

# ZonneGEVEL

## Eindrapportage

**Gebouwgeïntegreerde Esthetische Vernieuwende  
EnergieLeverende Zonnegevels**



### **Projectgegevens**

Projectnummer: TEZG114003  
Projecttitel: Gebouweïntegreerde Esthetische Vernieuwende EnergieLeverende Zonnegevels - ZonneGEVEL  
Penvoerder: TNO  
Partners: Hogeschool Zuyd  
SCX Solar  
Wallvision  
Polyplastic  
Heliox  
W/E Adviseurs  
SGS Intron  
ECN  
Projectperiode: 1 juni 2014 t/m 31 december 2017

### **Contactgegevens**

Deze rapportage is opgesteld door Chematronics. Chematronics is projectbeleider van het ZonneGEVEL project. Voor vragen inzake het project, de resultaten en vervolgmogelijkheden kunt u contact opnemen met:

Chematronics BV	TNO
Alex Vermeer	Arjan Hovestad
+31 6 143 43 108	+31 88 866 55 20
a.vermeer@chematronics.nl	arjan.hovestad@tno.nl

### **Subsidie**

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.

## Samenvatting

ZonneGEVEL is gericht op de ontwikkeling van Building Integrated PV producten voor gevels. De toepassing van zonne-energie neemt in Nederland en wereldwijd een grote vlucht, maar is voorheen vooral gericht geweest op installaties op daken (schuine en platte daken) of veldopstellingen. Door dalende prijzen, verbeterde technologie en steeds hogere energieprestatie-eisen aan gebouwen, wordt ook de toepassing van PV in gevels interessant. Zeker bij die gebouwen waar dakoppervlak beperkt beschikbaar is of niet voldoet (wegens aanwezigheid installaties, beperkte draagconstructie, etc.), zoals industriële bouw, utiliteitsbouw, commerciële bouw en residentiële hoogbouw is gevel BIPV aantrekkelijk. Bij PV toepassing in de gevel is integratie essentieel waarbij multifunctionele gebouwdelen ontstaan die zowel energieopwekking als esthetische en/of bouwfuncties bevatten.

In ZonneGEVEL zijn twee geïntegreerde zonnegevelconcepten ontwikkeld die inspelen op verschillende segmenten van de gevelmarkt: Solowall en ZigZagSolar. De door het projectconsortium ontwikkelde gevelconcepten zijn elk uniek in de ontwerpvrijheid en esthetische uitstraling die deze kunnen bieden. Beide systemen zijn succesvol ontwikkeld en de energetische, bouwkundige en esthetische kwaliteit en veelzijdigheid zijn aangetoond. Daarmee zijn voor het eerst volledig geteste, uitontwikkelde, grootschalig toepasbare BIPV gevelproducten beschikbaar voor verduurzaming van hoogbouw.

Naast de focus op de ontwikkeling van de twee gevelconcepten zijn diverse andere resultaten bereikt op het gebied van kennisontwikkeling en ondersteunende technologie. Resultaten betreffen onder andere:

- Ontwerp, prototypeproductie en kwalificatie van het Solowall BIPV gevelsysteem (toepassing met zowel kristallijn silicium als CIGS en geframede of frameloze panelen mogelijk);
- Ontwerp, prototypeproductie en kwalificatie van het ZigZagSolar BIPV gevelsysteem;
- Prototypeopstelling Solowall op SolarBEAT, incl. monitoring en analyse van elektrische en thermische prestaties;
- Prototypeopstelling ZigZagSolar op SolarBEAT, incl. monitoring en analyse van elektrische en thermische prestaties
- Experimentele installatie van ZigZagSolar bij de Wijk van Morgen i.c.m. reflecterende gevelelementen en vergelijk van prestaties van diverse typen gevelelementen;
- Experimentele installatie van Solowall bij de Wijk van Morgen;
- Onderzoek naar prestaties van dunne film PV onder variërende invalshoeken en instraling zoals te verwachten bij gevels;
- Optische simulatiemodellen van ZigZagSolar;
- Karakterisatie van diverse esthetische gevelelementen voor toepassing in ZigZagSolar;
- Simulatie en specificatie van PV systemen voor gevels en vergelijk met dakopstellingen;
- Ontwikkeling, prototypeproductie en kwalificatie van micro-omvormers voor toepassing in BIPV gevelsystemen, incl. toepassing bij prototypeopstelling van ZigZagSolar op SolarBEAT;
- Onderzoek naar gebruik van acrylaat als glasvervanger in PV panelen voor vandalismebestendige zonnegevels;
- Bouwtechnische analyse van Solowall en ZigZagSolar door experts uit de bouwindustrie;
- Windcalculatietool waarmee veilige toepassing van Solowall en ZigZagSolar op specifieke locaties kan worden doorgerekend;
- Analyse van milieuprestaties van Solowall, ZigZagSolar, toepassing micro-omvormers, diverse PV typen, etc;

- Analyse van niet-technische barrières in het bouwproces;
- Analyse van relevante regelgeving voor zonnegevels en evaluatie van Solowall en ZigZagSolar versus deze regelgeving;
- Kennisverspreiding in de PV industrie bouwkolom door diverse workshops, stakeholdersbijeenkomst en publicaties;
- Realisatie van pilotproject met ZigZagSolar.

Het ZonneGEVEL project is erin geslaagd om de vereiste doelstellingen te behalen. Vrijwel alle resultaten krijgen een vervolg in commercialisatie van de systemen (Solowall en ZigZagSolar) en componenten (micro-omvormer). De partners kijken terug op een succesvolle samenwerking met goede resultaten. Het project heeft bijgedragen aan versterking van de kennispositie van zowel de kennisinstellingen als betrokken bedrijven. De resultaten laten zien dat het technisch en economisch aantrekkelijk is om BIPV in gevels toe te passen. De kansen die deze producten bieden in de verdere verduurzaming van de Nederlandse en internationale bebouwde omgeving kunnen niet worden onderschat.

## Inhoudelijk eindrapport

Deze rapportage betreft de eindrapportage van het subsidieproject Gebouweïntegreerde Esthetische Vernieuwende EnergieLeverende Zonngevens (hierna te noemen ZonneGEVEL) zoals uitgevoerd in het kader van de ZEGO tender 1 uit 2014. In onderstaande rapportage wordt ingegaan op de inhoudelijke doelstellingen en eindresultaten. Daarnaast wordt een aantal projectwijzigingen omschreven. Gezien de grote hoeveelheid aan behaalde resultaten, zijn enkele bijlagen toegevoegd die, evenals de verdere inhoud van deze rapportage, als **strikt vertrouwelijk** behandeld dienen te worden.

### Inleiding

ZonneGEVEL is gericht op de ontwikkeling van Building Integrated PV producten voor gevels. De toepassing van zonne-energie neemt in Nederland en wereldwijd een grote vlucht, maar is voorheen vooral gericht geweest op installaties op daken (schuine en platte daken) of veldopstellingen. Door dalende prijzen, verbeterde technologie en steeds hogere energieprestatie-eisen aan gebouwen, wordt ook de toepassing van PV in gevels interessant. Zeker bij die gebouwen waar dakoppervlak beperkt beschikbaar is of niet voldoet (wegens aanwezigheid installaties, beperkte draagconstructie, etc.), zoals industriële bouw, utiliteitsbouw, commerciële bouw en residentiële hoogbouw is gevel BIPV aantrekkelijk. Bij PV toepassing in de gevel is integratie essentieel waarbij multifunctionele gebouwdelen ontstaan die zowel energieopwekking als esthetische en/of bouwfuncties bevatten.

De door het projectconsortium ontwikkelde gevelconcepten zijn elk uniek in de ontwerpvrijheid en esthetische uitstraling die deze kunnen bieden. Beide systemen zijn succesvol ontwikkeld en de energetische, bouwkundige en esthetische kwaliteit en veelzijdigheid zijn aangetoond. Daarmee zijn voor het eerst volledig geteste, uitontwikkelde, grootschalig toepasbare BIPV gevelproducten beschikbaar voor verduurzaming van hoogbouw. Naast de focus op de ontwikkeling van de twee gevelconcepten zijn diverse andere resultaten bereikt op het gebied van kennisontwikkeling en ondersteunende technologie. De diverse ontwikkelingen en bereikte resultaten worden in de onderstaande rapportage verder omschreven.

### Doelstelling

De toepassing van BIPV in gevels kent diverse uitdagingen. Doelstelling van ZonneGEVEL was om deze uitdagingen te identificeren en met de ontwikkelde gevelconcepten oplossingen te bieden die deze uitdagingen slechten. Ondanks dat er reeds oplossingen op de markt beschikbaar zijn, worden deze oplossingen niet grootschalig toegepast. Goede, schaalbare en kosteneffectieve BIPV toepassingen voor gevels waren voorafgaand aan dit project nog niet beschikbaar. Beide gevelconcepten hebben ieder een unieke uitstraling en prestaties en dragen daarmee bij aan het wegnemen van meerdere van de onderstaande barrières omtrent toepassing van BIPV gevels:

- Te hoge kosten: Huidige bestaande ontwerpen die esthetisch geïntegreerd zijn kennen een hoge kostprijs tot boven €500/m<sup>2</sup>. Doel van dit project is om tot concepten te komen qua kostprijs beneden de €300/m<sup>2</sup> liggen (exacte prijsbepaling afhankelijk van het segment waarop gericht wordt). Bovendien worden systeemkosten geoptimaliseerd door slimme installatietechnieken en systeemontwerp.
- Onvoldoende ontwerpvrijheid voor de architect: Weinig optische diversiteit in kleur en weinig vormvrijheid. De producten die wel ontwerpvrijheid geven zijn te duur en economisch gezien niet rendabel. Ontwerpvrijheid stelt hoge eisen aan de PV gevelproducten, die in een grote verscheidenheid aan kleuren, vormen en texturen beschikbaar zullen moeten zijn.

- Te grote risico's voor de projectontwikkelaar omdat er geen ervaring is in de bouwkolom en geen voorbeeldprojecten zijn om van te leren. In dit project wordt interactie gecreëerd met de bouwkolom om inpassing in bouwprocessen te optimaliseren.
- Technische problemen in de uitvoering, met name aan de kant van de elektrische systeemconfiguratie en bouwfunctionaliteit.
- Simulatie/voorspelling van opbrengsten onder variërende omstandigheden. De wisselende oppervlaktes, oriëntaties en complexe schaduwpatronen door zaken als belendende gebouwen, bomen en lichtmasten stellen hoge eisen aan de opbrengstberekeningen die elk project nodig heeft. Hoe kunnen in deze wisselende situaties toch opbrengstvoorspellingen worden gedaan? Hoe gedraagt een BIPV gevel zich in variërende omstandigheden? Wat is een optimale elektrische systeemconfiguratie bij gegeven omstandigheden?

Het project heeft geresulteerd in twee BIPV gevelproducten die alleen of in combinatie de gevel volledig van stroomopwekkende elementen kunnen voorzien, zonder dat daarbij esthetica, gebouwfuncties als waterkering en isolatie, en kosteneffectiviteit uit het oog worden verloren. De doelstellingen worden in onderstaande tabel samengevat.

<b>(Technologische) beperkingen</b>	<b>Daaraan gekoppelde innovaties / oplossingen</b>
<b>Doelstelling 1: Solowall: snel en kosteneffectief BIPV gevelsysteem waarbij volledige onafhankelijk van de PV technologie de gewenste panelen geselecteerd kunnen worden voor het ontwerp – realisatie prototype 3-6m<sup>2</sup></b>	
integratie isolatie, frameloze integratie variëteit aan PV technologie, toepassing gekleurde modules/kleuren van bestaande laminaten, montagesnelheid en prijs	Integratie Recticel isolatie, achterzijde bevestiging, doorontwikkeling TNO technologie voor kleuren middels spraycoat proces, materiaalreductie in ontwerp
<b>Doelstelling 2: ZigZagSolar: inzichtelijk maken van karakteristieken van deze architectonische toepassing - Realisatie 3-6m<sup>2</sup> prototype ter verificatie reflectiemetingen en simulatiemodel</b>	
Opbrengstoptimalisatie, het gedrag van reflectie van licht en het effect daarvan op het PV paneel, karakterisatie gevelpanelen, optimalisatie en simulatie van opbrengsten, vergelijk tussen PV technologieën	Ontwerpvrijheid is ideaal door ontkoppeling van het PV paneel uit het zichtveld, ontwikkeling meetmethoden voor reflectie van gevelmateriaal, paneelontwerp en systeemoptimalisatie om om te gaan met reflectie, vergelijk tussen dunne film en kristallijn technologie
<b>Doelstelling 3: Optimaliseren gevelconcepten naar bouwbehoeften en eisen</b>	
In kaart brengen gedrag PV gevelsystemen, optimaliseren elektronische systeem/micro-omvormers integreren, voldoen aan relevante bouwnormering, vandalisme / schade bestendigheid	Ontwikkeling gevelspecifieke micro-omvormers, toetsen van invulling bouwkundige en milieukundige aspecten van de concepten, ontwikkeling transparant en robuust kunststof gevelmateriaal als bescherming van PV
<b>Doelstelling 4: Inzicht in prestaties BIPV gevelsystemen</b>	
Ontwerp van gevelmeetopstelling, verzamelen betrouwbare gegevens en ontwikkeling simulatiemodel overeenkomstig met praktijkresultaten om opbrengstvoorspellingen in variatie aan situaties te kunnen doen	Er worden testopstellingen gerealiseerd van alle concepten om zo de daadwerkelijke PV prestaties te bepalen. Er worden innovatieve simulatiemodellen opgebouwd die de meetresultaten kunnen verklaren en voorspellende berekeningen kunnen doen
<b>Doelstelling 5: Mobiliseren van de bouwkolom</b>	

<p>In kaart brengen gedrag BIPV gevel in realistische praktijksituatie en afwijking ten opzichte van simulatie/testgevel. Aansluiting bij processen in de bouwkolom. Educatie bouwindustrie omtrent mogelijkheden van BIPV gevels. Betrekken van de gefragmenteerde bouwkolom</p>	<p>Realisatie experimentele praktijktoepassing bij de Wijk van Morgen. Hierbij wordt niet alleen gekeken naar PV monitoring, maar juist ook naar bouwkundige invloeden en overige belemmeringen in het gehele installatieproces. Ook worden de concepten beoordeeld op het gebied van milieuprestatie en vindt kennisdisseminatie plaats naar partijen uit de bouwkolom. Hierbij staat de te installeren gebruikerscommissie centraal</p>
---	---

*Figuur 1 Oorspronkelijke doelstellingen ZonneGEVEL*

## Werkwijze

Het project kende een vijftal werkpakketten:

- WP1 – Projectmanagement. Vanuit dit werkpakket heeft Chematronics in opdracht van penvoerder TNO en de project stuurgroep (bestaande uit vertegenwoordigers van alle partners) het projectmanagement uitgevoerd. Gedurende het project zijn consortiumbijeenkomsten georganiseerd (eens per 8-12 weken) waarbij de partners de voortgang van resultaten met elkaar hebben gedeeld. Daarnaast heeft reguliere afstemming door middel van een maandelijkse telefonische conferentie plaatsgevonden. Chematronics heeft tevens ieder kwartaal de financiële status bij de partners opgevraagd en daarop gestuurd indien noodzakelijk. Deze activiteiten hebben geresulteerd in uitgebreide verslaglegging van bijeenkomsten, voortgangsrapportages etc.
- WP2 – SCX Solowall. In dit werkpakket heeft SCX Solar haar Solowall gevelsysteem ontwikkeld. Er zijn twee varianten ontwikkeld: voor toepassing met cSi of CIGS en geframede of frameloze panelen. Van beide opstellingen zijn prototypeopstellingen gebouwd en geëvalueerd met de projectpartners. I.s.m. TNO is onderzoek gedaan naar CIGS toepassing voor gevels. Ook is aandacht gegeven aan isolatie van de gevel door het ontwikkelen van een koudebrug oplossing.
- WP3 – Productontwikkeling ZigZagSolar. In dit werkpakket heeft Wallvision het ZigZagSolar gevelsysteem tot industrieel toepasbaar bouwproduct ontwikkeld. Tevens zijn evaluaties gedaan van diverse testopstellingen en zijn gevelpanelen gekarakteriseerd i.s.m. Hogeschool Zuyd, is onderzoek gedaan naar optische simulatie van het bijzondere zigzag systeem en is een specifiek PV element ontwikkeld i.s.m. TNO/ECN (SEAC).
- WP4 – Generieke zonnegevel integratieaspecten. In WP 2 en 3 wordt voor de ontwikkeling van de vier concepten specifiek technologisch onderzoek gedaan. In dit werkpakket wordt niet concurrerende, generieke kennis ontwikkeld die voor alle concepten toepasbaar is. De ontwikkelingen betreffen generieke specificaties en simulaties van PV gevels (ECN/SEAC), ontwikkeling van micro-omvormers voor optimale prestaties van PV gevels (Heliox), onderzoek naar acrylaat als glasvervanger voor vandalismebestendige toepassing van PV in gevels (Polyplastic, TNO) en bouw- en milieutechnische analyses van de ontwikkelde producten (TNO, W/E, Heijmans).
- WP5 – Experimenten en simulaties aan zonnegevels. In WP5 zijn de ontwikkelingen uit WP2, WP3 en WP4 gecombineerd en toegepast op de SolarBEAT testopstelling (ECN,TNO/SEAC, Zuyd). Gedurende een jaar zijn de elektrische prestaties gemonitord en diverse analyses gedaan m.b.t. de elektrische en thermische prestaties in relatie tot de simulatiemodellen uit WP3 en WP4.

- WP6 – Mobiliseren van de bouwkolom. In WP6 is aandacht gegeven aan het betrekken van de bouwindustrie door toetreding van Heijmans tot het consortium en het organiseren van een stakeholderscommissie met vertegenwoordigers uit de bouwindustrie die de ontwikkelingen hebben geëvalueerd. Daarnaast hebben TNO en Heijmans een analyse uitgevoerd van niet-technische barrières m.b.t. introductie BIPV in de gevelmarkt (o.a. financieel en qua beslisproces). SGS heeft relevante regelgeving geanalyseerd. Zuyd, Heijmans en de andere partners hebben gewerkt aan het verspreiden van de kennis via diverse kanalen, workshops, etc. en er zijn experimentele toepassingen gerealiseerd bij de Wijk van Morgen van zowel Solowall als ZigZagSolar.



## Resultaten

In het project is een groot aantal resultaten bereikt. Onderstaand worden enkele belangrijke resultaten toegelicht. Daarbij wordt tevens gebruikgemaakt van verwijzingen naar beschikbare verslagen en testrapporten. Deze zijn integraal onderdeel van deze inhoudelijke eindrapportage en dienen dan ook als vertrouwelijk te worden behandeld.

### WP2 Solowall

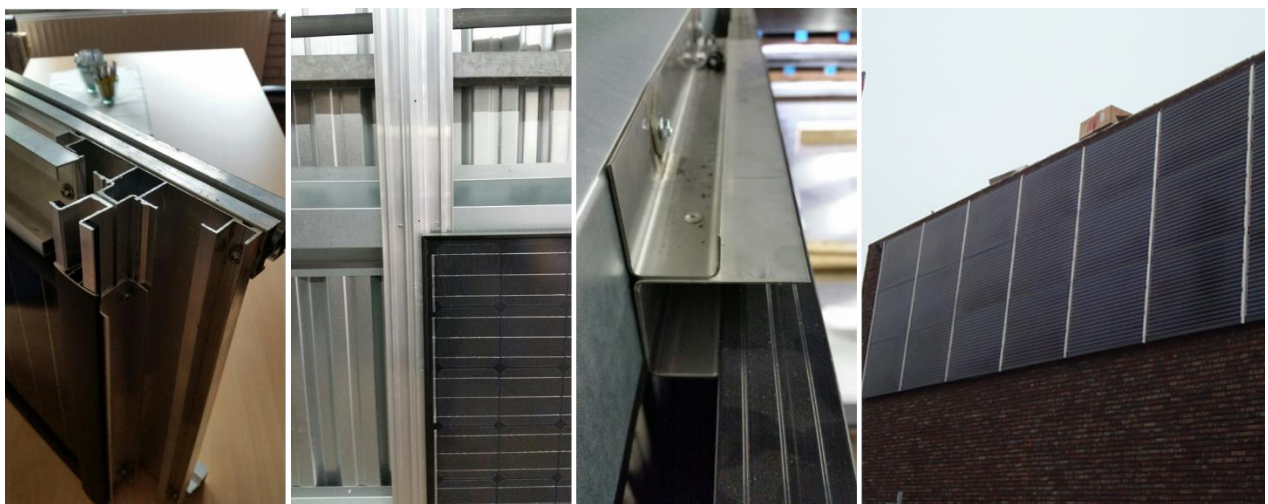
SCX Solar heeft diverse varianten van de Solowall ontwikkeld, waarbij is gekeken naar:

- Toepassing van geframede cSi of CIGS panelen in een vlak aansluitend systeem. Esthetisch aantrekkelijk voor de basis en breed toepasbaar.
- Toepassing van frameloze blind bevestigde cSi CIGS panelen. Esthetisch fraai en op grote schaal toepasbaar. Montage-eenvoud zorgt voor relatief lage systeemkosten

Beide varianten focussen op een vervanging van reguliere geventileerde gevelbekleding in plaats van een vliesgevelsysteem i.v.m. de lagere complexiteit, lagere prijs en groter marktpotentieel (nieuwbouw en renovatie). Uitgangspunten in de ontwikkeling waren:

- Constructieve veiligheid
- Brandveiligheid
- Duurzaamheid
- Modulaire opbouw
- Flexibiliteit / uitwisselbaarheid van diverse paneeltypen
- Vormvrijheid
- Aandacht voor onderhoud en diefstal
- Bouwfysische eigenschappen worden door het constructiepakket achter de gevelbekleding ingevuld (warmte, vocht en geluid)

Van beide varianten zijn diverse prototypes ontwikkeld en getest. Hieronder enkele voorbeelden van ontwerpdetails en pilots:



*Figuur 2 Ontwerpdetails en voorbeeld prototypesysteem van Solowall*

Een van de leerervaringen is dat er niet gewerkt wordt met een verlijmde ophanging vanwege beperkingen in regelgeving. Voor de frameloze panelen is daarom gewerkt met een klemsysteem. Daarnaast vormt de voegafwerking een belangrijk aandachtspunt om het geheel esthetisch aantrekkelijk af te werken. Tot slot is er een oplossing ontwikkeld voor het voorkomen van koudebruggen bij bevestiging van de gevel. Omdat gewerkt wordt met een geventileerd gevelsysteem is integratie van een isolatieplaat niet interessant. Er dient echter wel voorkomen te worden dat via het montagesysteem koude door de geïsoleerde constructieve gevel heen dringt het gebouw in. Hiertoe heeft SCX een thermische onderbreking ontwikkeld en succesvol getest.



Figuur 3 Voorbeeld pilotopstellingen frameloos (links) en geframed (rechts)

	Omkaderde PV-panelen	Frameless PV-panelen
Constructief systeem	Combinatie van lijn- en puntvormige ondersteuning bij winddruk en windzuiging	Lijnvormige ondersteuning bij winddruk en windzuiging
Maximale windbelasting	2400 Pa (2,4 kN/m <sup>2</sup> )	2400 Pa (2,4 kN/m <sup>2</sup> )
Eigen gewicht (panelen + draagconstructie)	15 - 21 kg/m <sup>2</sup>	20 – 45 kg/m <sup>2</sup>
Gemiddelde vermogen	120 – 200 Wp/m <sup>2</sup>	120 – 200 Wp/m <sup>2</sup>
Gemiddelde opbrengst (zuid, schaduwvrij)	75 – 125 kWh/m <sup>2</sup> *jr	75 – 125 kWh/m <sup>2</sup> *jr
Anti-diefstal	Mechanisch	Mechanisch
Demontabel	Elk paneel afzonderlijk	Elk paneel afzonderlijk

Figuur 4 Eigenschappen Solowall varianten

Prijsindicatie <sup>1</sup>	Omkaderde PV-panelen <sup>2</sup>	Frameless PV-panelen <sup>2</sup>
Bij 200 Wp/m <sup>2</sup>	350 – 370 €/m <sup>2</sup>	335 – 375 €/m <sup>2</sup>
Bij 160 Wp/m <sup>2</sup>	275 – 310 €/m <sup>2</sup>	260 – 290 €/m <sup>2</sup>
Bij 125 Wp/m <sup>2</sup>	250 – 275 €/m <sup>2</sup>	210 – 240 €/m <sup>2</sup>
	Prijzen randafwerking van 40 – 90 €/m <sup>2</sup> , excl. BTW	Prijzen zijn voor het totale systeem incl. montage, excl. randafwerking en excl. BTW Prijzen randafwerking van 40 – 90 €/m <sup>2</sup> , excl. BTW

Figuur 5 Prijsindicatie Solowall



Figuur 6 SCX Solowall

### Kleuren PV modules

In het Pieken in de Delta project SMart Chain hebben TNO, Hogeschool Zuyd en SCX Solar gewerkt aan een innovatieve technologie om PV panelen te kleuren. De resultaten hiervan waren veelbelovend, zeker ook voor toepassing in PV gevels zodat een grotere esthetische vrijheid kan worden bereikt. In ZonneGEVEL zijn de resultaten uit het voorgaande project geanalyseerd en is getracht een vervolg te geven aan de ontwikkeling van deze technologie. De belangrijkste uitdaging daarbij werd gevormd door de opschaling van een kosteneffectief industrieel proces. Hiervoor is onder andere onderzoek gedaan naar spraycoating.

<sup>1</sup> Prijzen worden sterk beïnvloed door type PV-paneel, constructieve vereisten en afwerking. Prijzen voor randafwerking zijn afhankelijk van de projectgrootte en specifieke situatie en detaillering.

<sup>2</sup> Prijzen zijn voor het totale systeem incl. montage, excl. randafwerking en excl. BTW

Om deze ontwikkeling een vervolg te kunnen geven is vroegtijdig contact gezocht met industriële partners die het beoogde proces op grote schaal zouden kunnen toepassen. Helaas heeft dit niet geleid tot de gewenste commitment. Daarom is besloten deze activiteiten te staken.

In de bijlage '01 Multilayer front-sheet for solar modules with tuned color appearance' worden de bereikte resultaten in detail omschreven.

### **CIGS onderzoek**

Om voor Solowall een esthetisch aantrekkelijk geheel te creëren heeft SCX Solar succesvol gewerkt aan integratie van dunne film (CIGS) PV panelen in het concept. Het toepassen van CIGS in gevels zou mogelijk voordelen kunnen bieden. In de markt geclaimde voordelen van CIGS toepassing zijn:

- Betere prestatie bij hogere temperatuur. CIGS heeft een lagere temperatuurscoëfficiënt dan cSi waardoor de efficiëntie minder afneemt bij hogere temperaturen
- Betere prestatie bij weinig instraling
- Bredere spectrale respons
- Ontwerpvrijheid vanwege vorm en afmetingen. In de praktijk zijn weinig flexibele producten beschikbaar (evenals bij cSi panelen).
- Aantrekkelijke esthetiek. Panelen hebben een uniform (doorgaans zwarte) uitstraling en geen busbars.
- Hoge kWh/kWp productie. Panelen hebben wel een lager geïnstalleerd vermogen per m<sup>2</sup> (lagere Wp/m<sup>2</sup>) omdat ze minder efficiënt zijn dan cSi panelen. Bij voldoende geveloppervlak hoeft dit geen issue te zijn. Kiest men voor het hoogste rendement per m<sup>2</sup> gevel, dan presteert momenteel een cSi paneel nog beter.

Aangezien deze claims momenteel wel rondgaan in de markt, maar niet door gedegen onderzoek zijn onderbouwd heeft TNO/Solliance aanvullend onderzoek gedaan naar de prestaties van CIGS versus cSi panelen. Dit onderzoek is met name gericht geweest op prestatie bij verminderde instraling doordat panelen in gevels niet optimaal naar de zon, maar onder een hoek, zijn geplaatst. In de bijlage '02 Kleur en performance – final report' worden de resultaten hiervan verder toegelicht.

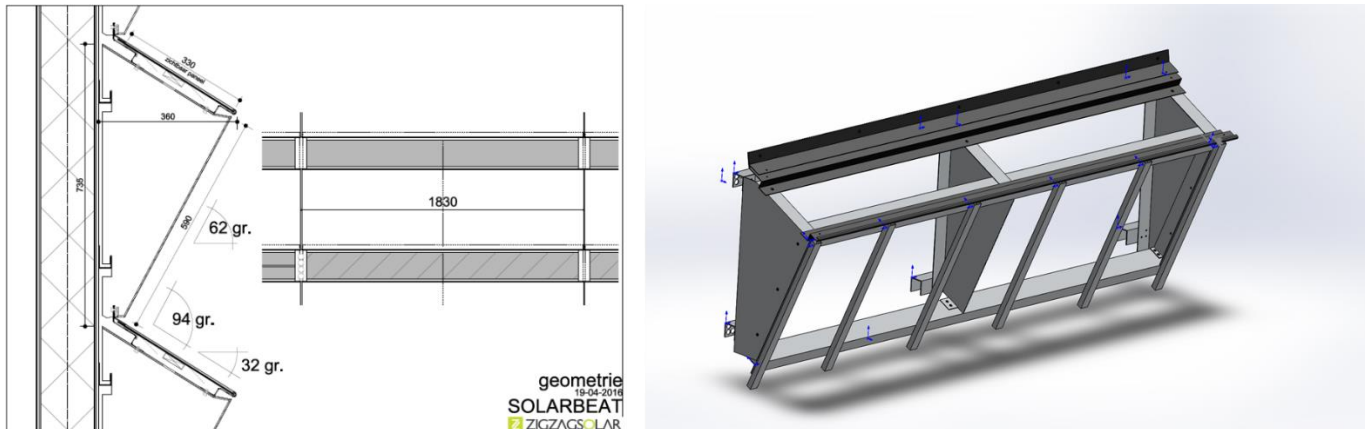
### [WP3 ZigZagSolar](#)

Wallvision heeft in WP3 haar ZigZagSolar BIPV gevelconcept verder ontwikkeld. Hierbij is tevens aanvullend onderzoek gedaan naar bestaande testopstellingen en monitoringsresultaten daaruit. Bij de start van het project was vanuit andere projecten reeds een proof-of-principle aanwezig. Wallvision heeft zich in ZonneGEVEL met name gericht op ontwikkelingen m.b.t.:

- Doorontwikkeling van zowel zichtbare als onzichtbare bevestiging van esthetische gevelplaten
- Opbrengstoptimalisatie
- Simulatie/voorspelling van opbrengst
- Esthetische vrijheid en kwaliteit
- Gebruik van micro-omvormers
- Ontwikkeling van alternatief PV paneelontwerp
- Toetsen van het ontwerp aan bouwtechnische eisen/normering
- Verzamelen van gegevens/onderbouwen van prestaties van ZigZagSolar in diverse situaties

ZigZagSolar is een belangrijke aanvulling aan de toolbox die kan worden toegepast om de energie-prestatie van gebouwen te verbeteren. Met name in gevallen waar onvoldoende geschikt dakoppervlak beschikbaar is, kunnen zonnepanelen op een esthetisch aantrekkelijke wijze in de gevel worden verwerkt. ZigZagSolar is een compleet gevelsysteem met alle eigenschappen van een geventileerde gevel. Daarnaast kan met ZigZagSolar zonne-energie worden geoogst. ZigZagSolar is ontworpen om de maximale energie-efficiëntie van een gebouw te realiseren bij een maximale ontwerprijheid.

De ontwikkeling van diverse bevestigingsvarianten en toebehoren heeft geleid tot een uitgebreide technische omschrijving van het ZigZagSolar systeem. Zie bijlage '03 Selection Guide ZIGZAGSOLAR' voor meer details. Onderstaand figuur illustreert een variant van het bevestigingssysteem en de geometrie van het systeem zoals toegepast op SolarBEAT (zie WP5).



Figuur 7 ZigZagSolar geometrie en bevestigingsconstructie

Als input in de ontwikkeling van ZigZagSolar zijn meetgegevens gebruikt van een tweetal testopstellingen:

- Balkon bij de Wijk van Morgen
- Parkeergarage De Klomp (Q-Park) in Heerlen

Bij opstellingen zijn oorspronkelijk gerealiseerd vanuit andere projecten, maar de monitoringsgegevens zijn in ZonneGEVEL geanalyseerd. Voor het balkon bij de Wijk van Morgen geldt dat in ZonneGEVEL een aanpassing is gedaan aan de esthetische beplating voor opbrengstoptimalisatie (aanbrengen van reflecterende folie op bovenste rij) en het tonen van ontwerprijheid (onderste rij).



*Figuur 8 Links: voorbeeld meetresultaten Q-Park. Er zijn diverse kleurgradaties esthetische beplating aangebracht die invloed hebben op de hoeveelheid gereflecteerd zonlicht. Daarnaast geeft de lichtschaft rechts van de opstelling schaduw op de gevel. De opbrengst wordt per drie ZigZagSolar cassettes gemeten (schematisch weergegeven aan de linkzijde van het figuur). Rechts: foto testopstelling op balkon Wijk van Morgen met onder een print om esthetische vrijheid te demonstreren en boven een reflecterende folie ter maximalisatie van de opbrengst.*

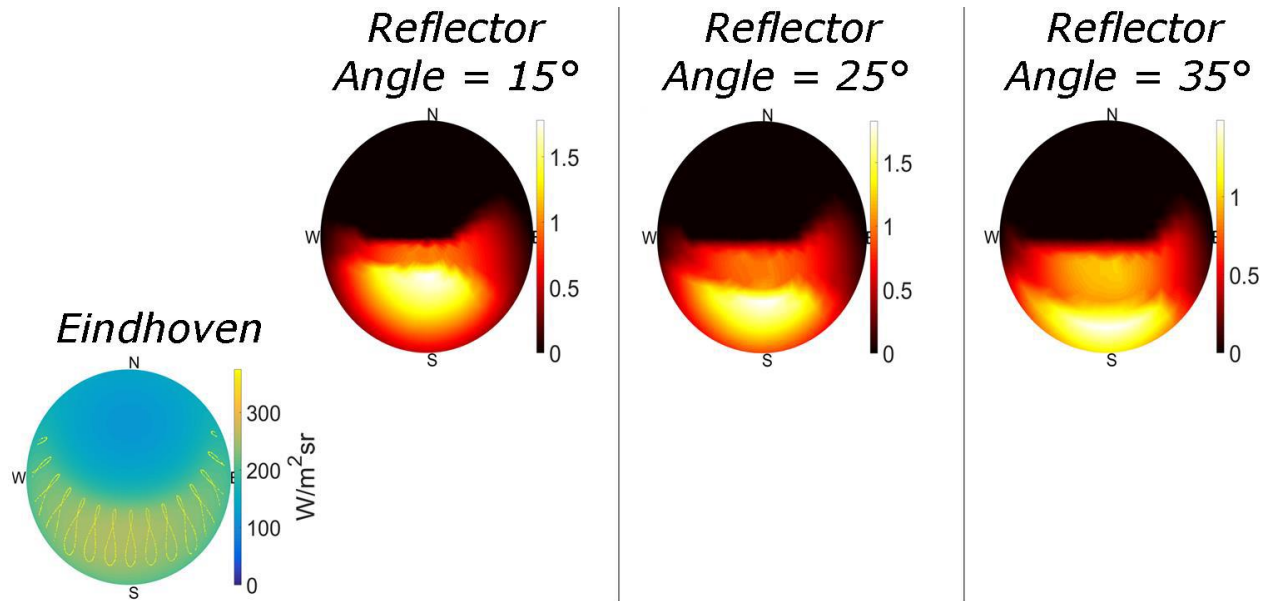
De metingen uitgevoerd door Hogeschool Zuyd in samenwerking met Wallvision, zijn zeer waardevol gebleken om de complexiteit van ZigZagSolar vroegtijdig in kaart te brengen. Door reflectie bij verschillende zonnestanden en verschillende gebruikte esthetische materialen is het zeer complex om een betrouwbare opbrengstvoorspelling te geven.

In de bijlage '04 Wallvision ZonneGEVEL metingen' is een uitgebreid verslag toegevoegd van de uitgevoerde metingen aan het balkon bij de Wijk van Morgen (zowel oude als nieuwe situatie).

### Optisch simulatiemodel ZigZagSolar

De complexiteit van opbrengstsimulaties voor ZigZagSolar komt voort uit de unieke geometrie en reflecterende eigenschappen van het systeem gecombineerd met oriëntatie en zonnestanden op diverse geografische locaties. Om toch uitspraak te kunnen doen over verwachte opbrengsten is door SEAC (ECN/TNO) in samenwerking met de Technische Universiteit Eindhoven, Technische Universiteit Delft en Wallvision uitgebreid onderzoek gedaan naar optische modellering.

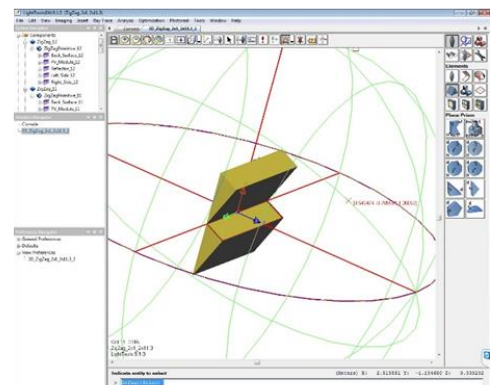
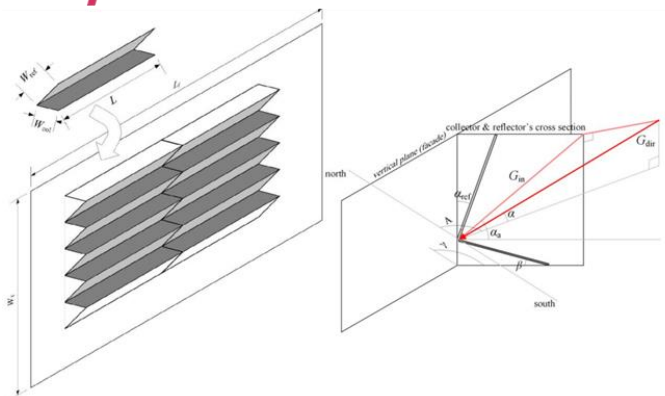
Om de verwachte opbrengst te bepalen heeft SEAC Sky Maps en Sensitivity Maps gemaakt. Door deze over elkaar heen te leggen kan in theorie de opbrengst van het ZZS gevelsysteem berekend worden op te selecteren locaties op aarde. De maps zijn gebaseerd op metingen in Eindhoven. De Sky Map geeft potentiële energie op een specifieke locatie. De Sensitivity Map is onafhankelijk van de locatie en is gebaseerd op het systeem, de oriëntatie en de geometrie. Sky Map + Sensitivity Map geven de instraling in het ZigZagSolar systeem.



Figuur 9: Figure showing the full year sky map for Eindhoven along with an illustration of the sensitivity maps for one cell in the PV module, for the three different ZigZag® BIPV system designs. The values denote the corresponding designs yearly incident irradiation value, on its PV module surface.

Er zijn twee optische modellen ontwikkeld: een eenvoudiger ééndimensionaal model van de TU/e en een nauwkeurig maar complex 3D model van de TU Delft. Beide modellen hebben geleid tot diverse wetenschappelijke publicaties. Beide modellen zijn bovendien gevalideerd (TU Delft voor slechts één dag) met positief resultaat. Uiteindelijk is gekozen om in WP5 verder te werken met het simulatiemodel van de TU/e.

Het rapport SEAC\_ZG\_WP3\_2\_Optisch\_Simulatiemodel geeft een gedetailleerde toelichting op de modelleringsactiviteiten. De bijlage '05 Report ZZS optical Modelling TUD' geeft een uitgebreide toelichting op het model van de TU Delft.



Figuur 10 Optische simulatiemodellen van ZigZagSolar

**Karakterisatie gevelementen**

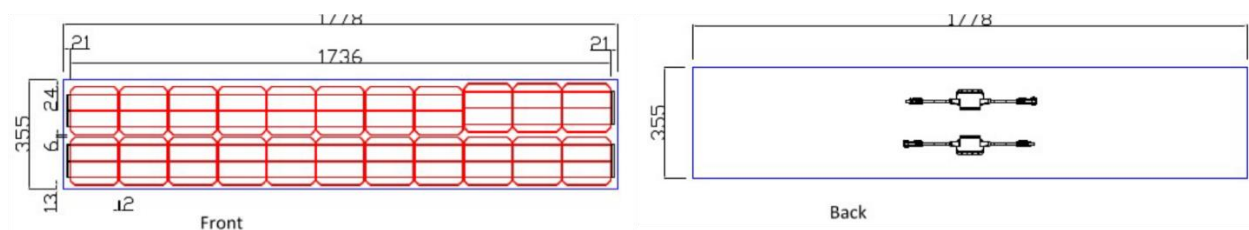
De opbrengst van ZigZagSolar wordt beïnvloed door de reflectie van de esthetische gevelbeplating. De kleur en structuur van deze gevelplaten hebben dus direct invloed op de opbrengst van het systeem. Om hier een indicatie van te geven is door Hogeschool Zuyd i.s.m. Wallvision onderzoek gedaan naar een variatie aan esthetische gevelbeplating. Er zijn meerdere samples gemeten variërend in kleur en structuur en de resultaten hiervan hebben als input gediend in de optische modellering.

De reflectie metingen voor gevel elementen van Wallvision kunnen het best uitgevoerd worden in de golflengte range 300-1300 nm, invalshoek 25-90°, waarbij de spectrale, diffuse en totale reflectie gemeten wordt. De meest relevante invalshoek en golflengte zijn 620 nm en 45°. Verdere conclusies en resultaten zijn beschreven in de bijlage '04 Wallvision ZonneGEVEL metingen'

### Ontwikkeling alternatief PV paneelontwerp

Het oorspronkelijke ZigZagSolar PV paneel bestaat uit 2x11 monokristallijnen cellen die in één string met elkaar zijn verbonden. Bij homogene belichting geeft dit de maximale opbrengst, maar door de reflecterende werking van het esthetische gevelpaneel in ZigZagSolar ontvangt het PV element een non-uniforme instraling over beide rijen cellen (de bovenste rij wordt meer belicht dan de onderste). Bovendien kunnen standaard micro-omvormers en optimizers niet omgaan met de hogere stroom (Isc) die voortkomt uit de optredende lichtconcentratie. Tot slot sluit het PV element qua afmetingen niet optimaal aan bij de gewenste afmetingen als bouwelement.

Om met bovenstaande uitdagingen om te gaan zijn door SEAC/ECN diverse oplossingen onderzocht, waaronder het gebruiken van een extra bypass diode, gebruik van gehalveerde cellen en toepassing van een CIGS element. Uiteindelijk is een alternatief PV element ontwikkeld bestaande uit twee strings van 11 cSi cellen aangesloten d.m.v. twee aparte junction boxes. In de testopstelling op SolarBEAT (zie WP5) worden zowel de instraling als de opbrengst per rij cellen apart gemeten om de potentiële meeropbrengst te bepalen.



Figuur 11 Alternatief ontwerp PV element met 2 junction boxes

### WP4 Generieke zonnegevel aspecten

#### Simulatie en specificatie PV systemen voor zonnegevels

Als startpunt voor de ontwikkeling van zonnegevels heeft SEAC/ECN onderzoek gedaan naar hoe PV gevelsystemen te specificeren en hoe het systeemontwerp in te richten kijkend naar type PV, configuratie van type en capaciteit omvormers. Tevens zijn de verwachte opbrengsten en kosten van generieke gevelsystemen t.o.v. PV dakopstellingen vergeleken. Hierbij zijn de volgende conclusies getrokken:

- De toepassing van micro-omvormers voor PV gevelsystemen heeft voordelen t.o.v. string omvormers waaronder een hoge opbrengst bij partieel beschaduwde systemen en een goede



match met bouwregulering omtrent veiligheid en betrouwbaarheid. Een nadeel is de initieel hogere investeringskosten.

- De toe te passen PV technologie hangt sterk af van het systeem en de situatie. Voor Solowall lijkt toepassing van dunne film (CIGS) aantrekkelijk vanwege de homogene esthetische uitstraling. Voor ZigZagSolar ligt toepassing van wafergebaseerd cSi meer voor de hand vanwege beschikbaarheid van PV elementen met flexibele afmetingen en hoge energieopbrengst.
- Voor verticale façades kan een omvormer met een capaciteit van 60% van de nominale opbrengst van de PV panelen voldoende zijn. Voor ZigZagSolar is een grotere capaciteit nodig vanwege de reflectiecomponent.
- Het verwachte rendement voor een zuidgeoriënteerde Solowall façade bedraagt 685kWh/kWp op jaarbasis. Het verwachte rendement voor een zuidgeoriënteerde ZigZagSolar façade bedraagt 965 kWh/kWp op jaarbasis. Deze data zijn als verwachting gebruikt en gestaafd aan de daadwerkelijke metingen op SolarBEAT in WP5.

Zie bijlage '06 Zonnegevel T4.1 rapportage - Simulation and specification of PV systems for façades voor een uitgebreide rapportage.

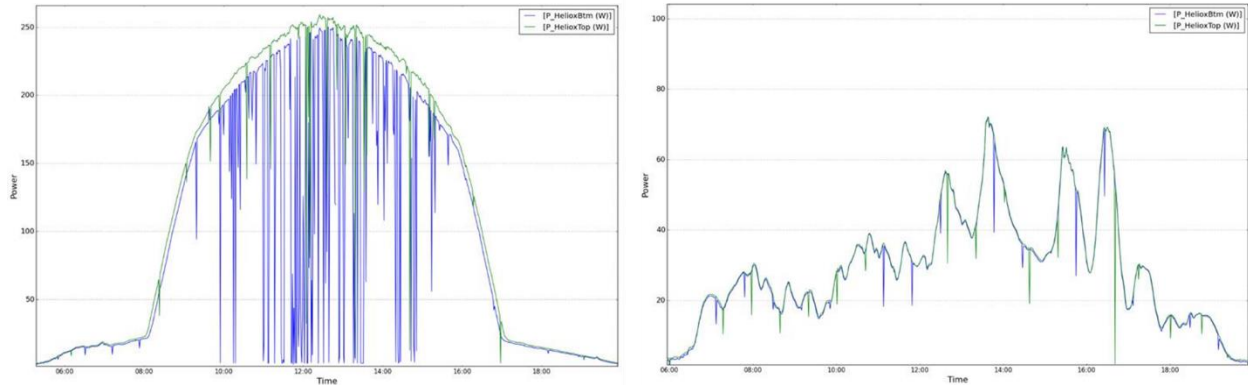
### Micro-omvormer ontwikkeling

Heliox heeft in dit project micro-omvormers ontwikkeld voor toepassing in PV gevels. Initieel is een inventarisatie gedaan van de eigenschappen van de toe te passen PV panelen. Hierop is de ontwikkeling gebaseerd. Belangrijk aandachtspunt in de ontwikkeling was de waarborging van elektrische veiligheid. Bij beschadiging van een gevel paneel mag er geen onderdeel met gevaarlijk hoge spanning aanraakbaar zijn. Daarom zijn de micro-omvormers uitgerust met een transformator met galvanische scheiding. Een ander aandachtspunt betrof de MPP (maximum power point) range die groter moest zijn dan gangbaar om te kunnen omgaan met schaduw op de gevel. Het toegepaste MPP algoritme is in staat om bij schaduw tot een derde deel van een 60 of 66-cels module de opbrengst te maximaliseren.



*Figuur 12 Prototype PCB lay-out en behuizing van micro-omvormer*

De prototype micro-omvormers zijn op SolarBEAT toegepast voor de ZigZagSolar cassettes. Hierbij is er één micro-omvormer toegepast per drie cassettes met dus driemaal een 22-cels PV module. Per rij van drie cassettes is dus een micro-omvormer toegepast. Hierdoor kunnen de resultaten van de rijen met elkaar worden vergeleken. Hierbij is duidelijk te zien dat de bovenste rij op zonnige dagen (met veel direct licht) profiteert van een hogere instraling door reflectie van het witte esthetische element t.o.v. het donkere element dat boven de onderste rij is gemonteerd. Op een bewolkte dag met veel diffuus licht is er geen sprake van significante reflectie en is dit verschil niet waarneembaar.



Figuur 13 Vergelijk monitoringsgegevens op zonnige (links) en bewolkte (rechts) dag van twee rijen ZigZagSolar cassettes op SolarBEAT. Tevens is in de linkergrafiek het effect van interferentie tussen de MPP van de micro-omvormers en het meetsysteem op SolarBEAT zichtbaar.

Omdat in een later stadium door SCX Solar is besloten om CIGS panelen toe te passen op de testgevel bij SolarBEAT met een te hoge spanning, zijn de prototype Heliox micro-omvormers alleen bij de testopstelling van ZigZagSolar toegepast.

Tijdens de metingen aan de gevelopstelling op het Vertigo-gebouw is gebleken dat er in de meetopstelling, om de elektrische parameters van het systeem separaat te meten, interferentie optreedt tussen het meetsysteem en de aangesloten micro-omvormers. Dit openbaarde zich door een vreemd geluid in de micro-omvormer op het moment van een MPPT sweep. Analyse heeft aangetoond dat dit EMI (Elektromagnetische interferentie) betrof. Omdat het bij de proefopstelling gebruikte meetsysteem niet is gekeurd op EMC, betreft het hier een uniek probleem dat zich normaliter niet zal voordoen in commerciële opstellingen. Een uitgebreide rapportage wordt gegeven in de bijlage '07 ZonneGEVEL - Eindrapportage – Heliox'.

### Vandalismebestendige zonnegevels

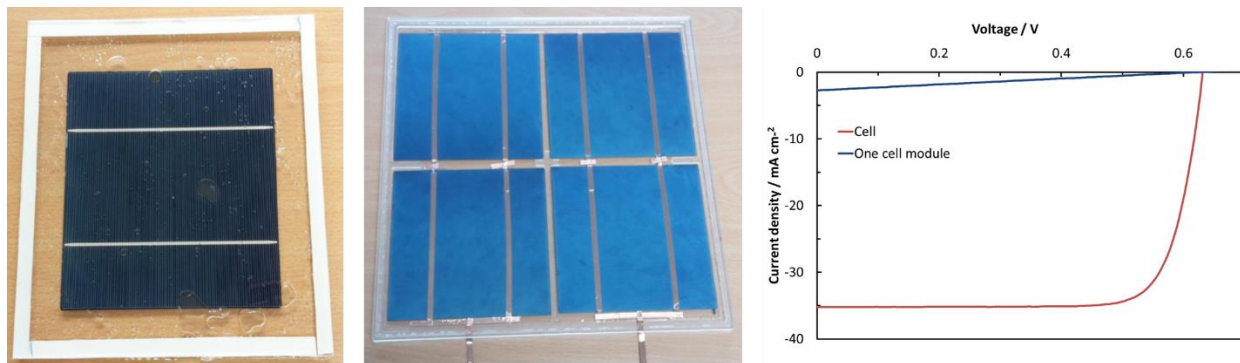
Polyplastic produceert op basis van PMMA o.a. ramen voor caravans. Dit materiaal is vormvrij, kan eenvoudig gekleurd worden, is transparant en slag/krasvast. Deze eigenschappen maken het een potentieel goede vervanger van glas in PV panelen geïntegreerd in de gevel of andere aanraakbare/bereikbare objecten. In ZonneGEVEL heeft TNO daarom i.s.m. ECN en Polyplastic onderzoek gedaan naar de toepasbaarheid van PMMA als glasvervanger. De belangrijkste uitdaging hierbij betrof de processing van PMMA aangezien reguliere laminatieprocessen van PV panelen plaatsvinden bij 130-150°C en PMMA gaat vervormen vanaf 130°C.

ECN heeft eerste testen uitgevoerd met laminatie van PMMA-encapsulant-PMMA samples en getest op visuele aspecten en ashesie. Resultaten waren voldoende, hoewel er zorgen zijn omtrent PMMA vervorming en ingebouwde stress. Vervolgens zijn testen gedaan met het lamineren van 1-cels samples, met zowel EVA als POE als encapsulant. Met EVA is tevens een 4-cels sample gemaakt. Hoewel de resultaten initieel goed leken, trad er na 1-12 uur delaminatie op, waarschijnlijk veroorzaakt door stress door krimp van de encapsulant en/of non-uniforme opwarming en afkoeling. Zie bijlage '08 Report POLYPLASTIC ECN tests' voor meer details.



Figuur 14 Laminatieresultaten PMMA o.b.v. ECN testen

Naast de door ECN uitgevoerde laminatietesten heeft Polyplastic zelf testen uitgevoerd op basis van haar eigen proces. Hierbij is gekeken naar het gebruik van PMMA lijm i.p.v. een encapsulant zodat op lage temperatuur acrylaat verwerkt kan worden. Er is gekeken of er een werkend 1-cels en 4-cels laminaat geproduceerd kan worden. TNO zou vervolgens klimaatkamertesten uitvoeren. Uit de nulmeting bleek echter dat de samples niet functioneel waren vanwege een te hoge serieweerstand, waarschijnlijk veroorzaakt door het gebruik van kopertape in plaats van reguliere tabbing.



Figuur 15 Door Polyplastic vervaardigde samples en meetresultaten TNO van 1-cels sample

Door diverse personeelwisselingen heeft Polyplastic in de tweede fase van het project weinig aandacht aan de ontwikkeling kunnen geven en blijven de resultaten achter bij de oorspronkelijk beoogde resultaten in het projectplan.

### Bouwkundige analyses

Vanuit bouwtechnisch perspectief heeft Heijmans i.s.m. TNO en W/E een uitgebreide analyse gedaan van ontwerpuitgangspunten. Hierbij is onder andere gekeken naar:

- Constructieve veiligheid (uitgangspunten voor verticale montagesystemen, blinde bevestiging, verlijming, mechanische bevestiging etc.)

- Esthetica, levensduur en onderhoud (mate van ontwerpvrijheid voor de ontwerper van een gebouw, kleuren, texturen, reflectie, maatvoering, passtukken, voegenpatroon, vlakheid, vervuiling/veroudering)
- Antidiefstal (montage/demontagemogelijkheden, unieke identificatie)
- Monitoring (prestaties, alarmering)
- Brandveiligheid (beperken van ontstaan, ontwikkeling en uitbreiding van brand; doorvoeren voor bevestiging, bliksembeveiliging)
- Geluidwering (geluidwering voornamelijk vanuit binnenschil, contactgeluid)
- Vocht- en luchtdichtheid (geventileerde BIPV gevelsystemen zijn niet water- en luchtdicht, dichting komt vanuit de binnenschil)
- Thermische isolatie, condensatie (voorkomen van koudebruggen, isolatie komt vanuit de binnenschil, rekening houden met condensafvoer)

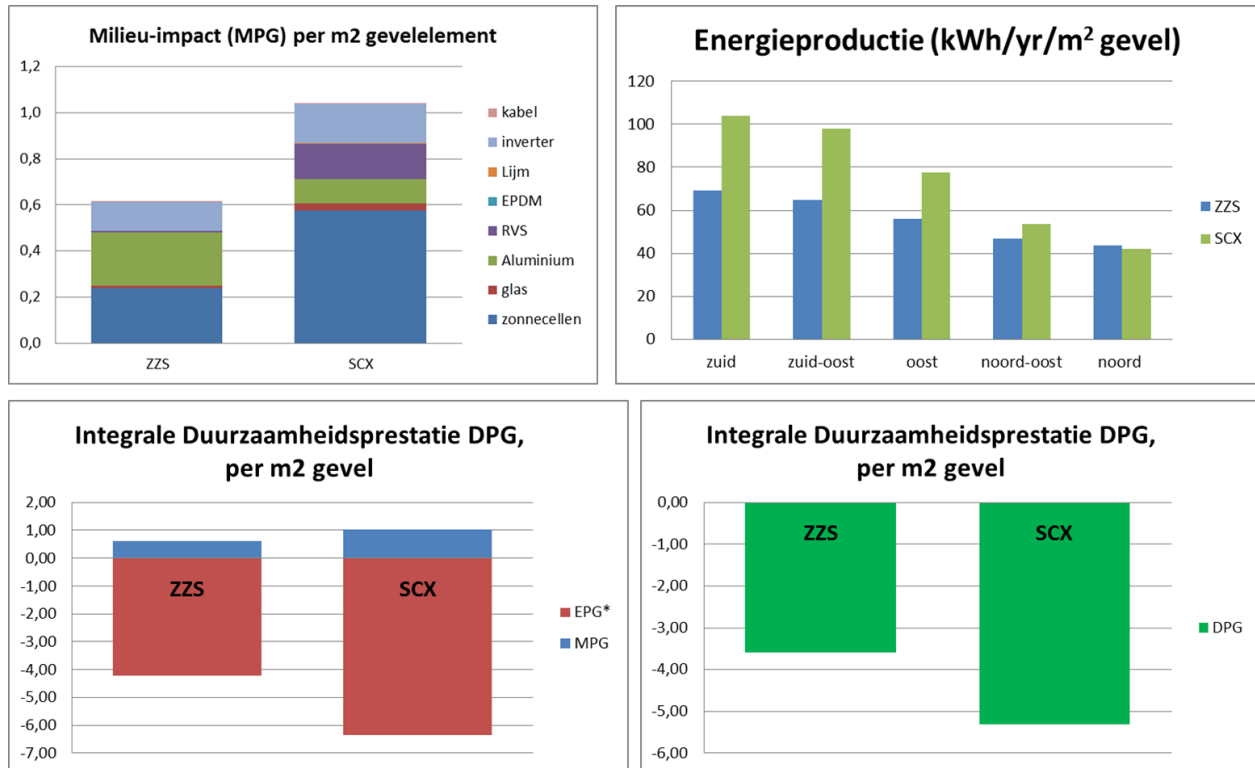
Op basis van deze uitgangspunten zijn de prototypes van Solowall en ZigZagSolar geëvalueerd en aangepast. Gedurende het project hebben deze uitgangspunten continu gediend om richting te geven aan de ontwikkeling. Hiermee is een optimale aansluiting tussen PV en bouwindustrie op technisch vlak tot stand gekomen.

Omdat zowel voor Solowall als voor ZigZagSolar gekozen is voor toepassing als vliesgevel, en er dus sprake is van ontkoppeling van de buitenschil van de binnenschil, zijn thermische aspecten van minder belang gebleken. De isolerende functie wordt immers door de binnenschil en niet door de BIPV buitenschil ingevuld. In plaats van een uitgebreide thermische analyses van BIPV gevels heeft TNO daarom een ander belangrijk aandachtspunt opgepakt, zijnde windbelasting. BIPV gevels worden doorgaans tot grotere hoogten toegepast dan BIPV daken. Daarom is het van belang goed inzicht te verkrijgen in de potentiële windbelasting onder diverse omstandigheden. Hiertoe heeft TNO een windcalculatietool ontwikkeld voor Solowall en ZigZagSolar. Dit is verder beschreven in bijlage: '09 TNO 2017 R11531 Windloads ZZS' en '10 TNO 2017 R11533 Windloads SCX-Solar'.

### **Milieuprestaties**

W/E adviseurs heeft uitgebreid onderzoek gedaan naar milieuprestaties van BIPV gevels.

Op basis van materiaalgegevens van de voorlopige productspecificaties is een eerste analyse gedaan van de milieuprestatie van zowel Solowall als ZigZagSolar. Hierbij is gekeken naar welke materialen de grootste bijdrage leveren in de MPG (milieuprestatie) score. Tevens is gekeken naar de bijdrage van de systemen aan de energieprestatie (EPG) van een vijftal typische situaties (gebouwtypes). Tot slot is gekeken naar de integrale prestatie-indicator (DPG). Onderstaand figuur geeft de milieu-impact per m<sup>2</sup> gevelelement voor Solowall (SCX) en ZigZagSolar (ZZS).



Figuur 16 MPG (linksboven), EPG (rechtsboven) en DPG prestaties (onder) van voorlopige ontwerpen Solowall en ZigZagSolar. De negatieve DPG score betekent dat de systemen de milieu-impact verlagen.

Met betrekking tot de milieu-impact is duidelijk dat PV cellen veruit de grootste bijdrage doen op het gebied van milieuprestatie (voor beide concepten is uitgegaan van gebruik van monokristallijne silicium cellen). Aangezien bij Solowall 2,5x meer cellen per m<sup>2</sup> worden toegepast dan bij ZigZagSolar is de impact daar groter. Wat verder opvalt is de grote bijdrage van aluminium en/of RVS bevestigingsmaterialen. Materiaalefficiëntie op dat vlak is dus wenselijk. Wanneer gekeken wordt naar de integrale duurzaamheidsprestatie (DPG) blijkt echter dat de energieprestatie van beide systemen de milieu-impact ruimschoots compenseert. De milieubelasting wordt dus verlaagd door toepassing van deze systemen.

W/E heeft daarnaast een inventarisatie gedaan van de aankomende BENG regelgeving en verschillen t.o.v. de huidige EPC regelgeving. Voor hoogbouw blijkt het lastig aan de BENG regelgeving te voldoen, maar met de in ZonneGEVEL ontwikkelde systemen heeft de gebouwwontwerper meer mogelijkheden om de vereiste prestaties toch te realiseren. Een uitgebreide analyse en conclusie is te vinden in bijlage '11 WE8542 Memo ZonneGEVEL en DPG'.

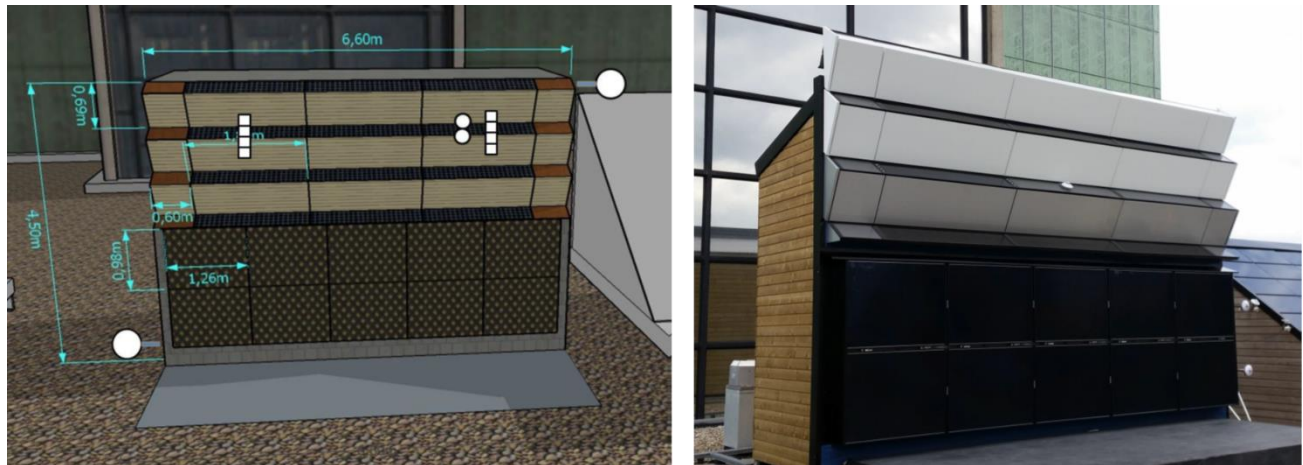
## WP5 Experimenten en simulaties

### SolarBEAT

Van Solowall en ZigZagSolar zijn testopstellingen gerealiseerd op SolarBEAT. Hiertoe is een uitgebreid testplan opgesteld, zie ZonneGEVEL WP5 Research\_Plan. Het Solowall systeem maakt gebruik van de onderste helft van de opstelling. Solowall is een verticaal gevelsysteem, daarom wordt de instraling op beide rijen panelen met een verticaal geplaatste pyranometer gemeten. ZigZagSolar bestaat de bovenste helft en bestaat uit drie cassettes. De onderste rij panelen heeft geen esthetische gevelplaat maar sluit

aan op het Solowall systeem. Deze PV panelen ontvangen reflectie van grijze esthetische beplating van de cassette daarboven. De PV panelen daarboven ontvangen reflectie van witte esthetische beplating van de daar weer boven gemonteerde cassettes. Hierdoor kan een vergelijk gemaakt worden van prestaties bij verschillende typen gevelmateriaal. Tevens is één ZigZagSolar paneel uitgerust met twee junction boxen zodat per rij cellen de opbrengst gemeten kan worden. Hier wordt ook de instraling per rij gemeten door gebruik te maken van fotodiodes.

Bij de positionering van ZigZagSolar is rekening gehouden met potentiële beschaduwing van Solowall. Daarnaast is een uitgebreide schaduwstudie van omliggende objecten gedaan om de prestatieanalyses zo zuiver mogelijk uit te kunnen voeren.



Figuur 17 Ontwerp en realisatie SolarBEAT testopstelling

SEAC (TNO/ECN) heeft uitgebreide analyses uitgevoerd van de elektrische en thermische prestaties van beide systemen. Zie bijlage '12 SEAC Final report WP5'.

#### WP6 Mobiliseren bouwkolom

##### **Gebruikerscommissie**

Om de bouwindustrie te informeren over en te betrekken bij BIPV gevelsystemen is een gebruikerscommissie georganiseerd op de SPARK campus te Rosmalen door Heijmans en Chematronics. Tijdens deze bijeenkomst hebben SCX Solar en Wallvision hun BIPV concepten gepresenteerd en hierop feedback ontvangen van de aanwezigen. Daarnaast heeft TNO een workshop georganiseerd omtrent niet-technische barrières m.b.t. de introductie van BIPV gevels in de bouwindustrie.

Voor de bijeenkomst waren diverse representanten van de bouwindustrie uitgenodigd, waaronder opdrachtgevers, architecten en bouwproductleveranciers. De volgende organisatie (buiten de ZonneGEVEL partners) waren vertegenwoordigd:

- Broekbakema
- DGMR
- Satijn Plus Architecten
- Innax
- Diederendirrix
- UN-studio

- Gemeente Den Bosch
- WonenLimburg
- Het Woonbedrijf Eindhoven
- Reynaers
- TGM
- Recticel
- Aldowa
- Trespa



*Figuur 18 Foto workshop gebruikerscommissie*

Na introductie van Solowall en ZigZagSolar is tijdens een interactieve sessie dieper ingegaan op systeemspecificaties, eisen vanuit de markt en toepasbaarheid. Nadruk lag hierin op de bouwtechnische aspecten (bevestigingsconstructie, integratie in de gevel) en de balans tussen esthetica en vormvrijheid versus standaardisatie van bouwelementen. In een derde workshop is specifiek gericht op het identificeren van niet-technische barrières, resulterende in vier categorieën:

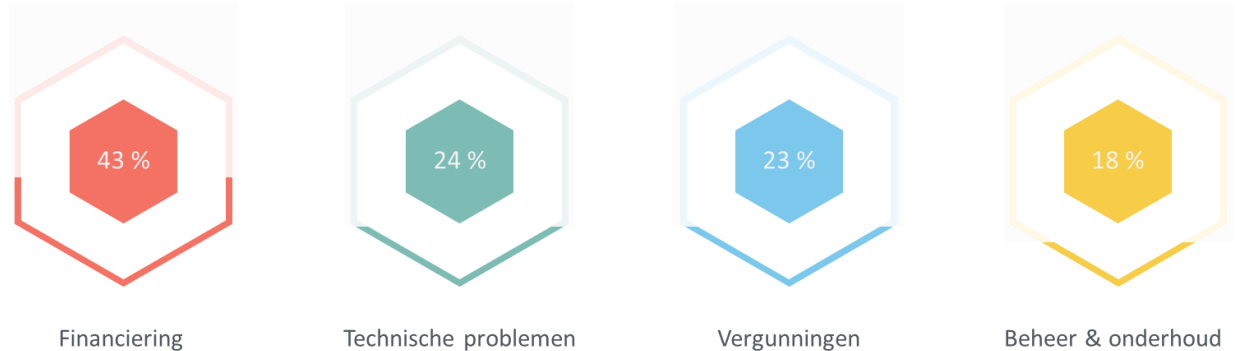
- financiële en markt barrières
- wettelijke en administratieve barrière
- communicatie en perceptie barrières
- architecturale en esthetische barrières

Uit deze workshop bleek eens te meer dat er een enorme kloof bestaat tussen de kennis en perceptie van mogelijkheden van (BI)PV systemen tussen de solar en de bouwindustrie.

### **Barrières bouwproces**

Naast de technische ontwikkelingen is in ZonneGEVEL uitgebreid aandacht gegeven aan niet-technische aspecten omtrent de introductie van BIPV gevelsystemen. Heijmans heeft hierbij met behulp van een afstudeerder in het bijzonder aandacht gegeven aan het beslisproces in de bouwindustrie en financiële modellen voor zonnegevels van utiliteitsbouw (zie Rapportage Zonnegevel afstudeeronderzoek Heijmans).

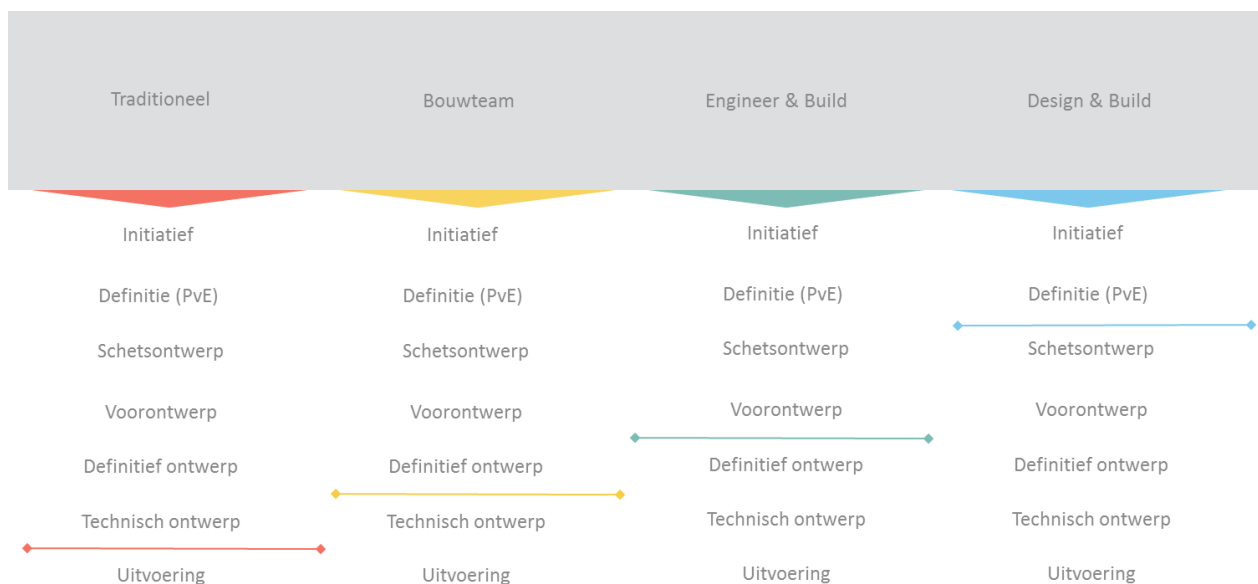
Voor bedrijven blijft financiering een van de belangrijkste obstakels om te investeren in duurzaamheid. Zon is wel de meest populaire energiemaatregel (59%, versus 50% voor isolatie), maar partijen geven aan gebruik te willen maken van een mix aan maatregelen.



Figuur 19 Overzicht barrières voor bedrijven m.b.t. investeringen in duurzame energie.

Er zijn diverse financieringsmogelijkheden voor PV systemen, zoals hypotheek, investeerders, energieprestatievergoeding, crowdfunding, leasecontracten en ESCO's. Voor BIPV gevels geldt echter als knelpunt dat het PV systeem integraal onderdeel is van het gebouw en daarmee de eigendomsrechten lastig te verdelen zijn over meerdere partijen. Desondanks zorgen nieuwe financieringsconstructies voor een hernieuwde focus op kwaliteit en rendement in plaats van kortste terugverdientijd.

Het bouwproces zelf is aan verandering onderhevig. Waar traditioneel een architect i.s.m. een opdrachtgever een gebouw volledig ontwierp en de aannemer slechts een uitvoerende partij was, ligt er bij engineer&build of design&build contracten juist steeds meer verantwoordelijkheid bij de aannemer. Dat biedt voor BIPV mogelijkheden indien BIPV leveranciers vroegtijdig, al tijdens het ontwerpproces, kunnen aanhaken bij een aannemer. Met name in de utiliteitsbouw is sprake van deze verschuiving, in de particuliere sector is vooralsnog de architect de belangrijkste adviseur.



Figuur 20 Diverse vormen van het bouwproces en de rol van de aannemer



TNO heeft aandacht gegeven aan algemene niet-technische barrières, zie TNO rapport barrières BIPV gevels. Als meest belangrijke niet-technische barrières in het ZonneGEVEL project worden gezien:

- Hoge investeringskosten van PV, lange terugverdiëntijd.
- Te weinig ontwerprijheid voor architecten.
- Onzekerheid in toekomst over terugleververgoeding en saldering.
- 'Split incentive' voor bijvoorbeeld huurder en ontwikkelaar/gebouweigenaar.
- Gebrek aan kennisoverdracht: onvoldoende kennis en bewustzijn bij consumenten en bouwpartijen.

Voor het wegnemen of verminderen van bovenstaande, meest belangrijke barrières worden de volgende oplossingsrichtingen gegeven:

- Duidelijkheid verschaffen over financiële consequenties op lange termijn (terugleververgoeding, saldering, etc.). Er ligt hier een rol voor o.a. de branchevereniging om hier duidelijkheid te verkrijgen.
- Vergroten van ontwerprijheid door aanbieden van esthetisch aantrekkelijke PV toepassingen en het demonstreren van de esthetische voordelen van gevel geïntegreerde PV.
- Betere informatieverschaffing over PV producten voor architecten, ontwikkelaars en de bouwsector. Denk ook aan trainingen van installateurs en timmerlieden om bouwfouten te voorkomen.
- Kennisverspreiding van case studies die de economische voordelen van PV tonen (return of investment).
- Een wijd verspreide disseminatie van kennis over PV om meer kennis en bewustzijn bij consumenten en bouwpartijen te verkrijgen.
- Aanmoedigen en ondersteunen van fabrikanten van PV gevelproducten die makkelijker te integreren zijn in gebouwen, gebaseerd op standaard maten.

### **Regelgeving zonnegevels**

SGS heeft een inventarisatie gedaan van relevante regelgeving voor PV systemen geïntegreerd in gevels. Hierbij is gekeken naar regelgeving op het gebied van PV technologie, bouwbesluit en elektrische veiligheid. Bij de start van het project was er veel onduidelijkheid op het gebied van regelgeving. Gedurende het project zijn er nieuwe richtlijnen gepubliceerd. Hierdoor blijft regelgeving een continu aandachtspunt.

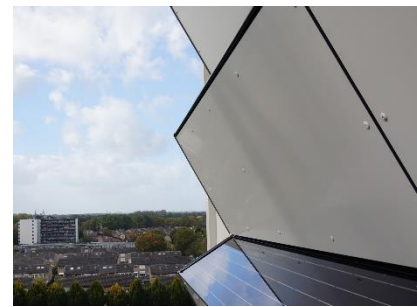
Na inventarisatie van de geldende regelgeving zijn Solowall en ZigZagSolar geëvalueerd. De hieruit voortgekomen aandachtspunten zijn meegenomen in de doorontwikkeling van de concepten. ZonneGEVEL producten mogen geen zodanig negatief effect op andere (gevel)functies hebben dat aan de eisen benoemd in het bouwbesluit, niet langer wordt voldaan. Dit geldt voor zowel geluid- en vochtwerende werking alsmede de thermische isolatie. Behalve bouwkundige aspecten moeten de ZonneGEVEL producten ook voldoen aan elektrische veiligheidseisen zoals vastgelegd in de Europese verordeningen. Brandbaarheid dient nader onderzocht te worden. SGS INTRON adviseert om dit uit te werken in nauw overleg met erkende brand instituten.

## Pilotrealisatie

Na het realiseren van de testopstellingen op SolarBEAT zijn Heijmans en Hogeschool Zuyd samen met SCX Solar en Wallvision op zoek gegaan naar pilotmogelijkheden voor toepassing van de systemen op grotere schaal. De belangrijkste uitgangspunten hierbij waren:

1. **De klant/opdrachtgever/gebouweigenaar/ontwerper bepaalt.** Heijmans en Zuyd dragen mogelijke oplossingen voor, maar uiteindelijk dienen de projecten de goedkeuring te krijgen van de opdrachtgever.
2. Project zijn **aansprekend / hebben een vernieuwende waarde.** De projecten zijn niet alleen vernieuwend voor SCX en Wallvision, maar ook voor de Nederlandse bouwindustrie als geheel. Heijmans/Zuyd/Chematronics hebben het gevoel dat de vernieuwing bij SCX met name zit in een esthetisch fraai gevelproduct voor 'standaard' verticale gevels tegen acceptabele kostprijs, dus gericht op het 'middensegment'. Voor ZigZagSolar geldt meer designvrijheid, maar daarmee ook een hogere kostprijs. Cruciaal bij ZigZagSolar is dat de nieuwe pilot zich esthetisch onderscheidt van de reeds gerealiseerde opstellingen.
3. De producten zijn **bijna marktrijp**, maar de projecten worden nog **niet 100% commercieel** ingevuld. D.w.z. SCX/Wallvision zorgen voor een commerciële aanbieding waarbij van de opdrachtgever een reële vergoeding gevraagd wordt. Er wordt echter gewerkt vanuit een pilotovereenkomst die experimenteerruimte biedt voor ca. 3 jaar. Hierdoor kunnen verbeteringen worden doorgevoerd en kan er gemonitord worden. De inspanningen die nodig zijn om het project te verwezenlijken die bovenop de commerciële aanbieding komen, worden gedragen door de conceptontwikkelaars en door Zuyd en Heijmans.
4. **Onderhouds- en veiligheidsrisico's zijn afgedekt.** De opstellingen worden gerealiseerd in een praktijkomgeving en veiligheidsrisico's m.b.t. de constructie moeten dus zijn afgedekt. Ook dient in een onderhoudspakket te worden voorzien gedurende de levensduur van de gevels. Uiteraard is een realistische opbrengstinschatting noodzakelijk en zijn de conceptontwikkelaars verantwoordelijk voor het halen van deze opbrengst (berekeningen voorafgaand aan installatie dus noodzakelijk). Gezien de experimentele setting is echter een afwijking op opbrengst het minst doorslaggevend van de hier benoemde risico's.

Door een verslechterde economische situatie bij Heijmans en daardoor afnemende aandacht voor innovaties is Heijmans er niet in geslaagd een pilot te realiseren. Hogeschool Zuyd heeft een pilot gerealiseerd met Solowall. Voor ZigZagSolar is een gevel gebouwd in Sittard.



Figuur 22 De pilotopstellingen van SCX-Solar (links) en ZigZagSolar (rechts)

Opbrengstdata van beide concepten staan vermeld in de bijlagen: '13 Wallvision ZonneGEVEL rapport Zuyd' en '14 SCX-Solar ZonneGEVEL rapport Zuyd'.

## Vervolgactiviteiten

ZonneGEVEL heeft een groot aantal resultaten opgeleverd die merendeels een vervolg krijgen na afloop van het project. Zowel SCX Solar als Wallvision zullen hun gevelconcept commercialiseren. In 2017/2018 worden de eerste grootschalige commerciële projecten verwacht. Gezien de complexiteit van het ZigZagSolar concept lopen er nog diverse innovatieprojecten waarin specifieke details, zoals opbrengstmodellering en toepassing van alternatieve PV technologie, worden voortgezet.

Heliox introduceert haar micro-omvormers in de markt via de verkoopkanalen van Autarco. Polyplastic zet voornamelijk de ontwikkelingen niet door en voor Heijmans geldt dat het onduidelijkheid is op welke wijze zij in de nabije toekomst invulling kan geven aan haar innovatieambities.

Ook voor de kennisinstellingen heeft LiRoB unieke resultaten opgeleverd waar in toekomstige projecten gebruik van gemaakt gaat worden. De SEAC testopstelling op SolarBEAT blijft operationeel, er zal in 2018 vervolgonderzoek plaatsvinden. SEAC (TNO/ECN) heeft bovendien in samenwerking met de TU Delft en de TU/e een aantal publicaties kunnen doen omtrent de modelleringsactiviteiten van ZigZagSolar. De door TNO opgedane kennis op het gebied van CIGS toepassing in gevels wordt ingezet in vervolgprojecten van Solliance.

## Discussie, conclusie en aanbevelingen

ZonneGEVEL was een ambitieus project met een groot aantal innovatieve doelstellingen. Alle doelstellingen zijn behaald. Tevens zijn de meest essentiële projectresultaten behaald. Op sommige resultaten is om strategische, product- of markttechnische redenen afgeweken, maar zijn wel relevante additionele resultaten behaald. Onderstaand tabel geeft een overzicht van behaalde resultaten.

Oorspronkelijke resultaten	Eventuele afwijkingen
<b>Doelstelling 1: Solowall: snel en kosteneffectief BIPV gevelsysteem waarbij volledige onafhankelijk van de PV technologie de gewenste panelen geselecteerd kunnen worden voor het ontwerp – realisatie prototype 3-6m<sup>2</sup></b>	
Gespecificeerd Solowall gevelsysteem	Gerealiseerd
Frameless blinde bevestiging	Blind bevestigingssysteem gerealiseerd voor zowel geframede als frameloze PV panelen, geen verlijming vanwege regelgeving
Geïsoleerd gevelsysteem	Geen integratie van Recticel isolatie vanwege keuze voor geventileerd gevelsysteem, wel ontwikkeling van oplossing voor koudebrug
Gevelpaneel in minimaal een andere kleur dan blauw of zwart	Niet gerealiseerd. I.p.v. deze ontwikkeling is onderzoek gedaan naar CIGS toepassing in gevels
Prototype Solowall voor veldtest	Gerealiseerd
<b>Doelstelling 2: ZigZagSolar: inzichtelijk maken van karakteristieken van deze architectonische toepassing - Realisatie 3-6m<sup>2</sup> prototype ter verificatie reflectiemetingen en simulatiemodel</b>	
Gespecificeerd ZigZagSolar gevelsysteem	Gerealiseerd, inclusief aanvullend onderzoek naar testopstellingen bij Q-Park en Wijk van Morgen
Optisch simulatiemodel ZigZagSolar	Twee modellen gerealiseerd i.p.v. één
Karakterisatie gevelelementen	Gerealiseerd
PV paneelontwerp	Alternatief ontwerp beschikbaar incl. onderzoek naar prestaties vs. kosten
Prototype ZigZagSolar voor veldtest	Gerealiseerd

<b>Doelstelling 3: Optimaliseren gevelconcepten naar bouwbehoeften en eisen</b>	
Systeemconfiguraties voor gevels t.b.v. pilots	Gerealiseerd
Ontwikkeling en prototyping micro-omvormers voor zonnegevels	Gerealiseerd
Procesonderzoek verwerking PMMA Polyplastic in PV laminaten	Gerealiseerd, gemengde resultaten
PMMA PV panelen voor verouderingsexperimenten	Gerealiseerd, maar samples niet functioneel
Verouderingsexperimenten Polyplastic samples en prototypes voor toepassing in pilots	Niet gerealiseerd vanwege uitblijven resultaten uit voorgaande activiteiten
Onderzoek milieutechnische aspecten zonnegevels	Gerealiseerd
Onderzoek bouwtechnische aspecten zonnegevels	Gerealiseerd, geen thermische analyses maar wel windbelasting analyses, toevoeging van bouwtechnische evaluatie i.s.m. Heijmans
<b>Doelstelling 4: Inzicht in prestaties BIPV gevelsystemen</b>	
R&D plan voor veldtest SolarBEAT	Gerealiseerd
Werkende proefopstelling	Gerealiseerd
Meetrapport veldtesten	Gerealiseerd
Simulatiemodel validatie	Gerealiseerd
<b>Doelstelling 5: Mobiliseren van de bouwkolom</b>	
Evaluatie concepten met gebruikerscommissie	Gerealiseerd
Inventarisatie en oplossingsrichtingen barrières bouwproces	Gerealiseerd, incl. onderzoek naar beslisproces en financiële modellen voor BIPV gevels door Heijmans
Inventarisatie/evaluatie relevante regelgeving	Gerealiseerd
Simulatiemodel validatie	Gerealiseerd
Realisatie pilotgevel	Gerealiseerd
Kennisdisseminatie in bouwkolom	Gerealiseerd

*Figuur 21 Overzicht behaalde resultaten ZonneGEVEL*

De complexiteit van het project heeft gedurende de uitvoer voor diverse uitdagingen gezorgd en daarmee invloed gehad op het project. Daarom doen we enkele aanbevelingen voor de uitvoer van toekomstige projecten.

- Samenwerking tussen een groot aantal partners, ieder met zijn eigen ambities, ervaringen en doelstellingen, vergt een continue afstemming van strategische en operationele belangen. Door het invullen van het projectmanagement vanuit een onafhankelijke partij zijn alle belangen meegenomen en is uiteindelijk voor alle projectpartners een succesvol project afgerond.
- De veranderende omstandigheden binnen zowel de solar als de bouwindustrie in Nederland en daarbuiten zorgen voor steeds wisselende omstandigheden die het marktperspectief van innovaties beïnvloeden.
  - o Door nadrukkelijk in te zoomen op marktanalyses gedurende het project en de (potentiële) positie van de projectpartners in die markt in kaart te brengen kon ingespeeld worden op de laatste inzichten uit de solar industrie. Belangrijk hierbij is onder andere de verkrijgbaarheid van specifieke PV laminaten. Een systeem als Solowall, dat gebruik kan maken van diverse typen PV laminaten van verschillende leveranciers is hier in het voordeel.
  - o De bouwindustrie heeft in de loop van het project steeds meer aandacht gekregen voor (BI)PV als noodzakelijke oplossing voor verduurzaming van gebouwen. Dit geldt met name

voor nieuwbouw projecten, maar ook steeds vaker voor grootschalige renovatie. De bouwindustrie is hierin echter vooral gedreven door regelgeving. De toetreding en daaropvolgende actieve bijdrage van Heijmans aan het consortium getuigt van deze toegenomen interesse. Tekenend voor de volatiele bouwindustrie is echter ook de beperking van activiteiten van Heijmans in de laatste fase van het project door verslechterde economische omstandigheden bij Heijmans.

- In het project is een aantal technische innovaties uitgevoerd. Deze innovaties zijn grotendeels ook als afzonderlijke materialen of componenten te vermarkten. Dit zorgt ervoor dat risico's met betrekking tot vertragingen in ontwikkeling geen belemmering vormen om de overige innovaties door te zetten. Een goed voorbeeld hiervan zijn de tegenvallende resultaten m.b.t. de Polyplastic ontwikkeling. Daarnaast biedt dit de mogelijkheid om ook bij risicovolle en zelfs mogelijk concurrerende activiteiten een open samenwerking met elkaar aan te gaan. Het overeenkomen van commerciële exclusiviteit op voorhand in projecten waarin de onzekerheid nog groot is, belemmert de samenwerking eerder dan dat deze wordt geïntensiveerd.
- Er is gewerkt met een gebruikerscommissie met daarin vertegenwoordigers van de markt (opdrachtgevers, architecten, bouwmaterialenleveranciers). Om daadwerkelijk inzicht te krijgen in beslisriteria van dergelijke partijen is het noodzakelijk om vertegenwoordigers op het juiste niveau van deze organisaties betrokken te krijgen. Het blijkt lastig deze betrokkenheid te behouden over meerdere structurele sessies wanneer het commerciële belang op korte termijn nog niet volledig helder is.
- De ambities waren hoog en de diversiteit aan innovaties was groot. Enerzijds stimuleert dit brede kennisdeling en een focus op aspecten in het systeem die in kleinere consortia mogelijk vergeten worden. Anderzijds heeft dit gezorgd voor enige vertraging in het realiseren van enkele resultaten. Een duidelijke projectfasering met gezamenlijk overeengekomen mijlpalen en beslismomenten is noodzakelijk om de projectvoortgang te behouden en inzicht te houden in de status van de diverse ontwikkelingen ten opzichte van de afgesproken doelen.

Concluderend kijken de projectpartners terug op een uitdagend project dat uiteindelijk heeft geleid tot positieve resultaten voor alle betrokkenen.

## Uitvoering van het project

Het project heeft gedurende de looptijd diverse uitdagingen gekend. Deze hebben onder andere tot gevolg gehad dat rollen gewijzigd zijn, de consortiumsamenstelling is gewijzigd en er diverse organisatorische en begrotingswijzigingen zijn doorgevoerd. Deze worden hieronder verder toegelicht.

### Technische en organisatorische uitdagingen en projectwijzigingen

Er zijn diverse technische uitdagingen geweest die tot verschuiving van activiteiten hebben geleid. Deze zijn hierboven reeds verder toegelicht. Samengevat betreft het onder andere:

- Afwijkend Solowall ontwerp (als geventileerde gevelsysteem) waardoor geen integratie van isolatiebeplating heeft plaatsgevonden, maar wel een oplossing voor het voorkomen van koudebruggen is ontwikkeld.
- Stopzetten onderzoek naar gekleurde PV modules door TNO vanwege gebrek aan industrialisatiecapaciteiten. Als alternatief is onderzoek gedaan naar toepassing CIGS in gevels.
- Beperkte resultaten m.b.t. Polyplastic PMMA ontwikkeling als vervanging van glas voor vandalismebestendige PV panelen.

Organisatorisch hebben er twee belangrijke wijzigingen plaatsgevonden:

- Oorspronkelijk was SEAC projectpartner in het consortium. SEAC is een samenwerkingsverband tussen TNO en ECN. Om administratieve redenen is besloten om de innovatieactiviteiten niet langer vanuit SEAC, maar vanuit TNO en ECN uit te voeren. Dit betrof puur een administratieve wijziging. Het budget van SEAC is hierbij verschoven naar TNO en ECN, waarbij ECN is toegetreden tot het consortium (TNO was al betrokken als penvoerder). Aangezien de SEAC activiteiten door werknemers zouden worden uitgevoerd die in loondienst zijn bij ECN en TNO is er qua inhoudelijke kennis en activiteiten niets gewijzigd.
- Vanaf januari 2015 is Heijmans toegetreden tot het consortium. Heijmans heeft met name bijgedragen aan het bepalen van bouwtechnische uitgangspunten van het ontwerp, aansluiting bij beslisprocessen in de bouwkolom en onderzoek naar financiële modellen. Daarnaast heeft Heijmans de gebruikerscommissie mede georganiseerd. Helaas is Heijmans er niet in geslaagd om een pilot met een van de systemen te realiseren vanwege de economische situatie bij Heijmans in het laatste projectjaar. Heijmans maakte geen aanspraak op projectsubsidie.

Naast de bovenstaande technische en organisatorische uitdagingen en daarmee gepaard gaande wijzigingen, zijn er geen verdere inhoudelijke wijzigingen opgetreden. Alle significante wijzigingen zijn gedurende het project aan RVO gerapporteerd en waar nodig goedgekeurd.

## Financiële rapportage

In onderstaand overzicht wordt de financiële realisatie ten opzichte van de begroting weergegeven. Hierin zijn alle door RVO goedgekeurde begrotingswijzigingen meegenomen. Het betreft hierbij de volgende wijzigingen:

- Begrotingswijziging d.d. 5 november 2014, 14 januari 2015 en 13 juli 2017 met daarin o.a.:
  - o Reduceren van het volledige SEAC budget vanwege administratieve wijziging zoals hierboven toegelicht.
  - o Toename budget en subsidie TNO door verschuiving van SEAC activiteiten naar TNO.
  - o Toevoegen van budget en subsidie ECN door verschuiving van SEAC activiteiten naar nieuwe projectpartner ECN.
  - o Toevoegen van budget, maar geen subsidie, voor Heijmans vanwege toetreding tot het consortium.
  - o Budgetverschuiving van W/E Adviseurs en PolyPlastic naar overige partners.

De gerealiseerde kosten worden in onderstaand overzicht weergegeven. Voor TNO, SCX Solar, Wallvision en Heliox zijn in de bijlage de accountantsverklaringen bijgevoegd.

Partner	Kostentype	Loonkosten		Machine en apparatuurkosten		Verbruikte materialen en hulpmiddelen		Aan derden verschuldigde kosten		Totaal kosten		Totaal subsidie		Percentage gerealiseerd	
		Realisatie	Begroot	Realisatie	Begroot	Realisatie	Begroot	Realisatie	Begroot	Realisatie	Begroot	Realisatie	Begroot	Kosten	Subsidie
TNO	Industrieel	€ 302.795	€ 269.866	€ 2.451	€ -	€ -	€ 4.000	€ 60.606	€ 80.896	€ 365.851	€ 354.762	€ 219.510	€ 212.857	103%	103%
	Experimenteel	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	0%	0%
Zuyd	Industrieel	€ 104.345	€ 80.014	€ -	€ -	€ 8.686	€ 14.992	€ -	€ -	€ 113.031	€ 95.006	€ 67.819	€ 57.004	119%	119%
	Experimenteel	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ 40.000	€ -	€ -	€ -	€ 40.000	€ -	€ 16.000	0%	0%
SCX	Industrieel	€ 158.880	€ 137.643	€ -	€ -	€ -	€ -	€ 49.526	€ 66.000	€ 208.406	€ 203.643	€ 125.043	€ 122.186	102%	102%
	Experimenteel	€ 76.665	€ 51.000	€ -	€ -	€ 5.988	€ 26.500	€ -	€ -	€ 82.653	€ 77.500	€ 33.061	€ 31.000	107%	107%
Wallvision	Industrieel	€ 173.280	€ 170.827	€ -	€ -	€ 5.033	€ 2.000	€ 18.600	€ 16.700	€ 196.913	€ 189.527	€ 118.148	€ 113.716	104%	104%
	Experimenteel	€ 79.740	€ 48.000	€ -	€ -	€ 511	€ 24.300	€ 34.341	€ 18.000	€ 114.592	€ 90.300	€ 45.837	€ 36.120	127%	127%
Polypastic	Industrieel	€ 17.100	€ 19.500	€ -	€ -	€ 2.775	€ 2.775	€ 1.092	€ 1.092	€ 20.967	€ 23.367	€ 12.580	€ 14.020	90%	90%
	Experimenteel	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	0%	0%
Heliox	Industrieel	€ 366.992	€ 333.123	€ -	€ -	€ 4.561	€ 43.000	€ 2.164	€ -	€ 373.717	€ 376.123	€ 224.230	€ 225.674	99%	99%
	Experimenteel	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	0%	0%
W/E	Industrieel	€ 46.819	€ 49.668	€ 5.667	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ 52.486	€ 49.668	€ 31.491	€ 29.801	106%	106%
	Experimenteel	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	0%	0%
SGS	Industrieel	€ 12.720	€ 14.243	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ 12.720	€ 14.243	€ 7.632	€ 8.546	89%	89%
	Experimenteel	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	0%	0%
ECN	Industrieel	€ 93.789	€ 95.034	€ -	€ -	€ -	€ -	€ 31.903	€ 33.000	€ 125.692	€ 128.034	€ 75.415	€ 76.820	98%	98%
	Experimenteel	€ -	€ -	€ -	€ -	€ 42.644	€ 45.000	€ 8.514	€ 12.000	€ 51.158	€ 57.000	€ 20.463	€ 22.800	90%	90%
Heijmans	Industrieel	€ 27.630	€ 47.520	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ 27.630	€ 47.520	€ -	€ -	58%	100%
	Experimenteel	€ -	€ 10.560	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ 10.560	€ -	€ -	0%	100%
<b>Totaal</b>		€ 1.460.754	€ 1.326.998	€ 8.117	€ -	€ 70.199	€ 202.567	€ 206.745	€ 227.688	€ 1.745.816	€ 1.757.253	€ 981.231	€ 966.544	99%	102%

Figuur 22 Overzicht gerealiseerde versus begrote kosten en subsidie



De realisatie verschilt op een aantal punten van de uiteindelijke kostenbegroting. De belangrijkste wijzigingen worden hieronder verder toegelicht. De subsidie op industrieel onderzoek bedraagt conform aanvraag 60%. De subsidie op experimentele ontwikkeling bedraagt conform aanvraag 40%.

- TNO: Hogere realisatie dan begroot.
- Hogeschool Zuyd: Hogere realisatie dan begroot.
- SCX Solar: Hogere realisatie dan begroot.
- Wallvision: Hogere realisatie dan begroot.
- Polyplastic: Lagere realisatie dan begroot:
  - o Door diverse personeelwisselingen heeft Polyplastic in de tweede fase van het project weinig aandacht aan de ontwikkeling kunnen geven en blijven de resultaten achter bij de oorspronkelijk beoogde resultaten in het projectplan.
- Heliox: Verschuiving tussen posten
  - o Heliox heeft een hogere uren realisatie en een lagere verbruikte materialen en hulpmiddelen omdat in een later stadium door SCX Solar is besloten om CIGS panelen toe te passen op de testgevel bij SolarBEAT met een te hoge spanning. Hierdoor zijn de prototype Heliox micro-omvormers alleen bij de testopstelling van ZigZagSolar toegepast.
- W/E: Geen significante afwijkingen t.o.v. begroting.
- SGS: Geen significante afwijkingen t.o.v. begroting.
- ECN: Geen significante afwijkingen t.o.v. begroting.
- Heijmans: lagere realisatie dan begroot.
  - o Doordat er geen pilot is uitgevoerd is de urenrealisatie significant lager dan begroot. Dit heeft geen effect op de projectsubsidie omdat Heijmans geen subsidie heeft aangevraagd.

## Kennisverspreiding

Gedurende de looptijd van ZonneGEVEL is op diverse manieren de opgedane kennis verspreid door de consortiumpartners. Ten eerste is de kennis verspreid door organisatie van workshops met de gebruikerscommissie. Zie resultaten voor een toelichting hierop. Ten tweede zijn gerichte kennisverspreidingsactiviteiten georganiseerd. Hogeschool Zuyd heeft tweemaal een Sustainable Café georganiseerd volledig ingevuld door de ZonneGEVEL partners. Hierbij zijn de innovaties aan vertegenwoordigers van de bouw- en solarindustrie gepresenteerd op de Wijk van Morgen. Daarnaast hebben zowel Hogeschool Zuyd als SEAC presentaties over Solowall en ZigZagSolar verzorgd op (een zijevent van) de PVSEC in zowel 2015 als 2016 en is kennis gedeeld met bedrijven die de Wijk van Morgen en SolarBEAT hebben bezocht.

SEAC heeft de modelleringsresultaten in samenwerking met de TU/e en TU Delft gepubliceerd in wetenschappelijke publicaties (zie Calculation of irradiance distribution on PV modules by combining sky and sensitivity maps) en op de Sunday in 2015 (SUNDAY 2015-Nov 18th -poster-Final). Een overzicht van alle publicaties staat hieronder:

- 26-02-2015 – Heijmans – Ontwikkeling gevel-zonnepanelen krijgt boost met toetreding Heijmans tot ZonneGEVEL consortium.
- 10-02-2015 – Workshop verzorgd door de ZonneGEVEL partners mbt gevel BIPV – Workshop gevel BIPV bij Duurzaam Café op Wijk van Morgen.
- 18-11-2015 – Publicatie modellering op Sunday door SEAC/TU Delft – A fast and flexible yield prediction method for buildingintegrated PV modules with complex geometries.
- 20-05-2016 – SEAC newsletter inzake start SolarBEAT veldtesten – ZonneGEVEL prototype facade on Seac facility.
- 08-06-2016 – BEC websitepublicatie door Heijmans in zoektocht naar pilotlocaties - Pilot locaties gezocht voor innovatieve, verticale toepassing zonnepanelen.
- 01-07-2016 – Elsevier: <http://doi.org/10.1016/j.solener.2017.04.036> - Calculation of irradiance distribution on PV modules by combining sky and sensitivity maps.
- 10-10-2016 – Publicatie performance of ZZS façade op Advanced Building Skins door SEAC - Performance analysis of the ZigZagSolar BIPV façade system.
- 24-06-2016 – Publicatie PV Yield op PVSEC 2016 - ZigZag Structure in Façade Optimizes PV Yield While Aesthetics Are Preserved.

Tevens is er aan het einde van het project een slotmeeting georganiseerd door Zuyd Hogeschool op de Wijk van Morgen: <https://youtu.be/MGBtHqIKJRQ>

## PR project en verdere PR mogelijkheden

Naar aanleiding van de toetreding van Heijmans tot het ZonneGEVEL consortium is een persbericht gepubliceerd via nieuwsbrieven en websites van de partners (zie Ontwikkeling gevel-zonnepanelen krijgt boost met toetreding Heijmans tot ZonneGEVEL consortium). Heijmans heeft daarnaast de publiciteit gezocht in het kader van de zoektocht naar pilots (zie 16\_06\_08 nieuwsbericht BEC website pilotlocaties ZonneGEVEL). Hogeschool Zuyd heeft in dat kader diverse Limburgse partijen benaderd.

De projectpartners worden graag benaderd voor eventuele verdere publicitaire activiteiten en dragen graag bij aan publieke activiteiten van de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland of de TKI Urban Energy.