



Agentschap NL  
Ministerie van Economische Zaken

### Duurzame Energie Nederland (DEN)

Duurzame Energie Nederland (DEN) stimuleert het gebruik van duurzame energiebronnen zoals wind, zon, biomassa, water of aardwarmte. De helpdesk van DEN, het Duurzame Energiecentrum, beantwoordt vragen van onder meer gemeenten, projectontwikkelaars en initiatiefnemers op het gebied van duurzame energie.

Deze Leidraad Zonnestroomprojecten laat zien hoe je zonnestroom (PV) integreert in de bouwstroom.

### Zonne-energie

Zonne-energie is een verzamelnaam voor een aantal technieken om energie uit zonlicht om te zetten in bruikbare energie.

Simpel gezegd:

je gebruikt zonnecellen om zonder bewegende delen of hoge temperatuur zonlicht om te zetten in elektriciteit. Met zonne-energie bedoelen we fotonvoltaïsche zonne-energie, aangeduid met PV, naar het Engelse Photo (= licht) Voltaic (= elektriciteit). PV zet zonlicht in één stap om in elektriciteit.

Het hoofdproduct van PV is elektriciteit, maar er komt ook voor 85 procent warmte vrij. Momenteel wordt hard gewerkt aan het benutten van deze warmte. Als u zowel elektriciteit als warmte benut, kan het energieverbruik van een huishouden volledig draaien op zonne-energie.

# Leidraad Zonnestroomprojecten

>> Als het gaat om energie en klimaat

Dit is een publicatie van:

Agentschap NL  
NL Energie en Klimaat  
Croeselaan 15  
Postbus 8242 | 3503 RE Utrecht  
T 088 602 25 33  
[www.agentschapnl.nl/duurzameenergie](http://www.agentschapnl.nl/duurzameenergie)

© Agentschap NL | Januari 2010  
Publicatie-nr. 2DENB1003

*Hoewel deze publicatie met de grootst mogelijke zorg is samengesteld kan Agentschap NL geen enkele aansprakelijkheid aanvaarden voor eventuele fouten.*

Agentschap NL is een agentschap van het ministerie van Economische Zaken. Agentschap NL voert beleid uit voor diverse ministeries als het gaat om duurzaamheid, innovatie en internationaal. Agentschap NL is het aanspreekpunt voor bedrijven, kennisinstellingen en overheden. Voor informatie en advies, financiering, netwerken en wet- en regelgeving.

De divisie NL Energie en Klimaat versterkt de samenleving door te werken aan de energie- en klimaatoplossingen van de toekomst.



# *Leidraad Zonnestroomprojecten*

## Voorwoord

Zonlicht voorziet de aarde van enorm veel energie: duurzame energie. Zelfs meer dan we verbruiken. De hoeveelheid zoninstraling – en de daaruit te halen energie – is vele malen groter dan het energieverbruik. Ook in Nederland. Er zijn dan ook volop kansen voor zonnestroom, opgewekt door fotovoltaïsche (PV) systemen. Vooral via daken en gevels van woningen en andere gebouwen. Juist in een dichtbevolkt land als Nederland zijn die er voldoende. Bovendien is de kwaliteit en daarmee de opbrengst van de huidige generatie PV-systemen sterk verbeterd.

De ambities van de overheid liegen er niet om. Zo moet in 2020 het aandeel duurzame energie omhoog van twee naar twintig procent van het totale energieverbruik. Zonnestroom is een goed toepasbare vorm van duurzame energie in de gebouwde omgeving. Om te bereiken dat duurzame energie twintig procent van het totale energieverbruik omvat, ondersteunt de overheid onderzoek en investeert ze in projecten. Dit biedt goede mogelijkheden voor verdere marktontwikkeling.

Deze leidraad Zonnestroomprojecten is de opvolger van de leidraad uit 2003. In lijn met de huidige marktontwikkelingen ligt het accent nu op bestaande bouw. Kennis en ervaring uit grote nieuwbouwprojecten zijn toegevoegd. Per fase in het bouwproces staat omschreven welke zaken van belang zijn bij de realisatie van een zonnestroomproject.

Wij vertrouwen erop u te inspireren met de informatie, voorbeelden en adviezen in deze leidraad en bij te dragen aan de succesvolle realisatie van uw zonnestroomproject.

Ir. Merei Wagenaar  
Opdrachtmanager Duurzame Energie in Nederland (DEN)  
Agentschap NL

# Inhoud

<b>1. Inleiding</b>	<b>4</b>
Zonne-energie in Nederland	5
Overheidsbeleid	5
De techniek van zonnestroomsystemen	6
Opbrengst zonnestroomsystemen	8
<b>2. Planfase</b>	<b>10</b>
Ruimtelijke ordening in Nederland	11
Betrokken partijen	13
<b>3. Architectonische en bouwkundige integratie</b>	<b>18</b>
<b>4. Ontwerprichtlijnen</b>	<b>28</b>
Helling en oriëntatie	29
Beschaduwing	29
Bouwkundige en elektrotechnische normen	35
<b>5. Aanbesteding</b>	<b>38</b>
<b>6. Realisatie</b>	<b>44</b>
<b>7. Verkoop</b>	<b>50</b>
Wie is de eigenaar van een zonnestroomsysteem?	51
De verkoop	53
<b>8. Gebruiksfase</b>	<b>56</b>
<b>9. Subsidies en financiering</b>	<b>62</b>
Subsidies en overheidsprogramma's	63
<b>10. Toekomst</b>	<b>64</b>
Ontwikkeling van de markt	65
Verklarende woordenlijst	68
Adressen	71

# 1 Inleiding

De opwekking van zonnestroom is een nog relatief jonge techniek die snel in opmars is. De verwachting is dat de belangstelling van partijen in de bouw om zonnestroom toe te passen de komende jaren toeneemt en hiermee ook de behoefte aan informatie. Deze leidraad doorloopt alle stappen in de planvorming, het bouwproces en de

gebruiksfasen. Ook voor bestaande bouw- en renovatieprojecten geeft deze leidraad de nodige informatie. Voorafgaand hieraan maakt dit hoofdstuk duidelijk wat een zonnestroomsysteem is en geeft het een toelichting op de positie van zonnestroom in Nederland.



Boegspriet, Etten-Leur



Drielanden, Harderwijk



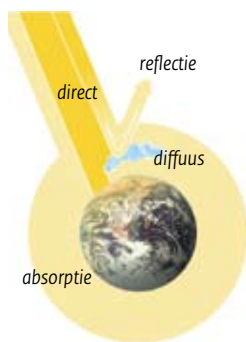
Crescend, Dordrecht



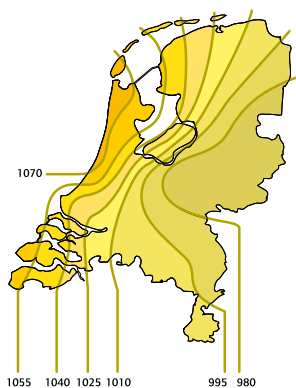
Gemeentehuis Dongen

# Zonne-energie in Nederland

De hoeveelheid zonne-energie die Nederland per jaar ontvangt, is ongeveer 40 maal zo groot als het totale energiegebruik in Nederland. Als gevolg van bewolking bestaat de jaarlijkse instraling in Nederland voor circa 50 tot 60% uit diffuus licht (indirect licht), komend vanuit alle richtingen. De totale zoninstraling in Nederland op een horizontaal vlak bedraagt circa 1000 kWh per vierkante meter, per jaar.



Direct en diffuus licht



Verdeling van het zonzonaanbod in Nederland.  
De waarden zijn uitgedrukt in kWh/m<sup>2</sup> per jaar

De meest toegepaste technieken die zonne-energie 'actief' omzetten in een bruikbare vorm van energie, zijn:

- fotovoltaïsche omzetting, dat wil zeggen het omzetten van zonlicht in elektriciteit ('zonnestroom');
- het omzetten van zonne-energie in warmte (thermische zonne-energie ofwel 'zonnewarmte') met behulp van zonneboilers.

Daarnaast zijn er mogelijkheden om 'passief' gebruik te maken van zonne-energie, door middel van bouwkundige maatregelen, zoals zongericht bouwen, serres en glazen balkons. Deze brochure gaat over de fotovoltaïsche omzetting die we verder aanduiden met de Nederlandse term 'zonnestroom'.

Huizen en gebouwen bieden veel mogelijkheden om met zonnestroom geheel of gedeeltelijk in hun eigen elektriciteitsbehoefte te voorzien. Zo hebben eengezinswoningen voldoende dakoppervlak om evenveel stroom op te wekken als ze in een jaar verbruiken. Eind 2006 stond er in Nederland voor ongeveer 52 megawatt (425.000 m<sup>2</sup>) aan zonnepanelen opgesteld, waarvan er 48 megawatt direct aan het elektriciteitsnet gekoppeld is.

# Overheidsbeleid

De groeiende belangstelling voor zonnestroom komt mede door het overheidsbeleid ten aanzien van duurzame energiebronnen zoals zon en wind. Zo zijn in 1997 in Kyoto internationale afspraken gemaakt om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen, het Kyoto Protocol. Voor Nederland betekent dit dat tussen 2008 en 2012 de uitstoot van CO<sub>2</sub> zes procent lager moet zijn dan in 1990. Om de Kyoto-doelstelling voor elektriciteit alleen met behulp van zonnestroom te halen zou Nederland een gebied ter grootte van Schiphol vol moeten leggen met zonnepanelen.

Naast doelstellingen voor broeikasgassen heeft de Nederlandse overheid specifieke doelstellingen voor energiebesparing en duurzame energie. Het regeringsprogramma Schoon en Zuinig formuleert deze doelen als volgt:

- De uitstoot van broeikasgassen, met name CO<sub>2</sub> is in 2020 dertig procent minder dan in 1990.
  - Het tempo van energiebesparing verdubbelt de komende jaren van één procent nu naar twee procent per jaar.
  - In 2020 is het aandeel duurzame energie verhoogd van ongeveer twee procent naar twintig procent van het totale energieverbruik.
- Zonnestroom biedt vooral op de lange termijn goede mogelijkheden: de kostprijs zal sterk dalen door innovaties en schaalvergroting. Het Nederlandse beleid van nu is gericht op deze innovaties.

Om het energiebeleid kracht bij te zetten eist de overheid sinds 2006 een energieprestatiecoëfficiënt (EPC) voor nieuwbouwwoningen van 0,8. De energieprestatiecoëfficiënt van een gebouw is een maat voor de energetische kwaliteit van een gebouw: hoe lager de EPC, hoe energiezuiniger de woning of het gebouw.

Zonnestroom is een goede manier om duurzame energie toe te passen in de gebouwde omgeving en levert een belangrijke bijdrage aan het halen van deze EPC-eis. Voor bestaande gebouwen is er sinds 2008 het energielabel. Dit label drukt de energetische kwaliteit van een gebouw uit in de energie-index (EI). Het label vloeit voort uit de Europese richtlijn Energieprestatie van gebouwen (EPBD). Bij de berekening van de energie-index wordt ook rekening gehouden met de aanwezigheid van een zonnestroomsysteem. Kopers of huurders kunnen het energielabel meenemen bij hun afweging om een gebouw wel of niet te kopen of te huren. Het label laat immers direct zien of het gebouw meer of minder energiezuinig is ten opzichte van andere gebouwen.

Naast het energielabel regelt en stimuleert de overheid de markt voor zonnestroom met tal van andere middelen, zoals het vergunningenbeleid (zie hoofdstuk 2), bouwnormen (hoofdstuk 4) en subsidies (hoofdstuk 9).



Kantoor WNF, Zeist. Naast veel energiemaatregelen zijn er zonnepanelen op het dak geplaatst.

## De techniek van zonnestroom-systemen

Zonnepanelen zetten zonlicht direct om in elektriciteit ('zonnestroom'). Dit proces heet het fotovoltaïsch effect. De officiële benaming voor zonnestroomtechnologie is kortweg PV, van het Engelse photovoltaic.

Zonnestroom wordt opgewekt door zonnecellen, die tezamen een zonnepaneel vormen. Elke zonnecel is opgebouwd uit flinterdunne laagjes halfgeleidend materiaal waartussen – onder invloed van zonlicht – een spanningsverschil ontstaat. Een standaard paneel heeft een vermogen van circa 150 tot 200 Watt bij volle zon. Dit vermogen wordt ook wel 'piekvermogen' genoemd, met als eenheid 'watt piek' (Wp). Het grootste deel van de tijd levert een zonnepaneel minder omdat de zon niet altijd zo sterk schijnt. Een omvormer zet de stroom uit het paneel om in wisselstroom en levert deze vervolgens aan het elektriciteitsnet. We spreken dan over een 'netgekoppeld' zonnestroomsysteem. Een netgekoppeld zonnepaneel van 100 Wp kan in Nederland jaarlijks zo'n 80 kWh zonnestroom leveren. Wordt de opbrengst niet aan het net geleverd maar opgeslagen in bijvoorbeeld een accu, dan is er sprake van een 'autonoom' zonnestroomsysteem.

**De Werking Van Een Zonnecel**

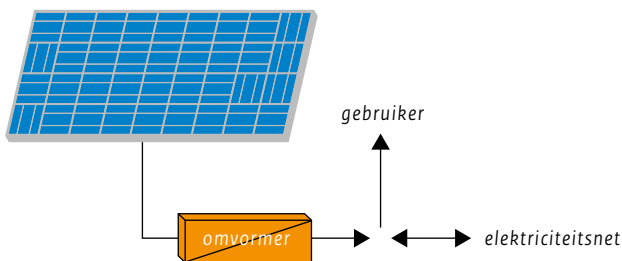
De zonnecel is het hart van het zonnestroom- of PV-systeem. Als zonlicht invalt in de cel, staat een lichtdeeltje (foton) zijn energie af aan een negatief geladen deeltje (elektron) uit het materiaal van de zonnecel, dat hierdoor losraakt en zich vrij gaat bewegen. Een in het materiaal aangebracht elektrisch veld (de zogenaamde p-n overgang) trekt de elektronen naar de voorzijde van de zonnecel. De elektronen laten een positief geladen materiaal met lege plaatsen (gaten) achter. De achterzijde van de zonnecel is daardoor positief geladen. Wanneer de voor- en achterzijde van de zonnecel buitenom met elkaar worden verbonden, gaat een elektrische stroom lopen. Zo levert de cel energie aan een accu, een pomp of het elektriciteitsnet.

Een zonnestroomsysteem bestaat vaak uit meerdere zonnepanelen, die met behulp van kabels aan elkaar gekoppeld zijn. Deze kabels worden door een gat in het dakbeschot of in de muur van de woning gebracht waar ze naar de omvormer worden geleid. Van de omvormer loopt een kabel naar een aparte groep in de meterkast. Ondersteuningsconstructies of bevestigingsprofielen zorgen voor een juiste positionering en bevestiging van het zonnestroomsysteem op of aan een gebouw. In nieuwbouwsituaties worden vaak voldaksystemen toegepast, waar panelen in plaats van dakbedekking worden gebruikt. Onder de panelen wordt dan een waterdichte folie aangebracht.

### Zonnecellen

Een zonnecel wordt gemaakt van een halfgeleidermateriaal dat elektriciteit levert zodra er licht op valt. Voor de huidige zonnecellen is silicium het meest gebruikte halfgeleidermateriaal. Daarmee kunnen drie typen zonnecellen gemaakt worden:

- **Monokristallijn** silicium (sc-Si) is een egaal antracietkleurig of zeer donkerblauw materiaal. De zonnecellen worden gezaagd uit een blok silicium bestaande uit één groot kristal. Het formaat van de afzonderlijke, meestal vierkante cellen varieert van 12,5 x 12,5 cm tot 15 x 15 cm. Ook ronde cellen zijn leverbaar. Gemiddeld wordt 15 -17% van het zonlicht omgezet in elektriciteit, de rest in warmte.



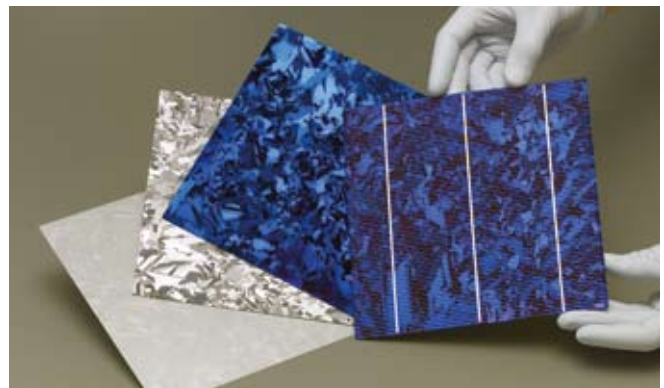
Schema van een netgekoppeld zonnestroomsysteem

- **Multikristallijn** silicium (mc-Si) is het meest toegepaste materiaal voor zonnecellen. De kleur is blauw, in rijke schakeringen omdat het blok silicium in dit geval bestaat uit meerdere kristallen. De cellen zijn 12,5 x 12,5 cm tot 15 x 15 cm groot. Het rendement voor omzetting van het zonlicht in elektriciteit is ongeveer 14 – 16%.
- **Amorf silicium** (a-Si) wordt niet zoals beide voorgaande kristallijne materialen uit een blok silicium gezaagd, maar in een zeer dunne laag op een dragermateriaal aangebracht. Deze techniek maakt in principe alle vormen en afmetingen mogelijk. Amorf silicium zonnecellen zijn bruin tot zwart. Het rendement bij installatie ligt op ongeveer 8%. In het begin vermindert dit rendement om uiteindelijk te stabiliseren op zo'n 6-7%.

Amorf silicium zonnepanelen zijn ook als flexibele zonnepanelen verkrijgbaar. Naast silicium worden ook andere halfgeleidermaterialen, zoals de verbindingen koper-indium-diselenide (CIS) of cadmium-telluride (CdTe), gebruikt in commercieel verkrijgbare zonnepanelen.

Zonnecellen van deze materialen en de amorf silicium zonnecellen zijn dunne-laag zonnecellen, ook wel *thin film* genoemd.

Ook wordt gewerkt aan de ontwikkeling van zonnecellen op basis van polymeren (plastic) en organische materialen. De verwachting is dat de dunne-laag zonnecellen voor een forse prijsdaling van zonnecellen kunnen zorgen. Dit komt door de productietechniek van deze cellen.



Verschillende stadia van productie van zonnecellen van multikristallijn silicium

### Zonnepanelen

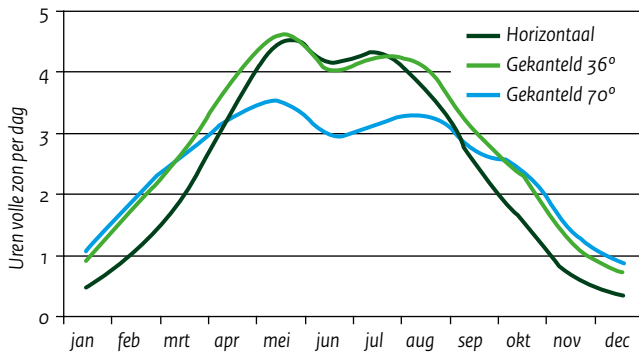
In zonnepanelen zijn de daarin opgenomen zonnecellen, elk met een spanning van ongeveer 0,5 volt, in serie geschakeld zodat een bruikbare spanning kan worden bereikt, bijvoorbeeld 12 of 24 volt. Ter bescherming zijn de panelen ingeklemd tussen glazen of kunststof platen, die aan de bovenkant transparant zijn. De afdeklaag aan de achterzijde kan zowel doorzichtig als ondoorzichtig zijn. Gemiddeld hebben zonnepanelen een oppervlak van circa één vierkante meter en een dikte van 5 tot 8 mm. Aan de achterzijde van het paneel bevindt zich meestal een aansluitdoos om panelen onderling te koppelen, met een verbinding naar de omvormer.

### Omvormers

Omvormers dienen voor het omzetten van gelijkstroom (DC) uit de zonnepanelen in wisselstroom (AC), waarop de meeste huishoudelijke apparaten werken. Netgekoppelde omvormers worden geactiveerd door het elektriciteitsnet en daarom werken ze pas als ze daadwerkelijk aangesloten zijn op het net. Alle netgekoppelde omvormers zijn uitgerust met een Maximum Power Point (MPP) tracker. Dit is een regelsysteem dat de spanning van het zonnestroomsysteem zodanig instelt dat het systeem het maximaal haalbare vermogen levert.



# Opbrengst zonnestroomsystemen



De opbrengst van het zonnestroomsysteem hangt af van de hoeveelheid zonneschijn. De oriëntatie en hellingshoek van het systeem bepalen of sprake is van maximale zonninstraling. Deze zonninstraling wordt uitgedrukt in het aantal uren volle zon ofwel het aantal kWh per vierkante meter.

Een optimaal opgesteld zonnepaneel (voor Nederland: hellingshoek 36°; oriëntatie zuid, 5° naar het westen) ontvangt ruim 1100 uren volle zon per jaar. Dit is gelijk aan 1100 kWh/m<sup>2</sup>.

Een eenvoudige regel voor het berekenen van de jaarlijkse energieopbrengst van een zonnestroomsysteem is:  
Opbrengst (kWh) = Uren volle zon x Piekvermogen panelen (kWp) x Opbrengstfactor

Een optimaal geplaatst systeem van 1 kWp en een opbrengstfactor van bijvoorbeeld 0,73 levert dus per jaar  $1100 \times 1 \times 0,73 = 800$  kWh zonnestroom.

## Nederland versus Zuid-Europa

De opbrengst aan zonnestroom is in Nederland niet vele malen lager dan in Zuid-Europa en Noord-Afrika. De opbrengst verschilt een factor twee. In Nederland hebben we bovendien veel meer diffuus (uit alle richtingen komend) licht en dat biedt meer mogelijkheden om zonnepanelen te plaatsen. De verliezen door niet optimale zuidoriëntatie zijn daardoor in Nederland kleiner.

# Van theoretisch naar werkelijk rendement

Zonnecellen zetten hoofdzakelijk zichtbaar licht om in elektriciteit. Een groot deel van de zonne-energie bereikt de aarde echter in de vorm van infrarood licht (IR) en ultraviolette straling (UV). Voor die delen van het zonnenspectrum zijn de huidige typen zonnecellen niet gevoelig. Het theoretisch maximale rendement van siliciumcellen is 30%. Met een 'rendement' van 30% wordt het volgende bedoeld: als er op een bepaald moment een hoeveelheid licht ('instraling') van 1000 W op 1 m<sup>2</sup> zonnecellen valt, dan leveren deze cellen samen een elektrisch vermogen van  $0,3 \times 1000 = 300$  W. Technische onvolkomenheden in het materiaal verlagen dit momenteel nog tot ongeveer 15%. Naar verwachting zullen verbeterde productieprocessen het rendement in de loop der jaren tot 22 à 25% laten stijgen. Hoogefficiënte zonnecellen kunnen worden gemaakt door halfgeleiders met een verschillende spectrale gevoeligheid te stapelen. Op deze manier worden rendementen boven de 30% behaald.

Bepaling van het feitelijke rendement van zonnepanelen gebeurt onder Standaard Test Condities (STC). Dat betekent een instraling van 1000 W/m<sup>2</sup> (stralend blauwe hemel in juni) bij een zonneceltemperatuur van 25°C. Het vermogen dat een bepaald paneel onder deze omstandigheden levert, is het zogenoemde piekvermogen, uitgedrukt in wattpiek (Wp). Bijvoorbeeld: een zonnepaneel met een celoppervlak van 1 m<sup>2</sup> en een rendement van 15%, heeft een piekvermogen van  $0,15 \times 1000 = 150$  Wp.

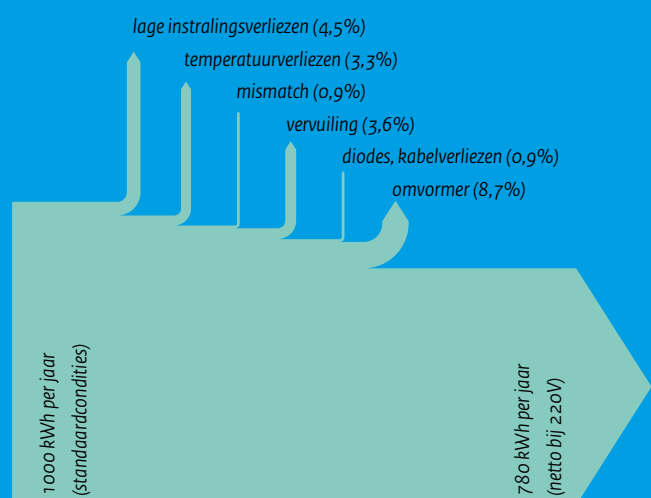
In de praktijk reduceren verschillende interne en externe verliesfactoren het rendement. De belangrijkste verliesfactor is de omvormer. Deze zet circa 90% tot 97% van de gelijkstroom om in wisselstroom. De rest van de energie gaat als warmte verloren.

Reflecties beïnvloeden het rendement van zonnepanelen nadelig omdat zonlicht verloren gaat en worden veroorzaakt doordat de zon meestal niet loodrecht op de panelen staat.

Een ander effect dat optreedt is mismatch. Wanneer een klein deel van de panelen beschaduwd wordt of minder licht ontvangen door vervuiling of een andere oriëntatie zullen de panelen die hiermee verbonden zijn minder elektriciteit produceren. Dit heeft echter ook een effect op de rest van de panelen die niet beschaduwd zijn. Gezamenlijk zullen deze panelen minder elektriciteit produceren dan de som van de productie van de individuele panelen. Dit komt door de regeling van het systeem.

Tenslotte zal bij hoge instraling de temperatuur van zonnecellen oplopen. Een hogere celtemperatuur heeft een nadelige invloed op het rendement van met name zonnecellen van kristallijn silicium. Een 10% hogere temperatuur reduceert de opbrengst van kristallijn silicium cellen met 5%.

Deze verliesfactoren tezamen verklaren waarom het werkelijke rendement van een zonnestroomsysteem ongeveer 20 tot 30% lager ligt dan het STC-rendement van zonnepanelen. De verhouding tussen het werkelijke rendement en het STC-rendement resulteert in de 'opbrengstfactor' ofwel performance ratio (PR). Voor een netgekoppeld systeem ligt deze factor dus tussen de 0,70 en 0,80. In een zonnestroomsysteem met een opbrengstfactor van 0,80 bijvoorbeeld, levert elk paneel met een piekvermogen van 150 Wp in feite slechts  $0,80 \times 150 = 120$  W (bij een instraling van 1000 W/m<sup>2</sup>).



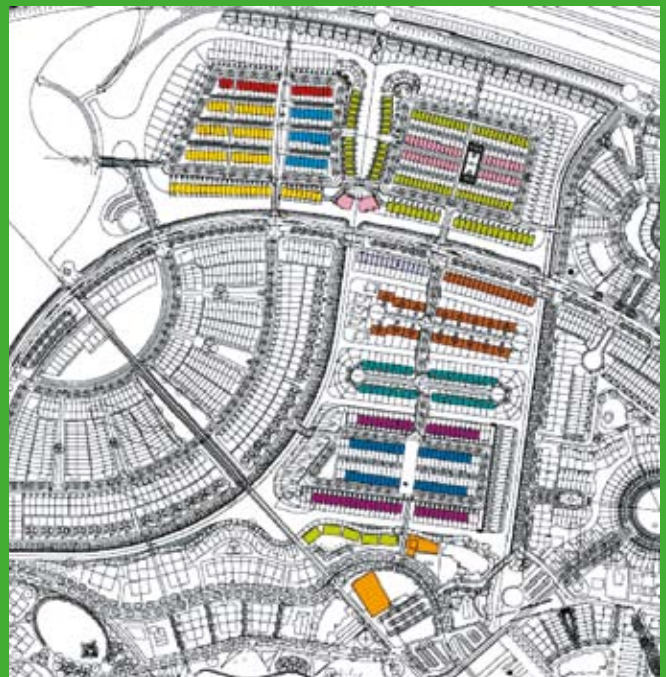
Opbrengst- en verliesfactoren van een netgekoppeld zonnestroomsysteem per kWp bij een instraling van 1000 kWh/m<sup>2</sup> per jaar

## 2 Planfase

De toepassing van een relatief jonge techniek als zonnestroom vraagt in alle fasen van het bouwproces om aparte aandacht. In de planfase wordt de basis gelegd voor de totstandkoming van zonnestroom-systemen. Voor een succesvol resultaat moet zonnestroom al in deze fase worden meegenomen. Zelfs als zonnestroom niet wordt meegenomen in het bouwplan, is het van belang in de planfase rekening te houden met toekomstige ontwikkelingen. Zo kan zonnestroom later goed toegepast worden.



Nieuwland, Amersfoort



Plattegrond Nieuwland 1 MW

# Ruimtelijke ordening in Nederland

Elk bouwproject in Nederland valt binnen de Wet op de Ruimtelijke Ordening. Hierin staat op welke manier we in Nederland omgaan met onze leefruimte. Deze wet verplicht het rijk, provincies en gemeenten om plannen op te stellen die de inrichting van de ruimte aangeven.

## Structuurplan

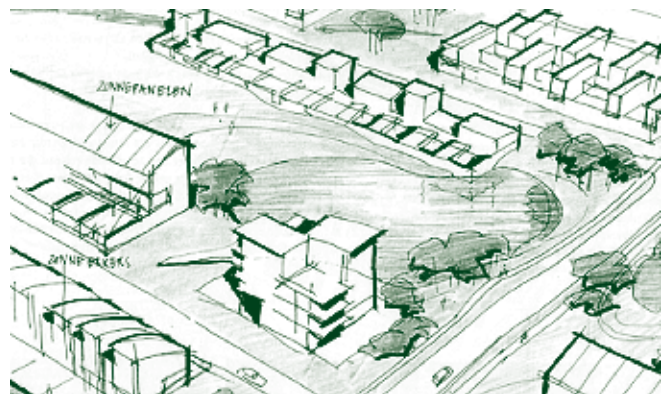
De rijksoverheid en provincie stellen structuur- of streekplannen op. Deze plannen geven in grote lijnen de inrichting en bestemming van de ruimte in Nederland aan. De Rijksoverheid doet dit in de vorm van 'planologische kernbeslissingen': uitgangspunten voor de inrichting van de ruimte. De overheid bepaalt bijvoorbeeld waar in de toekomst nog grote nieuwbouwalocaties mogen komen. Bekende voorbeelden zijn de Vinex-locaties die vernoemd zijn naar de Vierde Nota Ruimtelijke Ordening Extra uit 1993.

## Bestemmingsplan

De gemeenten in Nederland stellen bestemmingsplannen op. Hierin wordt aangegeven wat de bestemming is van bepaalde gebieden en wat de regels zijn voor de bebouwing van bebouwde gebieden (Bebouwingsvoorschriften). Bestemmingsplannen zijn bij uitstek geschikt voor gemeenten om duurzame energie te stimuleren: al bij de totstandkoming van het bestemmingsplan moeten de duurzaamheidsthema's ingevuld worden. Bestemmingsplannen regelen wat wel en niet mag bij de inrichting van een nieuw gebied. Een voorbeeld met betrekking tot zonne-energie: bij de opstelling van het plan dient vastgelegd te worden dat er in het bebouwde areaal recht is op onbelemmerde toetreding van zonlicht.

## Stedenbouwkundig plan

Het stedenbouwkundig plan stelt eisen aan de situering, dakhelling, goot- en nokhoogte van woningen en woongebouwen. Ook de toekomstige groenvoorziening maakt deel uit van het plan. Stedenbouwkundige plannen schetsen vaak een gewenst sfeerbeeld. Aan de basis van het stedenbouwkundig plan ligt vaak een stedenbouwkundig Programma van Eisen. Het stedenbouwkundig plan legt de typologie van de woningen, de kavelgrootte en -ligging, de stichtingskosten en afspraken over de grondprijs vast. Reeds bij de bepaling van de typologie van de woningen kan het toepassen van zonnestroom worden voorgesteld of kan gekozen worden voor typologieën die toepassing in een later stadium eenvoudiger maken: woningen met een plat dak of een lessenaardak op het zuiden. Bij het vastleggen van de gewenste stichtingskosten en grondprijs moet rekening gehouden worden met de meerkosten van het zonnestroomsysteem, die doorwerken in de verkoopprijs van de woning (vrij-op-naam). De gemeente kan er echter vanaf zien om de kosten van duurzame energiesystemen mee te nemen in de bepaling van de grondprijs. Bij het opstellen van dit plan is overleg met de welstandcommissie over de toepassing van zonnestroomsystemen nuttig. Meestal is voor het plaatsen van zonnepanelen in de bestaande bouw geen bouwvergunning nodig, want zonnepanelen vallen onder de vergunningvrije bouwwerken (krachtens de Algemene maatregel van bestuur bij de Woningwet 2003). De belangrijkste voorwaarden zijn dat de zonnepanelen binnen het vlak van het dak vallen en in het dakvlak liggen of dezelfde hellingshoek hebben als het dak. Meer informatie is te vinden op de website van het ministerie van VROM: [www.vrom.nl/bouwvergunningen\\_online](http://www.vrom.nl/bouwvergunningen_online)





Het 1 MegaWatt-project in de Amersfoortse wijk Nieuwland, ontwikkeld door toenmalig energiebedrijf REMU (nu ENECO Energie), is van internationale allure. Het project omvat vijfhonderd woningen, vooral eengezinswoningen met platte en hellende daken. Maar ook een appartementengebouw met een zonnegevel en zonwering met zonnecellen, een sporthal, enkele scholen en een kinderdagverblijf. Het project, dat in 2001 afgerond is, wekt nog steeds belangstelling van geïnteresseerden uit binnen- en buitenland. Vooral zonnestroomdeskundigen, stedenbouwkundigen en architecten hebben interesse, maar ook projectontwikkelaars, bestuurders, bouwers en energiebedrijven.

### Stedenbouwkundige inpassing

Bij grootschalige toepassing van zonnestroom in nieuwbouwprojecten is het raadzaam een multidisciplinair projectteam samen te stellen dat geleid wordt door de gemeente. Dit team kan de randvoorwaarden voor de toepassing van zonnestroom bespreken en definitieve afspraken maken over de toepassing van zonnestroom. Zo worden de specifieke aspecten van zonnestroom vroegtijdig in de bouwvoorbereiding en -uitvoering opgenomen. Het projectteam kan bestaan uit:

- vertegenwoordigers van de gemeente (stedenbouwkundige, grondbedrijf, bouw- en woningtoezicht)
- ontwikkelaars / opdrachtgevers
- architecten
- energiebedrijf
- externe adviseurs

De samenstelling van het team wisselt gedurende het project, al naar gelang de gewenste expertise.

### Planning renovatieprojecten

De Nederlandse woningvoorraad is voor een flink deel eigendom van woningcorporaties. Deze corporaties beheren hun woningen steeds vaker volgens een strategisch voorraadbeleid. Hierin spelen ze in op de woningvraag en -marktontwikkelingen. In deze langetermijnplanning nemen de corporaties de toepassing van zonne-energiesystemen mee en bereiden deze voor. Het zijn meestal de corporaties zelf die renovatieprojecten uitvoeren.

Zonne-energiesystemen als onderdeel van het verduurzamen van de woningvoorraad is dan een goede optie. Een goed voorbeeld is corporatie De Woonmensen uit Apeldoorn, die in de wijken Sluisoord en De Mheen de daken van 364 woningen heeft voorzien van zonnepanelen, met een gezamenlijk vermogen van 1 MWp.



'Stad van de Zon', Heerhugowaard



Gereneeerde woningen in Apeldoorn van woningcorporatie de Woonmensen

Twee voorbeelden van grootschalige toepassing van zonnestroom in Nederland in nieuwe woongebieden zijn het '1 Megawatt-project' in de wijk Nieuwland in Amersfoort en de 'Stad van de Zon' op de HAL-locatie (Heerhugowaard, Alkmaar, Langedijk).

In de wijk Nieuwland hebben ruim vijfhonderd woningen een zonnestroomsysteem. Een groot gedeelte hiervan heeft een dakgeïntegreerd zonnestroomsysteem. Het totale elektrische vermogen van de zonnestroomsystemen is 1,3 MWp (megawatt-piek).

In de Stad van de Zon worden op diverse nieuwbouwlocaties enkele duizenden woningen met een gezamenlijk zonnestroomvermogen van circa 5 MWp gebouwd.

## Betrokken partijen

Bij de realisatie van zonnestroomsystemen in een bouwproject kan een groot aantal partijen betrokken zijn, elk met een eigen belang en een eigen rol in de totstandkoming van zonnestroom. Deze paragraaf gaat in op de mogelijke rolverdeling van die betrokken partijen.

### Gemeenten, provincies

Gemeenten kunnen, net als bij zonneboilerprojecten, een belangrijke rol spelen bij het stimuleren van zonnestroomsystemen in bouwprojecten. Met een gemeentelijk duurzaam energiebeleid scheppen ze een belangrijke voorwaarde en het noodzakelijke politieke draagvlak voor 'lokaal klimaatbeleid'. Agentschap NL voert het klimaatbeleidsprogramma voor gemeenten uit. Middels de 'menukaart'-systematiek kunnen gemeenten een ambitieniveau kiezen en de daarbij behorende maatregelen uitvoeren. Een gemeente kan gunstige randvoorwaarden creëren voor de toepassing van duurzame energie binnen haar grondgebied. De volgende beleidsterreinen spelen daarin een rol:

- Financiën/grondzaken: bij gronduitgifte kan duurzaam bouwen gestimuleerd worden, bijvoorbeeld door bij betere prestatie een prijsverlaging in het vooruitzicht te stellen of de duurzame energiesystemen niet mee te tellen in de bepaling van de grondprijs.
- Milieubeleid: de doelstelling op bouwlocatieniveau kan geformuleerd worden in termen van CO<sub>2</sub>-reductie en/of energieprestatie op locatie (EPL).

- Ruimtelijke ordening: aandacht is nodig voor onder meer zongericht verkavelen.
- Bouwen en wonen: de gemeente kan in het bouwbeleid een lagere EPC eisen dan de geldende norm van 0,8. Ook kan de gemeente een bepaald aandeel duurzame energie nastreven, bijvoorbeeld in aantallen zonnestroomsystemen in de nieuwbouw en bestaande bouw.

### Opdrachtgevers

Gestimuleerd door het gemeentelijk beleid of op eigen initiatief, kunnen opdrachtgevers beslissen of ze zonne-energie toepassen. Twee belangrijke opdrachtgevers zijn projectontwikkelaars en woningcorporaties. De corporaties zijn zowel in nieuwbouwprojecten als bij renovatieprojecten belangrijk. Kopers zijn vaak enthousiast over zonnepanelen. Dit blijkt bijvoorbeeld uit de sociale monitoring van het 1 Megawatt-project in Amersfoort.

### Architecten

Architecten kunnen zelfstandig een belangrijke rol spelen bij het promoten en daadwerkelijk toepassen van zonnestroom in

gebouwen. Door zonnepanelen te gebruiken als architectonisch element en te integreren in het ontwerp, kan een architect een opdrachtgever stimuleren zonnestroom toe te passen. Het is aan te raden om woningen zo te ontwerpen dat ze in de toekomst geschikt zijn om actieve zonne-energie toe te passen. Informatie over onder meer architectuur met zonnestroom staat op de website van het Internationale Energie Agentschap (IEA): [www.iea-pvps.org](http://www.iea-pvps.org). De site bevat ook een verwijzing naar een database van meer dan vierhonderd zonnestroomprojecten en –producten over de gehele wereld ([www.pvdatabase.com](http://www.pvdatabase.com)). Nederlandse projecten die binnen Agentschap NL programma's zijn gerealiseerd, vindt u op de website van Agentschap NL.

### Aannemers

Ook aannemers kunnen opdrachtgevers stimuleren om een zonnestroomsysteem te plaatsen. Aannemers kunnen bijvoorbeeld met een installateur en/of een dakdekker afspraken maken en hun service standaard of als meerwerk in een totaalpakket aanbieden. In de nieuwbouwwijk Nijrees (Almelo), bijvoorbeeld, biedt de aannemer zonnestroomsystemen als meerwerk aan.

Zonnewoningen in Langedijk, HAL-locatie



# Ervaringen uit nieuwland en stad van de zon: lessons learned

Het project Nieuwland te Amersfoort en Stad van de Zon in Heerhugowaard, Alkmaar en Langedijk zijn twee grootschalige zonnestroomprojecten in Nederland. In de tijd dat deze projecten gerealiseerd werden waren dit grote experimenten, nu zijn er lessen te uit te leren voor nieuwe projecten.

De projectontwikkelaar van Stad van de Zon heeft lessen getrokken uit het project Nieuwland. De lessons learned zijn:

## **Bij het planologisch ontwerp dient de verkaveling rekening te houden met de gewenste zuidelijke oriëntatie van de PV-systemen.**

Bij het planologisch ontwerp moeten de daken van de woningen zuidelijk georiënteerd kadastraal ingepast worden om een maximale prestatie van de PV-systemen mogelijk te maken. Er is een geringe afname in opbrengst acceptabel, zodat verkaveling ook in zuid-west en zuid-oost mogelijkheden biedt.

## **De PV-systemen hebben de hoogste opbrengst als ze op het zuiden zijn gericht onder een hoek van 35 graden.**

Uit eerder onderzoek is gebleken dat deze hoek voor Nederland op jaarbasis de hoogste opbrengst biedt. De zogenaamde instralingsschijf is hierop gebaseerd.

## **Dakgeïntegreerde PV-systemen dienen voldoende koeling te hebben.**

Hoe warmer de PV-systemen worden, hoe lager het rendement zal zijn. Koeling van de systemen is belangrijk. Door het verzekeren van een ruimte van 5 centimeter tussen de dakbedekking en de PV-systemen bij woningen in Stad van de Zon is de koeling van de PV-systemen door natuurlijke ventilatie (wind) het best geregeld. Het leidt tot geringere opbrengstverliezen dan zonder ruimte tussen dakbedekking en PV-systeem.

## **Notarieel dient vastgelegd te worden dat uitbouw of beplanting die schaduw kan geven op omliggende PV-systemen niet toegestaan is.**

Beschaduwning zorgt ervoor dat er minder zonlicht op de PV-systemen valt. Dit heeft als resultaat dat de opbrengst van PV-systemen daalt. In Nieuwland zijn er woningen waarop een uitbouw (bijvoorbeeld dakopbouw) is geplaatst. Hierdoor is schaduwval op naastgelegen PV-systemen ontstaan. Bij Stad van de Zon is notarieel vastgelegd dat een uitbouw op de woningen niet toegestaan is.

## **Bij een systeemverandering dient met de daaruit voortvloeiende nieuwe systeemp parameters opnieuw de opbrengstfactor bepaald te worden.**

Een dakopbouw leidt tot een verlaging van energieopbrengst, hetgeen schijnbaar leidt tot een slechtere prestatie van het PV-systeem. Bij een systeemverandering moet daarom de opbrengstfactor, ook wel performance ratio (PR) genoemd, opnieuw worden bepaald, met nieuwe systeemp parameters. Bij schaduwval verlaagt de opbrengst, maar door te rekenen met de verminderde zonne-instraling wordt de juiste opbrengstfactor bepaald. Op deze wijze wordt duidelijk, met uitsluitel van externe factoren als schaduwval, of het systeem naar verwachting presteert.

## **Gebruik per zonnestroomsysteem slechts één inverter.**

Omvormers met een capaciteit van 1 kW of hoger hebben doorgaans een beter rendement dan kleinere.

## **Zonne-instralingsgegevens op locatie zijn nodig om de prestaties van de systemen te kunnen bepalen.**

Met behulp van zonne-instralingsgegevens is het mogelijk de opbrengstfactor van de systemen te bepalen. Dit maakt het mogelijk onderscheid te maken in slecht functioneren van het systeem of ongunstige zonne-instraling.



### Energiebedrijven

Energiebedrijven hebben een belangrijke rol met betrekking tot zonne-energie: ze hebben de kennis in huis en zijn leverancier van energie aan gebruikers. Doordat de energiemarkt liberaliseert, breiden ze hun dienstenpakket uit met allerlei diensten. Zonne-energie is een interessante mogelijkheid voor klantenbinding.

### Toekomstige bewoners

Toekomstige eigenaren kunnen de wens uiten om een zonnestroomsysteem en andere duurzame-energieproducten in een woning toe te passen. Kopers krijgen steeds meer invloed op het ontwerp van de woning. Eén van de vormen waarop kopers invloed kunnen uitoefenen is via de kopersvereniging die meestal bij nieuwbouwprojecten wordt opgericht. Doel van zo'n vereniging is om gezamenlijk te overleggen met de ontwikkelaar en de gemeente over zaken als meer/minderwerk, de inrichting van de omgeving en bijvoorbeeld de omgevingskwaliteit (luchtvervuiling, geluidsoverlast). Ook over duurzaam bouwen en de toepassing van duurzame energie kan een kopersvereniging overleggen met de gemeente en de

projectontwikkelaar en proberen een zo gunstig mogelijke regeling te treffen. Het is raadzaam erop aan te dringen dat ontwerpen rekening houden met wijzigingen die een bewoner in een later stadium aan de woning wil aanbrengen, bijvoorbeeld een dakuitbreiding. Kleine systemen van enkele panelen kunnen dan altijd nog achteraf aangebracht worden.

De kosten voor een zonnestroomsysteem kunnen onderdeel zijn van een (fiscaal aftrekbare) hypotheek, omdat de belastingdienst het als een maatregel ter verbetering van de woning aanmerkt. De rol van huurders en huurdersorganisaties bij het tot stand komen van zonnestroomprojecten is slechts beperkt. Wel is het zaak dat zij uiteindelijk tevreden zijn over hun woning en hun zonnestroomsysteem. Indien mogelijk moeten aanstaande huurders in een vroeg stadium betrokken worden bij het ontwerp.

*Zonnepanelen, geïntegreerd tussen de pannen, in combinatie met zonnecollector (Almelo)*





## Hadi Akbari market manager zonne-energie ENECO Energie

“Mijn belangrijkste les is, dat de betrokkenheid van de lokale overheid, de gemeente, dé succesfactor is bij nieuwbouw. De financiële middelen kunnen worden geleverd door allerlei partijen: energiebedrijf, projectontwikkelaar, landelijke overheid. Maar niemand heeft de bestuurlijke middelen, alleen de gemeente, om eisen te kunnen stellen aan het opnemen van zonnepanelen in een nieuwbouw woningproject.

### “Commitment van de gemeente is bepalend”

In het geval van Wateringseveld heeft de gemeente Den Haag duidelijke eisen gesteld en afspraken afgedwongen met de projectontwikkelaar, de bouwer en ons. Dat heeft geresulteerd in zo’n 1000 systemen van 4 m<sup>2</sup>. Maar soms heeft zelfs de gemeente die middelen niet, bijvoorbeeld als de grond niet haar eigendom is. Die ervaring hebben we opgedaan in Nesseland, in Rotterdam. De gemeente wilde wel, in het kader van de eigen ‘Actie Zonnestroom’, maar omdat de projectontwikkelaar de grond al gedeeltelijk in eigendom had, kon die een verplichting voor zonnepanelen tegenhouden. Zonnepanelen werden bij de verkoop van dat project opgenomen als standaard meerwerk, maar dat werkt dus niet. Mensen moeten dan kiezen tussen een luxe badkamer of zonnepanelen.

De ambities van een gemeente zijn vaak afhankelijk van het enthousiasme van de zittende wethouder. De verantwoordelijke wethouder in Den Haag ging er gelukkig voor. Als energiebedrijf hebben we daar weinig invloed op. De relatie tussen gemeente en energiebedrijf wordt ook wel steeds lastiger. We worden nu gezien als dat commerciële bedrijf, en dat zijn we nu ook wel. Maar op hoog bestuurlijk niveau is nog wel wat mogelijk.”

#### Woningen Wateringseveld, Den Haag

Aantal woningen/ luifels/ systemen	1000
Vermogen per woning/ luifel	ca. 0,4 kWp
Oppervlakte per woning/ luifel	4-5 m <sup>2</sup>
Bevestigingstechniek	Alcoa profielen
Subsidieverstrekkers	Agentschap NL, ENECO Energie
Opdrachtgever	ENECO Energie
Aannemer	diverse
Architect	diverse
Leverancier	ENECO Energie
Installateur	ENECO Energie
Projectbegeleiding	ENECO Energie

# 3 Architectonische en bouwkundige integratie

Het ontwerp van een zonnewoning moet zorgen voor een optimale 'vangst' van zo veel mogelijk zonlicht. Dit stelt eisen aan de vorm en oriëntatie van de woning. Er zijn vele voorbeelden van geslaagde architectonische oplossingen met zonnepanelen. Dit hoofdstuk gaat in op de mogelijkheden voor bouwkundige inpassing van zonnepanelen op gebouwen, met specifieke aandacht voor het zonnepaneel als bouwelement.

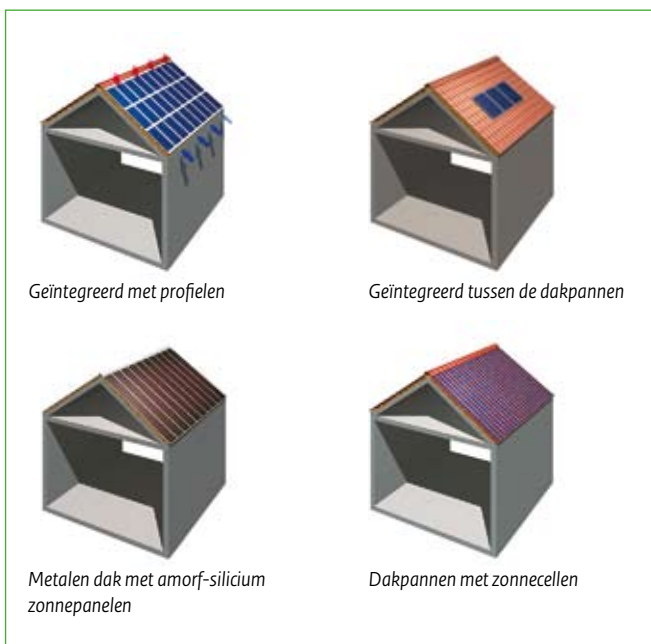


Doorzichtpanelen in de wijk Roomburg, Leiden



Detail van de panelen in Roomburg

# Integratie van zonnepanelen in architectuur



Het zonnepaneel als bouwelement heeft een beroep gedaan op de creativiteit van vele architecten. Diverse goede en fraaie oplossingen zijn het resultaat.

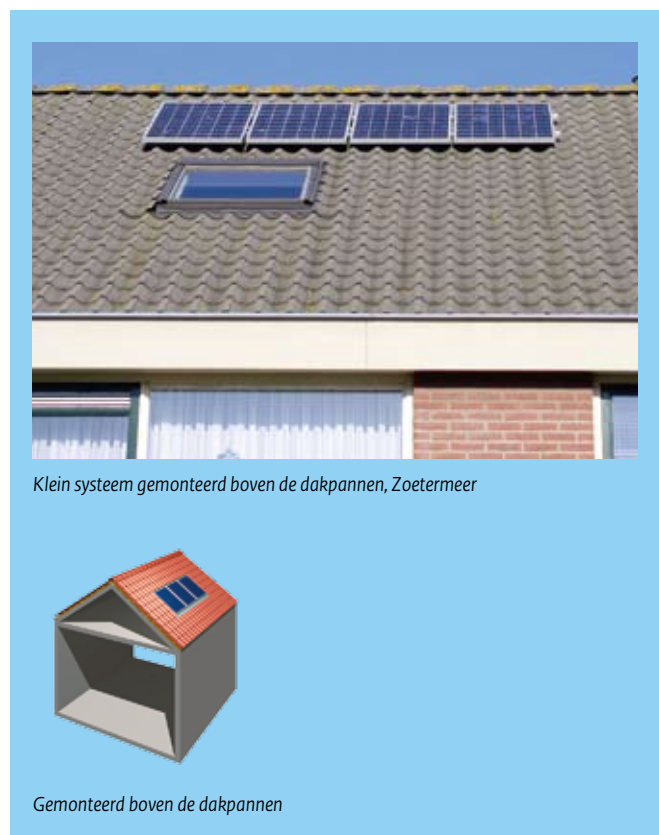
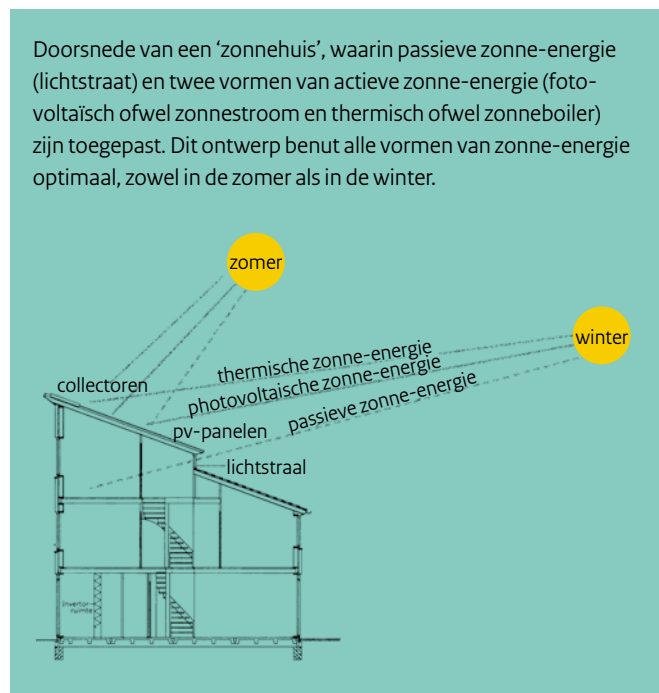
## Hellende daken

Hellende daken hebben hun sporen verdiend als drager van zonnepanelen. De volgende methoden staan de architect ter beschikking:

- integratie van laminaten of standaardpanelen in het dak met bevestigingsprofielen;
- dakpannen met geïntegreerde zonnecellen;
- beugel- en hulpstukmethoden voor het leggen van de panelen, meestal met frame, boven de dakpannen.

Het eenvoudigste ontwerp is het zonnestroomsysteem als een apart daksegment, los van de rest van het dak. Lessenaardaken, sheddaken, vrijliggende dakgedeelten en uit- of aanbouwen bieden dan de beste mogelijkheden.

Zonnepanelen zijn vanwege de maatvoering en esthetische aspecten soms moeilijk te combineren met traditionele dakpannen. Daarom wordt vaak gekozen voor een dak dat geheel met zonnepanelen is bedekt, of voor een combinatie van platte dakpannen met zonnepanelen die als dakpannen overlappen en qua maatvoering goed aansluiten.





Aparte zonnedaksegmenten: Langedijk Lagune



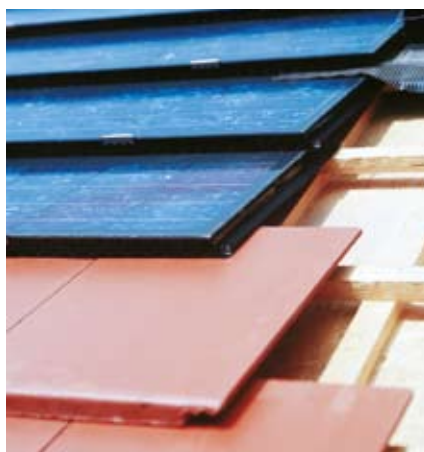
Etten-Leur EnergieEvenwichtWoningen



Nieuwland, Amersfoort: integratie in lessenaarsdaken



Barendrecht, Riederhoek: zonnepanelen worden als dakpannen gelegd.



Grijze zonnepanelen op een hellend dak, Breda

### Platte daken

Platte daken bieden goede mogelijkheden voor eenvoudige plaatsing van zonnepanelen. Het systeem beïnvloedt de architectuur niet of nauwelijks en de oriëntatie en hellingshoek zijn onafhankelijk van de situering van het gebouw of woningen. Wel moet de ontwerper rekening houden met voldoende draagvermogen van het dak.

Zonnepanelen op platte daken zijn vanaf de straat (vrijwel) niet te zien en stellen dus geen esthetische eisen aan het architectonisch ontwerp. Een tweede voordeel is dat de oriëntatie van de woning er niet toe doet: met de juiste ondersteuningsconstructie kun je de panelen op het platte dak optimaal op de zon richten.

Verschillende typen constructies kunnen de zonnepanelen ondersteunen, bijvoorbeeld lichtgewicht kunststof draagelementen: elk paneel is op een eigen element gemonteerd. Zo'n draagelement, dat niet aan het dak vast zit, wordt verzwaard met ballast zoals grind of tegels, om windbelasting te kunnen weerstaan.

Een tweede veel voorkomend type ondersteuningsconstructie is het metalen frame. Hierop worden meestal complete rijen panelen gemonteerd. De frames moeten gefixeerd worden aan de dakconstructie of verzwaard met ballast. Op een plat dak kunnen zonnepanelen ook (vrijwel) horizontaal geplaatst worden. Zo wordt het dakoppervlak maximaal benut. De energieopbrengst per paneel is dan wel minder dan maximaal. Bij voorkeur wordt een montagesysteem toegepast waarin panelen zonder frame passen, zodat vuil zich niet kan ophopen op de panelen.

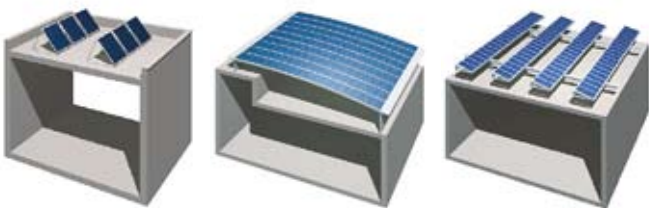
Grote platte daken bieden ook de mogelijkheid om flexibele dakbedekking met geïntegreerde (amorphe) modules toe te passen. Hoewel de opbrengst per vierkante meter lager is dan bij een vergelijkbaar oppervlak met kristallijnen modules, is dit zonnestroomsysteem eenvoudig aan te brengen.



Dak met flexibele dakbedekking en PV, Bleskensgraaf



Stad van de Zon, Heerhugowaard



Voorbeelden van architectonische oplossingen voor zonnepanelen in en op platte daken



Woongebouw met zonnepanelen aan de gevel (Nieuwland, Amersfoort)



Gevel van een productiehhal, Deurne



Glas-glasmodules in Stad van de Zon, Heerhugowaard

### Gevels

Gevels bieden goede vormvrijheid voor zonnepanelen. Een vliesgevel wordt bevestigd op het binnenspouwblad, de vloeren of de kolommen van een gebouw. Met doorzichtpanelen bereik je een bijzonder effect. Een nadeel is wel dat de gevel maximaal zeventig procent van de optimale instraling ontvangt.

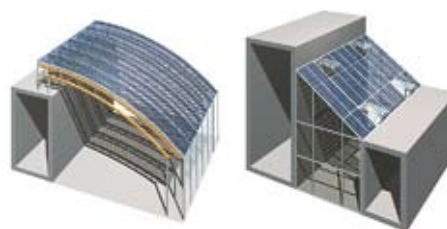
De utiliteitsbouw biedt veel betere kansen voor zonnestroom in gevels dan woningbouw, want woningen hebben een relatief gering oppervlak en een groter risico van beschaduwing.



Mogelijkheden van integratie van zonnepanelen in een gevel

### Atria

Atria of grote, glasoverkapte ruimtes (GGR) worden steeds vaker toegepast, vooral in de utiliteitsbouw. Het belangrijkste nadeel, oververhitting in de zomer, los je gedeeltelijk op door zonnepanelen op te nemen in het ontwerp. De architect kan kiezen tussen dichte en lichtdoorlatende zonnepanelen. Lichtdoorlatende of 'semi-transparante' zonnepanelen zijn er in verschillende mate van transparantie. Hierdoor kan voldoende licht toetreden en tegelijkertijd voorkom je oververhitting. Het is wel raadzaam om bij een atrium met een dergelijke uitstraling ook de bekabeling netjes weg te werken; hiervoor komen er overigens steeds meer standaardoplossingen. Zonnecellen van amorf silicium, die qua afmetingen flexibel zijn dan de bekende vierkanten cellen van kristallijn silicium, maken ook een egale vlakvulling mogelijk. Deze zonnepanelen kunnen bovendien semitransparant worden uitgevoerd.



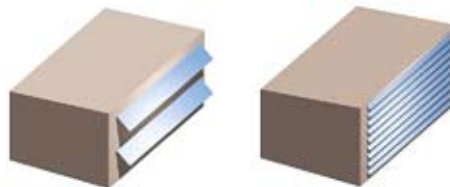
Integratie van lichtdoorlatende zonnepanelen in atria



Zonwering met zonnecellen (ECN, Petten)

### Zonwering

Buitenzonwering kan worden verzorgd met speciale zonnepanelen. De panelen kunnen vast aan de gevel gemonteerd worden of als beweegbare lamellen. Met een beweegbaar systeem kan de lichttoetreding geregeld worden door de lamellen in een andere stand te zetten. Dit heeft als nadeel dat de stroomopbrengst minder is. Ook bij zonwering met zonnecellen is het zo goed mogelijk wegwerken van de bekabeling een uitdaging voor de architect. Kabels moeten bovendien bestand zijn tegen weersinvloeden. Er zijn met name in de utiliteitsbouw vele geslaagde voorbeelden van zonnestroomsystemen als zonwering.



Zonwering met zonnecellen tegen gevels



Zonwering met zonnecellen (Adverium, Drachten)



Atrium met zonnecellen (De Kleine Aarde, Bostel)



Atrium met lichtdoorlatende zonnepanelen (ECN, Petten)



# Certificaat zonnewoningen

Een zonnewoning is een woning die comfortabel, energiezuinig en duurzaam is. Een woning met het Certificaat Zonnewoning voldoet aan een aantal heldere kwaliteitseisen die zijn opgesteld in een Programma van Eisen. Deze eisen voorzien in kwaliteit en duurzaamheid, zijn realistisch en goed haalbaar in de praktijk. Zonnewoningen kunnen worden gebouwd voor een marktconforme prijs. Zoals de naam al zegt maken zonnewoningen optimaal gebruik van zonne-energie. Dit kan zijn passieve zonne-energie of een actief (PV/zonneboiler) zonne-energiesysteem. Het Certificaat Zonnewoning is ontwikkeld in opdracht van Agentschap NL met ondersteuning van het Wereld Natuur Fonds.

## Eisen aan een zonnewoning

Hieronder is een beknopt overzicht van de eisen weergegeven.

- De woning is goed geïsoleerd en de EPC is maximaal gelijk aan 0,68 (15% lager dan het Bouwbesluit).
- Toepassing van minimaal twee van de vijf volgende vormen van duurzaam energie: zonneboiler, netgekoppeld PV, passieve zonne-energie, warmtepomp, biomassa.
- Toepassing van de Maatlat Dubo.
- Voldoende bouwkundige maatregelen om oververhitting in de zomerperiode te voorkomen.
- Optimaal gebruik van daglicht.
- Gebruik van FSC-gecertificeerd hout.
- Opstellen van een woninghandleiding.

De uitgebreide beschrijving van het programma van eisen voor het verkrijgen van het Certificaat Zonnewoning is beschreven in de 'Nationale beoordelingsrichtlijn voor het KOMO-inspectiecertificaat Zonnewoning', kort aangeduid als de 'BRL Zonnewoning'. Op de website [www.zonnewoning.nl](http://www.zonnewoning.nl) is meer informatie te vinden over het programma van eisen.

## Voordelen certificaat zonnewoning

Het voordeel voor de toekomstige bewoners is uiteraard het wonen in een comfortabele, energiezuinige en duurzame woning. Verder voldoet de zonnewoning aan de DuBo-eisen van groenfinanciering waardoor kopers van een zonnewoning in aanmerking komen voor een groene hypotheek.

Gemeenten en projectontwikkelaars kunnen zich met het Certificaat Zonnewoning op de markt profileren als ondernemend en maatschappelijk bewust. Daarbij kunnen zonnewoningen voor een marktconforme prijs gebouwd worden. De eisen zijn realistisch en goed haalbaar in de praktijk. Verder kan het programma van eisen gemeenten en projectontwikkelaars een helder instrument bieden voor het vaststellen van ambities en voor de communicatie tussen gemeenten en bouwpartijen.



Zonnewoningen, Harderwijk

### Combinatie van zon PV en zon thermisch

Naast losse toepassingen van zowel zonnepanelen voor opwekking van elektriciteit als zonnecollectoren voor verwarming van water zijn er systemen die de twee functies in één systeem combineren. De combinatie van een zonthermisch en zon-PV-systeem wordt PVT genoemd. Architectonisch zorgen de zogenaamde PVT-panelen voor een optimale integratie van systemen in het dakvlak. De energie van de zon wordt hierbij optimaal gebruikt. Ook de warmte die altijd ontstaat bij een zonnepaneel wordt nuttig gebruikt. Deze warmte kan gebruikt worden net als bij een zonneboiler voor warmwaterproductie of het voorverwarmen van de centrale verwarming.



PVT-systeem te Alkmaar

## Zonne-energie in een woningconcept

Bij het ontwerp van een woning speelt de zon een belangrijke rol. Zongericht bouwen, verblijfsruimten situeren aan de zuidzijde met relatief veel raamoppervlak om zoveel mogelijk gebruik te maken van de zon als licht- en energiebron zijn daarvan goede voorbeelden. Enkele woningconcepten waarin zonnestroom mogelijk kan worden toegepast zijn:

- het concept van de zonnewoning;
- energieneutrale woningconcepten.

Bij het concept zonnewoning moet het woningontwerp aan een aantal duurzaamheids- en energie-eisen voldoen om in aanmerking te komen voor een certificaat.

Bij verdergaande energieconcepten – richting energieneutrale woningen – , bijvoorbeeld ook passiehuys concepten, is na vergaande vraagbeperking zonnestroom de techniek die ervoor kan zorgen dat op gebied van elektriciteit het niveau ‘energieneutraal’ gehaald kan worden.

## Overige toepassingen

Naast de toepassingen van zonnestroomsystemen in de woning- en utiliteitsbouw zijn er nog meer toepassingen, variërend van groot-schalig tot zeer klein.

### Zonnecentrales

Het zonnedak op de Floriade is met een vermogen van 2,3 MWp de grootste zonnecentrale in Nederland. Een tweede zonnecentrale (675 kWp) hoort bij het Ecopark Waalwijk. Op een voormalige stortplaats in die gemeente zijn op een speciale constructie meer dan vierduizend panelen geplaatst. Het totale oppervlak is 5500 m<sup>2</sup>. Een derde zonnecentrale (180 kWp) staat bij het Waterleidingbedrijf Midden-Drenthe in Annen. Daar is bovenop een met zand afgedekte opslagkelder voor drinkwater een aaneengesloten oppervlak van dertig bij zestig meter aan zonnepanelen geïnstalleerd.



Zonnedak op de Floriade



Ecopark Waalwijk



Geluidsscherm met zonnepanelen bij Helmond Brandevoort



Zonlichtmasten



Parkeermeter met zonnepaneel



Baken op zonnestroom



Station Utrecht Zuilen: halfronde  
doorzichtpanelen in overkapping

### Geluidsschermen

Een andere grootschalige toepassing van zonnepanelen buiten de gebouwde omgeving is op geluidsschermen, met name langs snelwegen. Er ligt er één langs de A27 bij Utrecht (afslag Veemarkt) en één langs de A9 (afslag Amstelveen). Een geluidsscherm langs het spoor ligt bij Helmond Brandevoort.

### Kleine toepassingen

Kleinschalige toepassingen van zonnestroom zijn meestal niet gericht op het produceren van zoveel mogelijk elektriciteit, maar op het leveren van een bepaalde 'energiedienst'. Ze zijn dan ook vaak

niet aan het elektriciteitsnet gekoppeld, maar bevatten een accu (autonoom of 'stand-alone' systeem) voor opslag van opgewekte energie. Voorbeelden hiervan zijn parkeermeters, praatpalen, boeien en bakens, veedrinkbakken en zonlichtmasten. Maar er bestaan ook zonlichtmasten die aan het openbare net zijn gekoppeld. Op jaarbasis kunnen zulke masten overdag evenveel stroom aan het net terugleveren als ze 's nachts gebruiken. Er verschijnen tegenwoordig ook steeds meer zonnestroomtoepassingen in de openbare ruimte die vooral een publiciteitsfunctie hebben.



## Philippe Samyn (Samyn en Partners) architect brandweergarage Houten

“Ik heb als architect geleerd om voor de toepassing van fotovoltaïsche zonnepanelen een alibi te zoeken. PV is niet alleen maar geschikt om elektriciteit op te wekken, maar kan soms het antwoord zijn op meer vragen tegelijk. Een belangrijk marketingelement in zonnecellen is bijvoorbeeld de luxueuze uitstraling.

In de kazerne in Houten wilde ik graag een gedeeltelijk doorzichtig dak, maar ik had een beperkt budget. Ik raakte in gesprek met iemand die precies op de hoogte was van de mogelijkheden van financiering van fotovoltaïsche zonne-energie.

### “Zoek een alibi om zonnecellen te gebruiken”

Met veel creativiteit hebben we multidisciplinaire kennis gecombineerd. De situering van de kazerne bleek goed te zijn, de helling van het dak niet zo slecht. Door te kiezen voor het glazen PV-dak kreeg ik wat ik wilde hebben: een betaalbaar en esthetisch verantwoord semi-doorzichtig glazen dak dat ervoor zorgt dat de kazerne een energiezuinig gebouw is.

Als architect heb je daarvoor uiteraard wel de kennis nodig van het materiaal, de beperkingen en de mogelijkheden.

Maar dat is niet anders dan bij welk ander materiaal dan ook. Wat de esthetiek betreft zou het wel handig zijn als er een oplossing komt voor de lelijke koppelingskastjes. Die hebben nu niet bepaald een luxueuze uitstraling...”

### Brandweergarage, Houten

Aantal woningen/ luifels/ systemen	1
Vermogen per woning/ luifel	23,9 kWp
Oppervlakte per woning/ luifel	400 m <sup>2</sup>
Oriëntatie en hellingshoek	Zuid
Bevestigingstechniek	Schüco profiel
Kosten PV-systeem	€ 256.699
Subsidieverstrekkers	Agentschap NL, REMU
Opdrachtgever	Gemeente Houten
Aannemer	Nijhuis
Architect	Samyn en Partners, architects & engineers
Leverancier	Shell Solar, Mastervolt
Installateur	Stroomwerk
Projectbegeleiding	REMU

# 4 Ontwerprichtlijnen

Bij het ontwerpen en plaatsen van zonnestroomsystemen is het belangrijk rekening te houden met de oriëntatie van het zonnestroom-systeem. Het systeem moet zo geplaatst worden dat er zoveel mogelijk zonlicht wordt opgevangen. Dit hoofdstuk gaat allereerst in op de positionering van zonnepanelen en het effect van beschaduwing.

Daarna komen aspecten rondom het toepassen van zonnestroom-systemen als bouwelementen aan de orde. Vervolgens wordt de invloed van zonnestroom op de EPC toegelicht. Tenslotte wordt een overzicht gegeven van bouwkundige en elektrotechnische normen waaraan zonnestroomsystemen in gebouwen moeten voldoen.



De frames met panelen, Paleiskwartier, 's-Hertogenbosch



Rijen zonnepanelen op kunststof draagelementen op een plat dak



Zonnepanelen op platte daken: Besseling, Alkmaar

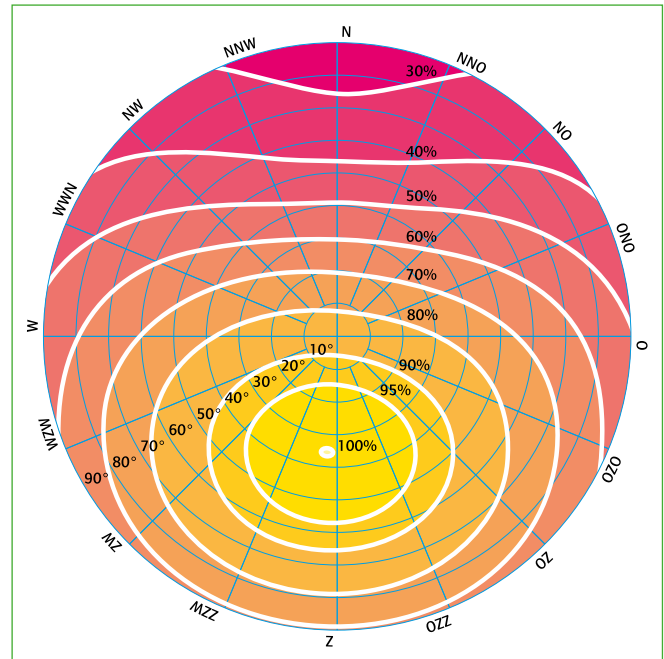


Paleiskwartier, 's-Hertogenbosch

# Helling en oriëntatie

Panelen kunnen worden geïntegreerd in platte en hellende daken, gevels en glasoverkappingen. Met behulp van het instralingsdiagram of met de instralingschijf is voor elke dakhelling en oriëntatie eenvoudig te bepalen hoeveel de maximaal mogelijke instraling op jaarbasis is.

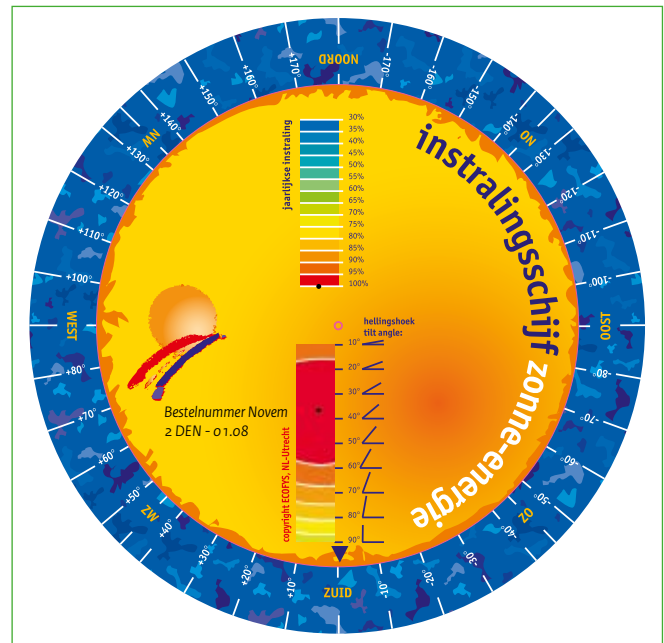
Bij een helling van 36 graden en een oriëntatie van vijf graden west ten opzichte van zuid ontvangt een zonnepaneel de maximale instraling (ruim 1100 kWh/m<sup>2</sup> per jaar). In de regel is de minimale instralingseis negentig procent. Om tenminste negentig procent van de maximale instraling te ontvangen, mag de oriëntatie van een dak variëren tussen zuidwest tot zuidoost. Binnen deze bandbreedte mogen de dakhellingen variëren tussen twintig graden en vijftig graden. Zijn de daken, om wat voor reden dan ook, meer op het oosten of westen gericht, dan kan het instralingsverlies worden beperkt door te kiezen voor een dakhelling tussen twintig en dertig graden. Met de instralingschijf is eenvoudig een jaaropbrengst te schatten voor een bepaalde oriëntatie en hellingshoek.



Instralingsdiagram voor Nederland



Oriëntatie van de zonnepanelen



Instralingschijf

# Beschaduwing

Door beschaduwing van zonnepanelen vermindert de elektriciteitsproductie van het zonne-energiesysteem:

## Instralingverlies

De maximaal haalbare instraling kan worden belemmerd door obstakels zoals bomen en naastliggende gebouwen die schaduw geven op de zonnepanelen. De volgende formule berekent het instralingverlies als gevolg van dergelijke belemmeringen.

$$\Delta I = \frac{\beta \times 60\%}{(180 - \alpha)}$$

Hierin is  $\beta$  de belemmeringshoek. Deze wordt gemeten aan de onderkant van het paneel tot de bovenkant van het belemmerende object (zie voorbeelden).  $\Delta I$  is het instralingverlies in procenten en  $\alpha$  de hellingshoek van de zonnepanelen.

## Mismatch

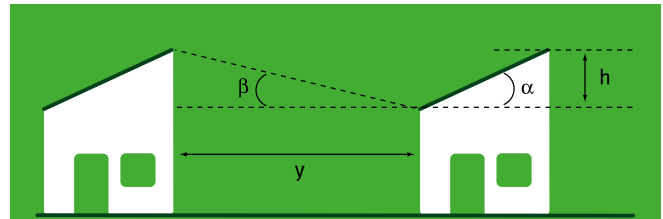
De zonnepanelen in een zonne-energiesysteem zijn elektrisch aan elkaar gekoppeld. Wanneer een klein deel van de panelen beschaduwd wordt of minder licht ontvangt door vervuiling of een andere oriëntatie, produceren de panelen die hiermee verbonden zijn minder elektriciteit. Dit heeft ook een effect op de rest van de panelen in het zonne-energiesysteem die niet beschaduwd zijn. Ook deze panelen zullen gezamenlijk wat minder elektriciteit gaan produceren.

Verschillen in de intensiteit van het opvallende licht kunnen veroorzaakt worden door:

- verschillende oriëntatie van delen van het systeem;
- gedeeltelijke beschaduwing door bomen, schoorstenen, antennes en dergelijke;
- ongelijkmatige vervuiling zoals mosranden, bladeren of vogeluitwerpselen.



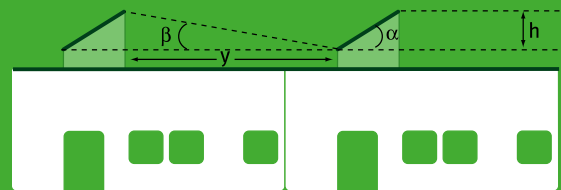
Flats met zonnestroomsystemen, Vestia, Den Haag



## Voorbeeld 1:

### Instralingsverlies algemeen

De zonnepanelen zijn op het zuiden gericht onder een hoek  $\alpha = 36^\circ$ . De instraling zonder belemmeringen is dan honderd procent. Het maximaal toegestane instralingsverlies ( $\Delta I$ ) mag maximaal tien procent zijn. Hiermee is met de formule eenvoudig uit te rekenen dat  $\beta$  kleiner moet zijn dan  $24^\circ$ . De afstand van de belemmering tot de voet van de zonnepanelen ( $y$ ) moet dan minimaal 2,2 maal de hoogte ( $h$ ) zijn.



## Voorbeeld 2:

### Minimale afstand bij platdakopstellingen

Een opstelling op een plat dak kan in het algemeen altijd de optimale oriëntatie op het zuiden hebben. Een onbeschaduwde platdakopstelling met een hellingshoek van dertig graden ontvangt jaarlijks 98 procent van de maximale instraling. Als de panelen op een plat dak achter elkaar worden geplaatst kunnen ze elkaars instraling belemmeren. Het extra verlies door beschaduwing ( $\Delta I$ ) mag dan niet meer dan acht procent zijn, anders wordt de instralingseis van negentig procent niet gehaald. Dit betekent dat de belemmeringshoek  $\beta$  kleiner moet zijn dan twintig graden. De onderlinge afstand tussen de rijen panelen moet dan tenminste 2,7 maal de hoogte zijn.



Plat dakstelsel nieuwe Openbare Bibliotheek, Amsterdam

De te verwachten schaduwverliezen bereken je met een van de vele beschikbare computerprogramma's die hiervoor op de markt zijn. Hiermee kan het ontwerp van het systeem, bijvoorbeeld het aantal toe te passen strings, worden geoptimaliseerd. Zowel de situatie bij oplevering als in de toekomst te verwachten schaduwelementen (volgroeide bomen, dakkapellen) kan worden doorgerekend.

## Zonnepanelen als bouw materiaal

### Maatvoering en vlakverdeling

Omdat de maatvoering van zonnepanelen per leverancier verschilt, heeft de architect een zekere keuzevrijheid bij het integreren van zonnepanelen in een gebouwontwerp. Maar zonnepanelen worden niet in elke maat gemaakt. Ook zijn er nog geen standaardmaten voor zonnepanelen.

Zonnepanelen zijn verkrijgbaar met of zonder frame. Frameloze panelen, ook wel laminaten genoemd, kunnen behandeld worden als normale glazen ruiten. Ook uitvoeringen in dubbelglas, HR-glas en veiligheidsglas zijn mogelijk. Tegen meerprijs kunnen deze laminaten in vrijwel iedere gewenste vorm worden gefabriceerd. Er zijn ook zonnepanelen in de vorm van dakpannen of ter grootte van een aantal dakpannen. De maatvoering hiervan sluit aan bij die van de dakpan.

Bij het volleggen van bijvoorbeeld een dakoppervlak met zonnepanelen blijven soms gedeelten over die kleiner zijn dan één geheel paneel. De goedkoopste en wellicht ook fraaiste oplossing is dan 'dummypanelen' te gebruiken. Deze wekken geen elektriciteit op, maar zijn visueel niet te onderscheiden van gewone zonnepanelen.



Verschillende PV-panelen

### Waarom mag er geen schaduw op de zonnepanelen vallen?

Zonnestroomsystemen mogen niet beschaduw worden, vooral niet met een scherpe slagschaduw, bijvoorbeeld van objecten dicht in de buurt zoals dakdoorvoeren, dakkapellen enz. Maar waarom eigenlijk niet? Een zonnepaneel bestaat uit een aantal zonnecellen die in serie zijn geschakeld. Als er op een zonnecel licht valt, gaat een stroom lopen. Vanwege de serieschakeling moet de stroom alle cellen passeren. Valt er geen licht op een cel, dan reageert deze als een weerstand. Een scherpe slagschaduw kan ervoor zorgen dat één of enkele cellen geen licht ontvangen, terwijl de rest van de cellen bloot staat aan de volle zon. De beschaduwde cel(len) kan/kunnen geen stroom doorlaten, waardoor niet alleen de opbrengst van de beschaduwde cel(len), maar de opbrengst van het hele paneel verloren gaat. Hetzelfde principe gaat op voor een string van zonnepanelen: ook dit is een serieschakeling van een aantal eenheden, in dit geval panelen. Eén beschaduwde paneel zorgt ervoor dat de hele string slecht presteert. Daarnaast speelt nog een tweede effect mee: in de beschaduwde cel, die een weerstand in de keten vormt, wordt de stroom die in de rest van de serie wordt opgewekt, omgezet in warmte. Een beschaduwde cel wordt daardoor warmer dan de rest van het paneel: dit wordt het 'hot-spot'-effect genoemd. Het temperatuurverschil tussen cellen kan oplopen tot tientallen graden, wat leidt tot mechanische spanning in het materiaal. Dat heeft een negatief effect op de levensduur van het zonnepaneel.





## Ontwerprichtlijnen in het kort

### 1. Oriëntatie

Kies voor een oriëntatie tussen zuidoost en zuidwest.

### 2. Hellingshoek

Kies voor een hellingshoek van tussen de twintig en zestig graden. In dichter bebouwde gebieden is doorgaans een kleine hellingshoek verstandig. Voor een adequate waterkerende functie is de minimale hellingshoek tien graden.

### 3. Ventilatie

Een hoge temperatuur verkleint de opbrengst van zonnepanelen. Zorg ervoor dat de panelen koel blijven, bijvoorbeeld door een luchtspouw achter de zonnepanelen die onder en boven in contact staat met de open lucht. Neem maatregelen om de spouw te beschermen tegen ongedierte, vogels en vervuiling.

### 4. Uitbouwen en dakdoorvoeren

Voorkom dat schoorstenen, dakkapellen en andere dakdoorvoeren schaduw veroorzaken op de zonnepanelen. Gedeeltelijke beschaduwing beperkt de opbrengst van de hele (elektrische) keten waar dit paneel onderdeel van uit maakt. Door panelen die ongeveer gelijktijdig beschaduw worden in dezelfde 'string' op te nemen kan het effect hiervan beperkt worden. Denk hierbij ook aan de groei van bomen die na een aantal jaren toch voor schaduw kunnen zorgen.

### 5. Bereikbaarheid zonnepanelen

Een goede bereikbaarheid van de zonnepanelen is van belang voor onderhoud. Maar zorg er tevens voor dat de zonnepanelen niet eenvoudig te stelen zijn.

### 6. Waterdichtheid

Een zonnestroomsysteem bestaande uit zonnepanelen in een profiel is in extreme gevallen (bijv. stuifneeuw) niet honderd procent waterdicht. Bovendien kan aan de achterzijde condensvorming optreden. Zorg er dus voor dat het onderdak waterdicht en dampdoorlatend is, bijvoorbeeld door een folie.

### 7. Geluidsoverdracht

Onderbreek het zonnestroomsysteem boven woningscheidende wanden ter voorkoming van ongewenste geluidsoverdracht.

### 8. Bekabeling

Zorg ervoor dat de stringbekabeling beschermd is tegen UV-straling, ongedierte en vocht. Vanaf het dak (of de gevel) waar de zonnepanelen zijn gemonteerd, lopen kabels naar de omvormerruimte. Voor deze bekabeling moet een kabelgoot of een mantelpijp aanwezig zijn. Het is raadzaam hiermee bij het ontwerp van het gebouw al rekening te houden.

### 9. Omvormerruimte

Situeer de omvormerruimte dicht bij de zonnepanelen. Zorg voor goede ventilatie om oververhitting te voorkomen (tot circa tien procent van het vermogen wordt hier omgezet in warmte).

Zogenaemde semitransparante of doorzichtpanelen bestaan meestal uit een sandwich van twee glasplaten met daartussen zonnecellen. De combinatie van een transparante kunststof en glas komt ook voor. De cellen worden middels een kunstharis tussen de ruiten gefixeerd. Door de ruimte tussen de cellen te variëren kan de lichtdoorlatendheid van de panelen veranderd worden. De grootste panelen die gemaakt kunnen worden zijn circa twee bij drie meter. Bij lichtdoorlatende panelen is ruimte tussen de cellen opengelaten. De tussenafstand de cellen bepaalt hoe 'transparant' de panelen zijn. Uiteraard levert zo'n paneel per vierkante meter wel minder stroom dan een 'gewoon' zonnepaneel, waarin de cellen zo dicht mogelijk tegen elkaar geplaatst zijn. Er zijn ook transparante zonnepanelen waarbij een dunne film zonnecellen gebruikt worden op een glasdrager. Deze zijn zo dun dat het gehele paneel transparant wordt.

Doorzichtpanelen worden typisch toegepast in atria, serres en gevels. Door de ruimte tussen de cellen en de schaduw van de cellen ontstaat een bijzonder patroon van schaduw en licht. Eer zijn ook toepassingen met amorf silicium zonnecellen die deze eigenschap niet vertonen, maar egaal transparant zijn. Vrijwel alle uitvoeringen zijn mogelijk, bijvoorbeeld HR++ dubbelglas met doorzichtpanelen.



Doorzichtpanelen in een woning in Nieuwland, Amersfoort



Monokristallijn



Multikristallijn



Amorf

### Kleurstelling

Zonnestroomsystemen bepalen de kleur van de gevels en de daken. De ontwerper dient om die reden bij voorkeur uit te gaan van de standaardkleuren: blauw (multikristallijn), zwart/antraciet (monokristallijn) of zwart/bruin (amorf).

Gele, groene en paarse zonnecellen zijn te fabriceren door het toepassen van andere coatings. De opbrengst van gekleurde zonnepanelen vermindert echter met tien tot dertig procent doordat ze meer licht reflecteren. De achtergrond waarop de zonnecellen worden geplaatst is meestal wit. Vooral bij zonnepanelen van

monokristallijn materiaal bepaalt de witte ruimte tussen de zonnecellen mede het beeld. Voor een groot project kan de producent de kleur van de achtergrond en het frame desgewenst (laten) aanpassen.

### Plaatsing van de omvormer

Behalve dak of geveloppervlak neemt een zonnestroomstelsel niet veel ruimte in beslag. Toch is het voor een optimaal resultaat van belang om van tevoren goed na te denken over waar en hoe de verschillende onderdelen in het gebouw geïntegreerd worden.

### Voorbeelden van verkrijgbare zonnepanelen in Nederland

Gegevens van de meest courante zonnepanelen in Nederland: merk, typenummer, type materiaal, elektrisch piekvermogen, afmetingen van panelen incl. frame en specifiek oppervlak. De meeste panelen zijn ook als laminaat verkrijgbaar. Naast de genoemde fabrikanten zijn er nog andere fabrikanten en paneeltypen.

Merk	Type	Materiaal	Vermogen [Wp]	Afmetingen [L×b in mm]	Specifiek opp. [M <sup>2</sup> /kwp]
BP Solar	BP 3220 N	mc-Si	220	1667x1000	7,6
Evalon	V-Solar 204	a-Si	204	3360x1550	25,5
Isofoton	IS-10/24	sc-Si	170	1590x790	7,4
Kaneka	T-EC120	a-Si	120	1919x990	15,8
Kyocera	KC175GHT-2	mc-Si	175	1290x990	7,3
Multisol®	200 P5 S+	mc-Si	230	1600x1075	7,5
Schott	ASI TM 86	a-Si	86	1308x1108	16,9
Schott	ASITHRU-30-SG	a-Si	27	1000x600	22,2
Schüco	SPV 80-TF	CIS	80	1235x641	9,9
Sharp	ND-Q2E3EF	mc-Si	162	1318x994	8,1
Solarfun	SF-160-24-M180	sc-Si	180	1580x808	7,1
Solarworld	SW 210 Poly	mc-Si	210	1675x1001	8,0
Solon	M230/6+/07 (230)	sc-Si	230	1640x1000	7,1
Sunpower	SPR-305-WHT-I	sc-Si	305	1559x1046	5,3
Uni-solar	PVL-136	a-Si	136	5486x394	15,9
Würth Solar	WSG0036 E080	CIS	80	1205x605	9,1

De omvormer kan op zolder, op de overloop of in de meterkast worden geplaatst. Er zijn ook omvormers die buiten geplaatst kunnen worden. Bij voorkeur worden de omvormers dicht bij de panelen geplaatst om hoge verliezen te voorkomen.

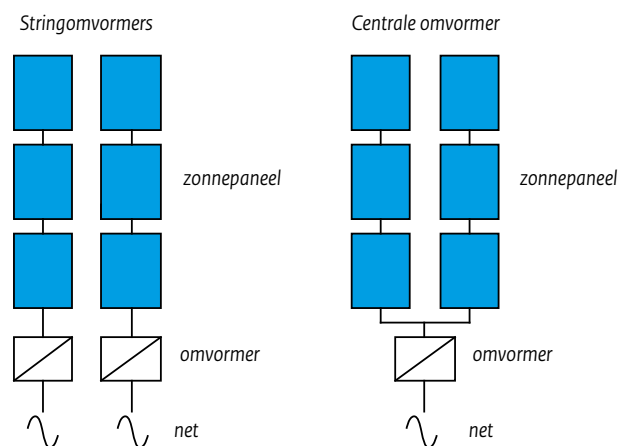
Netgekoppelde omvormers zijn er in twee typen:

- **Stringomvormer:** dit is de meest voorkomende manier van toepassen van omvormers. Tien tot twintig in serie geschakelde zonnepanelen, een 'string', worden aangesloten op een omvormer. Per omvormer kunnen meestal meerdere strings worden aangesloten. Het totale zonne-energiesysteem kan bestaan uit meerdere omvormers die in een koppelkast gekoppeld worden. Met de stringomvormer is een modulaire systeemopbouw met meerdere strings mogelijk. Als bijvoorbeeld delen van de zonnestroominstallatie een afwijkende oriëntatie hebben of een andere hellingshoek hebben, ligt toepassing van meerder omvormers voor de hand. Aansluiting op één centrale omvormer zou dan het omzettingsrendement van het hele systeem verlagen.
- **Centrale omvormer:** de opgewekte stroom van alle zonnepanelen wordt verzameld in één centrale omvormer. Deze staat opgesteld in een aparte ruimte met als voordelen het onderhoudsgemak en relatief lage kosten. Door een lange verbinding tussen zonnepanelen en de omvormer treedt energieverlies op. Hoe lager de spanning, des te groter is het energieverlies. Daarom is het raadzaam om een hoge spanning toe te passen en de centrale omvormer dichtbij de panelen op te stellen. Een centrale omvormer wordt toegepast bij grotere systemen.

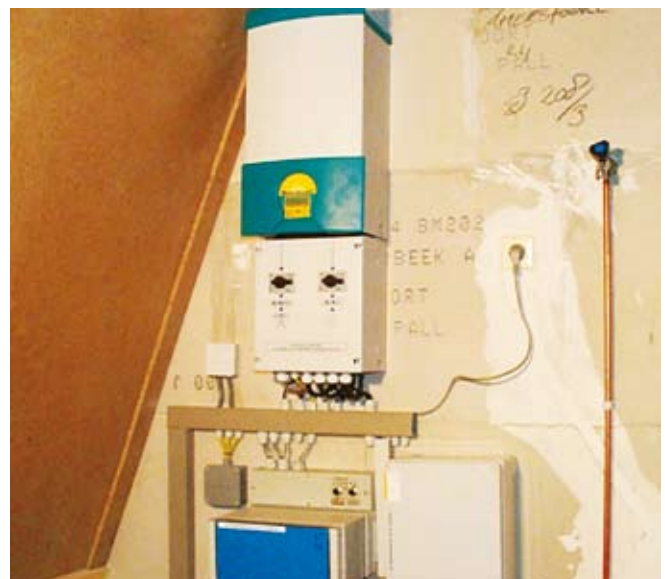
## Energieprestatiecoëfficiënt (EPC)

De overheid heeft middels de Energieprestatiecoëfficiënt een instrument om nieuwe gebouwen energiezuiniger te maken. Volgens het Bouwbesluit mag de EPC van een nieuwbouwwoning per januari 2006 niet groter zijn dan 0,8. Voor andere typen gebouwen geldt een andere, hogere norm. Voor bijvoorbeeld kantoorgebouwen geldt een EPC-eis van 1,5. De EPC moet worden bepaald volgens de normen NEN 2916 voor utiliteitsbouw of NEN 5128 voor woningbouw.

Naast bijvoorbeeld isolatie, is toepassing van zonnepanelen een van de mogelijkheden om de EPC te verlagen. Het voordeel van zonnestroom is dat het geen invloed heeft op het bouwkundig ontwerp of de inhoud van de woning.



De gele kast is de omvormer zelf, rechts in de meterkast bevindt zich de (zwarte) groepenkast



De kast met groene onder- en bovenkant is de omvormer; de stringbekabeling wordt via een koppelkast onder de omvormer ingevoerd in de omvormer

De bijdrage die zonnestroom kan leveren aan de verlaging van de EPC is afhankelijk van het type woning en het oppervlak van de zonnepanelen. De EPC-verlaging via zonnepanelen is evenwel aan een maximum gebonden.

In nieuwbouwwoningen varieert de bijdrage van vier vierkante meter zonnepanelen (500 Wp) tussen 0,04 en 0,07. Met grotere systemen kan de EPC met ongeveer 0,2 tot 0,25 worden verlaagd. Die grens wordt bereikt met systemen tussen 1700 Wp voor galerijcomplexen tot circa 2800 Wp voor een vrijstaande woning.

### Energie-index (EI)

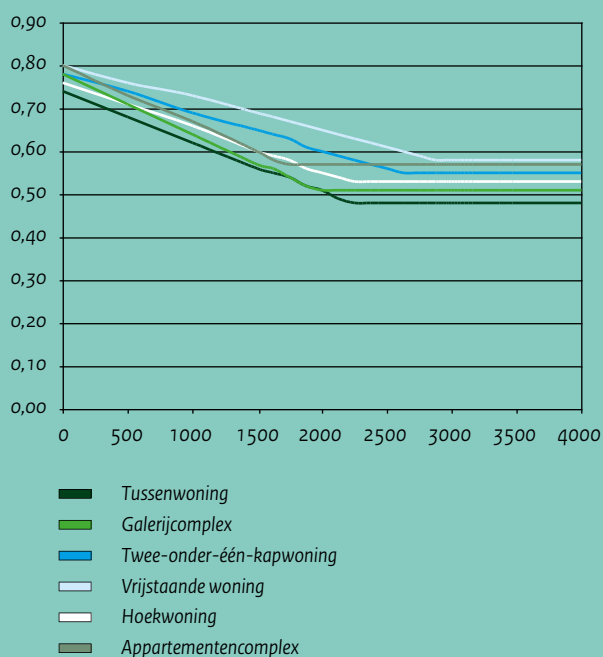
Voor bestaande woningen geldt geen energieprestatiecoëfficiënt (EPC)-eis. Wel is het vanaf 2008 bij verkoop van een bestaande woning verplicht om deze te voorzien van een zogenaamd energielabel. Een hogere labelklasse betekent dat de woning energiezuiniger is dan een zelfde type woning met een minder goed label. De rekenmethodiek achter deze energielabels maakt gebruik van de energie-index (EI).

Toepassingen van zonnepanelen op of aan de woning hebben een gunstige invloed op de energie-index en kunnen ervoor zorgen dat een woning in een hogere energielabelklasse terecht komt. De bijdrage van vier vierkante meter zonnepanelen (500 Wp) aan de energie-index varieert, afhankelijk van het type woning en andere toegepaste energiemaatregelen, tussen 0,04 en 0,14.

## Bouwkundige en elektrotechnische normen

### Bouwkundige normen

De functie van zonnepanelen in gebouwen is niet alleen die van energie-opwekker, maar ook die van een bouwelement. Het paneel vervangt vaak de gangbare gevelbekleding of dakbedekking. Dit betekent dat het complete systeem van zonnepaneel- en bevestigingssysteem moet voldoen aan de bouwnormen voor veiligheid, duurzaamheid en waterdichtheid. De eisen hiervoor zijn vastgelegd in het Bouwbesluit. Er bestaat momenteel een Nederlandse voornorm 'Zonne-energiesystemen - Integratie in daken en gevels- Bouwkundige aspecten' (NVN 7250:2007) voor de bouwkundige integratie van zonne-energiesystemen. In deze voornorm zijn zowel eisen als bepalingsmethoden opgenomen voor een adequate inbouw van zonne-energiesystemen in de gebouwschil. De voornorm bevat zowel prestatie-eisen als testmethoden.



Voorbeeld van de invloed van zonnepanelen op de EPC voor zes typen referentiewoningen met gebalanceerde ventilatie. Uitgangspunt is dat in de woningen een dusdanig pakket maatregelen is genomen dat zonder zonnepanelen al aan de EPN voldaan is. De zonnepanelen maken de woningen dus extra energiezuinig.

# Bouwkundige aspecten

Alle bouwkundige aspecten die van belang zijn bij de integratie van zonnestroomsystemen zijn beschreven in de voornorm NVN7250 'Zonne-energiesystemen - integratie in daken en gevels- Bouwkundige aspecten'. Hieronder volgt een korte samenvatting van de belangrijkste onderwerpen.

## Veiligheid en sterkte

Een bouwconstructie met een zonnestroomsysteem moet bestand zijn tegen de daarop werkende belastingen. Denk hierbij aan wind of een belasting door iets wat op het zonnestroomsysteem valt (stootbelasting). De eisen voor sterkte van de constructie zijn vastgelegd in NEN 6700 'Technische Grondslagen; TGB 1990 - Algemene basiseisen'. De windbelasting is voor de meeste systemen te bepalen volgens NEN 6702 'Belastingen en vervormingen'. Er zijn echter systemen waarvoor de bepalingmethode nog niet toegepast kan worden. De Nederlandse voornorm NVN 7250:2007 gaat hier verder op in en geeft meer informatie. Voor geveltoepassingen gelden specifieke eisen die zijn vastgelegd in de Nederlandse normen NEN 2608 'Vlakglas voor gebouwen' en de praktijkrichtlijn NPR 3599.

## Inwendige condensatie

Door condensatieverschijnselen in de scheidingsconstructie (het dak met het zonnestroomsysteem) kan opeenhoping van vocht ontstaan waardoor er schade optreedt aan de bouwconstructie. Hier moet op gelet worden. Vocht kan bijvoorbeeld ingebouwd vocht zijn (bij houtachtige materialen) of ontstaan door condensatie van vochtige lucht uit de woning die de bouwconstructie binnendringt. Het toepassen van dampremmende lagen en voldoende (spouw)ventilatie voorkomen deze problemen. Vooral bij daken waar een zonnestroomsysteem het gehele dak beslaat is inwendige condensatie een aandachtspunt.

## Brandveiligheid

De gehele constructie inclusief het zonnestroomsysteem moet aan brandveiligheidseisen voldoen. Doorgaans draagt een zonnestroomsysteem niet bij aan de ontwikkeling van brand en levert geen brandgevaarlijke situatie op. In het algemeen geldt dat een dak niet brandgevaarlijk mag zijn (NEN 6063 'Bepaling van het brandgevaarlijk zijn van daken'). Daarnaast mag er geen extra gevaar zijn voor uitbreiding van brand en brandoverslag naar andere woningen.

## Geluidsisolatie

In een woning of een ander gebouw mag geluid van buiten bepaalde maximale geluidsniveaus niet overschrijden. De bescherming tegen geluid van buiten moet bepaald worden volgens de meetmethode uit de NEN 5077 'Geluidwering in gebouwen'. Ook ongewenste geluids-overdracht tussen woningen moet voorkomen worden. Extra geluidsisolatie is mogelijk door het systeem bij woningscheidende wanden te onderbreken.

## Vochtwerendheid

Een zogenoemde uitwendige scheidingsconstructie van een verblijfsgebied moet volgens het Bouwbesluit waterdicht zijn. De eisen voor waterdichtheid van een dak of gevel zijn vastgelegd in NEN 2778 'Vochtwering in gebouwen'.

## Thermische isolatie

Voor de energieprestatie van woningen zijn in het Bouwbesluit eisen gesteld (zie deel Energieprestatie-coëfficiënt). Een dak of gevel moet dan ook een zekere warmteweerstand hebben die bepaald wordt door de thermische isolatie. Wanneer een zonnestroomsysteem wordt geïntegreerd in dak of gevel dan moet het geheel ook deze minimale warmteweerstand hebben. Dit wordt bepaald volgens NEN 1068 'Thermische isolatie van gebouwen'.

## Toegepaste materialen

Zonnestroomsystemen, de draagconstructie en bevestigingsmiddelen mogen geen materialen of stoffen bevatten die in Nederland niet toegestaan zijn. Ook moeten het systeem en de constructie bestand zijn tegen corrosie. Afdichtingmiddelen zoals profielen, katten en schuimband moeten aan de daarvoor gestelde eisen voldoen.

### Elektrotechnische normen

Ook wat betreft de elektrische aspecten van zonnestroomsystemen moeten er een aantal richtlijnen gevolgd worden of het verdient de aanbeveling deze op te nemen in de specificaties.

Normen, zoals de NEN 1010, die in het Bouwbesluit zijn opgenomen, zijn wettelijk verplicht en moeten gevolgd worden. Voor andere normen of Nederlandse technische afspraken wordt ten sterkste aanbevolen deze geldig te verklaren bij een aanbesteding of offerte-aanvraag.

### Kwaliteitseisen

Naast de bouwkundige en elektrotechnische voorschriften voor zonnestroomsystemen moeten ook de gebruikte componenten zelf, zoals zonnepanelen en omvormers, aan kwaliteitseisen voldoen. Zonnepanelen moeten op het gebied van elektrische veiligheid en vermogensgarantie aan de eisen voldoen zoals vastgelegd in NEN-EN-IEC 61215:2005 (voor kristallijn silicium panelen) of NEN 11646-1997 (voor dunne-filmelementen). Deze normen zijn de Nederlandse versie van de internationale normen IEC

#### Nen 1010:2007 'veiligheidsbepalingen voor laagspanningsinstallaties'

De veiligheidsbepalingen voor fotovoltaïsche (PV) voedingsystemen is opgenomen in de NEN 1010. Deze bepalingen komen overeen met de internationale norm IEC 60364-7-712 en bevatten de eisen voor foto-voltaïsche (zonnestroom-) voedingssystemen. Voorheen waren deze eisen opgenomen in een Nederlandse Technische Afspraak, de NTA 8011.

#### Nta 8030:2006 'richtlijnen voor productspecificaties van omvormers toegepast in netgekoppelde decentrale opwekkers'

Ook voor omvormers bestaat er een Nederlandse Technische Afspraak. De NTA 8030:2006 Richtlijnen voor productspecificaties van omvormers toegepast in netgekoppelde decentrale opwekkers (Guidelines for product specifications of grid connected inverters for Distributed Energy Resources (DER).

#### Nta 8013:2003 'procedure voor het controleren van pv-systemen'

NTA 8013 is in aanvulling op NEN 1010-6 van toepassing op de inspectie van netgekoppelde PV-systemen. De procedure heeft betrekking op de veiligheid, de duurzaamheid, de betrouwbaarheid en ten dele op de functionaliteit van PV-systemen. De functionaliteit is toepasbaar voor alle gangbare typen PV-systemen ongeacht het vermogen. Bij systemen met een vermogen van meer dan tien kWp en bij systemen met nieuwe aspecten (voor wat betreft het ontwerp of de gebruikte materialen en componenten) moet altijd worden beoordeeld of aanvullende eisen nodig zijn. Uitgangspunt is dat het PV-systeem deel uitmaakt van een elektrische installatie, die op zichzelf aan alle eisen voldoet. NTA 8013 is niet van toepassing op PV-systemen die voldoen aan NTA 8493. NTA 8013 is ook niet van toepassing op het inspecteren van energetische prestaties van PV-systemen. Bouwkundige aspecten komen in deze NTA niet aan de orde.

Voor meer informatie over (voor)normen en Nederlandse Technische Afspraken: [www.nen.nl](http://www.nen.nl)

# 5 Aanbesteding

Bij de aanbesteding van de zonnestroominstallaties in een nieuwbouwproject kan het stappenplan worden gevolgd dat in dit hoofdstuk wordt beschreven. Ook bij zonne-energie is het verstandig om bij meerdere aanbieders een offerte aan te vragen.

Zonnestroomprojecten worden meestal aanbesteed als geheel, dus inclusief plaatsing (turn-key), hoewel splitsen in levering en installatiewerk ook mogelijk is. De keuze hangt samen met de organisatie van

het project. Om de aanbiedingen makkelijk te kunnen beoordelen, moet de offerteaanvraag een duidelijke en volledige beschrijving van het systeem omvatten. Scherpe aanbiedingen zijn mogelijk bij een groot project, vanaf ongeveer duizend zonnepanelen of honderd kWp systeemvermogen. Hierbij kan het gaan om een groot aantal kleine zonnestroomsystemen voor één of meer bouwprojecten, maar ook om één groot centraal systeem op één locatie.

*Voor dit 180 kWp zonnestroomstelsel in het Drentse Annen is een uitgebreide aanbestedingsprocedure doorlopen en een opbrengstgarantie afgesproken (een project van Essent en de Waterleidingmaatschappij Drenthe).*



# Het proces van aanbesteden

## De zeven stappen van het aanbestedingsproces

1	Kwalificaties aanbieders
2	Offerteaanvraag
3	Aanvullende informatie
4	Beoordelen van de offertes
5	Onderhandelen
6	Selectie aanbieder
7	Contractering

### Stap 1: Kwalificaties aanbieders

Allereerst selecteert u een aantal aanbieders. Bij grote projecten kan Europees aanbesteden verplicht zijn. Voor overheden geldt dat boven bepaalde drempelbedragen de Europese richtlijnen voor overheidsopdrachten gevolgd moeten worden. Meer informatie is hierover te verkrijgen bij het ministerie van Economische Zaken. Een eerste selectie vindt plaats op basis van de kwalificaties van de aanbieders. Pols eerst via een brief de interesse bij de potentiële aanbieders, zeker als de opdrachtgever tientallen aanbieders op het oog heeft. De geïnteresseerde partijen worden vervolgens verzocht een standaard kwalificatieformulier in te vullen. Dit dient onder meer om na te gaan of de aanbieders voldoende ervaring en capaciteit hebben en of ze financieel gezond zijn.

### Stap 2: Offerteaanvraag

Aan gekwalificeerde aanbieders wordt verzocht een aanbieding te doen. Een goed opgestelde offerteaanvraag is het halve werk. Aan de hand daarvan zijn de aanbiedingen eenvoudig te vergelijken. Een standaard bestektekst in het STABU Bestekstelsysteem voor zonnestroomsystemen is in ontwikkeling.

De offerteaanvraag kan zeer specifiek zijn en naar één oplossing vragen, maar kan ook algemeen zijn, waarbij verschillende varianten mogen worden aangeboden. In dit laatste geval is het raadzaam om standaardlijsten mee te sturen waarop aanbieders de technische specificaties en de prijs voor de diverse typen zonnepanelen, omvormers, montagesystemen enzovoorts kunnen invullen.

Een lijst met punten die deel uitmaken van een bestek voor aanbesteding van gebouwgeïntegreerde zonnestroomsystemen vindt u in de bijlage 'Checklist aanbesteding'. In grote lijnen bevat het bestek:

- 1 algemene eisen met betrekking tot de aanvraag en het project
- 2 leveringsomvang
- 3 technische specificaties
- 4 documenten die deel uit dienen te maken van de levering
- 5 garanties en kwaliteitsborging

### Stap 3: Aanvullende informatie

Geef aanbieders de gelegenheid vragen te stellen naar aanleiding van de offerteaanvraag. Spreek hiervoor een vaste termijn af. Verstrek na het aflopen van deze termijn alle aanbieders alle antwoorden, zonder aan te geven wie verzocht heeft om welke informatie, want bij volledigheid van informatie is iedereen gebaat.

### Stap 4: Beoordelen van de offertes

De beoordeling van de aanbiedingen kan plaatsvinden op basis van de volgende gunningscriteria:

- prijs
  - prijs/prestatie, bijvoorbeeld euro's per kWh opgewekte zonnestroom
  - kwaliteit – zowel van de goederen als bewezen praktijkervaring
  - garanties
  - leveringsvoorwaarden (levertijden etc.)
  - ervaring met soortgelijke projecten
  - capaciteit en financiële situatie van het bedrijf
- Hierin kunt u vooraf een prioriteit aanbrengen, maar dit is niet strikt noodzakelijk. In het algemeen zullen prijs en prijs/prestatieverhouding de doorslag geven.

### Stap 5: Onderhandelen

Selecteer een klein aantal veelbelovende aanbiedingen en ga hierover met de aanbieders in onderhandeling. U onderhandelt efficiënt als de informatie volledig en geordend is. Zorg ervoor dat u een goed inzicht heeft in het prijspeil van de gewenste zonnestroomsystemen. Voor het beoordelen van aanbiedingen kan natuurlijk ook een ervaren adviseur ingeschakeld worden. Enkele tips voor onderhandelen:

- Stel tevoren een overzicht op met de belangrijkste – ook ontbrekende – gegevens uit de offerte en formuleer gerichte vragen over ontbrekende en onduidelijke gegevens.
- Laat alle veranderingen en aanvullingen schriftelijk bevestigen en ondertekenen.
- Maak pas een definitieve keuze na bestudering van alle stukken.

### Stap 6: Selectie aanbieder

Als na de onderhandelingen alle informatie van de aanbieders compleet is kunt u een keuze maken. Maak deze pas bekend als u er zeker van bent dat de aanbieding op alle punten, dus ook wat betreft kwaliteitsborging, compleet is en ondertekend is. Houd tenminste één reserve-aanbieder achter de hand, voor het geval contractering met de aanbieder van de eerste keuze niet lukt.

### Stap 7: Contractering

Houd er in de planning rekening mee dat het opstellen van een contract tijd kost, zeker als het gaat om een groot systeem dat op maat gemaakt moet worden. Als de onderhandelingen bij de contractering te lang duren kan eventueel een reserve-aanbieder benaderd worden.



## Verantwoordelijkheden

Afhankelijk van de organisatie van het bouwproject, moeten in het contract de verhoudingen met de andere uitvoerende partijen vastgelegd worden. Het installeren van de zonnestroomsystemen vindt bij voorkeur plaats onder verantwoordelijkheid van de hoofdaannemer van het bouwproject. Zo wordt het plaatsen van de zonnepanelen in de reguliere bouwstroom opgenomen. Omdat het proces van standaardisatie van componenten en systemen nog volop in ontwikkeling is, is het opnemen van deze systemen in de bouwstroom niet eenvoudig. Wel is het nu al mogelijk een bestek voor een zonnestroominstallatie in te passen in de STABU-codering. Hiermee kan de verantwoordelijkheid op de juiste plaats gelegd worden. Door zonnestroomsystemen op te nemen als directielevering kan de opdrachtgever voldoende zeggenschap houden over de installatie en bovendien een opslagpercentage vermijden. Dit moet dan wel expliciet in het contract worden vastgelegd.

## Garanties en kwaliteitsborging

Naast een goederengarantie kan in het bestek voor aanbesteding ook een systeemgarantie gevraagd worden. Dit houdt in dat de goede elektrische werking van het zonnestelsel als geheel gegarandeerd wordt voor een periode van tenminste vijf jaar.

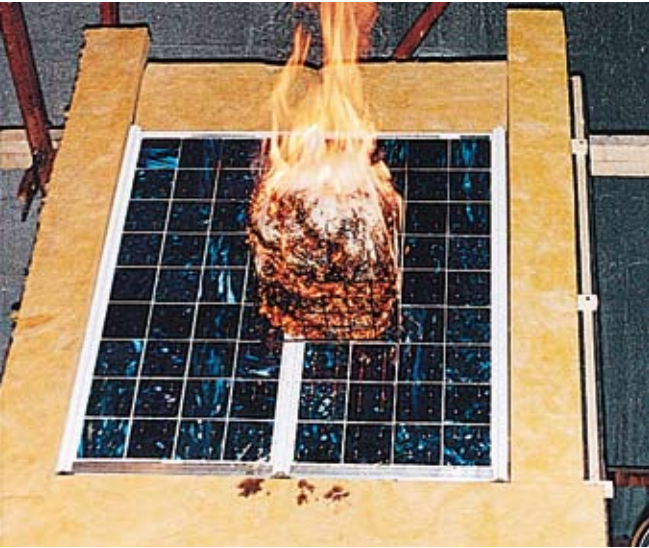
Ook kunt u overwegen om een opbrengstgarantie te bedingen. Hiermee garandeert de leverancier een jaarlijkse energieopbrengst van het systeem. Op grond van metingen van de geleverde energie tijdens het eerste jaar na oplevering kan worden vastgesteld of de leverancier aan zijn garantieverplichting heeft voldaan. Zo niet, dan kan de leverancier een sanctie worden opgelegd, bijvoorbeeld het terugbetalen van een deel van de kostprijs of het uitvoeren van technische verbeteringen. Let erop dat zowel de gegarandeerde jaaropbrengst (het aantal kWh per jaar) als de afspraken met betrekking tot het vaststellen van de jaaropbrengst en de sancties (het afrekenprotocol) opgenomen worden in de offerteaanvraag, in de offerte zelf en ten slotte ook in het contract. Bedenk wel dat een opbrengstgarantie voor zonnestroomsystemen nog niet standaard is; goed uitonderhandelen neemt tijd in beslag en kan het aanbestedingstraject verlengen.

Nieuwbouwwoningen in Nederland worden meestal gebouwd met een GIW-garantie (Garantie Instituut Woningbouw). Dit geeft de koper extra zekerheid als er tijdens de bouw iets misgaat of als er na de oplevering bouwkundige gebreken aan het licht komen. Het is dan ook aan te raden de GIW Garantie- en waarborgregeling van toepassing te verklaren in de koop-/aannemingsoverkomst. Ook een dak met een zonne-energiesysteem valt onder de GIW-garantie. De garantietermijn voor bouwkundige gebreken is zes jaar.

Omdat zonnestroom nog een relatief nieuwe techniek is die nog niet standaard in de bouw wordt toegepast, is het verstandig om een plan voor kwaliteitsborging op te stellen. Dit kan de volgende werkzaamheden omvatten:

- Typebeoordeling: componenten worden beoordeeld op basis van certificaten en testrapporten.
- Materiaalafname: inspectie vóór installatie van de geleverde goederen, met name de zonnepanelen.
- Ontwerpbeoordeling: controle van bouwtekeningen en elektrotechnisch ontwerp.
- Bouwinspecties: inspecties tijdens de bouw.
- Opleveringstest: inspectie na afronding van het werk voorafgaande aan de oplevering.
- Monitoring: volgen van het functioneren van de systemen, bijvoorbeeld via metingen.

Voor standaardsystemen zijn vooral de materiaalafname en de inspecties van belang. Bij maatwerk is het verstandig alle kwaliteits testen uit te voeren, bij voorkeur door een onafhankelijke deskundige. De aanbieder dient in zijn offerte akkoord te gaan met het programma voor kwaliteitsborging.



Testen van een prototype van een montagesysteem voor zonnepanelen bij BDA Dakadvies: brandproef en thermoshock.

# Checklist aanbesteding

Hieronder vindt u een lijst met punten die deel uit kunnen maken van een bestek voor aanbesteding van (middel)grote gebouw-geïntegreerde zonnestroomsystemen (vanaf ongeveer 50 kWp):

## 1. Algemene eisen met betrekking tot de aanvraag en het project

- achtergrondinformatie van het project; locatie van de zonnestroomsystemen;
- aantal en omvang van de zonnestroomsystemen (kWp of m<sup>2</sup> van de zonnepanelen);
- turn-key levering of alleen leveren van goederen?
- planning van het project; boetes bij te laat opleveren;
- gunningscriteria (zie hoofdstuk 5, Stap 4: Beoordelen van de offertes);
- inhoud, taal en geldigheidsduur van de offerte, inkoop- en betalingsvoorwaarden;
- overige administratieve bepalingen.
- referentieprojecten;
- berekening van de eventueel te garanderen kWh-opbrengst;
- planning van de productie van de te leveren goederen, leveringsvoorwaarden, levertijd.

## 2. Leveringsomvang

- zonnestroomsystemen (panelen, omvormers, bekabeling en andere elektrische materialen);
- montagesysteem waarmee de zonnepanelen worden bevestigd;
- documentatie (zie punt 4).

Optioneel kunnen de volgende zaken deel uitmaken van de levering:

- onderhoud- en servicecontract;
- apparatuur voor monitoring van de kWh-opbrengst;
- faciliteit voor gebruikers om te kWh-opbrengst te checken.
- Vermeld expliciet wat niet tot de levering behoort, zodat de grenzen van de levering duidelijk zijn.

## 3. Technische specificaties

- De levering moet voldoen aan het Bouwbesluit, NEN 1010 en aan specifieke normen voor zonnestroomsystemen (zie hoofdstuk 4).
- Specificaties van de goederen inclusief kwaliteitsnormen. (De zonnepanelen moeten bij voorkeur gecertificeerd zijn volgens norm NEN-EN-IEC 61215 voor kristallijn silicium PV of NEN 11646 voor dunne film PV zoals amorf silicium). Er wordt bovendien aangeraden te vragen naar gebruikte materialen, levensduur en onderhoud.

## 4. Documenten die deel uit dienen te maken van de levering

- elektrotechnische tekeningen en constructietekeningen van het montagesysteem;
- installatie- en gebruikershandleiding;
- flash-test gegevens (Watt-piek metingen) van alle zonnepanelen.

## 5. Garanties en kwaliteitsborging

- Zonnepanelen: mogen na 10 jaar niet minder dan 90% van het initieel vermogen leveren. Eis dat de panelen tot 20 jaar na oplevering herleverbaar zijn;
  - Omvormers en andere elektrische componenten (5 jaar);
  - Van componenten zoals montagesysteem en zonnepanelen dient de bouwkundige functionaliteit gegarandeerd te worden (10 jaar).
- Er kan worden gevraagd een opleveringstest uit te (laten) voeren conform de Nederlandse Technische Afspraak NTA 8013.



## Maarten van der Boon directeur Leertouwer BV Installatiebedrijf

“Heel belangrijk was om alle partijen in het bouwproces bewust te maken. Bij het project op het dak en in het atrium van ons kantoorgebouw heb ik in iedere fase vasthoudend mensen van de details van het PV-systeem moeten doordringen. Het bouwproces is namelijk niet ingericht op zonnepanelen. Bovendien werkt de onbekendheid ermee remmend voor de ontwikkeling. Maar het resultaat maakt alles goed.

### “Andere partijen bewust maken”

De bewustmaking begint bij de architect: integratie van PV in het bouwkundig ontwerp moet een basisvoorwaarde zijn. De technische detaillering vraagt vervolgens veel tijd en werk, maar is nodig om allerlei problemen, met lekkages en dergelijke, te voorkomen. Ook voor instanties als gemeente, welstand, brandweer etcetera, was PV een nieuwe en onbekende toepassing. Immers, het verlenen van een vergunning van een bouwproject met PV houdt in dat de eventueel later aan te brengen omgevingsbebouwing geen schaduw op het PV-project mag werpen. In de uitvoeringsfase wordt vaak snel over bouwelementen heen gekeken, maar PV vraagt om een andere benadering. Zonnepanelen zijn geen flexibel bouwelement waar je even een stukje vanaf haalt. En als je vierhonderd vierkante meter op het dak en het atrium legt, vraagt dat om een staalconstructie die in orde moet zijn, voorzien van de nodige veiligheidsmiddelen. Bij het aanbrengen moeten de bouwers weten dat elk paneel een spanningsbron is.

Tenslotte: vergis je niet in het onderhoud van zonnepanelen. Mensen denken vaak je er geen omkijken meer naar hebt, maar een onderhoudscontract is heel zinvol. Je hebt meetgegevens nodig om te controleren of alle inverters nog functioneren. Gelukkig merk ik nu dat fotovoltaïsche zonne-energie steeds bekender wordt waardoor de projecten soepeler verlopen. Maar we zijn er nog lang niet.”

#### Kantoreengebouw leertouwer bv installatiebedrijf

Aantal woningen/ luifels/ systemen	2
Vermogen per woning/ luifel	10kWp / 30kWp
Oppervlakte per woning/ luifel	160 m <sup>2</sup> / 250 m <sup>2</sup>
Oriëntatie en hellingshoek	zuidwest 24°
Bevestigingstechniek	Schüco profiel / Thermisch verzinkt frame
Kosten PV-systeem	€ 265.461
Subsidieverstrekkers	Agentschap NL, EIA, VAMIL
Opdrachtgever	Leertouwer BV Installatiebedrijf
Aannemer	Van Driesten Bouw
Architect	Lengkeek architecten
Leverancier	Shell Solar, Stork
Installateur	Leertouwer Elektrotechniek
Projectbegeleiding	Ecofys

# 6 Realisatie

Bij de realisatie van zonnestroomsystemen is een aantal punten van belang:

- organisatie en logistiek op de bouw
- daadwerkelijke installatie en valkuilen
- veiligheid
- uiteindelijke oplevering

*Panelen worden tussen de pannen gelegd (Almelo, Nijrees)*



## Organisatie en logistiek

Bouwgeïntegreerde zonnestroomsystemen kunnen steeds sneller gemonteerd worden. Een korte montagetijd heeft een gunstig effect op de installatiekosten. De trend is dan ook dat er steeds meer slimme en snelle montagesystemen komen en dat er zoveel mogelijk prefab wordt aangeleverd.

In nieuwbouwprojecten worden de zonnepanelen inclusief montagesysteem bij voorkeur tegelijk met de dakpannen gelegd. In het geval van waterkerende schuindaksystemen is het aan te bevelen de zonnepanelen te laten plaatsen door een ervaren dakdekker. Dit heeft als voordeel dat er slechts één partij verantwoordelijk is voor een waterdicht dak. Bij platdaksystemen is het minder van belang dat een dakdekker de panelen plaatst. Indien de dakdekker ook de zonnepanelen legt, is het belangrijk dat hij ook ervaring heeft met het installeren van de stringbekabeling; deze ligt namelijk onder de panelen en moet in orde zijn als het dak dichtgaat.

Montage van de zonnepanelen kan geheel geïntegreerd worden in de normale bouwstroom. De bekabeling van het dak – naar de omvormerruimte en naar de omvormer zelf – kan later worden aangebracht, tegelijk met de elektrische huisinstallatie. De elektro-technisch installateur is hiervoor de aangewezen persoon, zeker als de zonnestroominstallatie onder de hoofdaannemer valt. Als de levering niet in opdracht van de hoofdaannemer is maar van een derde partij, bijvoorbeeld een energiebedrijf, dan schakelt die partij vaak eigen installateurs in. Er moeten dan goede afspraken gemaakt worden over de planning, gebruikmaking van faciliteiten op de bouwplaats (bijvoorbeeld steigers), verantwoordelijkheden en aansprakelijkheden in geval van bijvoorbeeld lekkage.

Bij grootschalige renovatieprojecten is de aanpak grotendeels hetzelfde. In tegenstelling tot bij nieuwbouw zal hier bij schuindaksystemen vaker gekozen worden voor een systeem dat boven de bestaande pannen valt in plaats van een waterkerend systeem. De uitvoering ligt dan vaak bij de zonnestroominstallateur al dan niet onder verantwoordelijkheid van een hoofdaannemer.

Diefstal van panelen is zeker niet ondenkbaar! Een late montage maakt de kans op diefstal van zonnepanelen zo klein mogelijk. Daarom is diefstalbestendige opslag van de zonnepanelen tijdens de bouw van groot belang.



Montage van de zonnepanelen in Langedijk



Montage van de zonnepanelen in Langedijk



Afmontage van zonnepanelen op de Bommelflats te Rotterdam

# Installatie

## Kwaliteit installatiewerk

Ook al is het plaatsen van een zonnestroomsysteem relatief eenvoudig, toch dient gewaakt te worden voor constructie- en elektrotechnische fouten. Fouten kunnen voorkomen worden door inspecties tijdens de bouw en een opleveringstest.

Voorkomende installatiefouten zijn:

- Het onzorgvuldig of helemaal niet aanbrengen van het (dampdoorlatende, vochtwerend) folie onder de panelen en van aansluitingen naar de dakpannen (bij waterkerende systemen op hellende daken). Dit kan leiden tot lekkage.
- Het aanbrengen van onvoldoende ballast bij plat daksystemen. Door de wind kunnen de panelen dan verschuiven.
- Het open en onafgeschermd op het dak liggen van stekker-verbindingen. Hierdoor kan bij regen corrosie optreden, wat tot slechte contacten in de stringbekabeling kan leiden en zelfs tot kortsluiting en brand.
- Het onvoldoende stevig aandraaien van de elektrische schroef-verbindingen van strings in de woning. Ook dit leidt tot slechte verbindingen.
- Het onafgeschermd achterlaten van stringbekabeling die nog niet in de woning (maar wel op het dak) is aangesloten. Dit is gevaarlijk (er staat altijd spanning op!) en kan bij kortsluiting leiden tot brand. Het niet doormeten van strings (de open klemspanning en de kortsluitstroom) zodat aansluitfouten niet worden opgemerkt.
- Het plaatsen van omvormers in te vochtige ruimten. Dit kan leiden tot uitval van omvormers, ook al voldoen ze in principe aan de norm.
- Het plaatsen van omvormers in ongeventileerde ruimten. Dit kan tot (tijdelijke) uitval van omvormers leiden door oververhitting.
- Het maken van een elektrische isolatiefout (plus- of minleiding die ergens per ongeluk met aarde verbonden is). Dit hoeft niet direct een probleem te zijn, maar bij een dubbele isolatiefout ontstaat er een aardlus, waardoor het systeem niet goed meer functioneert en er een kans op beschadiging bestaat.

## Aanleg zonnestroomsysteem in zeven stappen

Energiebedrijf ENECO Energie (voormalig REMU) heeft de praktische uitvoering van een zonnestroomproject in woord en beeld vastgelegd. Het betreft een project van de Stichting Centrale Woningzorg (SCW) in de Amersfoortse nieuwbouwwijk Nieuwland, waarbij vijftig woningen betrokken zijn. In dit project is de toepassing van zonnepanelen gecombineerd met zonnecollectoren.

### 1. Voorbereiding

Op de geïsoleerde dakplaten wordt een waterdichte, dampdoorlatende folie aangebracht. Daaroverheen komt het regelwerk.

### 2. Bekabeling

Tussen het regelwerk worden de kabelbomen aangebracht. Deze bestaan uit in de fabriek op maat gemaakte en gecodeerde kabelstukken, voorzien van de benodigde connectoren. Op iedere kabelboom kan een 'string' zonnepanelen worden aangesloten.

### 3. Bevestiging profielen

Op het regelwerk worden met behulp van roestvrijstalen spaanplaat-schroeven de aluminium bevestigingsprofielen gemonteerd. Deze profielen lopen van nok naar goot. De afstand tussen de profielen sluit aan bij het formaat van de zonnepanelen.

### 4. Zonnepanelen

Vóór het monteren van een zonnepaneel wordt eerst een connector in de aansluitdoos gestoken en vervolgens vastgeschroefd. Daarna volgt het plaatsen van de zonnepanelen in de profielen. De panelen zijn voorzien van een stapelprofiel waardoor ze verticaal in elkaar passen. Zo ontstaat een waterdichte constructie. Voor de afvoer van eventueel condenswater zijn aan de onderzijde van de panelen gootjes aangebracht. Tenslotte worden over de nok-gootprofielen afdekstrips aangebracht.



## Veiligheid

Tijdens het monteren dienen alle veiligheidsvoorschriften voor het personeel in acht genomen te worden. Dit kan betekenen dat het personeel een borglijn moet dragen. Ook het gewicht van de zonnepanelen, tussen de 15 en 25 kg/m<sup>2</sup>, is een zaak om rekening mee te houden, evenals de afmetingen: zonnepanelen kunnen plotseling veel wind vangen. Ten slotte moet de elektrotechnische veiligheid in acht genomen worden en daarbij dienen ook de regels van de netbeheerder gevolgd te worden.

## 5. Afmontage

Langs de randen van het zonnedak wordt een pasgoot aangebracht voor de afvoer van hemelwater en het opvangen van maatafwijkingen. Deze goot onderbreekt de zonnepanelen tussen twee woningen en voorkomt daarmee contactgeluiden. Aluminium profielen zorgen voor de afwerking van de buitenste randen. Aan nok- en gootzijde worden ventilatieopeningen aangebracht.

## 6. Omvormerruimte

Per zeven woningen is naast de voordeur een ruimte gebouwd waarin twee omvormers de gelijkstroom omzetten naar wisselstroom. Eén kWh-meter geeft de hoeveelheid opgewekte zonnestroom aan, andere meters meten het stroomverbruik per woning. De energie-opbrengst van de zonnepanelen kan op afstand via een modem of andere communicatiemiddelen in beeld gebracht worden.

## 7. Oplevering

Na installatie van het systeem worden de strings elektrisch doorgemeten om te controleren of alles goed is aangesloten en goed werkt. Via een lijst met een aantal standaard controlepunten wordt het zonne-energiesysteem gecontroleerd en een goede werking gegarandeerd.

Hierna wordt het systeem in werking gesteld. Bij de formele oplevering krijgt de gebruiker/eigenaar een map met handleiding, gebruiksaanwijzing en tekeningen van het systeem.







Aanbrengen van de bevestigingsprofielen door Van Erk, Krimpen a/d IJssel

### De netaansluiting

In Nederland is de aansluiting op het elektriciteitsnet geregeld door de Elektriciteitswet (1998). De netbeheerder speelt hierin een belangrijke rol: hij zorgt voor de goede werking en veiligheid van het elektriciteitsnet en de aansluitingen op het net. De voorwaarden voor de gedragingen van de netbeheerder en afnemers staan in de Netcode. Deze Netcode wordt opgesteld door de gezamenlijke netbeheerders in Nederland en goedgekeurd door de DTe, de Directie Toezicht Energie. Dit is geregeld in de Elektriciteitswet. De eigenaar van een zonnestroomstelsel is een producent van elektriciteit. Ook de voorwaarden voor producenten en de aansluiting van een productie-eenheid op het elektriciteitsnet zijn geregeld in de Netcode. Een installateur kan het zonnestroomstelsel aanleggen; de daadwerkelijke aansluiting op het net moet in overleg met de netbeheerder geregeld worden. De meeste woningen hebben relatief kleine zonnestroominstallaties die op de reeds aanwezige netaansluiting van de woning of het gebouw worden aangesloten. Soms is (ook in verband met subsidies en saldering) voor de zonnestroominstallatie wel een aparte productiemeter (kWh-meter) noodzakelijk om de zonnestroomproductie te registreren of een tweede telwerk dat de hoeveelheid aan het net teruggeleverde elektriciteit registreert.



Montage van zonnepanelen

### Opleveringstest

De energieopbrengst en de veiligheid zijn voor de kwaliteit van een zonnestroomstelsel bepalend. Deze aspecten dienen tijdens het bouwproces en na de afronding, maar vóór oplevering van het werk gecontroleerd te worden middels een eenmalige opleveringstest. Dit gebeurt onder andere door alle individuele strings c.q. zonnepanelen door te meten. Daarnaast is een onderhoudsbeurt in de zomer aan te raden, liefst bij zonnig weer, uitgevoerd door een onafhankelijke deskundige. De resultaten wijzen uit of de leverancier aan zijn verplichtingen heeft voldaan.

Een standaardprocedure voor het controleren van zonnestroomsystemen is beschreven in de Nederlandse Technische Afspraak (NTA) 8013 getiteld 'Procedure voor het controleren van PV-systemen'. Deze NTA kan eventueel in een bestek worden opgenomen. Aan de hand van een inspectielijst kan een installateur of een inspecteur in dienst van de opdrachtgever controleren of het systeem naar behoren en veilig functioneert. De procedure is toepasbaar voor alle gangbare zonnestroomsystemen. Deze NTA is ontwikkeld door het Nederlands Elektrotechnisch Comité (NEC-82) van het Nederlands Normalisatie Instituut (NEN).

## Bouwe de Boer energicoördinator gemeente Leeuwarden



### Tip 1

“Bij een volgend project à la de CO<sub>2</sub>-balansstraat in Leeuwarden, probeer ik zeker weer om vooraf een intentieovereenkomst tussen alle partijen voor elkaar te krijgen. In die overeenkomst stelt elke partij (gemeente, provincie, projectontwikkelaar, energiebedrijf, Agentschap NL) zich garant voor een bedrag om eventuele tegenvallers te betalen. In dit project, waarin nogal wat vernieuwende en dus onzekere elementen zaten, heeft dat zeker twee tot drie keer geholpen om zware financiële hobbels te nemen. De overeenkomst, met wat publiciteit er omheen, stelde alle partijen op scherp. Dat het hier gaat om een goed zichtbare locatie in de stad, is natuurlijk ook een stimulans geweest. De projectontwikkelaar merkte achteraf op dat we het zonder deze overeenkomst waarschijnlijk niet hadden gered.

*“Intentieovereenkomst met financiële garanties is wenselijk”*

### Tip 2

Deadlines stellen is van groot belang. Toen iedereen zich uitsprak te streven naar de CO<sub>2</sub>-balans eiste de projectontwikkelaar dat er volgens de oorspronkelijke tijdplanning gebouwd moest worden. Als we dat niet konden redden, zouden we terugvallen op plan B, de energiezuinige variant. Deze strakke planning hield de druk op de ketel, want niemand wilde terugvallen op plan B. Alle partijen gingen voor de CO<sub>2</sub>-balans, dus met de zonnepanelen.

### Tip 3

We hebben bij aanbesteding van de levering uiteindelijk gekozen voor de goedkoopste zonnepanelen met de hoogste opbrengst. Achteraf denk ik dat we een hoop communicatiestoornissen hadden kunnen voorkomen door bijvoorbeeld een regionaal aanspreekpunt van de leverancier te verlangen. Het is inefficiënt en onnodig complex als je je vragen steeds moet stellen aan mensen in verschillende landen.

### Tip 4

De betrokkenheid van veel partijen – installateur, leverancier, dakdekker, projectontwikkelaar, gemeente en aannemer – maakt het lastig om de verantwoordelijke te vinden als er iets mis gaat. Terugkijkend op het project zou ik dit anders doen.

### Tip 5

PV is nieuw voor bewoners, dus die willen informatie hebben over opbrengsten, problemen en dergelijke. Die behoefte hebben we laat onderkend, maar is nu ondervangen met een kwartaalnieuwsbrief door het energiebedrijf. Daarin staat alles over opbrengsten en oplossingen voor problemen, bijvoorbeeld met omvormers.”

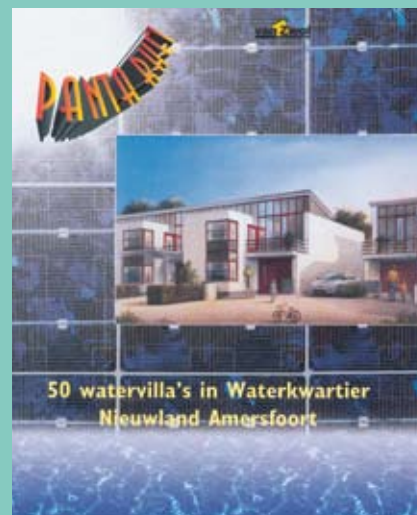
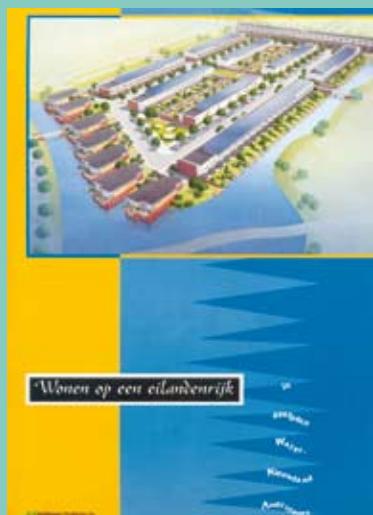
### Co<sub>2</sub> balansstraat, Leeuwarden

Aantal woningen / luifels / systemen	15
Vermogen per woning / luifel	4,59 kWp
Oppervlakte per woning / luifel	34 m <sup>2</sup>
Zonnepanelen	54 x BP 585L
Omvormers	2 x Mastervolt Sunmaster 2500
Oriëntatie- en hellingshoek	Zuid; 15°
Bevestigingstechniek	Lenco WPL-2 op waterdichte ondergrond
Kosten PV-systeem	€ 483.639
Subsidieverstrekkers	Agentschap NL, Essent, gemeente, projectontwikkelaar
Opdrachtgever	Le Clercq Planontwikkeling
Aannemer	Jorritsma Bouw
Architect	Architectenbureau J.P. Moehrlein
Leverancier	BP Solar, Mastervolt
Installateur	BP Solar
Projectbegeleiding	Essent

# 7 Verkoop

Bij de verkoop van woningen met een zonnestroomsysteem is het van belang om potentiële kopers juist en helder te informeren, net zoals bij woningen zonder zonnestroomsysteem. Met een zonnestroomsysteem kunnen ontwikkelaars of corporaties zich positief profileren en inhaken op het profiel van de koper. Een zonnestroomsysteem op

een woning kan eigendom zijn van de woningeigenaar of van een woningcorporatie, maar soms is het systeem eigendom van het energiedistributiebedrijf. Dit hoofdstuk licht de consequenties van deze mogelijkheden toe voor de verkoop van de woning.



## Wie is de eigenaar van een zonnestroomsysteem?

Wanneer er bij nieuwbouwprojecten een zonnestroomsysteem wordt gerealiseerd dan wordt het zonnestroomsysteem samen met de woning verkocht. De bewoner of eigenaar van de woningen wordt ook eigenaar van de zonnestroominstallatie. Gemeenten, provincies of projectontwikkelaars zijn in deze gevallen meestal de initiatiefnemer voor een zonnestroomproject. Soms zijn bewonerscollectieven de initiatiefnemer.

De rol van het energiebedrijf beperkt zich tot de afname van de opgewekte 'groene' stroom tegen een vergoeding voor de teruglevering. Soms zijn energiebedrijven zelf eigenaar van een zonnestroomsysteem. De geproduceerde stroom telt mee in de hoeveelheid duurzaam geproduceerde stroom. Deze levert het energiebedrijf vervolgens aan de 'groene stroom'-klanten.

### Gebouweigenaar als eigenaar zonnestroomsysteem

Wanneer de bewoner eigenaar is van het systeem, is de zonnestroominstallatie per woning aangebracht en komt de geproduceerde energie ten goede aan de bewoner. De eigenaar/bewoner gebruikt de opgewekte elektriciteit meestal eerst zelf. Het overschot aan opgewekte elektriciteit wordt teruggeleverd aan het openbare elektriciteitsnet. Tot drieduizend kWh per jaar wordt dit door de elektriciteitsleverancier verrekend met de afgenomen elektriciteit.

Daarboven hangt het van het energiebedrijf af of de bewoner/eigenaar een vergoeding ontvangt. De eigenaar/bewoner is zelf verantwoordelijk voor de werking en het onderhoud van het systeem. Een onderhoudscontract met de leverancier kan uitkomst bieden. In hoofdstuk 8 vindt u hierover meer informatie.

### Woningcorporatie als eigenaar zonnestroomsysteem

Woningcorporaties hebben via hun woningbezit een groot potentieel aan dakoppervlak waar heel goed zonne-energiesystemen geplaatst kunnen worden. Er zijn twee mogelijkheden:

- Corporaties kunnen kleine systemen aanbieden aan hun bewoners en de bewoners profiteren dan van de opgewekte elektriciteit. Meestal gaat dit samen met een kleine huurverhoging waarbij de uitgespaarde kosten hoger of gelijk zijn dan de huurverhoging. De bewoners profiteren dan direct van het systeem.

In het 1 Megawatt project in Amersfoort (vijfhonderd zonnestroomwoningen) komen diverse varianten voor: de meeste zonnestroomsystemen (circa vierhonderd) zijn ontwikkeld door het energiebedrijf; de helft daarvan is na oplevering eigendom van het energiebedrijf gebleven, de andere helft is doorverkocht aan de bewoners. De systemen op de andere honderd woningen zijn zelfstandig door een projectontwikkelaar gerealiseerd, met financiële steun van het energiebedrijf. Deze systemen zijn dus eigendom van de woningeigenaren.



Duurzame starterwoningen in Zwaagwesteinde. De woningen zijn met zonne-energie-systemen ontworpen en verkocht

- Corporaties met veel gestapelde bouw kunnen ook grote plat daksystemen realiseren. Een voorbeeld hiervan is Patrimonium woonstichting uit Veenendaal. Verdeeld over circa veertig flats is er totaal 1,2 MW geïnstalleerd. Vaak leveren de zonnepanelen de elektriciteit voor de collectieve voorzieningen.



Eén van de flats met zonnepanelen, Veenendaal

Woningcorporatie de Woonplaats heeft de afgelopen jaren bij woningen in ondermeer Winterswijk, Aalten en Groenlo kleine PV-systemen (440 Wp) geplaatst. In de actie 'Energiek wonen' zijn zonneboilers en kleine zonne-energiesystemen aangeboden. Tegen een kleine huurvergoeding per maand zijn bij geschikte woningen de systemen geplaatst. De opbrengst voor de bewoners is zelfs nog iets meer dan de huurverhoging.

### Energiebedrijf als eigenaar zonnestroomsysteem

Wanneer het energiebedrijf eigenaar is van het zonnedak, dient het dak als energieproductiemiddel. Vaak wordt de geproduceerde elektriciteit rechtstreeks aan het net geleverd. De woningeigenaar ontvangt een vaste vergoeding voor het beschikbaar stellen van het dakoppervlak.

In het algemeen sluit het energiebedrijf een overeenkomst met de eigenaar en/of huurder van de woning. Het energiebedrijf vestigt een recht van opstal op het dak van de woning middels een contract met de gebouweigenaar. Bij een koopwoning moeten afspraken over de zonnestroominstallatie als kettingbeding opgenomen zijn in de koopakte. Zo voorkom je dat bij verkoop van de woning de afspraken vervallen. Bij huurwoningen worden de bepalingen in de huurovereenkomst opgenomen. Een aantal aandachtspunten bij het opstellen van dit contract:

- de bereikbaarheid van de installatie ten behoeve van onderhoud en onderzoek
- eventuele schade aan de woning veroorzaakt door het zonnestroomsysteem
- mogelijke schade aan het zonnestroomsysteem veroorzaakt door de gebouweigenaar
- afspraken over het verwijderen van de installatie door het energiebedrijf
- afspraken over verkoop van de installatie aan de eigenaar
- de bewoner mag het zonnestroomsysteem niet verwijderen of beschadigen

de bewoner mag de zonnestraling op het zonnestroomsysteem niet belemmeren door beplanting, obstakels op het dak (bijvoorbeeld antennes of rookgasafvoerpijpjes) of bij- of aanbouw (zoals dakkapellen).



Zonnepanelen, Raalte



Zonnepanelen, Groenlo



Een woning met A-label

## De verkoop

Bij de verkoop van woningen speelt de duurzaamheid van de woning en de aanwezigheid van een zonnestroomsysteem een steeds grotere rol. Nieuwbouwwoningen moeten voldoen aan het Bouwbesluit en moeten een minimale EPC van 0,8 hebben.

Op 1 januari 2008 heeft de overheid het energielabel ingevoerd: bij verkoop van bestaande woningen moet er een label overlegd worden dat aangeeft hoe goed de woning presteert op energiegebied. Een energiezuinige woning heeft een beter label. Ook de aanwezigheid van een zonnestroomsysteem telt mee. Meer informatie over het energielabel is te vinden op de website van het ministerie van VROM of [energielabel.nl](http://energielabel.nl).

Een nieuwbouwwoning met een zonnestroomsysteem is, afhankelijk van de beschikbare subsidies, in de regel iets duurder dan een woning zonder zonnestroomsysteem. Het prijsverschil, de subsidiemogelijkheden en de financiering moeten goed gecommuniceerd worden naar de eigenaar/bewoners. Dit voorkomt onduidelijkheden in de toekomst. Benadruk de lagere energierekening bij de promotie van een nieuwbouwwoning.



Een zuinig huis? Met het energielabel zie je het zo.

Het energielabel nu ook voor woningen

In de praktijk wordt vaak gestart met de verkoop van een nieuwbouwwoning terwijl het nog onzeker is of er zonnestroomsystemen komen. In de meeste verkoopbrochures wordt het zonnestroomstelsel dan ook summier beschreven. Ook worden zonnestroomstelsels soms als meerwerk aangeboden. Veel bewoners stellen het echter op prijs om duidelijk geïnformeerd te worden, bijvoorbeeld tijdens een kopersbijeenkomst. Het is verhelderend om een zonnepaneel te laten zien en een deskundige uitleg te (laten) geven.

Rondom de verkoop verdienen de volgende punten aandacht:

- Voorkom dat de kopers lang in onzekerheid verkeren of een zonnestroomstelsel daadwerkelijk geplaatst wordt.
- Zorg dat de bewoners de opbrengst kunnen bijhouden met een opbrengstmeter. Laat deze onderdeel zijn van het stelsel.
- Leg uit wat er met de opgewekte elektriciteit gebeurt.
- Wees helder over de te verwachten stroomopbrengst.
- Geef aan wat het financieel oplevert voor de koper.
- Maak de rol van het energiebedrijf duidelijk.
- Zorg voor een goede gebruikershandleiding.

### Promotie

Het zonnestroomstelsel kan in het promotiemateriaal op verschillende wijzen gepresenteerd worden. Afhankelijk van de doelgroep en de te verwachten ervaringen met zonnestroom bij de toekomstige bewoners kan nadruk gelegd worden op bepaalde aspecten van zonnestroom. De argumenten voor zonnestroomstelsels kunnen als volgt worden ingedeeld:

- lagere energiekosten
- imago
- milieu en energiebesparing
- toekomstgericht

Vaak wordt een zonnestroomstelsel toegepast samen met andere energiebesparende of duurzame technieken. Dan worden vooral de lage energielasten benadrukt. De praktijk leert echter dat kopers in eerste instantie nog niet letten op de energiezuinigheid van een woning, maar kijken naar bijvoorbeeld de ligging van een woning, de grootte en de prijs-kwaliteitverhouding van de woning. Deze aspecten kunnen natuurlijk gewoon belicht worden waarbij de lagere energierekening de doorslag kan geven bij de keuze tussen vergelijkbare woningen.



Flat Bieslandkade Delft van Woonbron



Het gevelsysteem van de flat



## Nora Cwicklicki Woningcorporatie De Nieuwe Unie, Rotterdam

“Met het nemen van een energiemaatregel als het aanbrengen van zonnepanelen brengen we de vaste lasten voor de huurder naar beneden. Normaal kan dat voor de huurder opwegen tegen een lichte stijging van de huurprijs. Maar als woningcorporatie hebben wij de opdracht om het merendeel van de huurprijzen “bereikbaar” te houden, dat wil zeggen onder de huursubsidiegrens. We hebben maatschappelijke doelen, dus ook een milieudoelstelling. Maar wij moeten telkens een afweging maken tussen huurkosten en energiekosten, die niet altijd gunstig uitpakt voor dit soort – toch relatief dure – maatregelen.

### “Subsidies nemen kostenbarrière”

Zonder subsidies hadden we dit project, zonnecellen op de glazen overkapping van de galerij, nooit kunnen realiseren. Het is te danken aan het enthousiasme van alle partijen die aan tafel zaten dat dit is gelukt. Sommige mensen waren misschien aan handen en voeten gebonden, maar hun overtuiging heeft een doorslaggevende rol gespeeld. Hetzelfde enthousiasme zorgde er ook voor dat we redelijk snel en flexibel besluiten konden nemen, bijvoorbeeld dat we de panelen niet gingen vastschroeven maar lijmen.

Uiteindelijk vormden de onderhandelingen over de financiële steun met meerdere partijen de grootste hobbel in ons project. Tussen die onderhandelingen en de uiteindelijke toezeggingen lag een duidelijke go/no go beslissing. Iedereen is nu positief over het project. Maar de kosten zijn en blijven voor ons een probleem.”

#### Bommelhoffflat, pendrecht, rotterdam

Aantal woningen/ luifels/ systemen	2
Vermogen per woning/ luifel	20 kWp
Oppervlakte per woning/ luifel	200 m <sup>2</sup>
Oriëntatie en hellingshoek	Horizontaal
Bevestigingstechniek	Metalen frame
Kosten PV-systeem	€ 304.577
Subsidieverstrekkers	Agentschap NL, Eneco, Gemeente, EU (Thermie)
Opdrachtgever	Woningcorporatie De Nieuwe Unie
Aannemer	Volker Bouwmaatschappij
Architect	Architectenbureau Van Straalen
Leverancier	Croon Duurzaam
Installateur	Croon Duurzaam
Projectbegeleiding	Ecofys



# 8 Gebruiksfase

Na oplevering van het zonnestroomsysteem heeft de gebruiker er in principe geen omkijken meer naar. Maar als het systeem onverhoopt toch uitvalt, zal dat niet direct opgemerkt worden: het licht in huis blijft gewoon branden. Goed onderhoud van het systeem begint bij een goede handleiding voor de gebruiker.

Als de installatie bovendien met een elektriciteitsmeter is uitgerust, kan de gebruiker de opbrengst in de gaten houden en eventueel een eerste diagnose stellen en hulp inroepen. Via tools op internet kan de eigen meterstand vrij eenvoudig worden beoordeeld. Daarnaast waarborgt een onderhoudscontract een maximale opbrengst en optimale veiligheid.



Een geïntegreerd zonnestroomsysteem dat deel uit maakt van een pakket aan energiemaatregelen (Havankpark, Leeuwarden).



Geen omkijken meer naar het zonnestroomsysteem in de gebruiksfase (Nieuwland, Amersfoort).

### Gebruikersinstructie

Als een zonnestroominstallatie op een woning eigendom is van de bewoner, dan zorgt de leverancier ook voor een gebruikershandleiding. In de handleiding staat informatie over de werking van zonnestroom en de installatie. Aspecten als techniek ('Wat is zonnestroom?', 'Hoe werkt mijn installatie?'), kwaliteit, veiligheid en garantie komen hierin aan de orde. Ook dient de handleiding duidelijk te maken wat de eigenaar moet doen bij problemen met de installatie. Dit kan uiteenlopen van het afwerken van een checklist of bellen van de leverancier of onderhoudsdienst. Ook moet het onderhoudsplan duidelijk op papier staan. Een goede gebruikersinstructie is niet alleen nodig om praktische redenen. Omdat zonnestroom nog tamelijk nieuw is bij het grote publiek, is goede voorlichting van groot belang. Let daarom bij het samenstellen van de handleiding zeker ook op de schrijfstijl. Ook is het belangrijk dat er algemene informatie over zonnestroom in staat. Zo kunnen eigenaren – als ze dat willen – leren begrijpen hoe zonnestroom werkt. De kennis over zonnestroom en de betrokkenheid van de eigenaar bij zijn installatie levert zeker een bijdrage aan effectief beheer van de installatie.

### Onderhoud

Een goed geïnstalleerde zonnestroominstallatie vergt vrijwel geen onderhoud. Het is verstandig om toch periodiek onderhoud uit te voeren, te meer omdat niet direct consequenties merkbaar zijn voor de elektriciteitsvoorziening van een gebouw als het zonnestroomsysteem uitvalt. Er is tenslotte altijd nog een verbinding met het net.

#### Tips voor onderhoud:

- Een aantal eenvoudige dingen om zelf de werking van de installatie te controleren:
- Kijk regelmatig of de indicatorlampjes van de omvormer (indien aanwezig) nog branden wanneer de zon voldoende schijnt.
- Inspecteer het systeem één keer per jaar en haal eventuele vervuiling weg.
- Let bij de inspectie op losliggende of loshangende kabels, eventuele corrosie van bevestigingsmaterialen en het oppervlak van de panelen.
- Houd de standen van de elektriciteitsproductie bij en vergelijk deze met een verwachte opbrengst.
- Controleer na een stroomuitval of het systeem weer goed werkt.
- Zorg ervoor dat er na verloop van tijd geen bomen voor uw installatie groeien die schaduw geven.

Bij het uitvoeren van een onderhoudsbeurt kan de inspectielijst worden gebruikt die ook bij de opleveringstest is gebruikt. Een onderhoudsbeurt betekent met name een controle of de installatie nog aan de veiligheidseisen voldoet en of alle zonnepanelen (en strings) nog werken. Ook het actuele zonnestroomvermogen zal worden gecheckt. Daarom wordt aangeraden een onderhoudsbeurt in de zomer, liefst bij zonnig weer, uit te voeren. Meestal kan de leverancier van het systeem dit onderhoud regelen.

Ook een visuele check van met name de zonnepanelen maakt deel uit van het preventief onderhoud. Fabrikanten verlenen tien tot twintig jaar garantie op de zonnepanelen en in die tijd kan er een paneel beschadigd raken, bijvoorbeeld door thermische glasbreuk of vandalisme. In zo'n geval moet een paneel eenvoudig te verwisselen zijn. Dit stelt eisen aan het montagesysteem van de panelen en aan de bereikbaarheid.

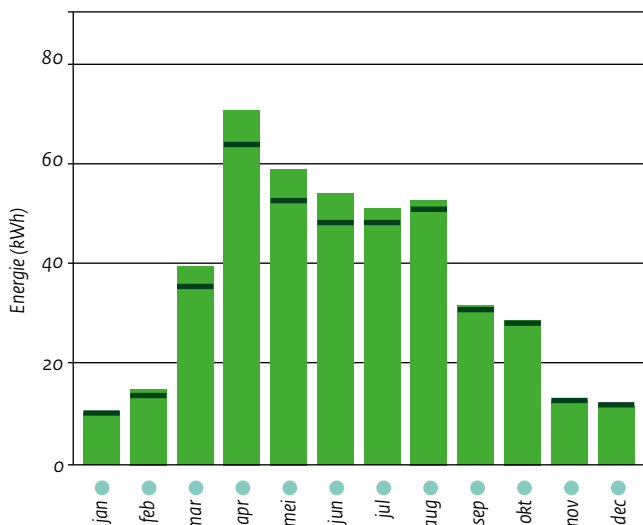
### Controle opbrengst

Aan de buitenkant van een zonnestroomsysteem is niet te zien of het systeem naar behoren functioneert. Daarom wordt aanbevolen altijd de energieopbrengst (kWh) te meten. Vaak wordt pas laat, bijvoorbeeld via de afrekening van het energiebedrijf, ontdekt dat het zonnestroomsysteem niet of slecht functioneert.

Directe controle van de opbrengst is mogelijk met drie instrumenten:

- kWh-meter
- display
- gebouwbeheersysteem (utiliteit)

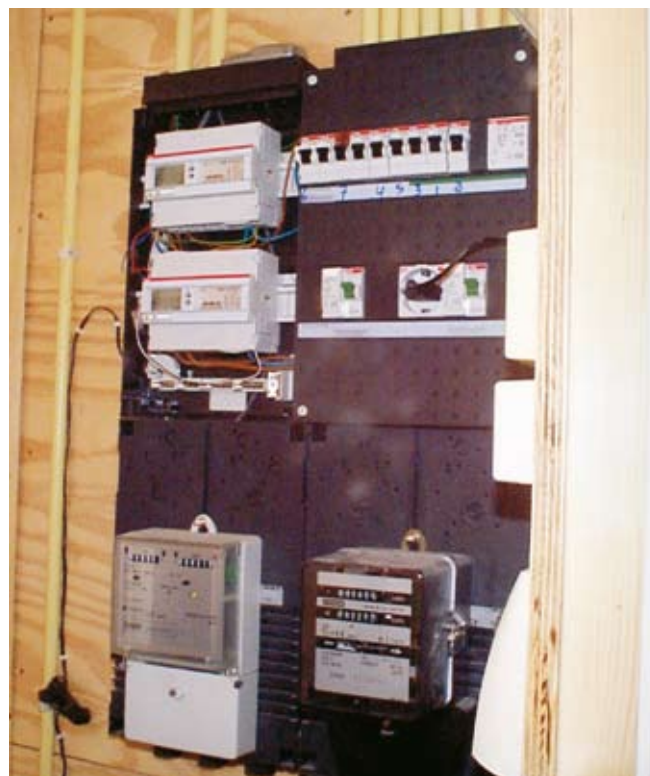
Omdat de zoninstraling over het jaar wisselt is het lastig om de opbrengst van een systeem goed te beoordelen. Er bestaan echter websites waarop gebruikers kunnen zien of hun systeem goed functioneert. Ze moeten daarvoor elke maand de meterstand van hun systeem opnemen en invoeren. De eerste keer moeten ze ook gegevens over hun systeem invoeren. De werkelijke opbrengst wordt dan vergeleken met de verwachte opbrengst op basis van de zonnestraling van die maand.



Zonnestroomsysteem met storing/problemen in de zomermaanden (als voorbeeld). De donkere horizontale streepjes geven de verwachte opbrengst aan.

### kWh-meter

Meten van de opbrengst is eenvoudig met een kWh-meter. Een kWh-meter vormt overigens geen standaard onderdeel van een zonnestroomsysteem. Behalve bij zonnestroom die wordt teruggeleverd aan het openbare net en waarbij systeem groter is dan vierhonderd Wp. Dan is een kWh-meter wel standaard aanwezig. Als de zonnestroom ook direct in de woning gebruikt wordt, meet deze kWh-meter dus slechts een deel van de totale hoeveelheid opgewekte zonnestroom. Een extra kWh-meter is dan nodig om het totaal te meten.



Beneden rechts een draaischijfmeter met twee telwerken (hoog / laag tarief). Links zijn er extra kWh-meters voor een display geplaatst. De meter linksonder is een digitale teruglevermeter.

### Verschillende typen kwh-meters

Er bestaan analoge en digitale kWh-meters. De bekende draaischijfmeter die nog in veel woningen aanwezig is, is een analoge meter. Een vast aantal omwentelingen van de draaischijf komt overeen met het verbruik van één kWh. Deze meters werden tot enkele jaren geleden in elke woning toegepast. Wanneer er geen terugloopblokkering aanwezig is, draait bij het teruggeleveren van zonnestroom de draaischijf terug en telt ook het telwerk terug.

In nieuwbouw worden alleen nog digitale kWh-meters toegepast. Deze hebben meerdere telwerken en kunnen niet terugtellen bij teruglevering van stroom. Om teruggeleverde stroom te meten moet er een apart telwerk zijn (digitale tweerichtingsmeter). Vanaf 2009 worden in Nederland de 'slimme meters' ingevoerd. Dit zijn ook digitale kWh-meters met meerdere telwerken die een communicatiemogelijkheid hebben waardoor ze onder meer op afstand uitleesbaar zijn.

## Display

Veel omvormers zijn uitgerust met een display dat onder meer het actuele vermogen toont. Dit zegt overigens niet alles over de opbrengst gedurende langere tijd. Sommige omvormers bevatten een monitoring-unit die met een computer verbonden kan worden. Met speciale software of via internet kan bekeken worden hoe het systeem op dat moment functioneert en hoe het in het verleden gefunctioneerd heeft. Niet alleen opbrengstgegevens komen zo beschikbaar, maar ook informatie over de veiligheidsstatus van het systeem, bijvoorbeeld aardfouten.

Er zijn ook units verkrijgbaar voor in de huiskamer, die de functie van display en meter in zich verenigen. Ze worden – al dan niet draadloos – verbonden met kWh-meters in de woning en kunnen opwekking van zonnestroom en huishoudelijk elektriciteitsverbruik naast elkaar laten zien. Meetgegevens blijven bewaard en kunnen eventueel later uitgelezen en geanalyseerd worden op de computer. Sommige van deze units worden op de omvormers aangesloten en geven de meetwaarden van de omvormers weer.

## Gebouwbeheersystemen

Zonnestroomsystemen op utiliteitsgebouwen kun je efficiënt monitoren met behulp van reeds aanwezige gebouwbeheerssystemen (GBS). De aandacht voor het energieverbruik van een gebouw wordt steeds groter en naast het regelen van een goed comfort en binnenklimaat is het GBS ook geschikt om het energieverbruik van het gebouw en de productie van zonnestroom zichtbaar te maken. Het is raadzaam dit vooraf goed in de specificaties in het programma van eisen bij de aanbesteding op te nemen.

## Teruglevering

De afgelopen jaren is de energiemarkt in Nederland geliberaliseerd: het staat iedereen, ook huishoudens, vrij om een leverancier van elektriciteit en gas te kiezen. Bij de keuze van een leverancier spelen meerdere factoren een rol: de kosten van de elektriciteit, het feit of een leverancier 'groene' stroom aanbiedt of dat deze een vergoeding betaalt voor zonnestroom die door een huishouden wordt geproduceerd en aan het net wordt geleverd. Voor kleinere systemen geldt bij teruglevering aan het net de salderingsregeling.

Vanaf 2009 worden in Nederland overal zogenoemde 'slimme meters' geplaatst. Deze kWh-meters hebben meerdere telwerken en meten precies de hoeveelheid teruggeleverde stroom aan het net. Deze slimme meters zijn ook op afstand uitleesbaar en maken communicatie mogelijk tussen afnemers en leveranciers. Ook kunnen diensten als energiebesparingsadviezen worden aangeboden en is het mogelijk om speciale tarieven voor bepaalde uren te hanteren.

## Verzekering

Een zonnestroomsysteem is erg waardevol. Aanbevolen wordt, in verband met de opstalverzekering, aan de verzekeraar door te geven dat u een zonnestroomsysteem geplaatst heeft. Meestal valt het systeem gewoon onder de bestaande opstalverzekering.

### Salderingsregeling

Kleinverbruikers die stroom leveren aan het net kunnen gebruik maken van de salderingsregeling. Alle geproduceerde elektriciteit tot drieduizend kWh per jaar moet worden verrekend met de afgenomen elektriciteit van het energiebedrijf. Voor deze opgewekte zonnestroom ontvangt een kleinverbruiker dus per saldo net zoveel als er voor de grijze stroom betaald wordt. Boven de drieduizend kWh per jaar krijgt men, afhankelijk van het energiebedrijf, een lagere vergoeding of geen vergoeding. Wie gebruik wil maken van de salderingsregeling moet dit doorgeven aan de netbeheerder. Deze zorgt er dan voor dat de juiste meterstanden aan de leverancier worden doorgegeven en dat dit administratief goed wordt afgehandeld door de leverancier.

De salderingsregeling is geregeld in art. 31c van de Elektriciteitswet 1998 en is alleen van toepassing op aansluitingen van kleinverbruikers.

Wanneer een draaischijf kWh-meter zonder terugloopblokkering aanwezig is, vindt automatisch saldering plaats. Bij levering aan het net draait de meter immers achteruit, waardoor automatisch de kosten voor ingekochte en teruggeleverde elektriciteit verrekend zijn. Bij een digitale eenrichtingsmeter of een meter met terugloopblokkering kan geen saldering plaatsvinden. Wil men hier toch gebruik van maken dan moet er een tweede meter geplaatst worden of bij voorkeur een digitale tweerichtingsmeter.



Nieuwland, Amersfoort

## Ervaringen uit nieuwland en stad van de zon: aanbevelingen voor beheer en onderhoud

De projecten 'Nieuwland' te Amersfoort en 'Stad van de Zon' in Heerhugowaard, Alkmaar en Langedijk zijn twee grootschalige zonnestroomprojecten in Nederland. In de tijd dat deze projecten gerealiseerd werden, waren het grote experimenten. Nu zijn er lessen te uit te leren voor nieuwe projecten.

### **De eigenaar van de PV-systemen moet betrokken zijn bij de systemen en deze regelmatig controleren en monitoren.**

In Nieuwland is een aantal PV-systemen op woningen eigendom van een elektriciteitsleverancier. Deze elektriciteitsleverancier houdt de opbrengsten van de systemen nauwelijks in de gaten. Als systemen niet functioneren, komt dit vaak niet aan het licht. Het gevolg: de gemiddelde opbrengst van de systemen daalt drastisch. Bovendien leidt het melden van storingen door bewoners niet automatisch tot reparatie, vaak vanwege economische motieven.

### **Analyse van monitoringsgegevens is nodig om de prestaties van systemen te bepalen.**

Monitoring en analyse van opbrengstgegevens is nodig om de prestaties van de systemen te bepalen. Bij een onverwachte teruggang in opbrengst kan de eigenaar adequaat reageren.

Immers, meten is weten. Bij kleinere, dicht bij elkaar geïnstalleerde systemen (zoals Nieuwland of Stad van de Zon) is een lokale instalingsmeting zinvol: deze leidt tot kleinere fouten in instaling en een nauwkeurige bepaling van de opbrengstfactor. Hierdoor worden afwijkingen ten opzichte van een normopbrengst eerder herkend.

### **Analyse van monitoringsgegevens is nodig om disfunctioneren van systemen te ontdekken.**

Als de prestaties van de PV-systemen bekend zijn, kan onderzocht worden of de systemen voldoen aan de eisen.

### **Snelle respons op storingen verhoogt de prestatie van systemen.**

Via monitoring kan de eigenaar van de PV-systemen achterhalen of de systemen goed, minder goed, of slecht functioneren. Afhankelijk van de (vermoede) oorzaak van slecht functioneren, kan de eigenaar een defecte inverter of panelen vervangen. Of hij past de verwachte opbrengstfactor aan de veranderingen in het PV-systeem aan.

Het snel aanpakken van disfunctionerende systemen volstaat; ander onderhoud is dan niet nodig.



Nieuwland, Amersfoort



Stad van de Zon



Stad van de Zon



Stad van de Zon



Stad van de Zon

# 9 Subsidies en financiering

Zonnestroom genereert inkomsten door het gebruiken of verkopen van de opgewekte stroom. Daarnaast zijn er ook diverse subsidies, fiscale regelingen en gunstige financieringsmogelijkheden voor zonnestroom. Deze worden ieder jaar opnieuw vastgesteld en kunnen dus wijzigen.

Naast subsidies van de rijksoverheid bieden sommige overheden zoals provincies en gemeenten, maar ook energiebedrijven extra subsidie. Financieringsinstellingen bieden voor duurzame projecten met zonnestroomsystemen onder bepaalde voorwaarden extra rentevoordeel.

Voor duurzaam geproduceerde zonnestroom bestaan certificaten die aangeven dat de elektriciteit duurzaam is opgewekt. Deze certificaten, 'Garanties van Oorsprong', kunnen verhandeld worden en vertegenwoordigen dus de 'groenwaarde' van de elektriciteit. Dit is vooral belangrijk voor de leveranciers van elektriciteit aan consumenten die hiermee aantonen dat de elektriciteit duurzaam is opgewekt.



# Subsidies en overheidsprogramma's

Er zijn diverse subsidies en overheidsprogramma's waarin duurzame energieprojecten en de productie van zonnestroom worden gestimuleerd. De regelingen en programma's kunnen per jaar wisselen. Hieronder staan de belangrijkste regelingen van dit moment.

## Stimuleringsregeling Duurzame Energieproductie

De Stimuleringsregeling Duurzame Energieproductie (SDE) is een belangrijk instrument binnen het programma 'Schoon en Zuinig, nieuwe energie voor het klimaat', waarin het kabinet uiteenzet hoe Nederland twintig procent hernieuwbare energie in 2020 kan halen. Investerders in projecten over hernieuwbare elektriciteit, hernieuwbaar gas en warmtekrachtkoppeling (wkk) kunnen gebruik maken van de SDE. De regeling werkt met een terugleververgoeding voor duurzaam geproduceerde elektriciteit. Voor een periode van vijftien jaar wordt er per kWh opgewekte elektriciteit een bedrag van enkele tientallen eurocenten vergoed. De hoogte wordt jaarlijks vastgesteld en gaat iets omlaag bij een stijgende elektriciteitsprijs. Belangrijk bij deze regeling is dus een goed werkend zonne-energiesysteem met een hoge opbrengst, omdat subsidie wordt verstrekt op basis van werkelijk geproduceerde elektriciteit. In 2008 is de regeling voor het eerst opengestaan met subsidie voor kleine zonnestroomsystemen (0,6 tot maximaal 3,5 kWp).

## Energie Onderzoek Subsidie programma en Unieke Kansen Regeling

Agentschap NL voert het Energie Onderzoek Subsidie- (EOS) programma en de Unieke Kansen Regeling (UKR) uit in de vorm van zogenaamde tenders. Dit betekent dat – per tender – subsidies worden toegekend aan de projecten die het meeste bijdragen aan de programmadoelen. Alleen de beste projecten krijgen subsidie, dus het is nooit zeker of u subsidie krijgt, zelfs al voldoet het project aan de criteria.

EOS Lange Termijn is een regeling voor ondersteuning van onderzoeksprojecten; voor projecten waarin zonnestroomsystemen in de praktijk worden toegepast zijn er de EOS Demonstratieregeling en de UKR. De EOS Demonstratieregeling kent specifieke criteria ten aanzien van innovativiteit; bij de Unieke Kansen Regeling wordt onder meer gelet op de bijdrage die de resultaten van een project op termijn hebben voor de duurzame energiedoelstelling in Nederland. Een zonnestroomproject maakt vrijwel altijd onderdeel uit van een combinatie van duurzame technieken binnen een project, omdat binnen de regeling ook gekeken wordt naar subsidie-effectiviteit en dus relatief dure technieken lager zullen scoren. De subsidies worden per project verstrekt.

## Energie-investeringsaftrek (EIA-regeling)

Winstgevende bedrijven kunnen een deel van hun investeringen in duurzame energievoorzieningen extra aftrekken van de fiscale winst. Deze Energie-investeringsaftrek (EIA-regeling) creëert een belastingvoordeel. De hoogte van het fiscale voordeel hangt af van de fiscale situatie van de ondernemer. Organisaties kunnen een investeringsbedrag van maximaal drieduizend euro per kW piekvermogen aftrekken (regeling 2008). De EIA-regeling geldt niet voor particulieren.

## Groene financiering (Regeling groenprojecten)

De overheid biedt de mogelijkheid om voor milieuvriendelijke investeringen een lening af te sluiten tegen een iets lagere rente dan de markrente. Bij een lening voor de financiering van een zonnestroomproject kunnen bedrijven zo een klein financieel voordeel creëren. Voor het project moet wel een groenverklaring zijn afgegeven die aantoont dat het project valt onder de Regeling groenprojecten. De financiering wordt verstrekt door groenbanken of groenfondsen.

## Groene hypotheekrente

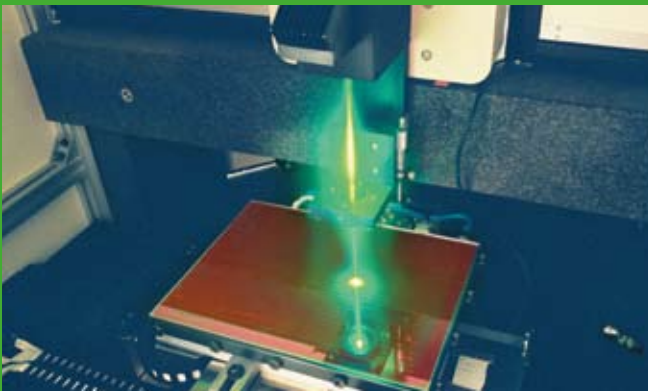
Particulieren kunnen, wanneer ze een nieuwbouwwoning kopen, onder bepaalde voorwaarden een zonnestroomsysteem meefinancieren in de hypotheek. De te betalen rente over het deel van de hypotheek dat voor aanschaf van het zonnestroomsysteem wordt gebruikt, is fiscaal aftrekbaar. Wanneer de woning voldoet aan een aantal eisen op het gebied van duurzaam bouwen en er een groenverklaring is afgegeven voor de woning kunnen particulieren een groene hypotheek afsluiten. Voor een periode van tien jaar kan er dan geleend worden tegen een iets lagere rente. Het hypotheekbedrag is wel aan een maximum gebonden (maximaal 34.034 euro in 2008). Een groene hypotheek wordt in de meeste gevallen gecombineerd met een gewone hypotheek.



# 10 Toekomst

Het is ieders verwachting dat het gebruik van zonnestroom de komende jaren sterk blijft groeien. Dit komt door de prijsdaling van zonnestroomsystemen en een verdere kwaliteitsverbetering. Voor kwaliteitsverbetering is nog voldoende ruimte. Op korte termijn liggen de kansen in het perfectioneren van de huidige siliciumtechnologie en opschaling van de industriële productie.

Veel wordt verwacht van dunne-laagtechnologie in combinatie met grootschalige productie. Op de langere termijn zullen technologische doorbraken moeten zorgen voor een verdere prijsverlaging. Wellicht kan zonnestroom uit cellen van kunststof of andere halfgeleiders dan silicium concurreren met stroom uit fossiele brandstoffen en andere duurzame bronnen.



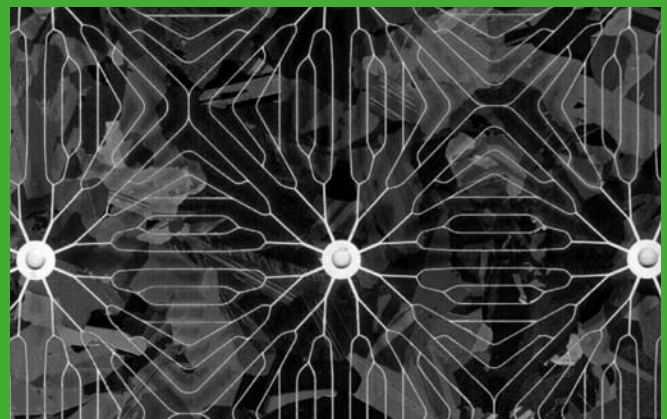
Een laserbundel voert een bewerking uit op een zonnecelstructuur. De laser maakt verbindingen tussen naast elkaar gelegen zonnecellen.



Flexibele zonnecellen



In het Utrecht Solar Energy Laboratory wordt de productietechnologie van een dunne film zonnecellen onderzocht. Professor Ruud Schropp toont een zonnecel gemaakt van dunne film silicium op glas.



'Pin up' zonnecel: geoptimaliseerd patroon van metaalcontacten, drie procent meer rendement.

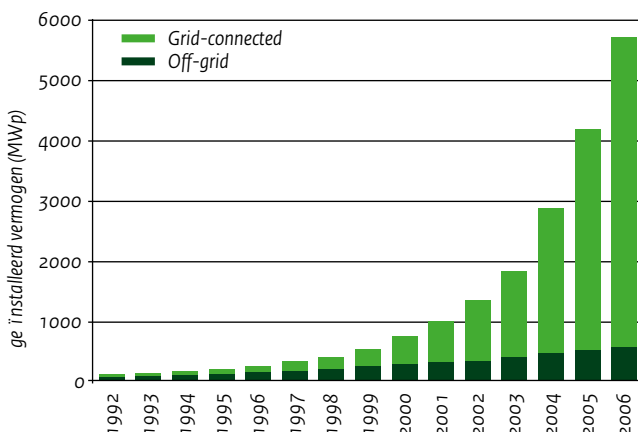
# Ontwikkeling van de markt

De bijdrage van zonnestroom aan de elektriciteitsvoorziening is nog miniem, maar de productie en installatie van zonnecellen groeit wereldwijd met maar liefst dertig procent per jaar. De verwachting is dat die groei wordt voortgezet. Aan het eind van 2006 was het wereldwijd totaal geïnstalleerde PV-vermogen al 5,7 gigawatt piek (5695 MWp) en de schatting voor 2007 is dat er al meer dan negen gigawatt geïnstalleerd is.

De Nederlandse overheid heeft ingezet op een aandeel van twintig procent duurzaam opgewekte energie in 2020. Hoewel zonnestroom nu nog een klein deel uitmaakt van de totale hoeveelheid duurzame energie, heeft zonnestroom in de gebouwde omgeving voldoende potentieel om een belangrijk deel uit te maken van de productie van duurzame elektriciteit in Nederland.

## Kostprijsontwikkeling

Aan de groei van de markt voor zonnestroom ligt een prijsdaling van zonnecellen – de belangrijkste kostenpost van een installatie – ten grondslag. Dat is vooral te danken aan een steeds hoger energetisch rendement en aan efficiëntere methoden voor massaproductie van zonnecellen en zonnepanelen. In Nederland is de kostprijs van zonnepanelen de afgelopen vijftien jaar gehalveerd. De kostprijs van een zonnestroomsysteem bepaalt ook de prijs die de opgewekte elektriciteit kost. De prijs van zonnepanelen en -systemen volgt een zogenaamde leercurve: bij iedere verdubbeling van de productie daalt de prijs met een vast percentage. Door de grote wereldwijde groei van zonnestroom daalt de prijs gestaag.



Totaal cumulatief geïnstalleerd vermogen (in MWp) van zonnestroomsystemen (bron: IEA PVPS)

## De zonnestroommarkt in Duitsland

De markt in Duitsland heeft de afgelopen jaren een spectaculaire groei laten zien. Eind 2007 was er een totaal cumulatief vermogen van circa 3,8 gigawatt piek geïnstalleerd. Door een actief stimuleringsbeleid van de overheid sinds begin jaren negentig is het aantal systemen constant gegroeid, evenals het totaal geïnstalleerd vermogen. Deze marktontwikkeling is te danken aan een aantal gerichte stimuleringsprogramma's. Een succesvol voorbeeld van zo'n programma is het 100.000-dakenprogramma van 1999 tot 2003.

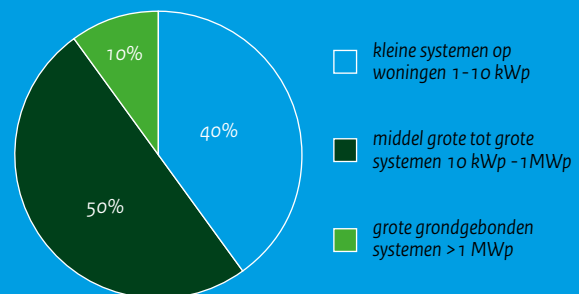
Op dit moment kent Duitsland een systeem van een terugleververgoeding per geproduceerde kWh elektriciteit. De vergoeding neemt voor nieuw geïnstalleerde systemen jaarlijks met vijf procent af. De vergoeding in 2008 is voor daksystemen tot dertig kWp circa 46 cent per kWh en wordt toegekend voor twintig jaar.

De zonnestroommarkt in Duitsland is een economische factor die belangrijk is voor de werkgelegenheid. Het totaal aantal geschatte banen in de sector is veertigduizend in 2007.

De grote vraag naar zonne-energiesystemen heeft er onder meer voor gezorgd dat de totale productiecapaciteit van zonnecellen en zonnepanelen in zowel Duitsland als wereldwijd sterk is toegenomen. Deze groei neemt naar verwachting ook de komende jaren toe.

In Duitsland zijn kleine, middelgrote en grote systemen te onderscheiden. De kleine systemen zijn vooral systemen op of aan woningen. Middelgrote systemen zijn vaak (plat)dak-systemen op grote stallen, loodsen en industriële gebouwen. Daarnaast zijn er de grote systemen (> 1 MWp per systeem) die vooral bestaan uit grote, grondgebonden systemen.

## Marktverdeling zonnestroomsystemen in Duitsland naar geïnstalleerd vermogen



Bron: BSW Solar, Duitsland

De prijsdaling is de afgelopen jaren echter gering geweest. Dit kwam door de grote vraag naar zonnepanelen waardoor er een tekort is ontstaan in de grondstof silicium. Wereldwijd is echter veel geïnvesteerd in productiecapaciteit om het aanbod van silicium te verhogen en de verwachting is dat het tekort eind 2008 is opgelost. Silicium wordt nu ook speciaal voor de zonnestroomindustrie gemaakt en is niet meer zoals vroeger een restproduct van de elektronica-industrie.



Zonnestroomelektriciteitsprijzen vergeleken met consumentenprijzen in 2020. Ook in Nederland kan dan zonnestroom goedkoper zijn dan stroom die is gekocht uit het net. In het gearceerde deel is de prijs van zonnestroom lager of gelijk aan de prijs van elektriciteit uit het net.

(Bron: W.C. Sinke, ECN en EU PV Technology Platform (2005), kaart: PVGIS© European Communities, 2001-2007).

De verwachting is dat – beginnend in Zuid-Europa – rond 2015 de prijs van zelf opgewekte zonnestroom concurrerend is met de prijs van elektriciteit die van het energiebedrijf wordt gekocht. Tegen 2020 kan dit ook in Nederland het geval zijn.

### Andere componenten

Zonnepanelen maken het grootste deel uit van de kostprijs van een zonnestroominstallatie, maar ook montagesystemen voor de panelen op daken en gevels, elektronica (met name omvormers) en bekabeling tellen mee. Er is de afgelopen jaren veel gedaan om ook de kosten van montagesystemen en omvormers lager te maken. Het resultaat: een scala aan standaardproducten, die niet alleen goedkoper zijn, maar veelal wel een hogere kwaliteit hebben. Ook deze ontwikkeling wordt voortgezet.

De kosten van omvormers kunnen nog verder omlaag door minder materiaal te gebruiken en door productie op grotere schaal. Kwaliteitsverbetering zit vooral in hogere omzettingsrendementen en grotere betrouwbaarheid.

Montagesystemen kunnen goedkoper worden door minder materiaalgebruik en door toepassing van goedkopere materialen zoals hergebruikte kunststof. Eenvoudige en snelle montagesystemen reduceren bovendien de installatiekosten.

## Onderzoek en ontwikkeling

### Zonnecellen

Momenteel worden vrijwel alle zonnecellen gemaakt op basis van kristallijn siliciumtechnologie. Niet alleen omdat dit de beste of goedkoopste techniek is, maar omdat ze is meegelift op de enorm grote expertise van de elektronica-industrie. Er zijn echter veel efficiëntere materialen en technieken voor het maken van zonnecellen. De zogenaamde dunne-laagtechnieken op basis van amorf silicium bijvoorbeeld, zouden over tien tot twintig jaar slechts een fractie kosten van de huidige cellen, onder meer omdat er veel minder grondstof (waaronder silicium) nodig is.

Zonneceltechnologie	afkorting	hoogste celrendement (%)	Rendement van commerciële Panelen (%)	doelrendement In 2020 (%)
Monokristallijn silicium	sc-Si	24,7	16	20
Multikristallijn silicium	mc-Si	19,8	14	18
Amorf silicium	a-Si	12,7	6-7	11-12
Koper-indium-diselenide	CIS/CIGS	18,4	9	14-15
Cadmium-telluride	CdTe	16,4	8	15

Rendementen van zonnecellen, gemeten in het laboratorium (hoogste celrendement) en het gemiddelde rendement van de huidige zonnepanelen en het beoogd rendement rond 2020.

Dit nieuwe type cellen wordt ook nu al beperkt toegepast, maar het wachten is op grootschalige, geautomatiseerde productielijnen, zodat de marktprijzen voor dunne-laagzonnecellen scherp dalen. Onderzoekers werken nu in laboratoria aan geheel nieuwe typen zonnecellen, zoals organische en van plastic. De grondstoffen voor zulke cellen zijn goedkoop en eenvoudig te produceren. Beter ontwikkeld zijn zonnecellen van andere materialen zoals cadmium-telluride (CdTe) en van koper-indium-diselenide (CIS). CIS-panels zijn inmiddels in Nederland verkrijgbaar, CdTe-panels nog niet, omdat in de Nederlandse regelgeving (Cadmiumbesluit 1999) producten met cadmium zijn verboden. Toch blijft silicium voorlopig de meest gebruikte grondstof, ook voor de productie van dunne-laagzonnecellen, dankzij de onbeperkte voorraden en de positieve ecologische eigenschappen. Ondanks alle nieuwe ontwikkelingen verwacht men dat de komende tien jaar kristallijn siliciumtechnologie dominant blijft. De verwachting is wel dat het aandeel dunne-laagzonnecellen langzaam groeit.

## Nieuwe producten

Gezien de voortdurende groei mag verwacht worden dat zonnepanelen ooit net zo gemakkelijk op daken en gevels geplaatst kunnen worden als conventionele bouwelementen. Zonnecellen zullen geïntegreerd zijn in multifunctionele bouwelementen zoals zonwering, beglazing, gevelbeplating en dakpannen. Het rechthoekige zonnepaneel van ongeveer één vierkante meter is straks slechts één van de vele producten uit een breed scala.

Een belangrijk nieuw type product is kunststoffolie met daarop dunne-laagzonnecellen. In tegenstelling tot de arbeidsintensieve productiemethodes voor reguliere zonnepanelen is bij de productie van zonnestroomfolie een volledig geautomatiseerd 'roll-to-roll'-proces mogelijk. Nuon werkt in Nederland hard aan de ontwikkeling hiervan. De verwachting is dat zonnestroomsystemen op basis van dit proces rond 2010 op de markt komen.

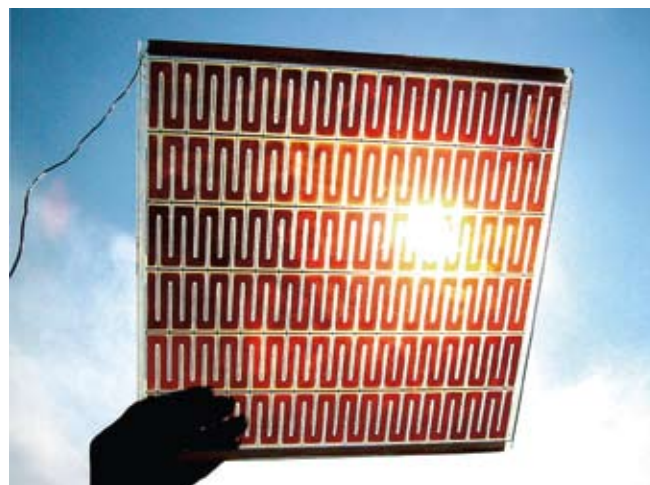
Ook Scheuten Solar is druk bezig met het ontwikkelen van een nieuw type dunne-laagzonnecel op basis van CIS-techniek en glastechniek. Met deze technieken zijn grote oppervlakten dunne-laagzonnecellen mogelijk en de technieken zijn geschikt voor massaproductie. Een pilot-fabriek is in 2007 geopend. Zonnecelfabrikant Solland Solar werkt aan het verminderen van de laagdikte van de zonnecellen, waardoor minder silicium nodig is.



De ontwikkeling van flexibele 'roll-to-roll' zonnecellen door Nuon



Flexibel dakbedekkingsmateriaal met zonnecellen



Organische zonnecellen

# Verklarende woordenlijst

Toelichting op een aantal technische termen die in deze brochure zijn gebruikt.

**aansluitdoos:** koppeldoos

**AC:** wisselstroom; een afkorting van de Engelse term *Alternating Current*.

**AC-module:** zonnepaneel met eigen kleine omvormer. Levert wisselstroom en kan direct op het elektriciteitsnet worden aangesloten.

**amorf silicium:** hier bedoeld als silicium 'zonder regelmatige kristalstructuur'.

**array:** een groep zonnepanelen, die samen het DC - gedeelte van een zonnestroomsysteem vormen.

**autonoom zonnestroomsysteem:** zonnestroomsysteem zonder koppeling met het elektriciteitsnet, dat direct is aangesloten op de elektrische apparatuur of op een accu waarin de opgewekte elektriciteit kan worden opgeslagen voor later gebruik.

**Balance of system (BOS):** alle onderdelen van het zonnestroomsysteem behalve de zonnepanelen, zoals ondersteuningsconstructie, koppelkasten, elektrische bekabeling, omvormers, installatiekosten etc.

**BIPV:** gebouwgeïntegreerde zonnestroomsystemen, van het Engelse *Building Integrated PV*.

**CIS:** koper-indium-diselenide (copper indium di selenide); halfgeleider materiaal voor zonnecellen

**CdTe:** cadmium-telluride; halfgeleider materiaal voor zonnecellen

**DC:** gelijkstroom; van het Engelse *Direct Current*.

**draaischijfmeter:** een ouder type kWh-meter waarbij een draaischijf zichtbaar is. Een vast aantal omwentelingen van de schijf komt overeen met het verbruik van 1 kWh elektriciteit.

**dunne laag of dunne film:** zonnecellen gemaakt van een dunne laag halfgeleidermateriaal op een dragerlaag. Dit zijn amorf silicium, CIS en CdTe zonnecellen.

**EPC:** Energie Prestatie Coëfficiënt. De EPC-waarde is een dimensieloos getal en is een maat voor de energie-efficiëntie van een gebouw. Hoe lager het getal, hoe energiezuiniger het ontwerp.

**flash-test:** test waarbij een zonnepaneel wordt geflitst met als doel om de elektrische eigenschappen (spanning, stroom, vermogen) vast te stellen. De meting vindt plaats onder standaard testcondities (STC).

**flash-test vermogen:** piekvermogen van een zonnepaneel, gemeten in een flash-test.

**fotovoltaïsch:** datgene wat onder invloed van licht ('fotos' in het Grieks) een elektrische spanning en stroom opwekt.

**halfgeleider:** materiaal dat alleen onder bepaalde omstandigheden stroom geleidt, bijvoorbeeld wanneer er licht op valt. Silicium is een halfgeleider.

**hellingshoek:** de hoek waaronder de zonnepanelen ten opzichte van het horizontale vlak staan opgesteld.

**instraling:** het vermogen dat op een bepaald moment geleverd wordt door de zon, uitgedrukt in Watt per vierkante meter (W/m<sup>2</sup>).

**inverter:** omvormer

**junction box:** Engelse benaming voor koppeldoos.

**koppeldoos:** beschermdoosje voor elektrische bekabeling, achterop het zonnepaneel.

**koppelkast:** kast waarin de bekabeling van een aantal strings wordt samengevoegd voor koppeling van het array aan de omvormer.

**kristallijn silicium:** monokristallijn of multikristallijn silicium.

**Maximum Power Point (MPP):** combinatie van stroom en spanning van een zonnepaneel die tot het hoogst bereikbare vermogen van een zonnestroomsysteem leidt, gegeven een bepaalde instraling en temperatuur.

**mismatch:** het verschil tussen het samengestelde maximum vermogen van zonnepanelen die in serie of parallel geschakeld en de som van de individuele maximale vermogens. Het verschil ontstaat door effecten van onder meer ongelijke temperatuur, vervuiling, beschaduwning en productiever verschillen.

**monokristallijn:** met ononderbroken kristalstructuur.

**multikristallijn:** met onderbroken kristalstructuur. Herkenbaar aan meestal een blauwe kleur en oplichtende kristal-elementjes onder verschillende belichtingshoeken. Ook wel 'polykristallijn' genoemd.

**netgekoppeld zonnestroomsysteem:** geheel van array en omvormer(s), dat verantwoordelijk is voor de elektriciteitsproductie, tot aan de aansluiting aan het elektriciteitsnet. Ook wel PV-systeem genoemd.

**omvormer:** elektronisch apparaat dat gelijkstroom (DC) uit de **arrays** omzet in wisselstroom (AC) van het elektriciteitsnet. Ook wel *inverter* genoemd.

**opbrengstfactor ofwel performance ratio:** de verhouding tussen de werkelijke opbrengst van het **zonnestroomsysteem** en het theoretisch maximum van de **zonnepanelen**. Het verschil tussen werkelijke en theoretische opbrengst wordt veroorzaakt door verliezen in de **omvormer**, de kabels en nog een aantal factoren. De waarde voor netgekoppelde **zonnestroomsystemen** ligt meestal tussen de 0,7 en 0,8.

**oriëntatie:** de richting waarin de **zonnepanelen** staan opgesteld, bijvoorbeeld zuid of zuidoost.

**performance ratio: opbrengstfactor**

**piekvermogen:** vermogen van een **zonnepaneel** of **zonnestroomstelsel**, uitgedrukt in **Watt-piek**, gespecificeerd onder **standaard testcondities**.

**polykristallijn: multikristallijn**

**PV:** afkorting van het Engelse woord *photovoltaic(s)*. Aanduiding voor fotovoltaïsche technologie, ook wel een afkorting voor **zonnestroomsystemen**.

**PV-cellen: zonnecellen**

**PV-laminaat: zonnepaneel** zonder frame.

**PV-module: zonnepaneel**

**PV-paneel: zonnepaneel**

**PV-systeem: zonnestroomsysteem**

**PVT:** de combinatie van een **zonnecollector** en een **zonnepaneel** in een systeem. Naast de productie van elektriciteit wordt ook de zonnewarmte gebruikt.

**PV-vermogen: piekvermogen**

**saldering:** het verrekenen van teruggeleverde stroom aan het elektriciteitsnet met afgenomen stroom van het net.

**silicium: halfgeleider** die gewonnen wordt uit zand. Basismateriaal voor de meeste **zonnecellen**.

**specifieke opbrengst:** kental waarmee het functioneren van een **zonnestroomsysteem** kan worden beschreven. Dit getal wordt uitgedrukt in kWh/kWp/jaar, en geeft dus weer wat een geïnstalleerde kiloWatt-piek (kWp) aan zonnestroomvermogen per jaar aan elektrische energie (in kWh) levert. In Nederland levert een gemiddeld systeem dat optimaal is georiënteerd een specifieke opbrengst van ongeveer 800 kWh/kWp/jaar.

**standaard testcondities (STC):** omstandigheden waaronder een **zonnepaneel** zijn gespecificeerde **piekvermogen** levert: zonnespectrum AM1.5 (blauwe hemel), **instraling** van 1000 W/m<sup>2</sup> en een celtemperatuur van 25°C.

**STC-vermogen: piekvermogen** van een **zonnepaneel** onder **standaard testcondities**.

**string:** serieschakeling van **zonnepanelen**. Het aantal panelen per string wordt bepaald door de vereisteingangsspanning van de **omvormer**.

**tilthoek: hellingshoek**

**Watt-piek (Wp):** eenheid voor het vermogen van een **zonnecel** of **zonnepaneel**. Een Wp opgesteld zonnestroomvermogen levert in Nederland jaarlijks ongeveer 0,8 kWh **zonnestroom**.

**zonnecel:** kleinste **fotovoltaïsche** element, meestal gemaakt van **monokristallijn** of **multikristallijn silicium**. De meest voorkomende afmetingen van **zonnecellen** zijn 125 x 125 mm of 156 x 156 mm.

**zonnecollector:** basiseenheid van een zonneboilersysteem dat zonlicht opvangt en omzet in warmte.

**zonnepaneel:** element (basiseenheid) bestaande uit seriegeschakelde **zonnecellen** tussen glazen of kunststof platen, al dan niet bevestigd in een metalen of kunststof frame. Wordt ook wel **PV-module** of **PV-paneel** genoemd.

**zonnestroom:** de elektriciteit opgewekt met een **zonnestroomstelsel**, zie ook **PV**.

**zonnestroomsysteem: netgekoppeld zonnestroomsysteem** of **autonoom zonnestroomsysteem**.

**zonnestroomvermogen: piekvermogen**

**zonnewoning:** een woning die gebruikt maakt van passieve en actieve zonne-energie en een **EPC** heeft van 0,68 of lager. De woning biedt een hoog comfort en een laag energieverbruik en maakt gebruik van duurzame materialen. Een zonnewoning voldoet aan de eisen van het Certificaat Zonnewoning dat hiervoor ontwikkeld is.

# Adressen

## Organisaties

### Informatiepunt Agentschap NL

Telefoon 088 602 25 33  
e-mail [informatiepunt@agentschapnl.nl](mailto:informatiepunt@agentschapnl.nl)  
[www.agentschapnl.nl/duurzameenergie](http://www.agentschapnl.nl/duurzameenergie)  
Informatiepunt voor professionals

### Milieu Centraal

Herculesplein 357, 3584 AA Utrecht  
Telefoon: 030 230 50 70  
[www.milieucentraal.nl](http://www.milieucentraal.nl)  
Informatiepunt voor consumenten

### Nederlandse zonneenergiebranche

Holland Solar  
Korte Elisabethstraat 6, 3511 JG Utrecht  
Telefoon 030 232 80 08  
[www.hollandsolar.nl](http://www.hollandsolar.nl)

### Publicaties over de productie van zonnestroom en duurzame energie in Nederland

CBS, Centraal Bureau voor de Statistiek  
Postbus 4000, 2270 JM Voorburg  
Telefoon 070 337 38 00  
[www.cbs.nl](http://www.cbs.nl)

### Normen

NEN, Nederlands Normalisatie-instituut  
Postbus 5059, 2600 GB Delft  
Telefoon 015 269 03 90  
[www.nen.nl](http://www.nen.nl)

## Websites

### [www.agentschapnl.nl](http://www.agentschapnl.nl)

informatie over de activiteiten van Agentschap NL. Zie ook subsites voor informatie over duurzame energie en subsidies:

### [www.agentschapnl.nl/duurzameenergie](http://www.agentschapnl.nl/duurzameenergie)

### [www.duurzaammbouwen.agentschapnl.nl](http://www.duurzaammbouwen.agentschapnl.nl)

### [www.agentschapnl.nl/sde](http://www.agentschapnl.nl/sde)

### [www.agentschapnl.nl/eos](http://www.agentschapnl.nl/eos)

### [www.agentschapnl.nl/eia](http://www.agentschapnl.nl/eia)

### [www.agentschapnl.nl/groenbeleggen](http://www.agentschapnl.nl/groenbeleggen)

### [www.agentschapnl.nl/energielabelgebouwen](http://www.agentschapnl.nl/energielabelgebouwen)

### [www.duurzame-energie.nl](http://www.duurzame-energie.nl)

informatie over duurzame energie toepassingen

### [www.energietransitie.nl](http://www.energietransitie.nl)

informatie over de energietransitie

### [www.uneto-vni.nl](http://www.uneto-vni.nl)

informatie van de vakgroep Klimaat- en duurzame techniek

### [www.zonne-energie.startpagina.nl](http://www.zonne-energie.startpagina.nl)

de startpagina voor zonne-energie

### [www.top50solar.nl](http://www.top50solar.nl)

overzicht van Nederlandstalige zonne-energiesites

### [www.iea-pvps.org](http://www.iea-pvps.org)

### [www.pvdatabase.com](http://www.pvdatabase.com)

Engelstalige informatie over de status van toepassing van zonnestroom in een groot aantal landen

## Literatuur

**Handleiding Zonnestroom voor ontwerper en installateur**, ISSO publicatie 78, Stichting ISSO, Rotterdam, november 2005

**Transitiepad zonnestroom**. De roadmap van Holland Solar, Holland Solar, mei 2005

**PVPS Annual report 2006**, IEA PVPS, 2007

**Instralingschijf zonne-energie**, Agentschap NL, publicatienummer 2DEN0108

**Zonnestroom in stukjes, bouwstenen voor voorlichtingsmateriaal over zonnestroom**, CD-ROM, Agentschap NL, publicatienummer 2DEN0201

**IEA PVPS Task 7. Education & training material for architects**. IEA PVPS, CD-ROM Agentschap NL, publicatienummer 2DEN0247 en 2DEN0248

### **Zon en architectuur.**

Voorbeelden en ontwerprichtlijnen voor architecten. Agentschap NL, publicatienummer 2ZNTH0008

### **Zonnestroomproducten voor weg- en**

**waterbouw**, Aeneas uitgeverij voor vakinformatie b.v., Boxtel, ISBN: 90-75365-42-x





