

# BOUW DIT

## Openbaar Eindrapport TSE Gebouwde Omgeving

### Inleiding

De verduurzaming van Nederlandse huishoudens loopt met name goed in randgemeenten en in nieuwbouwwijken. De verduurzaming van dichtbevolkte binnensteden blijft hier helaas nog ver bij achter.

We denken dat dit voor een groot deel komt doordat de grootstedelijke daken slecht geschikt zijn voor de toepassing van conventionele zonnepanelen. Een artikel<sup>1</sup> in het AD scheen hier haar licht op: *“Naar schatting heeft Rotterdam 14,5 vierkante kilometer ongebruikt plat dak. Ongeveer 75.000 vierkante meter is in inmiddels in gebruik als energiecentrale met zonnepanelen, 250.000 vierkante meter is omgebouwd tot groen dak.”*

We zien dus dat de aanleg van zonnepanelen in deze steden een stuk trager verloopt dan de aanleg van groendaken en dakterrassen. Ofwel, wanneer bewoners de keuze krijgen voor ‘verduurzaming met zonnepanelen’ of ‘comfort verhogen door de aanleg van een dakterras’ kiest het gros voor de tweede oplossing.

Maar wat nu als comfortverhoging hand in hand zou kunnen gaan met zonne-energie opwekking? Wat nu als er *juist* na het plaatsen van de zonnepanelen een mooi dakterras ontstaat? Dan zou de aanleg van dakterrassen en groendaken hand in hand met de aanleg van zonnedaken kunnen gaan en de energietransitie in de dichtbevolkte steden een stuk voorspoediger kunnen gaan lopen?

### Het project

In het project BOUW DIT onderzochten Onderneming Balkonhekken, TNO, Rebor en Durin het idee van een ‘Solar balkonhek als omheining van een dakterras of balkon’.

Bij de deelnemende partijen is veel expertise aanwezig omtrent recente ontwikkelingen van verticale bifaciale PV systemen. De

zogenaamde ‘bifaciale’ ofwel tweezijdige zonnepanelen, ontwikkeld in de laboratoria van TNO Energy Transition, vangen licht in van beide kanten. Dit innovatieve type zonnepaneel is daarmee uitermate geschikt voor verticale toepassingen, en werd ook geselecteerd voor het dakterras.

De doelstelling was om tot een product te komen dat uitermate geschikt is voor de verduurzaming van meerlaags woningbouw in dichtbevolkte steden. Het ontwikkelde product bestaat uit een balkonhek waarin tweezijdige (bifaciale) zonnepanelen als borstwering zijn verwerkt. Het balkonhek kan geplaatst worden op balkonnen, Franse balkonnen, galerijhekken maar zeker ook als omheining van dakterrassen. Met dit product wordt een groot potentieel oppervlak voor de opwekking van duurzame energie in de dichtbevolkte stad ontsloten.

Het project was opgedeeld in vijf werkpakketten. Werkpakket 1 richtte zich op de zonne-energie technologie: Op maat gemaakte, esthetische, semitransparante tweezijdige zonnepanelen met bijbehorende elektronica. In werkpakket 2 werd het integrale product ontwikkeld: Een balkonhek inclusief balustradeprofielen waar de kabels doorheen kunnen lopen, en bijbehorende tools om het te kunnen maken. In werkpakket 3 werden rekenmodellen ontwikkeld waarmee de elektrische opbrengst kon worden becijferd. In werkpakket 4 werd een prototype van het product opgebouwd op veldtestlocatie SolarBEAT. Dat prototype werd in werkpakket 5 onderzocht op praktijkprestaties.

### Resultaten

Het is de projectpartners gelukt om binnen de gestelde projectduur het prototype te ontwerpen, ontwikkelen, bouwen en onderzoeken. De gebouwde prototypes worden hieronder in een aantal foto’s weergegeven. De prototypes zijn gedurende een volledig

---

<sup>1</sup> <https://www.ad.nl/rotterdam/duizenden-platte-daken-wachten-op-nieuwe-bestemming-aa0895ab/>

kalenderjaar op opbrengst onderzocht. Ook hebben we proeven gedaan met een witte ondergrond, door een wit zeil op de aanwezige steentjes te leggen.

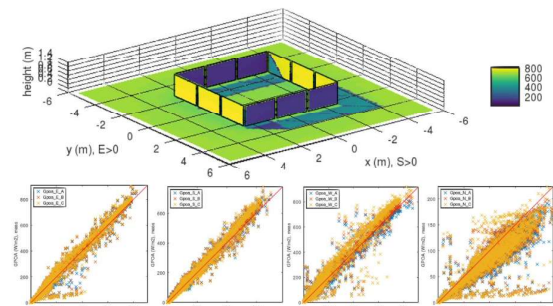


Het ontwikkelde prototype balkonhek, van buitenaf (links) en van binnenuit (rechts) gefotografeerd.



Het ontwikkelde prototype dakterras omheining

De resultaten zijn veelbelovend. Het zonn balkonhek wordt esthetisch positief beoordeeld door bezoekers aan de veldtestlocatie. De zonne-energie opbrengst is meer dan 100 kWh per strekkende meter balkonhek, overeenkomend met meer dan 1000 kWh/kWp.



3D weergave (boven) en simulatieresultaten vergeleken met metingen (onder), voor het BigEye model

Middels een drietal simulatiemodellen hebben we getracht de gemeten opbrengst te begrijpen, en de resultaten te kunnen aanwenden voor het voorspellen van toekomstige gebouwen en projecten. Deze modellen waren:

- BigEye BOUW DIT model, geschikt voor wetenschappelijke analyses en onderzoek naar effect van complexe parameters zoals Albedo.

- PVSYST BOUW DIT model, geschikt voor opbrengstvoorspelling van grootschalige renovatie of nieuwbouw projecten zoals galerijflats of woonwijken.
- Excel BOUW DIT model, geschikt voor opbrengstvoorspelling en business case indicaties van kleinschalige dakterras en balkon projecten bij particulieren.

De terugverdientijd van de meerkosten ten opzichte van een regulier balkonhek variëren sterk voor het type project en het type zonnepaneel:

- De kortste terugverdientijd van drie jaar treedt op bij een grootschalig galerijhek-systeem dat bij een woningcorporatie wordt geplaatst. Deze terugverdientijd is met name kort omdat een dergelijk grootschalig systeem veel goedkopere zonnepanelen kan gebruiken, vanwege de grote oplage.
- Een middellange terugverdientijd van viif a zes jaar treedt op bij een dakterras toepassing die op maat gemaakt is voor een particulier. De zonnepanelen zijn weliswaar duur bij een dergelijk systeem, maar daar staat tegenover dat de kWh opbrengsten van een dakterras hoog zijn, en de kWh prijs die een particulier betaalt ook hoog is.
- De langste terugverdientijd van tien jaar treedt op bij een kleinschalig, op maat gemaakt balkon voor een particulier. Bij dit systeem zijn de kosten hoog vanwege de kleine oplage zonnepanelen, en zijn de kWh opbrengsten laag omdat het geen dakterras is maar een balkon, waar minder licht op valt.

Er zijn ook nog resterende wetenschappelijke vragen. Zo bleek het erg complex om te begrijpen hoe de instraling op voor- en achterzijde precies tot stand komt. Hierbij wordt de effectieve albedo (indirect licht, niet afkomstig van de lucht, maar vanuit de directe omgeving) opgebouwd uit vele verschillende componenten, waaronder grond reflectie, zelf-reflectie en reflectie van naburige gebouwen. Hoewel we belangrijke experimentele gegevens vergaard hebben door met zowel een grijze als een witte ondergrond te testen, is er op dit punt is er meer vervolgonderzoek nodig voor we het volledig kunnen begrijpen.

### Conclusie

We concluderen dat we een nieuw product hebben ontwikkeld inclusief zonne-energie technologie, productontwerp, fabricagetools, rekentools en met een beproefd prototype. Met dit product zullen we consumenten, woningcorporaties en vastgoedeigenaren

kunnen bedienen die hun panden willen verduurzamen maar dat met de tot op heden op de markt beschikbare producten niet voor elkaar konden krijgen.

#### COLOFON

Dit openbare eindrapport is opgesteld in Augustus 2022, met een finale versie op 17 Februari 2021. De auteurs waren Jacco Hertog, René Borro, Menno van den Donker en Roland Valkenburg.

Meer informatie en exemplaren van dit rapport kunnen opgevraagd worden bij Roland Valckenborg, op [roland.valckenborg@tno.nl](mailto:roland.valckenborg@tno.nl).

Tevens kan additionale informatie over het project gevonden worden in een artikel<sup>i</sup> in het Solar Magazine d.d. 28 juni 2021, alsmede in een wetenschappelijke publicatie<sup>ii</sup> die tijdens de WCPEC-8 is gepresenteerd. De hyperlinks naar de betreffende artikelen staan in de voetnoten onderaan dit rapport.

Dit project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Nationale regelingen EZK- en LNV-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

---

<sup>i</sup> <https://solarmagazine.nl/nieuws-zonne-energie/i24768/bouw-dit-eerste-transparant-dubbelzijdig-hek-met-zonnepanelen-voor-balkons-en-dakterrassen>

<sup>ii</sup> <https://www.eupvsec-proceedings.com/proceedings?paper=51409>