling naar westen 852 kWh/jaar, **b)** zuidgevel 712 kWh/jaar. De grijze balk geeft in indicatie van de spreiding van het vermogen over het jaar heen [JRC].

**Betere balans elektriciteitsnet en hogere mate zelfconsumptie.** Een belangrijk voordeel van zonngevels is de economische waarde van een goede balans van het elektriciteitsnet. Indien alle zonnepanelen naar het zuiden georiënteerd zijn dan draagt dit niet bij aan deze balans. Figuur 6 schetst de opwekking van diverse geveloriëntaties: panelen op oost en westgevels genereren stroom in de ochtend en avond [7], en zuidgevels leveren een relatief grote bijdrage in de winter. Hierdoor helpen zonngevels om een betere balans op het stroomnet te realiseren. Het bredere opwekkingspatroon van gevels maakt tevens een hoge mate van zelfconsumptie mogelijk. Bij afschaffing van salderen wordt zelfgebruikte stroom 2 tot 4 keer zoveel waard als teruggeleverde stroom. Dit maakt geveltoepassing financieel aantrekkelijk.



**Figuur 6.** Schets van vermogen gevelsysteem met diverse geveloriëntaties. Ter referentie is de opbrengst van een dakopstelling weergegeven.

**Particuliere woningen.** Gekleurde zonnepanelen bieden ook potentie voor particuliere woningen. Particulieren zullen een steeds groter aantal panelen gaan plaatsen vanwege de dalende paneelkosten en de toename van het elektriciteitsverbruik. In de toekomst zullen steeds meer huishoudens namelijk een elektrische auto ( $\pm 3.000$  kWh/jaar) en een warmtepomp ( $\pm 3.000$  kWh/jaar) hebben. Bovenop het gemiddelde gebruik van 3.000 kWh/jaar per huishouden wordt het totale gebruik dan 8.000 tot 10.000 kWh/jaar. Om nul-op-de-meter te worden moeten er dan 30-45 zonnepanelen per woning geplaatst worden. Het dakoppervlak is hier doorgaans te klein voor en daarom zal naar creatieve aanvullende toepassingsmogelijkheden gezocht worden waaronder paneelintegratie in gevels, balkons en schuttingen. Het aanbieden van kleuropties i.p.v. enkel zwart zal veel particulieren over de streep trekken. Daarnaast maakt kleuraanbod het eenvoudiger om - indien vereist - een omgevingsvergunning te verkrijgen.

Daarnaast zal de komende 10 jaar een kleine, maar groeiende groep particulieren komen die in zelfvoorzienende huizen - zonder aansluiting op het elektriciteitsnet - gaat wonen. Deze groep moet in de winter relatief veel energie opwekken. Zonnepanelen op de zuidgevel kunnen dan een significante bijdrage leveren aan de energievraag. Vrijstaande woningen en hoekwoningen hebben hiervoor doorgaans een groter oppervlak voor beschikbaar.

### Bijdrage van het project aan de doelstellingen van de TSE regeling

Deze haalbaarheidsstudie draagt uiteindelijk bij aan het realiseren van de onderstaande onderstreepte teksten uit de [programmadoelstellingen](#):

*“Programmaliijn 4.1: Zonnestroomsysteemcomponenten (PV) wafergebaseerde kristallijn silicium-, dunne film- en hybride- PV-technologieën, en systeemcomponenten & diensten. Ambities: verlagen van de productiekosten, verhogen van de omzettingsrendementen en het ontwikkelen van innovatieve producten en diensten op het niveau van een PV-systeem.” [...]*

*Programmaliijn 4.3: Integratie in de bouw*  
*Integratie en industrialisatie van energiefuncties in bouwelementen en (ver)bouwconcepten, voor utiliteit, woningen, civiele infra en vervoersmiddelen. Ambities: kostprijsverlaging, efficiënt ruimtegebruik, aantrekkelijkheid verhogen, snelheid en gemak, esthetica, rendementsverhoging en prestatiegaranties. [...]*

*Verhogen van de aantrekkelijkheid (denk aan comfort, gezondheid, gemak, esthetica, ruimtelijke inpassing, business case) van energierenovaties in de gebouwde omgeving. [...]*

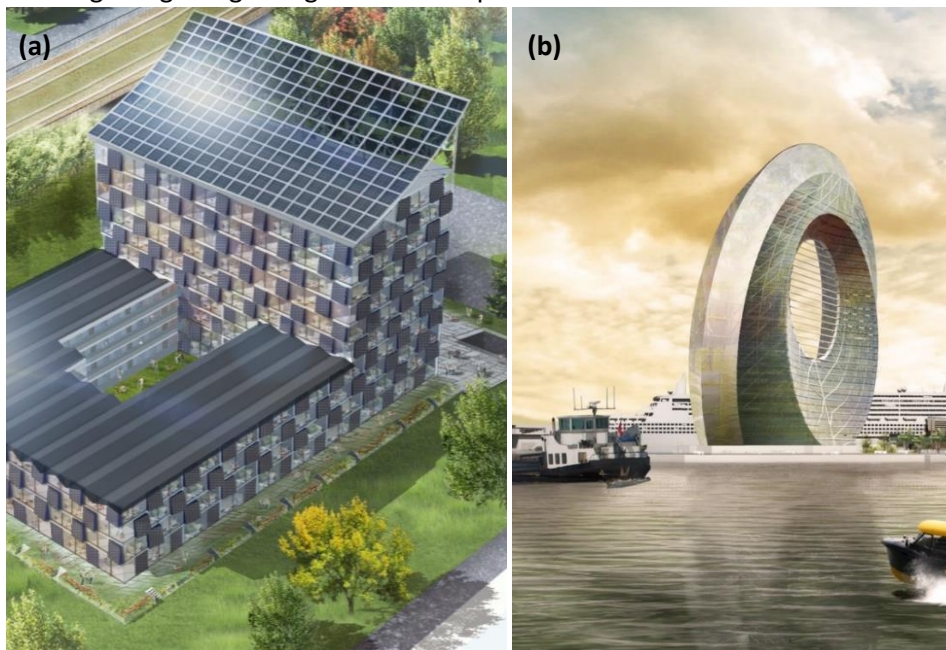
*Flexibilisering [...] In de analyses dient de behoefte aan flexibiliteit op lokaal niveau leidend te zijn – daarnaast kan de beschikbare flexibiliteit ook voor andere doelen ingezet worden (balanshandhaving en portfolio optimalisatie). In de analyses wordt gekeken naar: [...]*

*- de waarde die de flexibiliteit kan leveren voor de eindgebruiker, indien deze ook wordt aangeboden voor andere doelen dan congestiemanagement op lokaal niveau [...] Gevraagd wordt ook een inschatting te maken van hoe deze waarde zich ontwikkelt in de tijd, bijvoorbeeld door het op grotere schaal beschikbaar komen van flexibiliteit in het systeem (op bijvoorbeeld de onbalansmarkt).”*

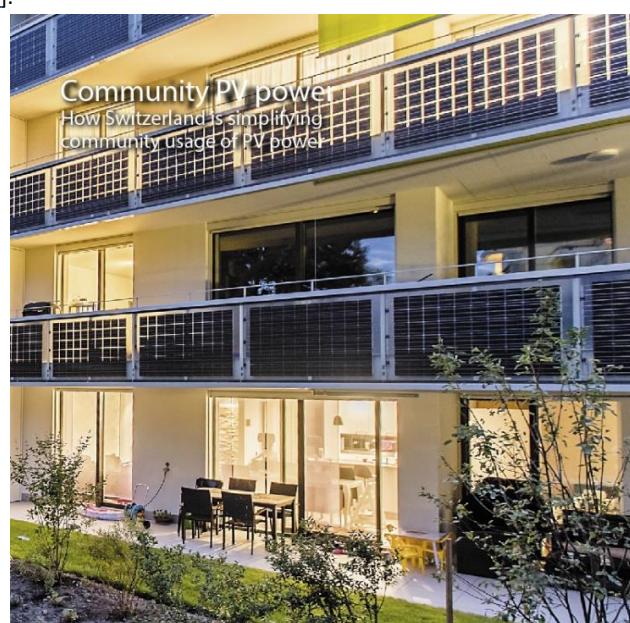
## Spin off binnen en buiten de sector

Soluxa is van plan om de Vibrant Technologie in samenwerking met enkele partners verder te ontwikkelen. In eerste instantie moet de focus komen te liggen op de ontwikkeling van egale gekleurde zonnepanelen (zonder patronen). Het is verstandig om een set van ongeveer zes standaardkleuren samen te stellen. Uit onderzoek blijkt dat grijs tinten erg geliefd zijn en deze zullen daarom in een opvolgend traject ontwikkeld worden. Andere kleuren of effecten/patronen kunnen in de toekomst op aanvraag tegen een meerprijs gemaakt worden.

**Voorbeelden van toepassingen gekleurde zonnepanelen.** Figuur 7 toont enkele voorbeelden van gebouwen waarin zonnepanelen in de gevel zullen worden geïntegreerd. Figuur 8 toont de toepassing van zonnepanelen in balkons. Gekleurde zonnepanelen zijn een waardevolle toevoeging om het gebouwaanzicht esthetischer te maken. Kleur draagt hierdoor uiteindelijk bij aan de marktontwikkeling van gevel geïntegreerde zonnepanelen.



**Figuur 7.** a) Render van het project Energiek Amstelveen [7] en b) van Dutch Windwheel met zonnegevel [7].



**Figuur 8.** Toepassing van deels transparante zonnepanelen in balkons.