

Nieuwe technieken voor glas in lood renovatie met zonnecellen

WILFRIED VAN SARK

COPERNICUS INSTITUUT VOOR DUURZAME ONTWIKKELING, UNIVERSITEIT UTRECHT

In dit artikel licht ik toe hoe ramen ingezet kunnen worden om elektriciteit op te wekken, op basis van experimenten met een zogenaamde Electric Mondrian, een soort 'glas in lood' look-alike. Toepassen van kleurstoffen in de vorm van coatings op glas maakt het mogelijk elektriciteit op te wekken met zonnecellen in de sponningen van het kozijn. Dit zou een mogelijkheid kunnen zijn bij renovatie van glas in lood ramen die tevens elektriciteit kunnen opwekken.

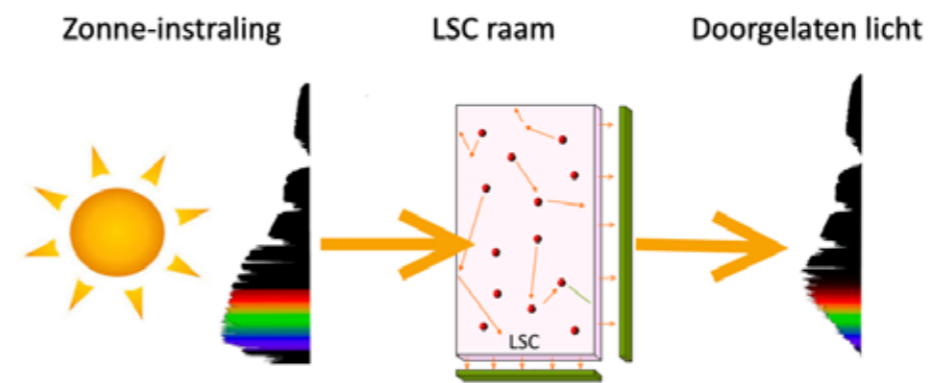
Zonne-energie is niet meer weg te denken van de Nederlandse daken en velden, en blijft sterk groeien. Er staat nu in Nederland naar verwachting zo'n 12 gigawatt aan vermogen opgesteld, waarbij ongeveer een derde op daken van huizen ligt. Dat zijn voornamelijk blauwe panelen van 1.6 m², soms ook zwarte, en het lijkt soms wel of de installateur een spelletje tangram heeft gespeeld om de jaarlijkse energieopbrengst

zo hoog mogelijk te krijgen op daken met schoorstenen en dakkapellen die voor ongewenste schaduw zorgen. Ruim 1 miljoen huishoudens voorzien zich in Nederland al van duurzame zonne-energie. Deze ontwikkeling zal zich doorzetten in de komende jaren vanwege het in Nederland gesloten Klimaatakkoord om broeikasgasemissies zeer sterk terug te dringen in 2050. Waar al die zonnepanelen geplaatst moeten worden,

Wilfried van Sark

studeerde experimentele natuurkunde aan de Rijksuniversiteit Utrecht en heeft zijn afstudeerwerk aan zonnecellen bij AMOLF verricht (1985). Hij promoveerde aan de Katholieke Universiteit Nijmegen in 1989 op III-V-zonnecellen gemaakt met metaalorganische chemische dampepitaxie. Daarna werkte hij 7 jaar als postdoc aan de Universiteit Utrecht, waar hij amorf silicium zonnecelonderzoek deed met plasmadepositie. Na een periode als universitair docent aan de Radboud Universiteit Nijmegen, was hij van 1999-2002 verbonden aan de Universiteit Utrecht waar hij spectroscopie van nanokristallen heeft onderzocht. Vanaf 2002 was hij universitair docent in de groep Natuurwetenschap en Samenleving aan de Universiteit Utrecht en hield hij zich bezig met performance van zonne-energiesystemen, economische en milieu-analyses, maar ook met de luminescente zonnecentrator. Sinds 2012 is de groep actief als onderdeel van het Copernicus Instituut voor Duurzame Ontwikkeling in de Faculteit Geowetenschappen.

wordt meer en meer een punt van discussie. Eerst alle daken vol, daarna op velden, en niet in natuurgebieden, zo formuleert het kabinet het in de zonneladder. Naast de daken zullen we met name in de gebouwde omgeving ook façades moeten gaan inzetten. Ook zullen zonnepanelen veel meer dan nu op esthetische wijze moeten worden geïntegreerd in daken, en ook façades. Hierbij valt te denken aan vrijheid in kleur en



Figuur 1 Schematische voorstelling van zonne-instraling en spectrum dat door een LSC raam gaat. De luminescente deeltjes absorberen licht en zenden dat ook weer uit met een iets rodere kleur. Ongeveer driekwart van dat licht wordt naar de zijkanten van het raam gebracht waar zonnecel strips zijn aangebracht die het licht omzetten naar elektriciteit.

vorm bij het ontwerp van nieuwe gebouwen en renovatieprojecten en toepassing bij monumenten, zoals kerkgebouwen.

Bij veel grotere kantoorgebouwen zijn gevels tegenwoordig geheel van glas. Dit zorgt voor veel licht in de kantoren, maar beperkt ook het oppervlak van de façades voor opwekking van elektriciteit. Immers, een zonnepaneel is ontworpen om maximaal licht te absorberen voor het opwekken van elektriciteit, en laat daarom geen licht door. Daar is wat op gevonden: elektriciteit opwekkend glas. Dat klinkt als een *contradictio in terminis*. Maar dat is het niet. Zonlicht bevat een veelheid van kleuren waar wij maar een klein deel van zien, van het ultraviolet (UV) tot het infrarood (IR), het zichtbare deel van het zonnenspectrum. In golflengtetermen is dat tussen 400 en 700 nanometer. Het zonnenspectrum is veel breder, namelijk van 280 tot 4000 nm. Het zichtbare deel omvat ongeveer 45% van de totale hoeveelheid energie in het zonlicht. De truc die daarom wordt toegepast is om maar zo'n 20% van de energie in het zichtbare deel van het zonlicht te absorberen, maar tegelijkertijd zoveel mogelijk in het UV en IR. Idealiter zou een raam dan een efficiëntie kunnen hebben van 20%, net wat minder dan de panelen op ons dak nu. Huidige onderzoeksdoel is overigens 10% efficiëntie.

Zulke oplossingen zijn noodzakelijk om alle elektriciteit die een gebouw nodig heeft ook door dat gebouw zelf te laten opwekken. Dak en façade samen leiden dan tot energieneutrale of zelfs energieleverende gebouwen, hard nodig voor een duurzame samenleving. De ontwikkeling van elektriciteit opwekkende ramen is vanzelfsprekend met name gericht op het bereiken van vooral kleurloze ramen, eventueel wat groenig zoals gewone ramen nu ook al zijn. Het gebruik van zogenaamde dunne-laag zonnecellen als coating op glas, bijvoorbeeld aan de binnenkant van een dubbelglas raam, leidt tot een gele of bruine waas op de ramen, en dat kan storend zijn voor activiteiten op de plek achter het glas. Een andere mogelijkheid is om gebruik te maken van zogenaamde luminescente zonnecentratoren, of luminescent solar concentrators (LSCs). Figuur 1 laat het principe zien. Het zonlicht dat uit vele kleuren bestaat wordt door luminescente deeltjes geabsorbeerd, maar ook weer uitgezonden, waarbij de kleur iets roder wordt. Dit licht wordt geconcentreerd op de zijkant van het raam, waar langwerpige zonnecellen in strips zijn aangebracht die dit licht omzetten in elektriciteit. Het doorgelaten licht heeft een andere spectrale samenstelling (kleur) dan het inkomende licht.

Als luminescente deeltjes worden vaak kleurstofmoleculen gebruikt, en door verschillende moleculen te gebruiken, kunnen

ramen gemaakt worden met kleuren uit de hele regenboog. In diverse warenhuizen wordt dit gebruikt in de vorm van perspex platen van kleur in etalages of voor het aanprijzen van kleding of andere waar. Om kleurneutrale ramen te maken is het mogelijk om een combinatie van moleculen te gebruiken, waarbij rood, groen en blauw waarden hoog (groter van 220) zijn. Dat is in praktijk echter nog niet gerealiseerd. In plaats van moleculen kunnen ook nanokristallen worden gebruikt. Voordelen daarvan zijn dat kleuren makkelijk 'gemaakt' kunnen worden door de diameter van die nanokristallen aan te passen. Daarbij gaat het om diameters van 2 tot 5 nanometer, zo'n 10.000 maal kleiner dan de dikte van een mensenhaar. Dit is via chemische processen goed stuurbaar.

In ons onderzoek naar kleuren ten behoeve van elektriciteit opwekkende ramen hebben we ons laten inspireren door de schilderwerken van Piet Mondriaan. Samen met studenten van de Hogeschool Utrecht hebben we de 'Electric Mondrian' ontworpen en gebouwd, zie Figuur 2. Hierin is gebruik gemaakt van perspex platen die gekleurd zijn met kleurstofmoleculen die de ramen verschillende kleuren geven. Aan de zijkant van de platen zijn zonnecellen aangebracht en via de lijsten zijn deze aan elkaar verbonden opdat alle elektriciteit kan worden verzameld. Via een USB-aansluiting kan overdag, als deze Mondriaan achter het raam staat, een mobiele telefoon worden opgeladen.

Hoewel de Electric Mondrians gemaakt zijn met plastic platen en 100 kleine zonnecellen, zouden ze heel goed kunnen worden uitgevoerd in de vorm van gekleurde coatings op glas. Vandaar dat ons ontwerp ook wel elektrisch glas in lood werd genoemd. Op basis van onze resultaten hebben we een concept voor een webshop bedacht, waarbij potentiële klanten hun eigen 'glas in lood' elektrisch raam zouden kunnen samenstellen passend in bijvoorbeeld een bovenlicht van ongeveer 100 bij 50 cm. Een maat die vaak voorkomt in dertiger jaren woningen. Dit concept is helaas niet ►



Figuur 2 Twee voorbeelden van de Electric Mondrian. Een combinatie van kleuren, groen, blauw, rood, oranje is gebruikt. In de lijsten rondom de gekleurde plastic platen zijn zonnecellen verwerkt, en niet zichtbaar. De opgewekte elektriciteit kan worden gebruikt om een mobiele telefoon op te laden via een USB-aansluiting.

gerealiseerd, maar een klein marktonderzoek heeft al wel laten zien dan men zonder probleem honderden euro's voor een eigen ontwerp raam zou willen neertellen.

Ons onderzoek richtte zich daarentegen op de ontwikkeling van nanokristallen ten behoeve van LSC's, in de vorm van een coating met nanokristallen gelamineerd tussen twee perspexplaten. Samen met onderzoekers van de Universiteit Gent is een aantal van die platen gemaakt van 50x50 cm die nu in een buitenopstelling worden getest, zie figuur 3. De verschillende kleuren zijn gerelateerd aan de verschillende nanokristallen die zijn gebruikt. De transparantie is hoog, waardoor het omzettingsrendement laag is, zo ongeveer slechts 1% of lager.

Om te komen tot elektriciteitsopwekkend glas kunnen deze coatings op glas gemaakt worden. Ook kunnen gemodificeerde inktjet printers op folie printen dat vervolgens tussen twee glasplaten gelamineerd kunnen worden. Behalve een grote keuze in kleuren, maakt dit ook vormen mogelijk zoals in schilderijen, of afbeeldingen in glas



Figuur 3 Test van vijf verschillende LSCs gemonteerd op de bovenkant van een opstelling waarin ook andere zonnecellen worden getest in een geluidswal.

in lood. Een tweetal voorbeelden van glas in lood, waar elektrische ramen makkelijk mogelijk zouden zijn, zijn weergegeven in figuur 4.

Kunstenares Marjan van Aubel heeft een Current Window gerealiseerd dat nu in eigendom is van het Stedelijk Museum. Dit maakt geen gebruik van het LSC-principe, maar van dunne-laag zonneceltechnologie, zie figuur 5. Dit raam heeft een rendement ook van ongeveer 1% en vereist dunne contactbanen om de stroom naar de randen van het raam te leiden. Het kan desalniettemin ook beschouwd worden als een elektrisch 'glas in lood' raam.

Met de voorbeelden in dit artikel heb ik kort laten zien dat elektrisch 'glas in lood' een mogelijk alternatief zou kunnen zijn voor bestaand glas in lood, met name m.i. vooral in renovaties daarvan. Diverse glas in lood ateliers hebben al interesse getoond in deze ontwikkeling, maar een verdere ontwikkeling is noodzakelijk om dit naar de markt te brengen. Het is het eenvoudigst om vierkante of rechthoekige stukken elektrisch glas in lood te gebruiken, zoals in figuur 4. Afbeeldingen die vaak in glas in lood in kerken te zien zijn kunnen



Figuur 4 Voorbeelden van glas in lood. Boven in de klokkentoren van Brugge, onder in een woonhuis



Figuur 5 Marjan van Aubel's Current Window (2015)

gemaakt worden door ofwel vormen te schilderen op vierkante stukken glas, ofwel door prints of folie te maken die tussen twee stukken glas worden gelamineerd. Op deze manier kan ook het glas in lood bijdragen aan een duurzame energie voorziening van monumentale kerkgebouwen.

Afbeeldingen: Wilfried van Sark

Literatuur

Wilfried van Sark, Panagiotis Moraitis, Carlo Aalberts, Max Drent, Thom Grasso, Yves L'Ortye, Marc Visschers, Mattijs Westra, Rob Plas, Wilko Planje, The 'Electric Mondrian' as a Luminescent Solar Concentrator demonstrator case study, Solar RRL 1 (2017) 1600015. <https://dx.doi.org/10.1002/solr.201600015>

W.G.J.H.M. van Sark, P. Moraitis, The Electric Mondrian™ Toolbox Concept - a Luminescent Solar Concentrator Design Study, Proceedings 43rd IEEE PV specialist conference, 2016, pp. 2738-2741. <https://dx.doi.org/10.1109/PVSC.2016.7750149>

Panagiotis Moraitis, Gijs van Leeuwen, Wilfried van Sark, Visual appearance of nanocrystal-based Luminescent Solar Concentrators, Materials 12 (2019) 885. <https://dx.doi.org/10.3390/ma12060885>

Marjan van Aubel, Current Window, <https://marjanvanaubel.com/dev/current-window-2/>