



ENERGIERIJK DEN HAAG

Handreiking Thermisch PV

Voor professionals in de energietransitie die overwegen zonnepanelen aan te schaffen om elektriciteit én warmte te produceren



Inleiding EnergieRijk Den Haag

Het doel van programma EnergieRijk Den Haag is het klimaatneutraal maken van (semi-)overheidsgebouwen in het centrum van Den Haag met een repeteerbare, gebiedsgerichte aanpak. In een serie handreikingen lichten we toe wat deze ERDH-aanpak inhoudt.

Het programma ERDH hanteert een werkfilosofie om het hoofddoel te bereiken, genaamd Trias Territoria. Deze aanpak is drieledig: het besparen van energie, het gebruiken van lokale energiebronnen en het duurzaam inkopen van energie. De Trias Territoria wordt versterkt door het opbouwen van een samenwerkingsinfrastructuur en het ontwikkelen en delen van kennis. Alle handreikingen samen dragen bij aan het ontwikkelen en delen van kennis.

Deze handreiking is bedoeld voor professionals in de energietransitie die overwegen innovatieve zonnepanelen op het dak van (stedelijk) vastgoed te plaatsen.



Zicht op kantoren in Den Haag centrum. Foto: Rijksvastgoedbedrijf



Kennishouders



Iwan van der Wijk

Projectmanager Rijksvastgoedbedrijf



Vera Franken

Technisch manager Rijksvastgoedbedrijf



Rik Altena

Energieadviseur EnergieRijk Den Haag

Indien u in contact wilt komen met een van deze kennishouders, stuur dan een mail naar postbuserdh@rijksoverheid.nl



Aanleiding

In 2030 moet 70 procent van de elektriciteit in Nederland uit hernieuwbare bronnen komen, zo staat in het Klimaatakkoord. Het Rijksvastgoedbedrijf zet rijkspanden in om groene energie op te wekken door het plaatsen van zonnepanelen. Uiterlijk in 2030 moet 80% van de geschikte rijksdaken voorzien zijn van PV-panelen.

Het Rijksvastgoedbedrijf heeft de mogelijkheden verkend voor het plaatsen van PV-panelen op het kerndepartement van de ministeries van EZK en LNV aan de Bezuidenhoutseweg 73 (hierna: B73). Daarbij is met name gekeken naar zonnepanelen die ook thermische energie opwekken, ook wel bekend als PVT-panelen.

De toepassing van PVT-panelen is voor B73 een interessante innovatie, omdat de warmte van de panelen gebruikt kan worden om extra warmte te laden in de Warmte Koude Opslag (hierna: WKO). En zo kunnen de panelen uiteindelijk een grote bijdrage leveren aan de verduurzaming van B73.

Rik Altena, EnergieRijk Den Haag: *“Het gebouw B73 heeft een WKO-systeem en gebruikt op jaarbasis meer warmte dan koude. Met koelen in de zomer sla je dus onvoldoende warmte op voor de winter. Met PVT-panelen vul je die onbalans aan en kan de warmtepomp meer duurzame warmte leveren, die in de winter ingezet kan worden. Hierdoor is minder stadswarmte van Eneco nodig.”*

Waar moet je nu op letten bij de afweging om PVT-panelen te plaatsen op het dak? In deze handreiking vertellen betrokkenen over de inzichten die zijn opgedaan.



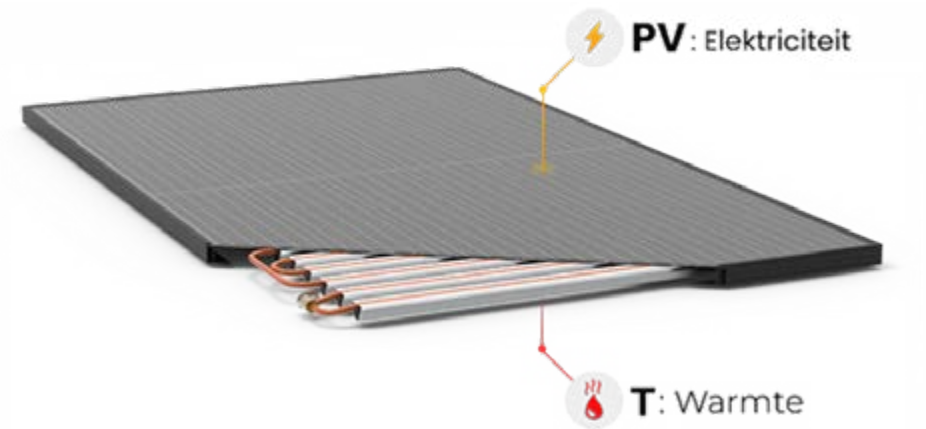
Bezuidenhoutseweg 73, Den Haag. Foto: Ministerie van Buitenlandse Zaken



Over thermische zonnepanelen

Photovoltaïsche en thermische (PVT) panelen zijn een combinatie van reguliere zonnepanelen met zonnecollectoren. PVT-panelen zijn dus in staat om zonne-energie om te zetten in elektriciteit én warmte. De elektriciteit wordt direct in het gebouw gebruikt. De warmte die de warmtewisselaars onttrekken aan de panelen kan direct worden gebruikt voor ruimteverwarming, warm tapwater of (zomer)opslag van warmte in de WKO en gebruik via een warmtepomp in de winter.

Het elektrisch rendement van PVT-panelen is lager dan dat van reguliere PV-panelen. Daarnaast is het thermisch rendement van PVT-panelen lager dan die van zonnecollectoren. Echter, de som van elektriciteit en warmte zorgt voor een hogere totale energetische opbrengst dan een alternatief met alleen elektriciteit (PV) of warmte (zonnecollectoren).



PVT-paneel. Afbeelding: Qsilence.nl



Haalbaarheid

In de onderzoeksfase heeft het Rijksvastgoedbedrijf inzichtelijk gemaakt of en hoe B73 voorzien kan worden van thermische zonnepanelen. Met een haalbaarheidsonderzoek zijn thermische panelen vergeleken met twee niet-thermische panelen: PV-panelen op dak en PV-panelen geïntegreerd in dak.

In het onderzoek is gekeken naar de ruimtelijke en technische inpassing, de opbrengst van elektriciteit en warmte en de businesscase. Deze aspecten worden besproken in deze handreiking.

1. Ruimtelijke inpassing

2. Energie-opbrengst

3. Businesscase

4. Technische inpassing

Iwan van der Wijk, Rijksvastgoedbedrijf: *“Neem de tijd voor het voorbereidende werk. Een particulier kan binnen een maand zonnepanelen op het dak plaatsen. Maar die vergelijking gaat hier niet op. Als overheid moeten we afgewogen keuzes maken en rekening houden met de verschillende belangen van o.a. de gebruikers, beheerders en gemeente. Daarnaast komen er bij een project van deze schaal en een dergelijke aansluiting op de bestaande installatie veel meer variabelen kijken bij het ontwerp.”*

Proefopstelling

Er staat sinds mei 2023 een proefopstelling voor B73. Dit is een kopie van het ontwerp voor B73 met 6 PVT-panelen. De proefopstelling is niet aangesloten op de WKO, maar heeft een eigen warmtepomp.

In de proefopstelling wordt data verzameld over het beschikbare opwekkingsvermogen van de PVT-panelen. Een scherm in de lobby van B73 toont de actuele opbrengst van elektriciteit en warmte en het totale verbruik van de warmtepomp. Hiermee wordt duidelijk wat de panelen opleveren en hoe dit zich verhoudt tot het uiteindelijke project. Daarnaast dient het ter communicatie richting de maatschappij en als motivatie om ook iets te doen met dergelijke innovaties, onder andere bij monumenten.



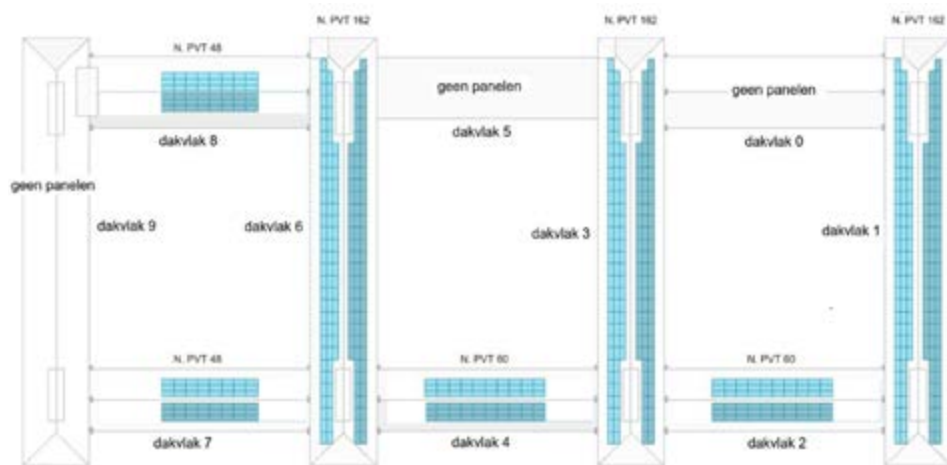
Proefopstelling bij B73 met PVT-panelen. Foto: Rik Altena



1. Ruimtelijke inpassing

Geschiktheid dak

Het dakoppervlak van B73 heeft tien verschillende dakvlakken met een totaal oppervlak van circa 6.500 m². Op zeven daarvan zijn PV(T)-panelen effectief en technisch haalbaar (zie afbeelding). De drie overige dakvlakken kunnen om verschillende redenen niet worden voorzien van panelen. De koperen afwerking op dakvlak 9 mag door het monumentale karakter niet worden aangetast met panelen (zie onderdeel Architectuur). Dakvlak 5 dient vrij te blijven voor toekomstige, technische uitbreidingen. Op dakvlak 0 staan al technische installaties.



Dakoppervlak B73. Afbeelding: Haalbaarheidsonderzoek PV(T) panelen (Arcadis, 2022)

Met ontwerpsoftware zijn de panelen geprojecteerd op de beschikbare dakvlakken en is het aantal panelen berekend. Dakvlakken met veel schaduw of die de dakbelasting niet aan kunnen, krijgen geen panelen. Daarnaast is rekening gehouden met de gebieden die in de schaduw vallen door omliggende daken of gebouwen en gebieden op de lage dakvlakken 2, 4, 7 en 8 welke door sneeuwbelasting niet kunnen worden voorzien van panelen.

Voor de PVT-panelen is op het dak een netto oppervlak van circa 1.400 m² beschikbaar. Daar passen 702 panelen op.

Dakopbouw

Voor het aanbrengen van de PV- en PVT-panelen op profielen en op een staalconstructie kan de bestaande dakopbouw behouden blijven. Er dient enkel een nieuwe afwerklaag aangebracht te worden (een APP-gebitumineerde polyestermat met koper gecacheerde dakbanen).

Iwan van der Wijk, Rijksvastgoedbedrijf: *“Op korte termijn zou aan het bestaande dak sowieso al aanpassingen worden gedaan om de isolatie te verbeteren. De bitumineuze dakbedekking en de koperlaag worden daarbij vervangen. Het aanbrengen van een nieuwe afwerklaag ten behoeve van de panelen is daarom een mooie win-win situatie.”*

Het montagesysteem wordt geplaatst op de schuine dakdelen evenwijdig aan het dak. Ook voor de geïntegreerde PV-panelen is uitgegaan van een montagesysteem waarbij de panelen in het dak geïntegreerd worden aanbracht in een isolatiemateriaal. De hellingshoek van de panelen is daardoor gelijk aan de hellingshoek van het dak.



Veiligheid

Vanuit brandveiligheidsoogpunt moet, volgens de richtlijnen ‘Veiligheid PV-systemen op daken’ van het Rijksvastgoedbedrijf, de afstand tussen de panelen en het dak minimaal 200 mm worden aangehouden. Daarnaast moet om het jaarlijks onderhoud op een veilige manier te kunnen uitvoeren de afstand van de zonnepanelen tot de dakrand minimaal 2 meter zijn.

Architectuur

Het gebouw B73 is een rijksmonument, waardoor de gemeente toestemming moet geven voor de plaatsing van PV(T)-panelen op het dak. In 2020 heeft de Rijksdienst voor Cultureel Erfgoed (RCE) haar adviesbeleid versoepelt voor zonnepanelen op monumenten (zie [RCE versoepelt adviesbeleid zonnepanelen](#)). Hierdoor kan vaker positief geadviseerd worden over het plaatsen van zonnepanelen die uit het zicht liggen, geen aantasting vormen van waardevolle onderdelen van het monument en zorgvuldig op het dak worden aangebracht.

Verder betreft het een gebouw waar auteursrecht op rust. Voor B73 heeft het Atelier Rijksbouwmeester (ARBM) aangegeven dat een melding aan de auteur volstaat. Dit betekent dat de panelen geplaatst mogen worden zonder tussenkomst van de architect.

Iwan van der Wijk, Rijksvastgoedbedrijf: *“Het ARBM kan adviseren en bijstaan in de benadering van zowel de gemeente als de architect. Het is daarom van belang dat zij tijdig betrokken worden in de initiatieffase. Om de paar maanden hebben we kort overleg om te kijken of het project voldoet aan de eisen.”*



2. Energieopbrengst

In een haalbaarheidsonderzoek is de potentiële energieopbrengst van PV-panelen (elektriciteit) vergeleken met de PVT-panelen (elektriciteit en warmte). Bij het berekenen van de opbrengst is uitgegaan van 702 panelen. De uitkomst staat in onderstaande tabel.

	PV	PVT (bij laden WKO)
Geïnstalleerd vermogen (kWp)	282	241
Opbrengst opgewekte elektriciteit (kWh/jaar)	247.250	201.800
Opbrengst thermische energie (GJ/jaar)	-	2.100

Iwan van der Wijk, Rijksvastgoedbedrijf: “PVT-panelen leveren in totaal meer dan twee keer zoveel energie als PV panelen. Ter vergelijking: het gebouw B73 verbruikt jaarlijks gemiddeld zo’n 5.000 MWh aan elektriciteit en 18.000 GJ aan warmte. Met de PVT-panelen kunnen we dus voorzien in 4% van de elektriciteitsvraag en ruim 11% van de warmtebehoefte.”

Elektriciteit

Met de oriëntatie van de panelen is de jaarlijkse horizontale zoninstraling 1024 kWh/m². Voor de PV-panelen wordt uitgegaan van een vermogen per paneel van 410 Wp en een geïnstalleerd vermogen van 282 kWp. Voor PVT-panelen is dat 350 Wp en 241 kWp geïnstalleerd vermogen.

De opbrengst van opgewekte elektriciteit van PV-panelen is met 247.250 kWh/jaar hoger dan PVT-panelen. In de berekening zijn correctiefactoren opgenomen voor systeemverliezen, percentage zoninstraling en beschaduwning.

Warmte

De thermische energie van PVT-panelen wordt op B73 gebruikt voor ruimteverwarming. De PVT-panelen kunnen die warmte leveren op drie verschillende temperaturniveaus:

- hoogtemperatuur (80°C - 60°C);
- laagtemperatuurtraject (45°C - 35°C);
- warmte laden in de WKO (20°C - 17°C).

In onderstaande tabel is te zien dat de opbrengst het grootst is bij het laden van warmte in de WKO. Dit komt doordat de thermische opbrengst vrijwel het hele jaar door kan worden opgeslagen in de WKO. De besparing via het hoog temperatuurtraject is daarnaast groter dan die van het laag temperatuurtraject, doordat er op B73 het hele jaar (dus ook in de zomer) vraag is naar hoog temperatuurwarmte en minder vaak naar laag temperatuurwarmte.

	hoog temperatuur	laag temperatuur	WKO-systeem
Opbrengst thermische energie (GJ/jaar) ¹	1.100	700	2.100

Hoog temperatuur verwarming

Bij dit temperatuurtraject levert de PVT direct een deel van de hoogtemperatuurwarmte voor ruimteverwarming. Dat is een aanvulling op de huidige stadsverwarming van Eneco die wordt gebruikt voor dit temperatuurtraject.

¹ De potentiële thermische opbrengst van de PVT-panelen is berekend met behulp van de vrij verkrijgbare spreadsheet ‘ScenoCalc v6.1’. Voor de berekening is uitgegaan van een benuttingsgraad van 50% in elk van de scenario’s.



Er is sprake van een mismatch: in de zomer is de opbrengst van de PVT-panelen hoger dan de warmtevraag, in de winter is de opbrengst lager dan de vraag.

Vera Franken, Rijksvastgoedbedrijf: *“De mismatch zou opgelost kunnen worden door in het systeem een warmtebuffervat te installeren en zo het overschot aan warm water op te slaan. Dit zou echter betekenen dat er een enorme buffer geplaatst zou moeten worden. Ter illustratie: als alleen al de halve dagopbrengst van de PVT-panelen in de maand maart zou worden opgeslagen, is een buffervat van 30 m³ nodig. Het opnemen van een buffervat wordt daarom in deze situatie niet haalbaar geacht.”*

Laag temperatuur verwarming

Bij dit temperatuurtraject levert de PVT een deel van de laagtemperatuurwarmte. Dat is een aanvulling op de warmte die de WKO en warmtepomp nu levert naast de warmte vanuit het stadswarmtenet die in het laag temperatuurtraject wordt geïnjecteerd.

Net als bij het hoog temperatuurtraject kan de warmte die geproduceerd wordt door de PVT-panelen direct aan dit traject worden geleverd. Maar ook hier geldt dat er een mismatch is in de seizoenen tussen de opbrengst en de vraag, waardoor de opbrengst van de PVT-panelen niet volledig ingezet wordt.

De potentie van de PVT-panelen voor dit traject is lager dan voor het hoog temperatuurtraject, omdat er op B73 niet het hele jaar sprake van is een laag temperatuur-warmtevraag.

WKO-systeem laden

In plaats van direct warmte aan het gebouw leveren, is het ook mogelijk om warmte van de PVT-panelen opslaan in de WKO (ook wel ‘laden’ genoemd). Dit gebeurt bij een temperatuur van 20°C - 17°C.

De warmtepomp onttrekt de warmte in de winter aan de bodem en brengt die warmte dan op een bruikbare verwarmingstemperatuur van 45°C - 35°C.

B73 heeft meer warmtevraag dan koudevraag. Het koelen van het pand in de zomer door het afvoeren van warmte naar de WKO is onvoldoende om de vraag van warmte in de winter te leveren. De WKO moet bovendien in balans blijven dus op een gegeven moment is het niet meer mogelijk om meer warmte te onttrekken. Door de warmte-opbrengst uit de PVT-panelen op te slaan in de WKO, kan vanaf het voorjaar tot en met het najaar extra warmte in de WKO worden geïnjecteerd. De warmte uit de PVT in de WKO laden is een bruikbare aanvulling en het duurzame potentieel van de WKO-installatie wordt op deze manier veel effectiever benut.

Rik Altena, EnergieRijk Den Haag: *“Bij het opslaan van de warmte van de PVT-panelen in het temperatuurtraject WKO-systeem laden wordt de maximale infiltratietemperatuur (25 °C) in de WKO-installatie niet overschreden.”*



3. Businesscase

Voor de financiële haalbaarheid van de PVT-panelen zijn de investeringskosten, onderhoudskosten en de jaarlijkse opbrengst in kaart gebracht.

Kosten

De kosten van de PVT-panelen bestaan uit de aanschaf van de panelen zelf, de aansluiting van de panelen op het WKO-systeem, onvoorziene kosten en overige bouwkundige en installatiekosten.

Iwan van der Wijk, Rijksvastgoedbedrijf: *“Een belangrijke disclaimer is dat we het prijspeil per 1 januari 2023 hebben gehanteerd. Prijzen voor materialen en energie fluctueren en hebben daarmee invloed op de terugverdientijd.”*

Aanschaf panelen	€ 700.000
Aansluiting op het WKO-systeem	€ 1.200.000
Onvoorziene kosten	€ 400.000
Overige bouwkundige en installatiekosten	€ 1.900.000
Investeringskosten totaal (excl. BTW)	€ 4.200.000

Ook de onderhoudskosten (OPEX) zijn onderdeel van de businesscase. Daarvoor is het uitgangspunt €3,60 per m² paneel per jaar. Dat komt neer op circa €5.000 per jaar voor preventief en correctief onderhoud, monitoring en administratie.

Opbrengsten

Met de energieopbrengst wordt bespaard op de inkoop van elektriciteit en warmte. Het elektriciteitsverbruik van B73 is hoog, dus slechts een beperkt deel van de elektriciteit wordt teruggeleverd. De besparing op WKO-laden is het grootst (2.100 GJ/jaar), voor de jaarlijkse besparing van warmte wordt van dit temperatuurtraject uitgegaan.

Jaarlijkse besparing elektriciteit PVT	€112.000
Jaarlijkse besparing warmte PVT	€187.000
Totaal jaarlijkse besparing	€299.000

Terugverdientijd

De PVT-panelen met warmte laden in de WKO verdient zich in circa 14 jaar terug. De terugverdientijd hangt uiteraard sterk af van de aannames voor kosten en opbrengsten.



4. Technische inpassing

Installatietechnisch

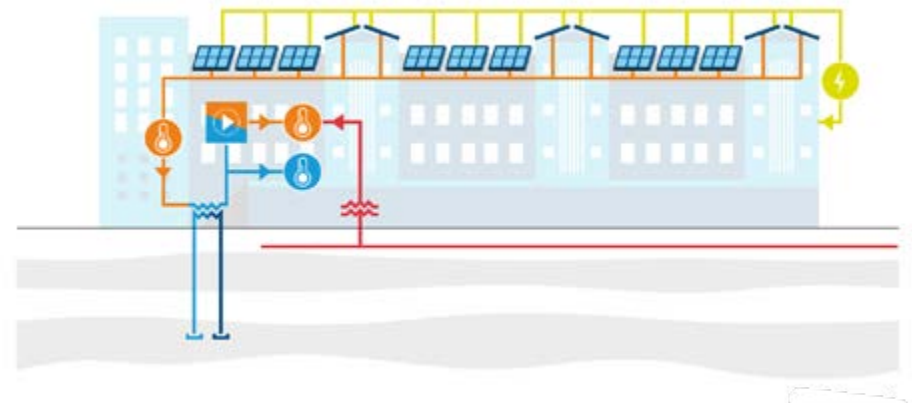
Om het vermogen uit zonnepanelen te gebruiken, zijn omvormers nodig. Omvormers van 25 kVA zetten gelijkspanning uit de PVT-panelen om in wisselspanning. Het vermogen van de omvormers past binnen de huidige netaansluiting, dus er is geen grotere aansluiting nodig. De omvormers worden buiten tegen de zijgevels geplaatst.

Vera Franken, Rijksvastgoedbedrijf: *“Voor B73 zijn we van plan om meerdere micro-omvormers te plaatsen. Daarmee zorgen we dat de installatie grotendeels in bedrijf blijft als een van de panelen uitvalt. De micro-omvormers zorgen ervoor dat het volgende paneel gewoon nog werkt.”*

De warmte van de PVT-panelen wordt gekoppeld aan op de energiecentrale en het WKO-systeem. In de techniekruimte zal een warmtewisselaar worden opgesteld, om een scheiding te maken tussen de energiecentrale en de PVT-installatie. Een warmtewisselaar draagt de warmte van de PVT-panelen over naar de warmtebron van de WKO. In de installatie worden daarnaast energiemeters, handafsluiters, thermometers, benodigde vul- en aftapkranen, vuilfilters, transportpompen en expansievoorzieningen aangebracht.

Constructief

De vraag met betrekking tot het constructieve aspect is of de dakplaten, gordingen en spanten voldoende draagkracht hebben voor het dragen van de panelen. Voor de PVT-panelen is uitgegaan van een dakbelasting van 32 kg/m². Bij B73 hebben de dakplaten, dakspanten en de gordingen voldoende reservecapaciteit om die belasting te kunnen dragen.



Visualisatie B73 met installaties. De gele lijnen visualiseren de opwekking en levering van elektriciteit, de oranje lijnen de opwekking en levering van warmte. De blauwe lijnen geven de WKO weer, rood geeft de stadswarmte weer. *Afbeelding: DWA*



Conclusie

Het haalbaarheidsonderzoek naar PVT-panelen op het dak van B73 leidt tot een positieve conclusie. De status van rijksmonument en de koppeling met het WKO-systeem, maken dit een leerzame en innovatieve casus.

Het inladen van warmte die wordt opgewekt met de PVT panelen in de WKO is een aantrekkelijke manier om B73 te verduurzamen. Bovendien past dit binnen de energietransitie, doordat met het opslaan van de warmte in de zomer in een WKO en het gebruik van de warmte in de winter, een piek van productie van stadswarmte door Eneco kan worden verminderd. Met de warmte uit PVT-panelen wordt daarnaast het duurzame potentieel van het WKO effectiever benut. De combinatie van warmte en elektriciteit is gunstig, vanwege de jaarlijkse besparing van warmte aanvullend op de jaarlijkse besparing van elektriciteit.

Rik Altena, EnergieRijk Den Haag: *“De koppeling van PVT-panelen aan een bestaand WKO-systeem met een warmte onbalans is een prachtige maatregel waarmee je overvloedige zonnewarmte uit de zomer, verplaatst naar de winter wanneer er warmte tekort is.”*

Een voorzichtige eerste inschatting laat zien dat de PVT-panelen zorgen voor een CO₂ reductie van circa 90.000 kg per jaar. Dit komt vooral door de reductie van elektriciteitsopwekking. De reductie van CO₂ uit warmteproductie is klein doordat de WKO en warmtepomp al duurzaam zijn. De CO₂ die gepaard gaat met de productie van de panelen is niet meegenomen in deze berekening.

Iwan van der Wijk, Rijksvastgoedbedrijf: *“Het is belangrijk om te beseffen dat het afvinken van de benoemde aspecten geen garantie is voor succes. De thermische zonnepanelen kunnen technisch en financieel haalbaar zijn, de haalbaarheid zit ‘m ook in het organisatorische deel. Daarom nemen we de tijd om de belangen van gebruikers, beheerder, gemeente af te wegen en alles goed af te stemmen, zodat de uitvoering sneller kan. Een goede voorbereiding is het halve werk.”*

Op dit moment bevindt het project zich nog in de ontwerpfase. De verwachting is dat er in het najaar van 2023 een definitief ontwerp ligt. Vanaf dat moment gaat ook de aanbesteding van start.

Over EnergieRijk Den Haag

ERDH is een samenwerkingsverband tussen Rijk, Provincie Zuid-Holland, de Gemeente Den Haag en diverse (semi-) publieke en private partners gericht op de volledige verduurzaming van de belangrijkste overheidsgebouwen in het centrumgebied van Den Haag. ERDH is gestart vanuit het inzicht dat duurzame installatie- en energieconcepten slimmer kunnen worden gerealiseerd als deze gebouwoverstijgend zijn in plaats van met de gebruikelijke 'gebouw voor gebouw-aanpak'.

Dat vereist samenwerking en afstemming tussen verschillende partijen/eigenaren in een gebied en dat is geen makkelijke weg. Voor ERDH is de Trias Territoria het handelingsperspectief; *energie besparen, lokaal opwekken en schaal inzetten*. Het hogere doel van ERDH is kennis delen over het 'wat en hoe dan' door zelf een inspirerend en navolgbaar voorbeeld te zijn voor anderen.

Deze ERDH handreiking is onderdeel van een serie handreikingen. Op basis van nieuwe inzichten uit de praktijk worden de handreikingen aangevuld. Uw suggesties ter verbetering van deze uitgave worden gewaardeerd. Deze kunt u insturen via postbus.erdh@rijksoverheid.nl.

Een volledig overzicht van handreikingen kunt u vinden op onze website <https://www.energierijkdenhaag.nl/onderwerpen/kennis> of scan de QR-code.



www.energierijkdenhaag.nl

In de reeks Handreikingen EnergieRijk Den Haag verschenen eerder:

- [Handreiking alliantievorming](#)
- [Handreiking innovatie windturbines](#)
- [Handreiking test temperatuurverlaging](#)
- [Handreiking gebouwtransitiepaden](#)
- [Handreiking stadsbatterij](#)
- [Handreiking Trias Territoria](#)
- [Handreiking Circulair PV](#)