

OPENBAAR

High Tech Campus 21
5656 AE Eindhovenwww.tno.nl

T +31 88 866 54 43

R11359 | TNO-rapport

Openbaar Eindrapport STAL-project

Datum	13 juli 2021
Auteur(s)	Roland Valckenborg
Exemplaarnummer	-
Oplage	-
Aantal pagina's	26
Aantal bijlagen	0
Opdrachtgever	RVO
Projectnaam	STAL
Projectnummer	060.33103

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2021 TNO

OPENBAAR



Drone shot vlak voor het middaguur wanneer het STAL-systeem op het onderste dakvlak (West-georiënteerd) uit de schaduw komt van de hoge opbouw. Links 2 PV-panelen en rechts 2 PVT-panelen.



Bij afsluitende project meeting (eind juni 2021) was het net weer mogelijk om een hybride meeting te houden. Ongeveer de helft van de project partners was live aanwezig en staan dus op deze foto. De andere helft had voorkeur om nog even online te blijven.

1 Samenvatting

1.1 Project gegevens

- Project nummer: TEHE118008
- Project titel: S.T.A.L
- Project duur: van 6 December 2018 t/m 30 Juni 2021, is 2.5 jaar

1.2 Uitgangspunten

De aanleiding voor het STAL project is een uniek innovatief proces voor de assemblage van zogenaamde PV-halfabrikaten die binnen TNO (Solliance) ontwikkeld worden. Deze PV-halfabrikaten vormen een serieus alternatief t.o.v. gewone PV-panelen omdat ze custom-made voor elke klant, voor elk dak, op maat gemaakt kunnen worden. Bovendien zijn ze lichtgewicht. De integratie van deze PV-halfabrikaten op bestaande isolatieplaten (die in de bouw meestal 'sandwichpanelen' genoemd worden) is een perfecte opportunity voor vergaande automatisering, en daarmee besparing op arbeidskosten.

Veel (Nederlandse) boerderijen verbruiken niet alleen elektriciteit, maar hebben ook een warmtevraag, die ze meestal met gas opwekken. Als deze warmtevraag deels geproduceerd kan worden op hetzelfde dakoppervlakte als waar ook de elektriciteit opgewekt wordt, dan is dit voor de agrarische sector erg interessant. De combinatie van zonnestroom (PV) en zonthermische energie (SolarThermal) wordt in het vakgebied meestal afgekort met PVT. De additionele uitdaging op het dak van een gemiddelde boerderij zijn de bestaande dakdoorvoeren en andere constructies die nodig zijn voor bijvoorbeeld de ventilatie units. Deze constructies geven elke dag van het jaar schaduw op de zonnepanelen. En omdat ze dichtbij staan is dit een 'harde schaduw' die een groot effect heeft op de opbrengst als er verder geen maatregelen voor getroffen worden. Ook voor dit schaduwprobleem heeft het STAL-project oplossingen ingebouwd.

Last-but-not-least kan er opgemerkt worden dat de zonnepanelenmarkt in Nederland zeer sterk groeit. Daardoor komen er steeds meer gebieden in Nederland waar de netwerkbeheerder (Liander, Enexis, Stedin) problemen heeft om de aansluiting te verzorgen. Er wordt simpelweg teveel elektriciteit (kWh) geproduceerd voor de hoeveelheid kabeldikte die er in de grond ligt. Als een boer meer zelfconsumptie kan gebruiken m.b.v. een batterijsysteem, dan helpt dat het probleem van de netbeheerder te verkleinen.

1.3 Doelstelling

Het doel van het STAL-project is de ontwikkeling van zogenaamde PV-halfabrikaten die gemakkelijk geïntegreerd kunnen worden in de Nederlandse agrarische sector, met een betere energie performance (optelling van elektrische kWh en zonnewarmte kWh_{th}) en tegen een lagere prijs vanwege de reductie van loonkosten.

Esthetisch moeten deze nieuwe producten er hetzelfde uitzien als gewone PV-panelen, of nog beter. Binnen project STAL worden de PV-halfabrikaten geïntegreerd in een in-dak PVT-systeem, en een op-dak PV-systeem, om aan te tonen dat beide varianten mogelijk zijn. Bovendien is het doel dat de klant van buitenaf het verschil tussen PV en PVT niet kan zien. De betrouwbaarheid en robuustheid moeten uiteraard gelijk zijn aan wat er marktconform is. Bovendien moeten het PVT-systeem en het PV-systeem zo lichtgewicht als mogelijk zijn, om daarmee een zo groot mogelijk marktaandeel te kunnen krijgen.

De eerste stappen tot industrialisatie van de PV-halffabrikaten worden aangetoond. Hiervoor zal een prototype pick&place apparatuur gebouwd worden die de PV-cellen en bypass diodes zeer flexibel kan positioneren en fixeren.

Ten slotte zal het reduceren van het negatieve effect van schaduw op twee manieren worden ingebouwd. Ten eerste krijgen de PV-halffabrikaten intrinsiek een design van PV-cellen en bypass diodes dat geoptimaliseerd is om schaduw te minimaliseren. Ten tweede, wordt er een zogenaamd Cell-String-Optimization (CSO) algoritme geïmplementeerd in de junction box, die daarom binnen het STAL-project ook al snel hernoemd is tot CSO-box.

1.4 Samenwerkende partijen



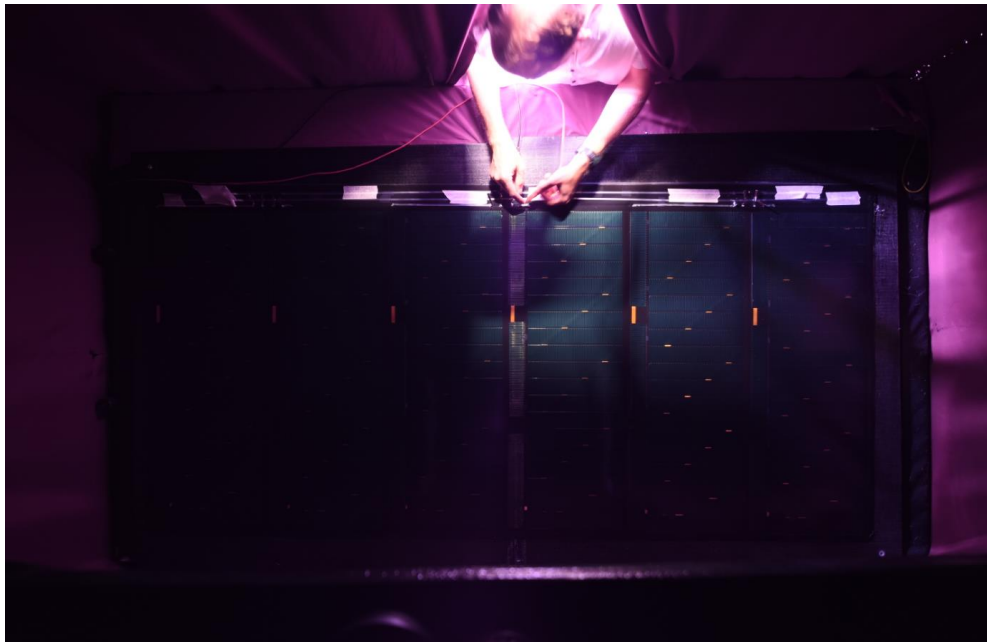
- Penvoerder: TNO (Solliance): www.tno.nl/zon
- Medeaanvragers:
 - [Den Besten Services \(DBS\): https://drimble.nl/bedrijf/hoevelaken/23160594/den-besten-service.html](https://drimble.nl/bedrijf/hoevelaken/23160594/den-besten-service.html)
 - Expice: www.expice.nl
 - Kameleon Solar: <https://kameleonsolar.com/nl/>
 - Solarge: <https://solarge.com/>
 - SolarTech: <https://www.energiedak.nl/nl/solartech>
 - Stichting Gelijkspanning Nederland: <https://gelijkspanning.org/>
 - Taylor: <https://taylor.solar/>
 - Van der Leegte Werkt: <https://www.vanderleegtewerktbv.nl/>

2 Resultaten en knelpunten

De behaalde resultaten worden hieronder gepresenteerd.

2.1 PV-halffabrikaten

Na vele design opties overwogen en uitgeprobeerd te hebben in het eerste projectjaar is er eind 2019 een keuze gemaakt voor een design met 19 cellen boven elkaar (in 'landscape') en 3 cellen parallel ernaast (in 'portrait'). Omdat dit een zeer innovatief design is, waar nog niet eerder ervaring mee was opgedaan, is er besloten om elk PV-halffabrikaat door te meten met de technieken IV en EL.



Figuur 1: Elk PV-halffabrikaat is getest m.b.v. Elektroluminescence (EL) in een donkere kamer.

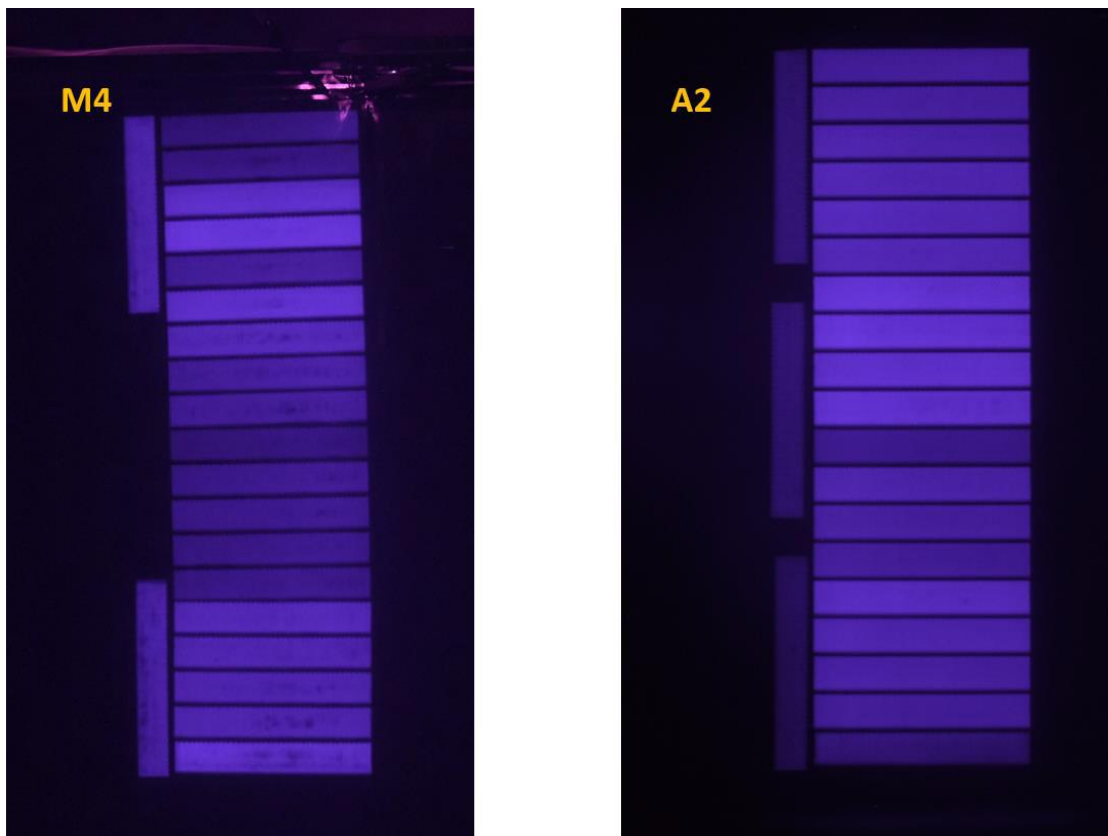
Bij Elektroluminescence (EL) wordt het sample in een donkere kamer geplaatst (zie Figuur 1) en wordt op de + en – kabel een spanning aangebracht die tegengesteld is aan de spanning die het zonnepaneel onder belichting uit zichzelf produceert. Daardoor worden fotonen opgewekt die m.b.v. een aangepaste camera een goed beeld geven van de kwaliteit van de PV. In Figuur 3 is een voorbeeld te zien van zowel een goedkeur als een afkeur op dit aspect.

Bij IV-testing (zie Figuur 2) wordt de zon gesimuleerd. Het PV-paneel – of in ons geval het PV-halffabrikaat – wordt normaal elektrisch aangesloten en belicht met 1000 W/m². De elektrische belasting wordt snel ($t \ll 1s$) gevarieerd en het gevolg is een grafiek met op de y-as de opgewekte elektrische stroom en op de x-as de spanning op de + en – pool van het paneel. Dit wordt een zogenaamde IV-curve genoemd en is de 'fingerprint' van een zonnepaneel.

Deze combinatie van EL en IV is onze Factory Acceptance Test (FAT) die op alle 108 PV-halffabrikaten is uitgevoerd, en is van onschatbare waarde gebleken bij het analyseren van de resultaten van de veldtest, later in het project.



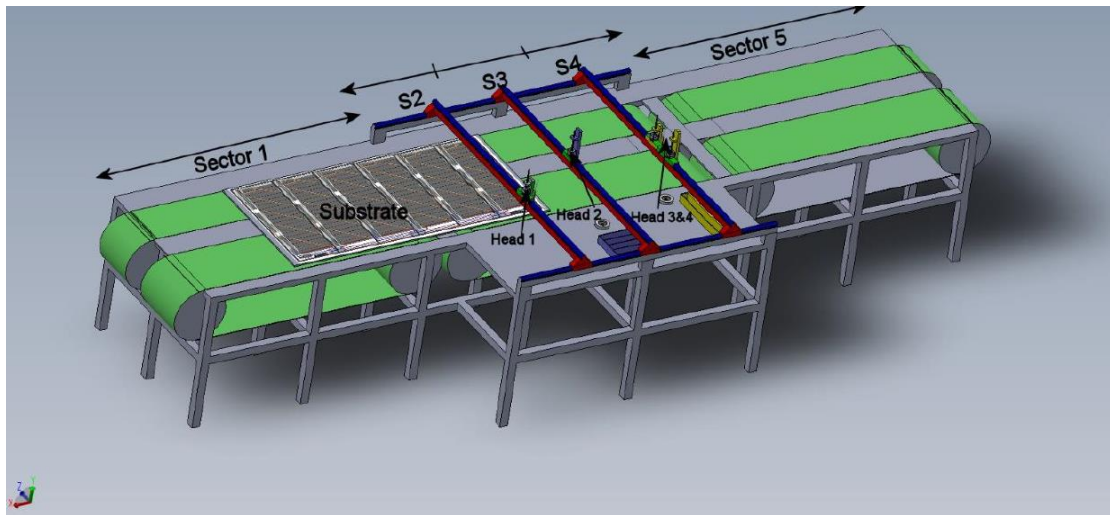
Figuur 2: Deze IV-tester van het merk ECO Progetti meet de IV-curve van elk PV-halffabrikaat onder STC-omstandigheden ($T=25\text{ }^{\circ}\text{C}$ en Instraling is 1000 W/m^2).



Figuur 3: Voorbeeld EL-beelden. Links: PV-halffabrikaat 'M4' heeft 1 v.d. in totaal 22 cellen niet-functionerend en is daarom afkeur. Rechts: PV-halffabrikaat 'A2' is compleet OK; de non-uniformiteit in intensiteit is gebruikelijk voor deze meettechniek.

2.2 Industrialisatie

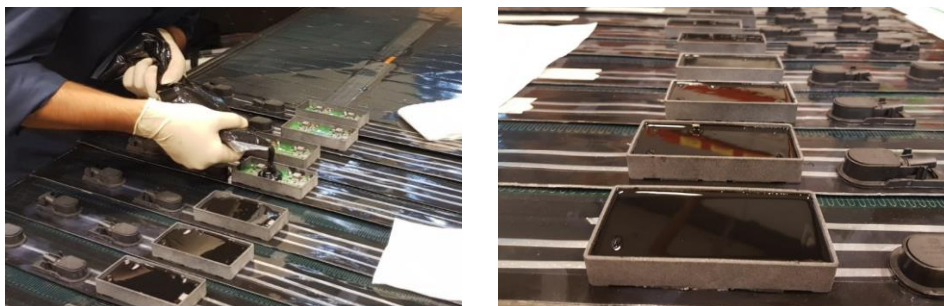
Om de industrialiseroute van de PV-halffabrikaten in kaart te brengen is er een prototype pick&place machine gebouwd; zie Figuur 4. Deze is zodanig flexibel gebouwd dat de diverse designs van STAL PV-halffabrikaten hiermee in principe gemaakt kunnen worden. De PV-cellen en bypass-diodes mogen daarbij in alle oriëntaties voorkomen, waardoor er flexibiliteit is ingebouwd om in de toekomst ook andere designs (en afmetingen) geïndustrialiseerd te kunnen produceren.



Figuur 4: R&D Industrialisatie van PV-halffabrikaten.

2.3 CSO-elektronica

Schaduw-mitigatie is gerealiseerd door de Cell-String-Optimization (CSO) die per PV-halffabrikaat actief is. In een traditioneel PV-systeem zouden alle PV-halffabrikaten in serie staan. Echter in dat geval zou het PV-halffabrikaat met de minste zonne-instraling fungeren als een bottleneck voor de overige componenten. Echter m.b.v. de innovatieve CSO functioneert elk PV-halffabrikaat in zijn eigen zogenaamd Maximum-Power-Point (MPP). Omdat alle CSO-algoritmes met elkaar communiceren wordt de output van de complete string geoptimaliseerd. Uiteraard moet dit CSO-algoritme ingebouwd worden in hardware op zogenaamde Printed-Circuit-Boards (PCBs). Deze dienen dan nog extra beschermd te worden in een doosje; zie Figuur 5.



Figuur 5: Links: de elektronica op de PCBs wordt beschermd tegen weersinvloeden door deze compleet in de epoxy te gieten. Rechts: het eindresultaat.

2.4 Nieuw ontwikkeld Batterij Management Unit (BMU)

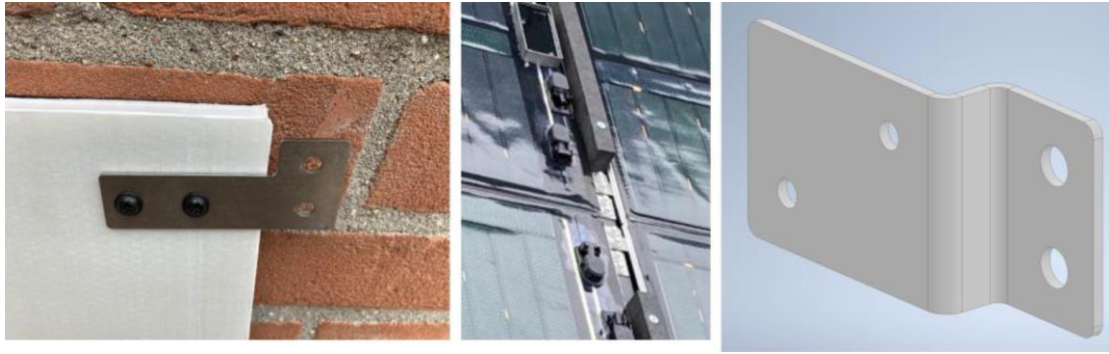
Behalve de nieuwe PV-halfabrikaten en nieuwe CSO-boxen, heeft het STAL-systeem ook nog een nieuw ontwikkeld Batterij-Management Systeem of Unit (BMU). Hiermee kan het grid ontlast worden doordat er eerst verbruikt wordt vanuit eerder opgeslagen kWh's in de batterijen. Overdag met zonnestraling worden de batterijen zo volledig mogelijk opgeladen. Het eerste noemt men in het vakgebied 'self-consumption' en het tweede 'peak shaving', omdat de piek op het elektriciteitsnetwerk die door de PV-panelen veroorzaakt zou kunnen worden, afgevlakt wordt; de overdaad aan kWh's gaan immers eerst de batterij in.



Figuur 6: Het BMU zoals geïnstalleerd op de boerderij van DBS in Hoevelaken.

2.5 Prototype PV-systeem

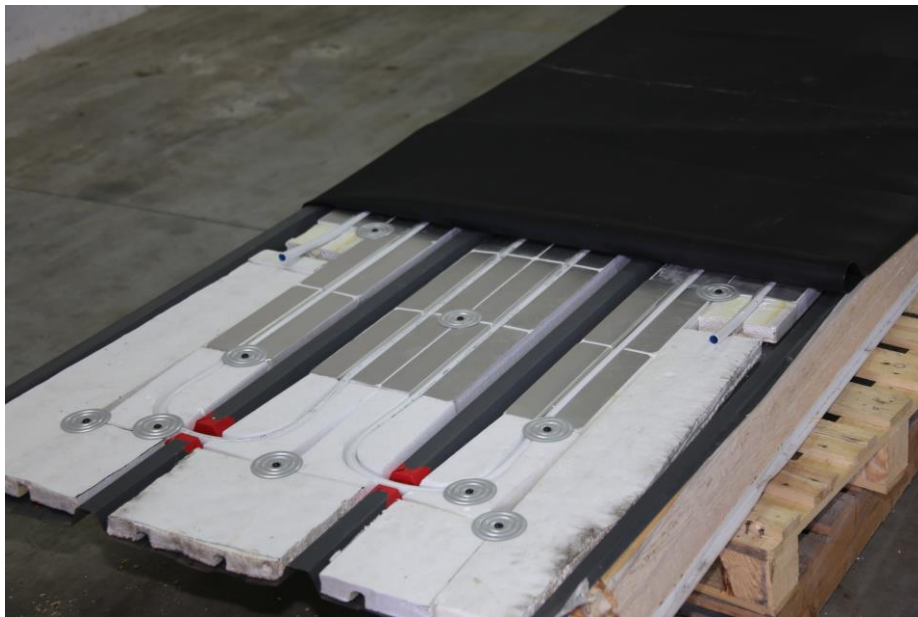
Voor het PV-systeem is er een lichtgewicht drager ontwikkeld die voldoende mechanische stijfheid bevat. In Figuur 7 is deze plastic drager links te zien (witte plaat). In de middelste foto is te zien dat de PV-halfabrikaten goed tegen elkaar aangesloten liggen. Rechts laat zien hoe met een eenvoudige bracket de drager op het bestaande dak geschroefd wordt.



Figuur 7: Prototype PV-systeem; links: de plastic drager; midden: PV-halffabrikaten liggen zo strak tegen elkaar dat deze drager uit zicht blijft; rechts: eenvoudige bracket voor montage op bestaande dakplaten.

2.6 Prototype PVT-systeem

De elektrische componenten van het PVT-systeem zijn compleet identiek met die van het PV-systeem. Voor de zon-thermische opwekking achter de PV-halffabrikaten wordt er gebruik gemaakt van een stelsel van collectorplaten met slangen waardoor een water/glycol mengsel gepompt wordt. Zie Figuur 8 voor een proefmodel dat gebouwd is voor proof-of-concept.



Figuur 8: Een eerste proef met het design van de buizen die de zonnewarmte achter de PV-halffabrikaten weg zal voeren via het water/glycol-mengsel dat door deze buizen vloeit.

Het PVT-paneel kan als nieuw product aangeboden worden voor boerderijen die hun bestaande dak willen vervangen (vanwege ouderdom dak, of vanwege asbest, of een combi van deze). Echter bij projectpartner DenBesten is het bestaande dak nog in prima staat en hebben we gekozen voor de retrofit-variant. Daartoe zijn bestaande elementen van het dak afgevoerd (zie Figuur 9) en vervolgens omgebouwd tot STAL PVT-panelen (zie Figuur 10).



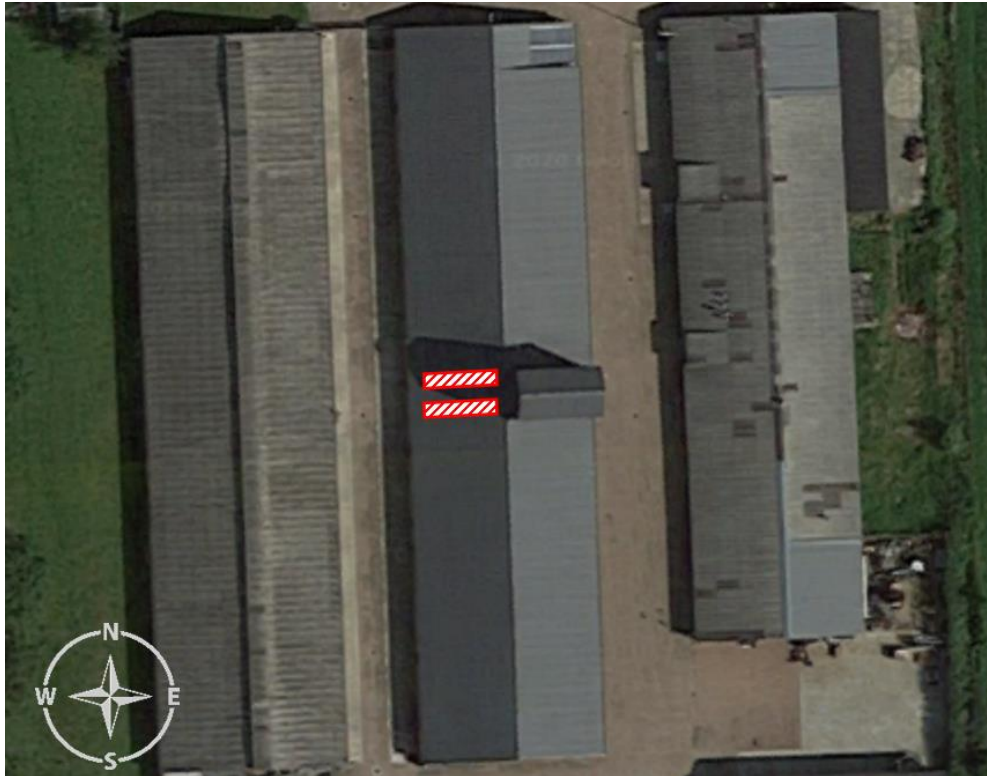
Figuur 9: Bestaande dakplaten worden gedemonteerd en vervoerd naar een schuur waar ze worden omgebouwd tot PVT-panelen.



Figuur 10: Team realiseert eerste PVT-paneel van volledige daklengte (~9.3 m).

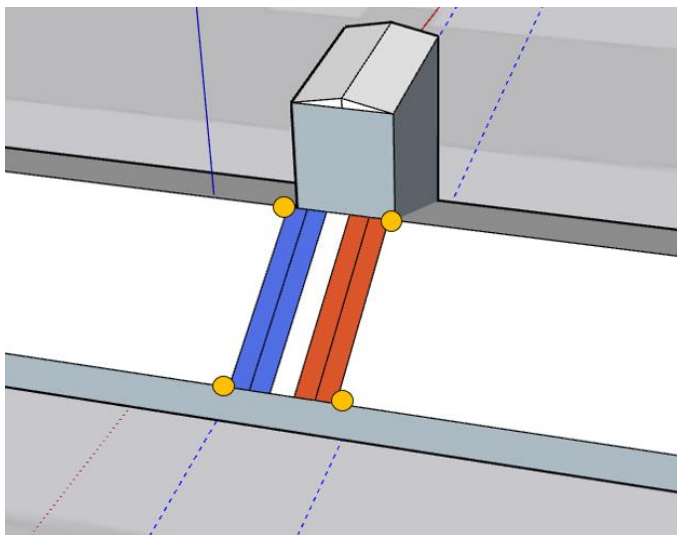
2.7 Veldtest locatie

Vanaf de kick-off van het project is schaduw een belangrijk thema geweest. De boerderij van projectpartner DBS heeft een groot dak met een gedeelte waarop nooit schaduw zal voorkomen. Dit gedeelte hebben we dus niet gekozen. We zijn voor onze veldtest bewust in het gedeelte gaan installeren waar we maximaal last van schaduw hebben. Dat is ten Westen van de opbouw, zoals te zien in het droneshot van Figuur 11, waarop ook de veldtest al is ingetekend.



Figuur 11: De veldtest wordt geplaatst op de positie van het dak met de meeste schaduw, om hiermee zoveel mogelijk schaduw onderzoek te kunnen doen.

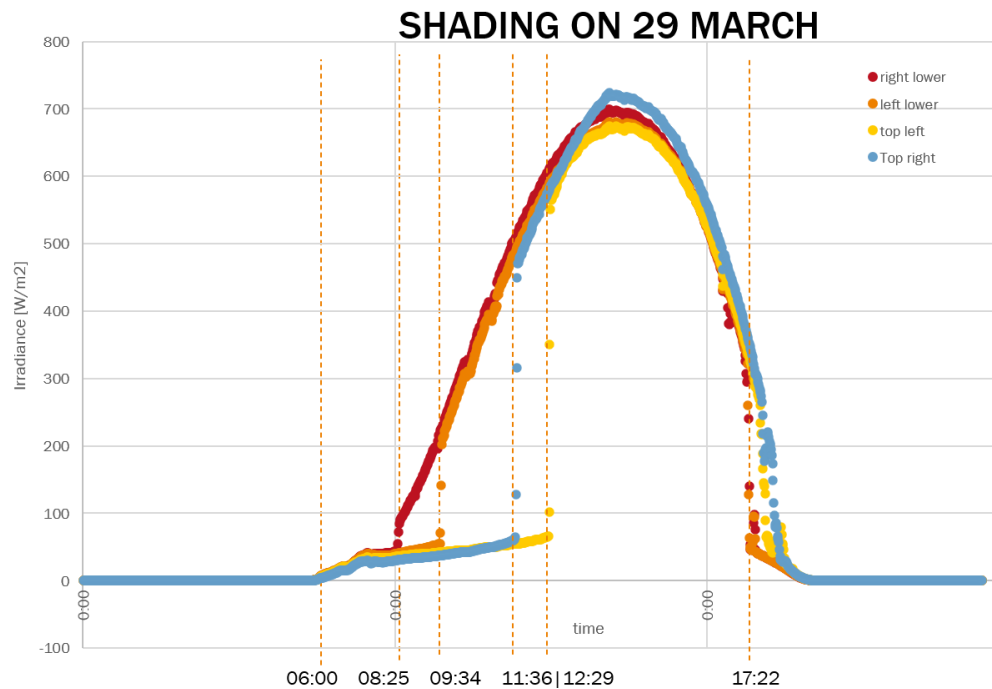
Om de elektrische performance van het systeem goed te kunnen analyseren is het cruciaal om de zonne-instraling te meten. Dat hebben we gedaan met een pyranometer die verder weg van de veldtest is geplaatst uit de schaduw. Additioneel zijn er 4 gekalibreerde photodiodes op de hoekpunten van het testveld geïnstalleerd; zie Figuur 12.



Figuur 12: Schematische weergaven van het PV-systeem (blauw) en het PVT-systeem (oranje) onder de schaduw van de opbouw. Op de posities van de gele cirkels wordt de zonne-instraling gemeten met gekalibreerde photodiodes.

De typische meetresultaten van een willekeurige dag (29 Maart 2021) zijn geplot in Figuur 13. Het is duidelijk te zien dat rechtsonder (rode meetpunten) de schaduw het eerste weg is, gevolgd door linksonder (oranje meetpunten). Daarna kan het een behoorlijke tijd (~2 uur)

duren voordat ook de bovenkanten van het testveld schaduwvrij worden. Dat gebeurt dan eerst rechtsboven (blauwe meetpunten), en uiteindelijk ook linksboven (gele meetpunten). Het tijdstip van ~ 12:30 (zonder DayLightSaving, oftewel wintertijd) komt goed overeen met 'solar noon', hetgeen het moment is waarop deze locatie (positionering binnen de tijdzone) de zon precies in het zuiden heeft.



Figuur 13: Zonne-instraling (W/m2) zoals gemeten op een wikkekeurige dag (29 Maart 2021).

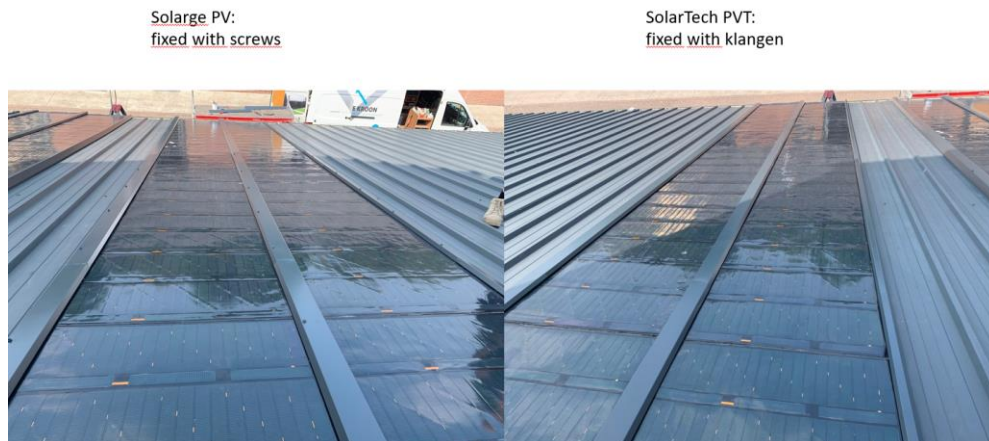


Figuur 14: Drone fotos zijn regelmatig gemaakt gedurende de voortgang van het project. Hierop is de driehoekvormige schaduw goed te zien.

Ook Figuur 14 (die genomen is zo rond 11:15) is zeer illustratief voor de schaduw driehoek die elke dag – mits het zonnig is – over het testveld trekt.

2.8 Esthetisch resultaat

Alhoewel het PV-systeem en PVT-systeem intern nogal van elkaar verschillen, is er vanuit de buitenkant geen verschil te zien. Dit geeft de eindklant (boer) de mogelijkheid om een bepaalde hoeveelheid van de ene variant met een bepaalde hoeveelheid van de andere variant te combineren zonder zich zorgen te maken over het uiterlijk.



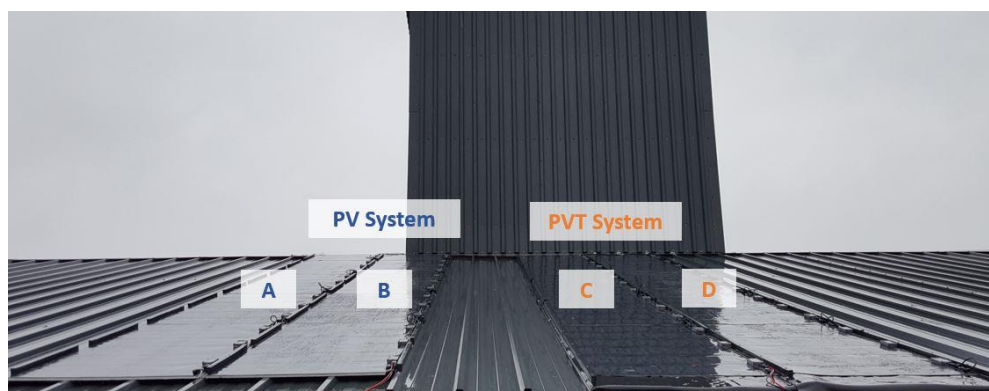
Figuur 15: De metalen profielen kunnen op twee verschillende manieren worden bevestigd.

2.9 Profiel (Roeven)

De metalen profielen die van boven naar beneden lopen tussen de PV en PVT-panel worden in de bouw ook wel 'roef' (meervoud 'roeven') genoemd. Behalve hun esthetische functie (zie paragraaf hierboven) hebben ze ook een functie als kabelgoot en als bescherming voor de CSO-box, kabels en connectoren tegen de weersinvloeden. Dat is bescherming tegen UV-licht vanuit de zon, en bescherming tegen regen en sneeuw. Alhoewel de CSO-box en kabels/connectoren in principe uit zichzelf al enige vorm van bescherming hebben, dient men zich te realiseren dat een levensduur van 25 jaar op een dak best lang is. Daarom geeft dit design met roeven een additionele bescherming waarmee de eindklant minder zorgen zal hebben voor robuustheid en betrouwbaarheid op de lange termijn.

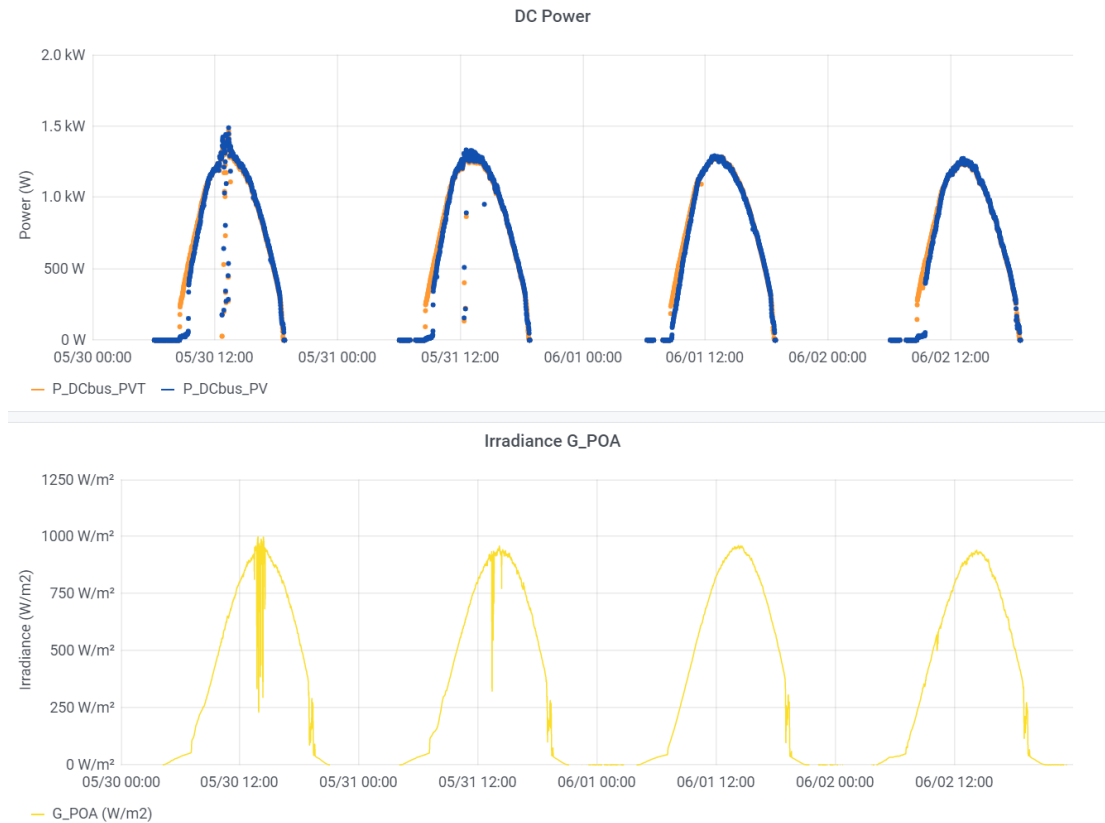
2.10 Elektrische opbrengst

Het PV en PVT-systeem zijn onafhankelijk van elkaar aangesloten op een eigen MPP-ingang van de inverter.



Figuur 16: Het PV-systeem (blauw) bestaat uit 2 in serie verbonden PV-panelen. Het PVT-systeem (oranje) is elektrisch identiek. Het PV- en PVT-systeem zijn onafhankelijk van elkaar op elk een eigen MPP-ingang van de inverter aangesloten (niet zichtbaar op foto).

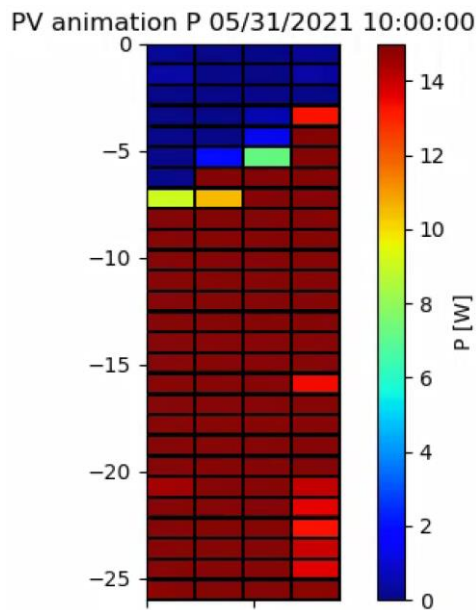
Normaalgesproken varieert het weer behoorlijk. Maar als illustratief voorbeeld kiezen we een willekeurige periode van 4 dagen van aaneengesloten mooi weer voor Figuur 17. Het is duidelijk te zien dat het vermogen van de PV lineair schaalt met de zonne-instraling. Echter, de oplettende lezer kan zien dat dit niet helemaal het geval is voor de ochtend. En dat is te begrijpen uit het feit dat de instraling op het systeem dan minder is (zie als voorbeeld nogmaals Figuur 13) dan de gele lijn van deze pyranometer zou doen vermoeden. Om kwantitatieve uitspraken te kunnen doen over deze ochtendperiode zullen we moeten gaan kijken naar de opbrengst en vermogen van de individuele PV-halffabrikaten in de volgende paragraaf.



Figuur 17: Boven: Elektrisch vermogen van PV (blauw) en PVT (oranje) voor periode van 30 Mei t/m 2 Juni 2021. Onder: de instraling van de onbeschaduwde pyranometer voor diezelfde periode.

2.11 Schaduw mitigatie

Ook hier nemen we ter illustratie een snapshot uit de complete serie data van 7 Januari t/m 30 Juni 2021 met als doel om te verduidelijken wat er in de ochtend gebeurt. In Figuur 18 is te zien dat om 10:00 uur er een gigantisch verschil in opbrengst is. De bovenste driehoek van het testveld is nog volledig beschaduwde, en daardoor is de opbrengst laag. De opbrengst is 0 W hetgeen lager is dan verwacht, maar hierover meer in paragraaf 2.13. Daaronder is er een schuine lijn van PV-halffabrikaten die half beschaduwde worden. Deze situatie is ongedefinieerd en behoorlijk lastig exact te kwantificeren. Door naar veel data te kijken zien we dat een PV-halffabrikaat in een dergelijk situatie verschillend produceert (deze periode duurt nooit lang, aangezien de schaduwlijn 10 minuten later alweer over de volgende PV-halffabrikaten valt). Daaronder is dan het grote gebied waar alle PV-halffabrikaten opwekken zoals verwacht bij volle instraling en dat is erg goed nieuws! Immers, als deze PV-halffabrikaten 'traditioneel' in serie aan een gewone string-inverter geïnstalleerd waren geweest, dan hadden ze allemaal geproduceerd volgens de laagste instraling, 0 W in dit geval. Dankzij de CSO-elektronica kan dit deel van het testveld op vol vermogen draaien.

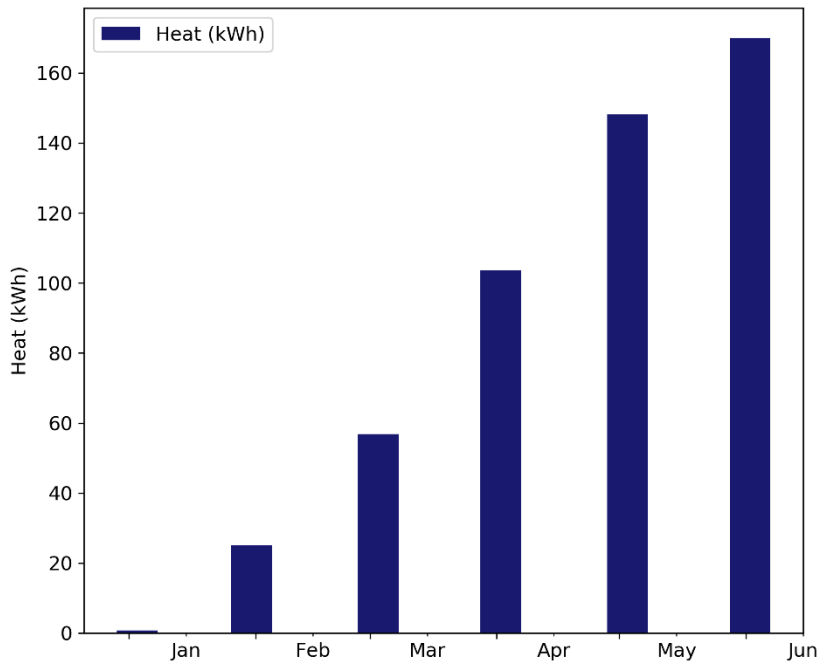


Figuur 18: Elektrisch vermogen (W) om 10:00 op 31 Mei 2021.

2.12 Thermische opbrengst

Het thermische deel van het PVT-systeem is zodanig geïnstalleerd dat de temperatuur van de retourvloeistof hoger dient te zijn dan de invoertemperatuur. In de winterdagen zonder zon, is dit niet het geval en zal er geen thermisch vermogen zijn. Dat was de situatie in het begin van de veldtest zoals te zien in Figuur 19. Echter in Februari kregen we al dagen waarbij er wel voldoende zoninstraling was. Gedurende het seizoen is dat logischerwijze alleen maar toegenomen. Juni was een exceptioneel goede maand, gezien het feit dat de grafiek van Figuur 19 slechts data t/m half Juni meeneemt.

Gedetailleerde analyses laten zien dat er voor de thermische opbrengst een vuistregel geldt dat er altijd net zoveel kWh_thermisch wordt opgewekt als kWh_elektrisch. (En voor de maanden Mei en Juni blijkt kWh_th zelfs iets meer te zijn dan kWh_e). Gezien het feit dat er geen enkele vierkante meter hoeft worden opgeofferd voor PVT, kan er gesteld worden dat deze kWh_th dus een bonus opbrengst is op dezelfde m². Uiteraard vermelden we eerlijkheidshalve dat de financiële investering in een PVT-paneel groter zal zijn dan voor een PV-paneel, gewoon omdat er meer componenten in een PVT-paneel zitten.



Figuur 19: Thermisch vermogen (kWh_{th}) per maand voor periode van 8 Januari t/m 15 Juni 2021.

2.13 Knelpunt technisch: PV-halffabrikaat en CSO-elektronica

In eerste instantie op basis van design specificatie en IV-metingen aan de eerste prototype PV-halffabrikaten leek het een prima design overweging om bij een bepaald threshold spanningsniveau de elektronica te laten stoppen functioneren. Het is gewoon niet mogelijk om bij hele lage spanningsniveaus op een efficiënte manier DC-DC omzetting voor elkaar te krijgen. Echter, achteraf gezien had er meer marge mogen/moeten zitten tussen de V_{mpp} in het veld bij lage lichtintensiteit en deze threshold voltage. Óf dit threshold niveau had lager gekozen moeten liggen, óf het design van de halffabrikaten had zodanig moeten zijn dat er bij Standard Test Conditions, STC (nameplate rating) net een paar volt meer uit de PV-modules zou komen. Achteraf hebben we ons laten verrassen door de optelling van de diverse effecten die bij outdoor testing duidelijk werden. Medio Mei 2021 hadden we voldoende meetgegevens verzameld van dagen waarop de zonne-instraling sterk is, om tot deze inzichten te komen. Met nog 6 weken te gaan tot het project einde was dat natuurlijk veel te laat om nog iets aan CSO-elektronica te gaan veranderen. Leerpunt voor toekomstige projecten is om hiervoor meer marge in te bouwen.

2.14 Knelpunt organisatorisch: COVID19

Het COVID19 virus sloeg toe in Maart 2020 (M15 in het project). Door onmiddellijk over te stappen op telco's via MS Teams is de communicatie en project planning tussen alle partners gewoon goed door blijven gaan. Wél gaf de 1.5m regel 'gedoe' bij de handmatige assemblage van de PV-halffabrikaten in de maanden April, Mei, Juni 2020. Daarna volgde een periode van enigszins versoepeling van maatregelen waarin eerst het PVT-systeem (medio Juli) en daarna het PV-systeem (1^e week September) geïnstalleerd konden worden. Toen er een 3^e Corona-golf kwam - tegen het eind van 2020 - waren er nog maar weinig installatiewerkzaamheden nodig. Deze konden meestal door een klein team van 2 personen worden uitgevoerd. Toch heeft het consortium een kleine projectverlenging van 3 maanden aangevraagd en gehonoreerd gekregen. Daarmee kon ook de outdoor testing periode vergroot worden. Het projectplan definieert 4 maanden outdoor testing, hetgeen extreem kort is, zeker aangezien

deze periode in de winter valt. Met de nieuwe projectverlenging hebben we kunnen outdoor testen van 1^e week Januari 2021 t/m projecteinde eind Juni 2021, en dat heeft de testresultaten een enorme meerwaarde gegeven.

3 Bijdrage aan doelstelling

De Hernieuwbare Energie (HE)-regeling heeft de volgende doelstelling (hoofddeel te overgenomen, complete details te vinden via:

<https://www.rvo.nl/sites/default/files/2020/03/Programmaliijnen-Hernieuwbare-Energie-2020.pdf>):

Regeling nationale EZ-subsidies Geldend van 21-02-2019 t/m heden

Bijlage 4.2.2. behorende bij artikel 4.2.15 van de Regeling nationale EZ-subsidies (Hernieuwbare energieprojecten)

Doelstelling

De subsidiemodule Hernieuwbare Energie wil de energiedoelstellingen in 2030 kosteneffectiever realiseren via innovatieve projecten. Hernieuwbare energieprojecten moeten leiden tot hernieuwbare energieproductie in 2030 en tot een besparing op de toekomstige uitgaven aan subsidies in het kader van het Besluit stimulering duurzame energieproductie (SDE+). Die besparing moet groter zijn dan de subsidie die voor het project aangevraagd wordt (zie artikel 4.2.20, onderdeel a, onder 1°). Als het een

STAL heeft op de volgende manier bijgedragen aan deze doelstelling:

Schaduw tolerantie in het PV-halffabrikaat en de CSO-algoritmes zorgen ervoor dat het complete dakoppervlak beschikbaar is als zonnedak. Er is geen enkele afstand tot schaduw veroorzakende objecten meer nodig.

Zowel het PV als het PVT-systeem zijn veel lichter (factor 2 á 3) dan normale PV-panelen. Daardoor hoeven boeren (of andere eindklanten) hun bestaande dakconstructie niet te verstevigen. Dat zou voor een groot deel van de huidige stallen wél het geval zijn. Eerlijkheidshalve vermelden we dat deze versteviging die nodig is voor gewone PV-panelen geen onoverkomelijke showstopper is, het is echter wel een kostenverhoging. Bij keuze voor het STAL-systeem hoeven deze meerkosten dus niet gemaakt te worden.

Het innovatieve Batterij Management Unit (BMU) kan ervoor zorgen dat de netbeheerder de aansluiting naar de boerderij niet hoeft te verzwaren. Dat bespaart kosten voor de netbeheerder; en dus voor de burger want de netbeheerders worden deels betaald door de Nederlandse overheid. Andersom geredeneerd kan de klant/boer meer capaciteit PV installeren dan er door de netbeheerder als maximum opgegeven zal worden.

4 Spin off (en vervolg)

Spin off binnen de sector is uiteraard de toekomstige verkoop van 'STAL-achtige' PV-systemen door projectpartner Solarge, en PVT-systemen door projectpartner SolarTech.

Als belangrijkste spin off buiten de (solar) sector kan gemeld worden dat TNO een compleet nieuwe programmalijn geïntroduceerd heeft, met de naam 'mass-customization'. De basis voor een automatische productie van PV-halffabrikaten is mede gelegd binnen WP2 van het STAL-project. Het uit-ontwikkelen hiervan tot een pilot-lijn op industrie niveau is nu al in gang gezet.

Voor meer informatie over het TNO 'mass-customization' program:

<https://www.tno.nl/en/focus-areas/energy-transition/roadmaps/renewable-electricity/solar-energy/mass-customization/mass-customization-lab/>

Deze spin-off beschouwen we als buiten de sector omdat het zal leiden tot groei bij prefab/industriële bouwpartijen die de PV-halffabrikaten in hun fabriek zullen gaan verwerken tot bouwelementen, die dan uiteindelijk als hoogwaardige producten op de bouwplaats alleen nog maar aangesloten hoeven te worden. Maar dit is uiteraard ook een spin off binnen de solar sector omdat ook dit zal leiden tot meer marktvolume van zonne-energiesystemen.

5 Openbare kennisverspreiding

In de academisch wereld is er een presentatie gegeven op de beroemde European PVSEC conference op 10th September 2020. Vanwege COVID19 was deze conferentie volledig digitaal. Referentie:

https://www.eupvsec-planner.com/presentations/c49041/development_process_of_tailormade_smart_agri-energy_pvt_laminates.htm

In de meer engineering solar community, zijn er twee artikelen gepubliceerd in het vakblad 'Solar Magazine'. De eerste is gepubliceerd op 25 Januari 2019 en focust uiteraard op de doelstelling van het project plan, omdat op dat moment het project pas een kleine twee maanden van start is:

- <https://solarmagazine.nl/nieuws-zonne-energie/i17603/innovatieproject-stal-van-start-zonnecellen-integreren-in-lichtgewicht-kunststofdak>

Het tweede artikel is gepubliceerd meer recent op 17 Mei 2021 en blikt terug op het project middels het format van een interview:

- <https://solarmagazine.nl/nieuws-zonne-energie/i24401/stal-baant-pad-voor-integratie-pvt-in-agrarische-daken-investeren-in-systeemoptimalisatie-en-volautomatische-productie>
- <https://solarmagazine.nl/u/magazine/sm2-2021.pdf#page=39>

Bovendien is het STAL-project genoemd op enkele conferenties, webinars en beurzen. Deze manier van exposure is door COVID19 behoorlijk veel beperkter geweest dan gebruikelijk voor TKI-projecten.

6 Rapport beschikbaarheid

Dit openbare eindrapport is kosteloos als pdf te downloaden op: <https://repository.tno.nl/>

7 Contactpersonen

- Den Besten Services (DBS): Hendrik Den Besten, agrofoodtech@denbestenservice.nl
- Expice: Peter Happe, p.happe@expice.nl
- Kameleon Solar: Guust Verpaalen, g.verpaalen@kameleonsolar.com
- Solarge: Harm Visscher, harmvisscher@solarge.com
- SolarTech: Alexander Schiebroek, awe.schiebroek@solartech-int.nl
- Stichting Gelijkspanning Nederland: Henry Lootens, Henry.Lootens@gelijkspanning.org
- Taylor: Michiel Roelofs, michiel@taylor.solar
- TNO: Roland Valckenborg, roland.valckenborg@tno.nl
- Van der Leegte Werkt: Margaret van den Boer, margaret@vanderleegtewerktbv.nl

8 Conclusie en aanbevelingen

8.1 Conclusies

De belangrijkste conclusie is eigenlijk dat de doelstellingen gehaald zijn. Van de vele resultaten noemen we hieronder (in willekeurige volgorde) de belangrijkste.

Er zijn 108 compleet functioneel werkende PV-halfabrikaten opgeleverd. Deze zijn geproduceerd, getest (FAT middels EL en IV), geïnstalleerd in veldtest bij DenBesten in Hoevelaken en uiteindelijk zeer gedetailleerd geanalyseerd.

Een geautomatiseerde maakproces voor PV-halfabrikaten is bewezen middels de bouw van een prototype, dat flexibel is voor variaties in design van PV-cellen en bypass diodes.

Schaduw-mitigatie is duidelijk gedemonstreerd en bewezen over een periode van ongeveer een half jaar outdoor testing.

Als we de PV-halfabrikaten groeperen op basis van hun elektrische opbrengst dan heeft de best producerende groep een Performance Ratio (PR) die gelijk is aan commerciële PV-systemen. Dit geeft een sterk vermoeden dat er in het STAL-project PV-cellen zijn gebruikt van mindere kwaliteit. Helaas is dit groeperen niet mogelijk als ingangscntrole, want dan hadden we dat natuurlijk al eerder ingevoerd en deze PV-cellen niet meegenomen in productie.

Het zon-thermisch deel van een PVT-paneel produceert ongeveer evenveel kWh_thermisch per m² als kWh_elektrisch op diezelfde m². Bovendien heeft het geen negatief effect op de elektrische opbrengst

Betrouwbaarheids-testen zijn er uitgevoerd ten aanzien van de robuustheid van de mechanische verbindingen en de elektrisch opbrengst, m.b.v. versnelde levensduur testen in klimaatkamers.

Het gewicht van het PV-halffabrikaat is slechts 1.8 kg/m² (excl. CSO-box). Echter het zou misleidend zijn om alleen maar dit gewicht te vermelden, immers een eindklant heeft een compleet PV of PVT-paneel nodig. Het gewicht van een PV-paneel inclusief de brackets voor montage en de CSO-box is 5 kg/m². En het gewicht van een PVT-paneel inclusief gevuld met water-glycol-vloeistof is 5.7 kg/m².

Gedurende een half jaar outdoor testing (1^e halfjaar 2021) op de boerderij van DenBesten in Hoevelaken zijn er geen problemen geweest tijdens wind/storm.

8.2 Aanbevelingen

Het is zeer uitdagend geweest om binnen een projectduur van slechts 2.5 jaar een compleet nieuw systeem te ontwikkelen vanaf componenten en designs op Technology Readiness Level, TRL = 2 à 3. Het eindproduct (het PV-systeem en het PVT-systeem incl. CSO-box, incl. BMU) zit nu op een TRL van 7 à 8 (afhankelijk welke aspecten men beschouwt). Het is een aanbeveling om voor een dergelijke productontwikkeling een jaar langer de tijd te nemen. Men kan dan een prototype op een TRL van 5 à 6 in een gecontroleerde outdoor faciliteit (zoals bv. SolarBEAT te Eindhoven) analyseren en uit-ontwikkelen alvorens al direct bij de eindklant te installeren. Omdat wij deze tijd niet hadden, hebben we deze stap niet kunnen maken. We moesten dus al snel focussen op de productie van de 108 PV-halfabrikaten die nodig zijn om 40m² veldtest vol te leggen, zonder nog tijd te hebben voor optimalisaties. Hierdoor kon dus o.a. het knelpunt van paragraaf 2.13 ontstaan.

8.3 Dankwoord

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

9 Appendix: Format Openbaar Eindrapport volgens RVO

Voor dit publiek eindrapport is het vereiste format gedownload van de RVO-website, op 4 Juni 2021. Dat format ziet er als volgt uit:

Openbaar eindrapport

Deadline: binnen drie maanden na afloop van het project
Aantal: 1x, bij voorkeur digitaal aan e-innovatie@rvo.nl

Het openbare eindrapport is bedoeld voor een breder publiek en moet daarom helder en goed leesbaar zijn. Dit rapport zal pas worden gepubliceerd nadat eventuele rechten op de kennis zijn vastgelegd. De publicatiedatum moet op het rapport worden vermeld. Het gaat hierbij uitdrukkelijk niet om de commerciële promotie van de producten of projectresultaten. De aanvrager/het samenwerkingsverband is verantwoordelijk voor de uitgave en is vrij in de keuze van vormgeving van het rapport.

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

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

Maatwerkbeslissingen 2012: "Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, voor het TKI >invullen< uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland."

Verlening 2013 en verlening 2014 (tot 10 juli 2014): "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."

Vanaf verlening 2014 (vanaf 11 juli 2014): "Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland."

