

# BOUWEN MET FOTOVOLTAÏSCHE ZONNE-ENERGIE



Ministerie van de  
Vlaamse Gemeenschap

**ODE** Vlaanderen <sup>vzw</sup>  
Organisatie voor Duurzame Energie

## **Colofon**

### **Samenstelling en redactie**

Jo Neyens en Marleen De Roye,  
Organisatie voor Duurzame Energie Vlaanderen.

In opdracht van:

Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap  
Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie

Met dank aan:

- leden van het PV-platform
- bouwheren, architecten, studiebureau en leveranciers van de voorgestelde projecten
- leveranciers van beeldmateriaal

### **Verantwoordelijke uitgever**

Luk Vandaele  
Voorzitter  
ODE-Vlaanderen vzw

### **Design & opmaak**

Studio Dermaux

### **Druk**

Enschede-Van Muysewinkel

### **Depotnummer**

D/2004/3241/344



# BOUWEN MET FOTOVOLTAÏSCHE ZONNE-ENERGIE

*Veenendaal, Nederland. Rembrandt College (SenterNovem, Hans Pattist).*



Ministerie van de  
Vlaamse Gemeenschap

**ODE** Vlaanderen <sup>VZW</sup>  
Organisatie voor Duurzame Energie

Veenendaal

## INHOUD

	<b>Inleiding</b>	<b>3</b>
<b>1</b>	<b>Techniek</b>	<b>4</b>
1.1	Zonnecellen	5
1.1.1	Werking	5
1.1.2	Types zonnecellen	5
1.2	PV-panelen	6
1.2.1	Opbouw	6
1.2.2	Soorten PV-panelen	6
1.3	PV-systemen	8
1.3.1	Autonome PV-systemen	8
1.3.2	Netkoppeling PV-systemen	8
<b>2</b>	<b>Opbrengst van netgekoppelde PV-systemen</b>	<b>9</b>
2.1	Elektriciteitsproductie van PV-systemen	10
2.2	Beïnvloedende factoren	10
2.2.1	Oriëntatie en hellingshoek van de PV-panelen	10
2.2.2	Beschaduwing	10
2.2.3	Ventilatie van de PV-panelen	10
<b>3</b>	<b>Kwaliteit en garantie</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>Regelgeving</b>	<b>12</b>
4.1	Bouwvergunning	12
4.2	Aansluiting op het elektriciteitsnet	12
4.2.1	Terugdraaiende kWh-meter toegestaan	12
4.2.2	Keuring van de netaansluiting	12
<b>5</b>	<b>Economische aspecten</b>	<b>13</b>
5.1	Investeringskosten	13
5.2	Opbrengsten uit elektriciteitsproductie	13
5.3	Overheidssteun voor PV	14
5.4	Uitgespaarde materiaalkosten	14
<b>6</b>	<b>Ontwerp</b>	<b>15</b>
6.1	Planning	15
6.1.1	Locatiekeuze	15
6.1.2	Stedenbouwkundige voorschriften	15
6.1.3	Technische planning	15
6.1.4	Administratieve procedure	15
6.2	Gebouwintegratie van PV-systemen	16
6.2.1	Hellende daken	16
6.2.2	Platte daken	18
6.2.3	Gevels	20
6.2.4	Beglaasde daken	22
6.2.5	Zonnewering	24
6.3	Niet-gebouwgebonden PV-systemen	26
6.3.1	PV-centrales	26
6.3.2	PV-systemen op structuren	26
6.3.3	Kleinschalige PV-systemen in de gebouwde omgeving	26
<b>7</b>	<b>Uitvoering</b>	<b>27</b>
7.1	Constructie van de draagstructuur	27
7.2	Installatie van de PV-panelen	27
7.3	Plaatsing van de inverter	27
7.4	Doorvoer van de bekabeling	28
7.5	Randafwerking rond de PV-panelen	28
7.6	Netkoppeling	28
<b>8</b>	<b>Gebruik</b>	<b>29</b>
<b>9</b>	<b>Toekomst</b>	<b>30</b>
<b>10</b>	<b>Meer informatie</b>	<b>31</b>
10.1	PV in Vlaanderen	31
10.2	Informatie over PV in de architectuur	32



1. Iglstadt, Duitsland. Industriegebouw Bauer Energietechnik ([www.solarintegration.de](http://www.solarintegration.de)). 2. Dordrecht, Nederland. 22 woningen (Bear Architecten).

# INLEIDING



Barneveld, Nederland. Bedrijfsgebouw electrotechniek Leertouwer (Leertouwer).

De 21ste eeuw stelt de architectuur voor nieuwe uitdagingen: de milieuproblematiek doet ons nadenken over materiaalgebruik, water, energie, afval. Duurzaamheidseisen aan materialen en technieken zullen in toenemende mate het architecturale concept beïnvloeden.

Het Vlaamse energiebeleid legt de klemtoon op energiebesparing en de toepassing van hernieuwbare energie. De wettelijke eisen op het vlak van de energieprestaties en het binnenklimaat in gebouwen zijn vastgelegd in het Energieprestatiebesluit. Een centraal begrip hierin is het E-peil, dat zowel door energiebesparende maatregelen als door de gebouwgebonden toepassing van hernieuwbare energie beïnvloed wordt.

De meest zichtbare toepassing van hernieuwbare energie op gebouwen is fotovoltaïsche zonne-energie. Steeds meer fabrikanten besteden aandacht aan de architecturale inpassing van fotovoltaïsche panelen: egale kleuren, aangepaste afmetingen voor dakpannen en leien, waterdichte montagesystemen, lichtdoorlatende panelen. De mogelijkheden voor inbouw en maatwerk zorgen ervoor dat fotovoltaïsche panelen (PV-panelen) als volwaardig bouw materiaal een architecturale meerwaarde kunnen bieden aan het gebouw. Deze brochure geeft basisinformatie over de integratie van PV-panelen in de architectuur en inspirerende voorbeelden voor architecten en opdrachtgevers.

Voor onze energievoorziening zijn we grotendeels afhankelijk van de invoer van fossiele en nucleaire brandstoffen. De reserves van deze brandstoffen zijn echter niet oneindig en de verbrandingsgassen van fossiele brandstoffen verstoren het klimaat. Daarnaast zorgt de grote afhankelijkheid van buitenlandse energiegrondstoffen voor economische kwetsbaarheid en zelfs internationale conflicten. Hernieuwbare energie kan hier oplossingen bieden. Zonne-energie en de daarvan afgeleide energiebronnen zijn onuitputtelijk en de energiewinning hieruit veroorzaakt weinig of geen uitstoot van schadelijke stoffen. Bovendien creëert de bouw van hernieuwbare energie-installaties werkgelegenheid.

Deze installaties hoeven niet groot te zijn. Elke individueel gebouw kan uitgerust zijn met een of meer hernieuwbare energiesystemen voor de productie van warmte of elektriciteit, zoals een zonneboiler, een warmtepomp, warmte-koude opslag, verwarming op hout of houtpellets, een kleine windturbine of een fotovoltaïsche zonne-energie-installatie.



1. Zonneboiler (IZEN). 2. Warmtepomp (Stiebel Eltron). 3. Warmte-koudeopslag (Floriade). 4. Houtpellets (Sunquest). 5. PV-panelen (SenterNovem, Hans Pattist).

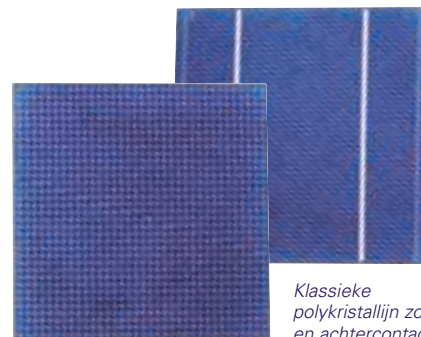
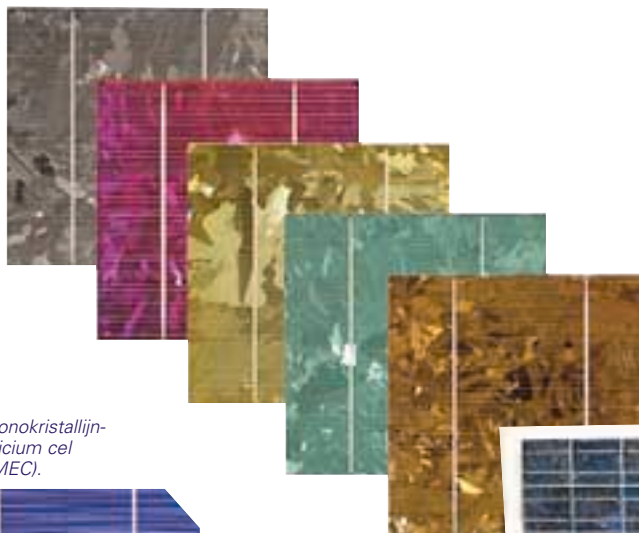


## 1 TECHNIEK

In fotovoltaïsche zonne-energiesystemen (of PV-systemen) zetten zonnecellen het opgevangen licht rechtstreeks om in elektriciteit. Deze zonnecellen worden aan elkaar gekoppeld in PV-panelen (in het Engels *PV modules*). Aan elkaar geschakelde PV-panelen op een draagstructuur en met de nodige elektronische randapparatuur vormen een PV-systeem. Dit zorgt er voor dat de opgewekte stroom wordt opgeslagen of aan het elektriciteitsnet geleverd zodat de eindverbruiker de stroom kan gebruiken.

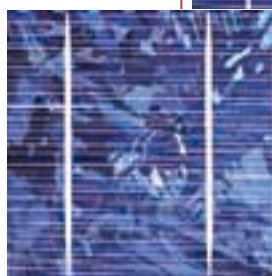
Type en kleur van de zonnecel, de samenstelling van het PV-paneel, de inverter(en) en de keuze van het montagesysteem bepalen de kostprijs, de opbrengst en het architecturale aspect van de installatie. Voor elk individueel ontwerp zal de afweging tussen deze drie factoren de samenstelling van het systeem bepalen.

Gekleurde polykristallijn-silicium cellen  
([www.solarintegration.de](http://www.solarintegration.de)).



Klassieke polykristallijn zonnecel en achtercontactcel (IMEC).

Monokristallijn-silicium cel (IMEC).



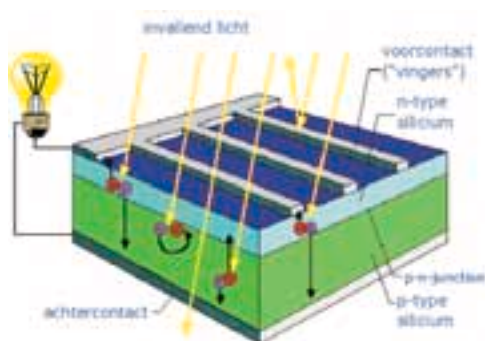
Polykristallijn-silicium cel (IMEC).

Soorten modules (SenterNovem).



## 1.1 Zonnecellen

### 1.1.1 Werking



In een fotovoltaïsche zonnecel wordt licht rechtstreeks omgezet in elektriciteit. Een zonnecel bestaat uit een dun plaatje halfgeleidend materiaal dat alleen goed elektriciteit geleidt als er licht op valt. Het meest gebruikte materiaal is zuiver silicium, dat door chemische bewerkingen een negatieve bovenlaag en een positieve onderlaag krijgt, zoals min en plus van een batterij. Als we die twee koppelen aan een elektrisch toestel, zoals een lampje, en we laten licht op de zonnecel vallen, ontstaat er een elektrische gelijkstroom die het lampje doet

branden. Een deel van het invallende licht wordt niet omgezet in elektriciteit maar in warmte, een klein deel wordt gereflecteerd. Het aandeel van het invallende licht dat wordt omgezet in elektriciteit noemen we het rendement van een zonnecel.

### 1.1.2 Types zonnecellen

Afhankelijk van het materiaal, de dikte en de elektrische contacten zijn er verschillende types zonnecellen. De keuze voor een bepaald type zonnecel heeft een invloed op zowel de toepassing als de opbrengst en het uitzicht van het systeem.

#### **Materialen**

Silicium is het meest gebruikte materiaal voor PV-cellen vanwege de goede verhouding tussen rendement en investeringskosten en de stabiliteit in de tijd. Andere, tot nu toe minder gebruikelijke materialen zijn koper-indium-diselenide (CIS) en cadmiumtelluride (CdTe). Nieuwe types van zonnecellen zoals dunne films op basis van microkristallijn silicium of plastic moeten nog een hele weg afleggen van het onderzoekslaboratorium naar de industriële productie, maar zijn veelbelovend door de lage kostprijs voor een redelijk rendement.

#### **Monokristallijn-silicium zonnecellen**

Monokristallijn-silicium zonnecellen zijn gemaakt van siliciumschijven die uit één groot 'monokristal' zijn gezaagd. Industrieel geproduceerde cellen halen rendementen van 17% tot 20%. De cellen zijn rond of vierkant met afgeronde hoeken. De meest courante afmetingen zijn nog steeds 10 x 10 cm hoewel de tendens gaat naar grotere cellen tot 20 x 20 cm. Ze zijn egaal donkergrijs of donkerblauw.

#### **Polykristallijn of multikristallijn silicium**

Polykristallijn of multikristallijn silicium wordt gegoten en dan gezaagd. De cellen bestaan dus uit meerdere kristallen. Dit is een goedkoper en eenvoudiger proces. Industriële rendementen schommelen tussen 14% en 17%, naar gelang van de fabrikant. De cellen zijn vierkant met een zijde van 10,2 12,7 of 15,2 cm (4, 5 of 6 inch), of rechthoekig. De kleur varieert van gemarmerd donkerblauw tot paars. Ook andere kleuren zoals goudbruin en groen zijn mogelijk, maar ten koste van het rendement.

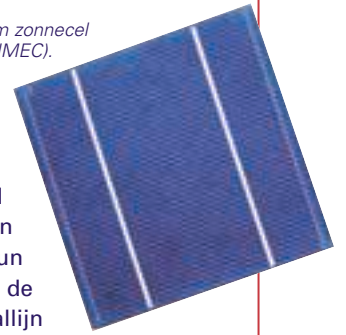
#### **Amorf silicium**



Amorf silicium op metalen dakbanen  
([www.solarintegration.de](http://www.solarintegration.de)).

Amorf silicium wordt niet gezaagd maar in een zeer dunne film op een dragende onderlaag van glas, kunststof of metaal aangebracht. Er is geen geordend kristalrooster aanwezig. De productiekosten zijn laag, maar het celrendement bedraagt de helft van kristallijn silicium zodat de kosten per geïnstalleerd vermogen (euro/Watt) ongeveer gelijk zijn. De kleur is bruin tot blauwzwart. Omdat het een dunne-film cel is, zijn flexibele of doorschijnende PV-panelen (op glas) mogelijk.

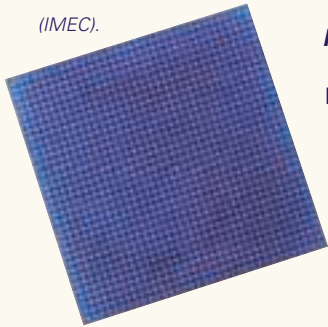
Klassieke polykristallijn-silicium zonnecel (IMEC).



### Contact

Het uitzicht van een klassieke kristallijn-silicium zonnecel wordt sterk bepaald door twee nogal opvallende zilveren stroken op de voorkant, de busbars. Veel minder zichtbaar zijn de fijne lijntjes die dwars daarop over heel het oppervlak van de zonnecel verdeeld liggen. Die dunne vingers verzamelen de elektronen die door de invallende lichtenergie worden losgemaakt uit hun normale positie. Via de vingers worden ze verzameld in de brede busbars, de snelwegen voor elektronen. Klassieke fotovoltaïsche zonnecellen van kristallijn silicium worden dus doorkruist door dunne en dikke zilveren lijntjes. Dunne-film cellen uit silicium of andere materialen hebben zeer dunne evenwijdige lijntjes als contact. Dat levert een visueel egaal kleurvlak op.

(IMEC).

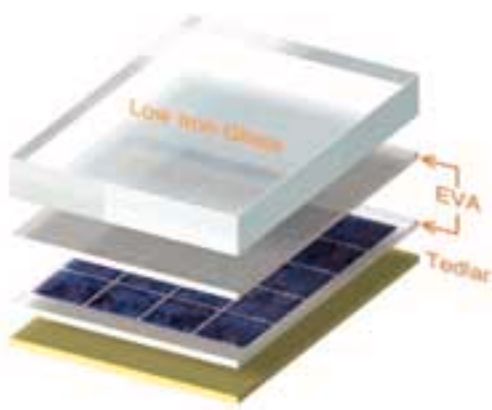


### Nieuwe trend: de achtercontactcel

De achtercontactcel heeft op de voorkant alleen een vierkant raster van erg dunne zilveren lijntjes. Om de twee brede metalen strips overbodig te maken en de elektronenstroom te transporteren, worden twee rijen kleine gaatjes geboord op de knooppunten van het raster. Die gaatjes (eigenlijk minuscule metalen buisjes) zijn aan de achterkant verbonden met metalen stroken voor de verbinding met de volgende zonnecel. Deze cellen hebben een egaal diepblauwe kleur. Het Leuvense onderzoekscentrum Imec ontwikkelde een celontwerp van achtercontactcellen. PV-panelen met deze cellen zullen binnenkort op de markt verschijnen.

## 1.2 PV-panelen

Met losse zonnecellen kan je in de praktijk niet aan de slag: ze wekken een kleine stroom en spanning op, ze zijn breekbaar en de metaalcontacten zijn vochtgevoelig. Daarom worden zonnecellen onderling verbonden via gesoldeerde strips en samen in een zogenaamd PV-paneel geplaatst (we gebruiken de term PV-paneel als vertaling van het Engelse *PV module*, afkorting van *photovoltaic module*).



### 1.2.1 Opbouw

De voorkant van PV-panelen bestaat uit een lichtdoorlatende plaat, meestal van glas; aan de achterkant wordt een water- en dampdichte folie aangebracht. Bij semi-transparante PV-panelen wordt hiervoor opnieuw glas gebruikt.

Rond het paneel wordt meestal een aluminium kader bevestigd voor de stevigheid en een gemakkelijke montage op een draagstructuur. Kaderloze PV-panelen bestaan ook (zie verder). Op de achterkant van het paneel wordt een waterdichte aansluitdoos voor elektrische kabelverbindingen gekleefd.

### 1.2.2 Soorten PV-panelen

PV-panelen vormen een belangrijk visueel element in een gebouw. Daarom wordt bij de opbouw van het paneel extra veel aandacht besteed aan esthetische aspecten. Dat geldt zowel voor de standaardpanelen als voor maatwerk.



### **Standaardpanelen**

De meest courante afmetingen van PV-panelen bij netgekoppelde systemen zijn 65 à 80 cm bij 130 à 160 cm. Het vermogen bedraagt dan 120 à 180 Wp. Het gewicht schommelt rond 12 kg/m<sup>2</sup>. Anderen afmetingen en vormen kunnen op bestelling gemaakt worden op maat van de klant. Ook trapeziumvormen en driehoeken zijn mogelijk.

De witte achtergrond in kunststof vormt tussen de donkerblauwe kristallijne cellen een regelmatig lijnraster van witte tussenvoegen dat het beeld van de PV-panelen mee bepaalt. Deze tussenvoegen zijn nodig om de metalen strips van de voorkant van de ene cel naar de achterkant van de andere cel te plooiën. Op aanvraag kan ook een egaal donkerblauwe folie aangebracht worden aan de achterzijde. Ook zwarte gemoffelde kaders in plaats van metaalkleurige zijn mogelijk. Daardoor vormen de PV-panelen een egaal donker kleurvlak met esthetische kwaliteiten voor bijvoorbeeld gevelintegratie.

### **Panelen met achtercontactcellen**

Achtercontactcellen kunnen vlak tegen elkaar geplaatst worden zonder de tussenvoegen van klassieke zonnepanelen. Bij de nieuwe achtercontactcel worden immers alle verbindingen tussen opeenvolgende zonnecellen op de achterkant gemaakt, zodat tussenvoegen overbodig worden. Dat resulteert in egaal donkerblauwe PV-panelen zonder opvallende lijnen.

### **Kaderloze PV-panelen**

PV-panelen zonder aluminium kader (laminaten genoemd) kunnen, net als glas, aangebracht worden in montageprofielen op daken en gevels. Voor de integratie tussen leien of tegelpannen worden langwerpige stroken zonder kader gebruikt, op maat van de dakbedekking.

### **Semi-transparante PV-panelen**

Als ook de achterkant in glas is uitgevoerd, spreken we van semi-transparante PV-panelen. Door de zonnecellen verder uit elkaar te plaatsen laat het paneel (niet de zonnecel!) nog wat licht door. Het typische licht- en schaduw-raster kan een eigen rol spelen in het architecturale ontwerp. Omdat zulke semi-transparante PV-panelen op maat gemaakt worden, kan de architect bepalen hoeveel licht nog doorgelaten wordt, afhankelijk van de afstand tussen de zonnecellen. De glazen achterzijde kan ook bestaan uit superisolerend glas of veiligheidsglas.

Door de opkomst van nieuwe dunne filmcellen zullen in de toekomst ook egaal lichtdoorlatende PV-panelen op de markt komen. Er zijn al dergelijke glazen panelen met amorf silicium beschikbaar.

### **Dunne film panelen**

PV-panelen met dunne film (amorf silicium, CIS, CdTe) kunnen diverse vormen aannemen, afhankelijk van de drager, het materiaal waarop de dunne film is aangebracht:

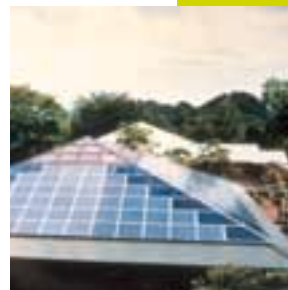
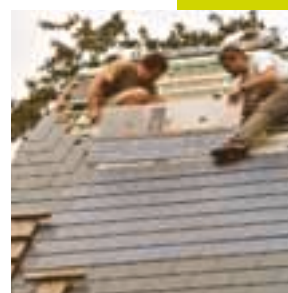
- stijve PV-panelen: glasvlakken met dunne film PV, al dan niet met kader; de kleur is donkerbruin tot donkerpaars, het oppervlak egaal zonder zichtbare metalen contacten;
- metalen banen met amorfe PV-film;
- soepele dakbanen: type 'leien op rol' of in combinatie met kunststof dakrollen voor platte daken.

In een dunne film paneel zijn de verbindingen tussen de aparte zonnecellen bijna onzichtbaar. Het lijkt te bestaan uit slechts één grote PV-cel.

### **Dummypanelen**

Dummypanelen zien er uit als echte PV-panelen, maar de zonnecellen worden nagebootst door zeefdruk op glas. Ze zijn een esthetisch verantwoord en goedkoop alternatief voor randstroken van niet rechthoekige vlakken (schuin, afgerond) en op plaatsen waar beschaduwing de werking van een echt PV-paneel hindert.

1. Standaard PV-paneel (Soltech). 2. Paneel met achtercontactcellen naast standaardmodule (IMEC). 3. Kaderloze PV-panelen op leien (Soltech en Eternit). 4. Semi-transparante PV-paneel (Soltech). 5. Dunne film-panelen ([www.solarintegration.de](http://www.solarintegration.de)). 6. Dummypanelen (IEA). 7. Dunne film panelen op dakbanen (Alwitra).



## 1.3 PV-systemen

Fotovoltaïsche panelen worden in serie (of parallel) geschakeld en gekoppeld aan batterijen of via invertoren aan het elektriciteitsnet. Bij netgekoppelde PV-systemen wordt langs kabels en via invertoren de opgewekte stroom naar het elektriciteitsnet gestuurd. Autonome PV-systemen sturen de opgewekte stroom ofwel rechtstreeks naar de verbruiker, ofwel naar batterijen.

Afhankelijk van de locatie (met of zonder elektriciteitsnet), de noodzaak van mobiliteit van de installatie, de grootte van de installatie, de opslagmogelijkheden en de spreiding van het energieverbruik is ofwel een autonoom ofwel een netgekoppeld systeem van toepassing.

Kleine, mobiele of afgelegen installaties werken meestal autonoom. Bij gebouwgeïntegreerde systemen gaan we ervan uit dat het om netgekoppelde systemen gaat omdat in Vlaanderen bijna elk gebouw aan het elektriciteitsnet is gekoppeld.



*Lenoir-solar*

*Stringinvertoren (Solar Technics).*



### 1.3.1 Autonome PV-systemen

Een autonoom fotovoltaïsch systeem (ook stand-alone PV-systeem genoemd) produceert elektriciteit voor een elektriciteitsverbruiker die niet gekoppeld is aan het elektriciteitsnet.

Bij systemen met batterijen levert het PV-paneel rechtstreeks elektriciteit aan de energieverbruiker, het overschot wordt opgeslagen in een batterij. 's Nachts en bij lage zoninstraling haalt de energieverbruiker energie uit de batterij. Kleinschalige toepassingen zijn rekenmachines, horloges, tuinverlichting. Andere voorbeelden zijn straatverlichting, parkeermeeters, caravans en afgelegen woningen.

Voor sommige toepassingen kunnen de elektriciteitsverbruikers rechtstreeks aangesloten worden op de PV-panelen zonder inschakeling van batterijen. Voorbeelden hiervan zijn waterpompsystemen, zowel grote pompsystemen in ontwikkelingslanden als kleine vijverpompjes in Vlaanderen. Een andere toepassing is airconditioning: wanneer de zon schijnt, werkt de koeling.

### 1.3.2 Netkoppeling PV-systemen

Bij een netgekoppeld fotovoltaïsch systeem wordt de gelijkspanning van de fotovoltaïsche panelen omgevoerd tot normale wisselspanning (230V, 50 Hz) die rechtstreeks aan het elektriciteitsnet geleverd kan worden. Dat gebeurt via een inverter of omvormer. Netgekoppelde systemen hebben geen batterij nodig: overschot en tekort aan stroom worden opgevangen door het elektriciteitsdistributienet.

## Invertoren

### Werking

In een netgekoppeld fotovoltaïsch systeem speelt de inverter of omvormer een belangrijke rol. Hij zet niet alleen de gelijkspanning om in wisselspanning maar zorgt tegelijkertijd voor een optimaal werkpunt voor de PV-panelen, kwaliteitsbewaking van de stroomlevering aan het elektriciteitsnet en beveiliging. Het omzettingsrendement is al bij kleine vermogens hoog en bedraagt op jaarbasis minstens 90%.

### Plaatsing

Sommige invertoren werken vrijwel geruisloos en kunnen in de woning zelf geplaatst worden, andere produceren echter een zacht geruis. De inverter wordt dan beter op de zolder of in de kelder geplaatst en bij voorkeur zo dicht mogelijk bij de elektriciteitskast van de woning. Invertoren met waterdichte behuizing kunnen ook buiten opgesteld worden (zie 7.3).

### Soorten invertoren voor netgekoppelde PV-systemen

- centrale inverter: op één inverter worden alle ketens van PV-panelen aangesloten;
- serie-inverter (string inverter): per keten (string) van PV-panelen in serie wordt een inverter geplaatst die zorgt voor de koppeling aan het elektriciteitsnet;
- paneel-inverter: de gelijkstroom van elke afzonderlijke fotovoltaïsche paneel wordt door een mini-inverter op de rugzijde van het PV-paneel in wisselstroom omgezet.

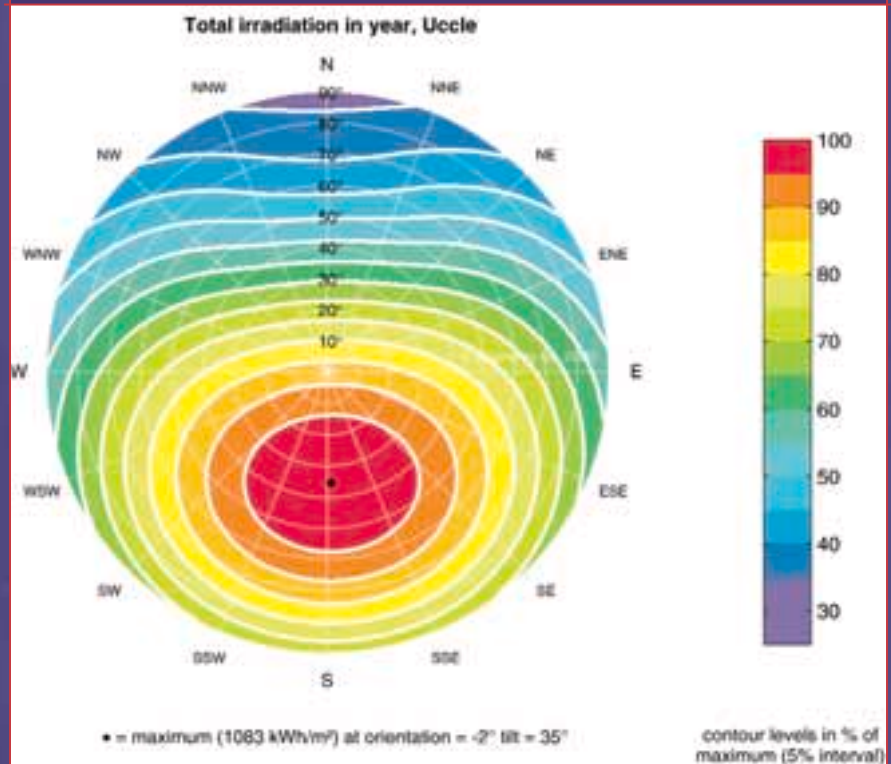
Momenteel wordt de serie-inverter voor kleine tot middelgrote systemen het meest toegepast.

### Vermogen van de inverter

Invertoren zijn slechts in bepaalde vermogens beschikbaar. In West-Europese klimaatvoorwaarden is het aanbevolen om het vermogen van de inverter lager te kiezen dan het vermogen van de serie aangesloten PV-panelen (undersizing). Het gelijkstroomvermogen van de omvormer mag tot 20% lager liggen. Het is de taak van de installateur om het PV-paneelveld in series in te delen met telkens een gepaste inverter. Voor kleine PV-systemen volstaat meestal één inverter (bijvoorbeeld met een vermogen van 2000 watt voor een PV-systeem van 2,4 kWp).

## 2 OPBRENGST VAN NETGEKOPPELDE PV-SYSTEMEN

De totale zoninstraling per jaar op de gehele aardoppervlakte is gelijk aan 10.000 maal de totale wereldenergievraag per jaar. Het zonneaanbod in Vlaanderen bedraagt ongeveer 1000 kWh/m<sup>2</sup> per jaar op een horizontaal vlak. Een zuidelijk gericht hellend vlak kan tot 12% meer lichtinstraling opvangen. Ongeveer 60% van de totale zoninstraling bereikt ons in de vorm van diffuus licht (bij bewolkte hemel), dat ook in nuttige energie wordt omgezet door zonne-energiesystemen.



Zonne-instraling in Ukkel (3E, Ecofys).

De zonneschijf hierboven toont de invloed van helling en oriëntatie op de totale jaarlijkse zoninstraling. Het gaat om lichtwaarden voor Ukkel, vergeleken met het maximum bij een helling van 35° en oriëntatie 2° zuid. Per kleurband ligt de totale lichtinstraling 5% lager.

Ijsselstein, Nederland. Experimentele woningen (SenterNovem, Hans Pattist).





## 2.1 Elektriciteitsproductie van PV-systemen

Het vermogen van een PV-cel, een PV-paneel of een PV-systeem wordt uitgedrukt in Wp (Watt-piek), het piekvermogen bij standaard zoninstraling en een zonneceltemperatuur van 25°C. In de praktijk wordt dit vermogen dikwijls niet gehaald omdat de zon niet altijd optimaal schijnt of de celtemperatuur te hoog oploopt. De jaarlijkse opbrengst van een optimaal opgesteld hellend PV-systeem met een vermogen van 1000 Wp (1 kWp) bedraagt onder de Belgische zon gemiddeld 840 kWh. Voor amorf silicium worden in de buurlanden hogere waarden gerapporteerd, maar er zijn geen Belgische cijfers beschikbaar.

Verticaal opgestelde PV-systemen op gevels halen 500 à 600 kWh per kWp.

Naar gelang van het type zonnecellen verschillen de oppervlaktes die nodig zijn voor 1 kWp opgesteld vermogen. Een PV-systeem van 1 kWp met monokristallijn-silicium zonnecellen heeft een paneelopervlakte van 6 tot 7,4 m<sup>2</sup> (afhankelijk van de fabrikant). Voor polykristallijn-siliciumcellen is dat ongeveer 8 m<sup>2</sup> en bij amorf silicium 16 à 18 m<sup>2</sup>. In de volgende tabel staan de exacte cijfers, op basis van de productgegevens van grote PV-producenten.

type zonnecellen	vermogen per m <sup>2</sup> [Wp/m <sup>2</sup> ]	oppervlakte per kWp [m <sup>2</sup> /kWp]	opbrengst per m <sup>2</sup> [kWh/m <sup>2</sup> ]
monokristallijn Si	135 - 168	7,4 - 6	113 - 141
polykristallijn Si	121 - 138	8,3 - 7,2	102 - 116
CIS	94 - 110	10,6 - 9,1	79 - 92
amorf Si	54 - 63	18,5 - 15,9	45 - 53

Een eenvoudige vuistregel: de gemiddelde jaarlijkse opbrengst van een gemiddeld polykristallijn silicium PV-systeem is dus iets meer dan 100 kWh/m<sup>2</sup>. De opbrengst van monokristallijne PV-systemen ligt tot 40% hoger, die van amorf silicium bedraagt ongeveer de helft. Deze waarden gelden voor gemiddelde Belgische klimaatvoorwaarden.

## 2.2 Beïnvloedende factoren

De werkelijke elektriciteitsproductie van geïnstalleerde PV-systemen per kWp opgesteld vermogen hangt verder af van verschillende factoren. Het ontwerp van het gebouw heeft een belangrijke invloed op de volgende factoren.

### 2.2.1 Oriëntatie en hellingshoek van de PV-panelen

Door het grote aandeel indirect licht in België hebben de oriëntatie en de hellingshoek van PV-panelen een minder grote invloed dan men zou denken. Er is een tamelijk brede zone waarin de jaaropbrengst slechts 5% lager ligt dan het maximum (op 35° helling en 2° W van het zuiden): voor oriëntaties tussen zuidoost en zuidwest en hellingshoeken tussen 20° en 60° (zie zoninstralingschijf pagina 9).

### 2.2.2 Beschaduwning

De schaduw van andere gebouwen, bomen, lantaarnpalen, dakvensters, schouwen enzovoort op het PV-paneel vermindert de opbrengst aanzienlijk. In een PV-paneel zijn de zonnecellen in serie geschakeld. Elke beschaduwde zonnecel wordt een weerstand die de stroomopwekking sterk hindert, vergelijkbaar met het plaatselijk dichtknijpen van een volle tuinslang. Eén enkele beschaduwde cel zal de totale opbrengst van het hele paneel en het hele PV-systeem sterk verminderen en zelfs schade veroorzaken door lokale opwarming. In de praktijk wordt dit gedeeltelijk vermeden door tijdens de fabricage van PV-panelen zogenaamde 'by-pass diodes' in te bouwen, die de invloed van een beschaduwde cel beperken.

### 2.2.3 Ventilatie van de PV-panelen

Bij hogere temperatuur van een kristallijn-silicium zonnecel daalt het elektrisch rendement relatief met ongeveer 0,5% per graad boven 25°C. De inbouw van een PV-systeem in het dak of de gevel van een gebouw zal de temperatuur van de PV-panelen bij volle zon opdrijven en daardoor de opbrengst verminderen. Als ventilatie mogelijk is achter de panelen om de warmte af te voeren, blijft het verlies beperkt. Vergelijkende metingen in Vlaanderen en Nederland hebben een jaarlijks opbrengstverlies aangetoond van 3 tot 5 % voor een PV-systeem, ingebouwd in een dak, ten opzichte van dezelfde PV-panelen, vrij opgesteld op een plat dak. Bij PV-gevels kan het opbrengstverlies oplopen tot 10% door niet te ventileren. In zonniger klimaten zullen de verschillen vanzelfsprekend groter zijn.

Het nuttige gebruik van de opgewarmde luchtstroming achter PV-panelen is niet evident en is alleen mogelijk in goed bestudeerde nichetoepassingen zoals voorverwarming van ventilatielucht in het stookseizoen.

## 3 KWALITEIT EN GARANTIE

Omdat een PV-systeem zowel elektrische als bouwkundige prestaties moet leveren, zullen ook de kwaliteitsgaranties voor PV-systemen moeten verwijzen naar beide aspecten.

### Elektrische prestaties

- Het vermogen van PV-panelen wordt gemeten volgens de normen voor zonnecellen en PV-panelen van het Internationaal Elektrotechnisch Comité.
- De meeste fabrikanten geven een opbrengstgarantie: 90% van het piekvermogen gedurende 10 of 12 jaar of 80% van het piekvermogen gedurende 20 of 25 jaar.

### Elektrische veiligheid

- De netaansluiting moet voldoen aan het Technisch Reglement Distributie Elektriciteit van de VREG (met verwijzing naar BFE en AREI).;
- De keuring door een keuringsorganisme is verplicht.

### Bouwkundige eisen

- De PV-panelen moeten voldoen aan de elektrotechnische norm IEC 61215 die naast elektrische prestaties ook vochtbestendigheid, extreme temperatuurschommelingen en hagelbestendigheid test.
- Voor amorfe panelen zijn andere normen van toepassing.
- Voor de inbouw in daken gelden de algemene normen voor daken (wind- en regendichtheid, brandweerstand enzovoort); er is een specifieke Code van goede praktijk voor integratie van zonnepanelen in daken en gevels in ontwikkeling door een Technische werkgroep van WTCB.

### Kwaliteitsgarantie door de installateur

- In januari 2005 start BELSOLAR, de Belgische beroepsfederatie voor zonne-energie, met een certificatieprocedure voor PV-leveranciers. Positief beoordeelde leveranciers zullen het BELSOLAR-kwaliteitslabel mogen dragen, dat garanties inhoudt voor goede communicatie, kwaliteitsvolle installatie en dienst na verkoop.

Herne, Duitsland. Akademie Mont-Cenis  
([www.solarintegration.de](http://www.solarintegration.de)).





Zoerle-Parwijs.  
13 sociale woningen  
Sint-Antoniusplein  
(www.stde.be).

## 4 REGELGEVING

### 4.1 Bouwvergunning

Voor de installatie van PV-panelen op platte daken is geen bouwvergunning nodig. Voor hellende daken hangt de vergunningsplicht af van de ingenomen oppervlakte. De volledige regelgeving is terug te vinden in het Vlaams decreet over de ruimtelijke ordening van mei 2000.

In artikel 3, punt 5°, van het decreet staat dat een stedenbouwkundige vergunning niet nodig is voor de volgende werkzaamheden, voor zover ze niet strijdig zijn met de voorschriften van stedenbouwkundige verordeningen:

5° de plaatsing van de volgende zaken bij vergunde gebouwen die niet in een ruimtelijk kwetsbaar gebied gelegen zijn:

- a. dakvlakvensters en/of fotovoltatische zonnepanelen en/of zonneboilers in het dakvlak, tot een maximum van 20% van de oppervlakte van het dakvlak;
- b. fotovoltatische zonnepanelen en/of zonneboilers op een plat dak.

### 4.2 Aansluiting op het elektriciteitsnet

#### 4.2.1 Terugdraaiende kWh-meter toegestaan

De "meetcode" (deel V) van het Technisch Reglement Distributie Elektriciteit van de VREG bepaalt dat de kWh-meter mag terugdraaien als de productie van zonnestroom hoger ligt dan het interne elektriciteitsverbruik, en dit voor opgestelde vermogens tot maximaal 10 kWp. Een eventuele aanpassing van de kWh-meter wordt op kosten van de distributienetbeheerder uitgevoerd.

#### 4.2.2 Keuring van de netaansluiting

Volgens de technische aansluitingsvoorwaarden van de VREG moet een PV-systeem, voor de aansluiting op het net, op kosten van de eigenaar door een erkend organisme worden gecontroleerd (gekeurd) op zijn conformiteit met het algemene reglement voor elektrische installaties (AREI). Daarnaast zal de netkoppeling ook gecontroleerd worden door een organisme dat de elektriciteitsdistributienetbeheerder hebben erkend. Beide keuringen mogen samen door eenzelfde keuringsorganisme uitgevoerd worden.

Een PV-systeem mag enkel na schriftelijke toestemming van de netbeheerder op het distributienet worden aangesloten.



## 5 ECONOMISCHE ASPECTEN

Een economische afweging van de investering in een PV-systeem omvat, naast de investeringskosten, verschillende aspecten:

- de inrekening van financiële opbrengsten door besparing op de aankoop van elektriciteit door eigen productie (in de toekomst door de verkoop van de geproduceerde elektriciteit);
- diverse steunmaatregelen vanwege de overheden (federaal, gewestelijk en lokaal);
- de analyse van de vermeden kosten door de vervanging van klassieke bouwmaterialen bij integratie in gebouwen;
- een economische inschatting van de toegevoegde waarde: imago, esthetiek, verhoogd comfort door zonnewering.

De combinatie van steunmaatregelen en opbrengsten kan van een PV-systeem een rendabele investering maken, maar door de relatief lange financiële terugverdientijd (15 jaar en meer) zullen niet-economische argumenten de doorslag moeten geven.



### 5.1 Investeringskosten

De investeringskosten voor netgekoppelde PV-systemen zijn de afgelopen tien jaar gehalveerd en bedragen nu, zonder BTW, ongeveer 6,5 à 7 euro per Wp (7000 euro/kWp) voor eenvoudige standaardssystemen zonder gebouwintegratie. Bij nieuwbouw komt daar nog 21% BTW bij, voor woningen ouder dan 5 jaar geldt tot eind 2005 een verminderd BTW-tarief van 6%.

De kostprijs vertoont internationaal een gestaag dalende trend met 5% per jaar en hangt samen met de ontwikkeling van de markt, de technologische evolutie en de grootte van de bestelling bij de producent. In Duitsland bijvoorbeeld ligt de prijs rond 5,5 euro/Wp voor kleine systemen op daken en zelfs rond 4,5 euro/Wp voor grote PV-centrales.

### 5.2 Opbrengsten uit elektriciteitsproductie

Hellend opgestelde netgekoppelde systemen met goede oriëntatie produceren jaarlijks ongeveer 840 kWh wisselstroom per geïnstalleerde kWp; verticaal opgestelde systemen halen 500 à 600 kWh per kWp.

Voor PV-systemen tot 10 kWp opgesteld vermogen mag de kWh-meter terugdraaien als de PV-stroomopwekking hoger ligt dan het interne stroomverbruik. Naargelang van het geldende elektriciteitstarief levert dat tot 15 eurocent/kWh op (dagtarief voor residentiële klanten). Voor PV-systemen groter dan 10 kWp gelden de algemene regels voor verkoop van elektriciteit aan het net.

### 5.3 Overheidssteun voor PV

In 2005 zijn er vier verschillende financiële steunmaatregelen:

1. investeringssteun van het Vlaamse Gewest: 50% van de investeringskosten incl. BTW;
2. groenestroomcertificaten: 15 eurocent/kWh, per schijf van 1000 kWh, uitbetaald door ELIA na een eenvoudige aanvraagprocedure via de VREG;
3. investeringssteun van sommige gemeenten: het bedrag verschilt afhankelijk van de gemeente;
4. belastingaftrek van de inkomstenbelasting: 40% vanaf aanslagjaar 2006, met een maximum van 620 euro voor nieuwbouw en 750 euro voor bestaande woningen.

Vanaf 2006 worden de eerste twee maatregelen sterk gewijzigd:

- de minimumprijs voor groenestroomcertificaten voor PV-stroom wordt opgetrokken tot 45 eurocent/kWh en is gewaarborgd voor 20 jaar vanaf de ingebruikname van het PV-systeem;
- de investeringssteun van het Vlaams Gewest vermindert sterk, maar de precieze ondersteuning is nog niet definitief vastgelegd (status december 2004).

De vermelde steunmaatregelen zijn meestal niet geldig voor bedrijven (behalve de groenestroomcertificaten). Voor die doelgroep zijn twee andere steunprogramma's belangrijk:

- verhoogde investeringsaftrek voor energiebesparende investeringen: 13,5% op de belastbare winst;
- ecologiepremie: de steun bedraagt 25% (grote ondernemingen) of 35 % (kleine en middelgrote ondernemingen) op 70% van het investeringsbedrag; dus een effectieve steun van 17,5% (GO) en 24,5% (KMO). De basissteun van 25%, respectievelijk 35% kan met maximaal 5% verhoogd worden indien men in het bezit is van één of ander milieuzorgsysteem zoals milieucharter, ISO-14001, EMAS.

### 5.4 Uitgespaarde materiaalkosten

De toepassing van PV-panelen als volwaardig bouw materiaal zorgt voor een besparing op de investering in het materiaal dat oorspronkelijk was voorzien, zoals dakpannen, beglazing of gevelbekleding. Vooral bij beglaasde daken en gevels kan de inrekening van deze vermeden kosten de nettokosten van het PV-systeem gevoelig doen dalen. Toch dient nog steeds rekening gehouden te worden met een aanzienlijke kostprijs door maatwerk en de schaalfactor waardoor de prijzen niet vergelijkbaar zijn met klassieke bouwmaterialen.



## 6 ONTWERP

De inpassing van een PV-systeem in een gebouw stelt bepaalde eisen aan het gebouw en de omgeving. We overlopen hier de stappen in het ontwerp die tot een optimale gebouwintegratie moet leiden.

Er zijn diverse keuzen mogelijk. Wordt de installatie de blikvanger of is zij uitsluitend functioneel? Architecturale integratie is mogelijk in daken, gevels, lichtstraten, zonneweringen en raampartijen. Voorbeelden van gerealiseerde projecten tonen de verschillende mogelijkheden.

### 6.1 Planning

#### 6.1.1 Locatiekeuze

Om een maximum aan elektriciteit te kunnen opwekken moet de PV-installatie voldoende zon kunnen opvangen. Bij de terreinkeuze is het vermijden van schaduw door palen, bomen en gebouwen in de omgeving bepalend. Hou er rekening mee dat bomen groeien en dat in de winter, bij lage zonnestand, schaduwen veel verder reiken dan in de zomer. De inplanting van het gebouw op het terrein wordt zo veel mogelijk op de zon gericht. Bepaal het gebouwonderdeel en de oppervlakte die zal worden ingenomen door fotovoltaïsche panelen.

#### 6.1.2 Stedenbouwkundige voorschriften

Onderzoek of een bouwvergunning nodig is en of zij ook verkregen kan worden.

#### 6.1.3 Technische planning (in overleg met de leverancier of de /installateur)

- o Bepaal het te installeren vermogen in verhouding tot de beschikbare en gewenste oppervlakte en de architecturale inpassing.
- o Kies het type PV-panelen (afmetingen, vermogen) en het aantal.
- o Bepaal de plaats van de elektrische randapparatuur (invertor, eventueel datalogger).
- o Laat de installateur op basis van de bovenstaande gegevens het elektrische schema opstellen.

#### 6.1.4 Administratieve procedure

- o prijsofferte installateur
- o aanvraag bouwvergunning (indien nodig)
- o subsidieaanvragen
- o bestelling
- o procedure voor netkoppeling

#### **Bouwkundige aandachtspunten**

- o Zorg er voor dat de isolatie van het gebouw niet onderbroken wordt ter hoogte van de PV-panelen.
- o Voorzie op hellende daken ook achter de PV-panelen een waterdicht onderdak.
- o Voorzie voldoende verluchting achter de PV-panelen en zorg voor een degelijk dampscherm aan de binnenzijde. Vooral bij grote oppervlaktes bestaat een verhoogd risico op inwendige condensatie in de isolatie.
- o Hou rekening met thermische uitzetting in de voegen tussen de PV-panelen (minimaal 4 mm).
- o Breng de windbelasting in rekening.
- o Maak de PV-installatie, inclusief de invertoren, toegankelijk voor onderhoud, maar beveilig tegen diefstal.
- o Voorzie verluchting voor de invertoren om de restwarmte af te voeren.



## 6.2 Gebouwintegratie van PV-systemen

### HELLENDE DAKEN

PV-panels kunnen in diverse delen van de gebouwschil geïntegreerd worden: op platte en hellende daken, gevels, zonneweringen en in glaspartijen. Voor elke optie bestaan er verschillende systemen voor integratie.

#### 6.2.1 Hellende daken

##### *Integratie met profielen*

Aangepaste aluminium draagprofielen kunnen op de houten dakconstructie van een hellend dak bevestigd worden. Kaderloze PV-panelen (ook "laminaten" genoemd) worden erop vastgezet en de voegen worden waterdicht afgewerkt met afdekprofielen en kunststof dichtingstrips. De randaansluiting op pannen of leien gebeurt zoals bij dakvlakventilators met gootstukken en loodslabben.

##### *Prefab onderdakelementen*

Een geprofileerde plaat in polyethyleen dient als waterdicht onderdak en als draagstructuur voor de PV-panelen. De onderdakplaten worden overlappend op de panlatten bevestigd via speciale ankers. De PV-panelen worden via aluminium profielen op de opstaande ribben bevestigd waardoor ventilatie aan de achterzijde van de PV-panelen mogelijk is.

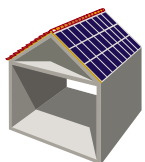
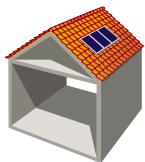
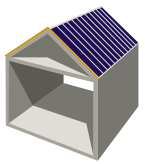
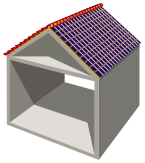
Grotere prefab 'dakdozen' zijn ook een mogelijkheid, waarbij kaderloze PV-panelen per vijf stuks bijvoorbeeld vooraf in een kader bevestigd zijn. Het kader wordt in zijn geheel op de panlatten gemonteerd in plaats van de pannen en net zoals een dakvenster afgewerkt met gootstukken. Dit vereenvoudigt de installatie en verlaagt de arbeidskosten. Ook een combinatie met isolerende dakelementen is mogelijk.

##### *PV-pannen en PV-leien*

Bij PV-pannen worden enkele zonnecellen op een vlakke kleidakpan bevestigd. Bij een PV-lei wordt op het zichtbare vlak van een standaard vezelcement lei (of natuurlei) een klein PV-paneel met bijvoorbeeld zonnecellen gekleefd. De nadelen hiervan zijn de talrijke afzonderlijke elektrische contacten met hoge materiaal- en arbeidskosten en een hoger risico op installatiefouten. Vandaar de trend bij diverse fabrikanten naar grotere langwerpige PV-shingles. Dat zijn PV-panelen met op de zichtbare onderste helft ongeveer twintig zonnecellen in twee rijen. De stroken zijn ongeveer 120 cm lang en 40 à 60 cm breed en kunnen overlappend tussen andere leien of tegelpannen (met overeenkomstige afmetingen) gelegd worden. Er bestaan ook lange flexibele rollen amorfe PV-shingles met het uitzicht van afzonderlijke leien.

##### *Metalen banen met amorfe PV-film*

Enkele grote fabrikanten van aluminium en zinken dakbanen hebben ook producten ontwikkeld met amorfe zonnecellen, bevestigd tussen de opstaande naden. De montage wordt uitgevoerd als een gewoon metalen dak, alleen de kleur verschilt lichtjes en varieert van groengrijs tot donkerpaars.



1. Langedijk, Nederland. 37 duurzame woningen (SenterNovem, Hans Pattist).
2. Kobe City, Japan. Disaster Reduction and Human Renovation Institute ([www.oja-services.nl](http://www.oja-services.nl)).
3. Genk, België. Sociale woningbouw (IZEN).
4. Apeldoorn, Nederland. Woonwijk (SenterNovem, Hans Pattist).
5. Delft, Nederland. Laboratorium (SenterNovem, Hans Pattist).
6. Freiburg, Duitsland. Solarsiedlung ([www.solarintegration.de](http://www.solarintegration.de)).



www.stde.be

## Zoerle-Parwijs, 13 sociale woningen Sint-Antoniusplein

De Zonnige Kempen is een sociale huisvestingsmaatschappij die in haar projecten ijvert voor lage energielasten voor haar huurders die over een beperkt budget beschikken. Naast financiële spelen natuurlijk ook milieu-overwegingen een rol. Zonnige Kempen heeft zelf architecten in dienst die projecten voorbereiden en mee opvolgen volgens de doelstellingen van de huisvestingsmaatschappij. Voor de wijk Sint-Antoniusplein werkte architect Eduard Maes het project verder uit. Het project is een demonstratieproject en wordt hierdoor ook mee door de overheid gefinancierd.

Een demonstratieproject houdt in dat er vernieuwende technieken worden toegepast en dat zijn er in dit project heel wat. Deze technieken staan niet naast elkaar, ze werken ook samen en hebben een synergie.

Zo vangt een asfaltcollector in de zomer zonnewarmte op die in de ondergrond, tot de winter, wordt opgeslagen. Een warmtepomp benut deze seizoensopslag als warmtebron. Tijdens de zomer produceren de thermische zonnecollectoren voor de voorziening van sanitair warm water een overschot aan warmte. Via een warmtewisselaar wordt die mee in de seizoensopslag gestockeerd. In de winter, wanneer bijna geen zonnewarmte kan worden opgevangen, zal de warmtepomp ook het sanitair warm water voorverwarmen. De ventilatielucht wordt door serres voorverwarmd of door aanzuiging van ventilatielucht onder fotovoltaïsche panelen. Bij deze laatste methode wordt gelijktijdig het PV-paneel gekoeld, wat een beter rendement tot gevolg heeft. Bij deze toepassingen worden PV-panelen in kristallijn silicium gebruikt. Daarnaast is ook een toepassing met amorf silicium, gekleefd op metalen dakbanen, voorzien.

Een meer economisch rendabele toepassing van dit geïntegreerd energieconcept vergt een schaalvergroting van het project van 13 wooneenheden naar 100 tot 150 wooneenheden. Op een dergelijke schaal betekent de investering in innovatieve energieconcepten echter een groot financieel risico, wat hiermee de keuze voor dit demonstratieproject verantwoordt. In het kader van het demonstratieproject zal VITO gedurende 2 jaar metingen uitvoeren op de installaties.

De keuze voor zonne-energie, zowel actief en passief, thermisch als fotovoltaïsch, bepaalde de oriëntatie van de gebou-

<b>Gebouw</b>	
Locatie	Zoerle Parwijs (Westerlo)
Functie	sociale huurwoongelegenheden
<b>Systeem</b>	
Vermogen	dakbanen: 6,144 kWp; panelen: 3,750 kWp
oppervlakte	dakbanen: ± 97,5 m <sup>2</sup> ; panelen: 26,7 m <sup>2</sup>
jaarlijkse opbrengst	dakbanen: 4.800 - 5.200 kWh; panelen: 3.000 - 3.200 kWh
oriëntatie en hellingshoek	dakbanen: zuid 30°; panelen: zuid 55°
kostprijs	raming: 92.303 euro
datum indienstelling	februari 2005
<b>Panelen</b>	
aantal	dakbanen: 48; panelen: 6
afmetingen	dakbanen: 5.080 x ±40 mm; panelen: 3.558 x 1.535 mm
vermogen	dakbanen: 128 Wp; panelen: 625 Wp
bevestigstechniek	dakbanen: gekleefd op metalen dakbedekking; panelen: in-dak
montage	(volta-elementen van Izen)
celltype	dakbanen: amorf silicium; panelen: polykristallijn silicium
kleur	dakbanen: zwart-blauw; panelen: blauw
<b>Opdrachtgever</b>	CV Zonnige Kempen
<b>Architect</b>	Eduard Maes
<b>Studiebureau</b>	3E, Chris Ebinger, VITO, IF-Technology
<b>Aannemer</b>	Moons (ruwbouw), Monen (technieken)
<b>Fabrikant panelen</b>	dakb.: Thyssen Solartec; panelen: Kyocera
<b>Installateur</b>	Izen / Van Hemelen

wen (noord-zuid). De zuidelijke dakoppervlakken van het hoofdgebouw zijn volledig bedekt met zonnepanelen. Boven het centrale toegangsgedeelte liggen de zonthermisch panelen, de dakbanen met amorf silicium bedekken het woongedeelte en sluiten aan bij de sterk beglaasde gevels (serres). Hiermee stijgt de integratie van de installaties uit boven de louter technische synergie. We kunnen spreken van een architecturale integratie van meerdere technieken in één ontwerp.

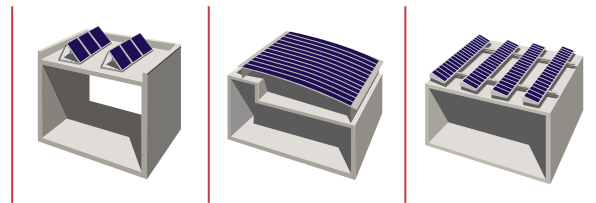


# Gebouwintegratie van PV-systemen

## PLATTE DAKEN

### 6.2.2 Platte daken

Op platte daken beïnvloedt de constructie nauwelijks de installatie van PV-systemen. De oriëntatie en helling van de PV-panelen kunnen optimaal gekozen worden. Wel is er voldoende afstand tussen de rijen PV-panelen nodig om onderlinge beschaduwing te vermijden. Hetzelfde geldt voor de schaduw van andere dakelementen (schouwen, technische opbouwen). De PV-panelen kunnen op een metalen draagstructuur opgesteld worden, of op prefab draagconstructies in beton of kunststof. Doorboren van de dakbedekking voor bevestiging kan niet, dus wordt altijd ballast voorzien (grind, betontegels, betonnen draagstructuren). Door maximale verspreiding van de ballast wordt puntbelasting vermeden. Bij herstelling of vernieuwing van de dakbedekking kunnen deze prefabsystemen tijdelijk weggehaald worden. De bekabeling wordt via een opstaand schouwtje of via de gevel naar binnen gevoerd.



1. Antwerpen, België. Ecohuis (IZEN).  
2. Braunschweig, Duitsland. Appartementen (Alwitra).  
3. Mechelen, België. Kantoorgebouw (Solar Technics).  
4. Braunschweig, Duitsland. Appartementen (Alwitra).  
5. Rotterdam, Nederland. Gemeentearchief (SenterNovem, Hans Pattist).





SenterNovem, Hans Pattist

## Etten Leur (NL), Down 2-000

Bij de planning van de wijk De Keen daagde de gemeente Etten-Leur de projectontwikkelaars uit tot het bouwen van 0-energiewoningen. Bouwfonds Wonen nam de uitdaging aan en stelde BEAR Architecten aan als ontwerper van 21 koopwoningen. De ervaring van de architecten bij het ontwerpen van energiezuinige gebouwen en bij de toepassing van hernieuwbare energie leidde tot een evenwichtig ontwerp en een succesvolle realisatie.

Doorgedreven isolatie reduceerde de energievraag van de woningen tot 50% van het door de Nederlandse bouwcode toegelaten verbruik. De vraag naar warmte en koeling wordt ingevuld door passieve zonne-energie en warmtepompen. De individuele warmtepompen zijn gekoppeld aan een gemeenschappelijke ondergrondse warmteopslag. Tijdens de zomer wordt de overtollige warmte teruggevoerd in de bodem, in de winter benut de warmtepomp de opslag als warmtebron. Een fotovoltaïsche zonne-installatie dekt het volledige elektriciteitsverbruik. Cofinanciering met Novem (demonstratieproject), de provincie Noord-Brabant en het energiebedrijf Essent maakte de fotovoltaïsche installatie financieel haalbaar.

Bij dit project koos de architect bewust voor een architecturaal concept waar het fotovoltaïsche systeem integraal deel van uitmaakt, in tegenstelling tot de gangbare (onzichtbare) toepassing van PV-installaties op platte daken.

De woningen zijn aan elkaar gekoppeld door garages op de gelijkvloerse verdieping. De donkere bakstenen gevel beklemtoont de doorlopende basis van de woonblok. De open ruimte die boven de garages, tussen de woningen ontstaat, maakt het geheel transparant en creëert een verticaal ritme in de gevel. De fotovoltaïsche installatie maakt terug een horizontale verbinding tussen de woningen. De lichte metalen draagstructuur contrasteert met de donkere, massieve sokkel van het gebouw.

Het plaatsen van de fotovoltaïsche modules op een vrije draagstructuur geeft de architect meer vrijheid wat betreft de oriëntatie van de gebouwen. De achterkant van de modules wordt op een natuurlijke wijze geventileerd, ten gunste van het rendement. Kabels zijn verzameld langs de staalconstructie en via de dakdoorvoer naar de invertoren in de installatieruimte gevoerd.

<b>Gebouw</b>	
Locatie	Etten Leur (NL)
Functie	vrije sector woningbouw
<b>Systeem</b>	
Vermogen	21 x 6,1 kWp
oppervlakte	21 x 44 m <sup>2</sup>
jaarlijkse opbrengst	118.230 kWh
oriëntatie en hellingshoek	zuid 15°
kostprijs	689.117 euro
datum indienstelling	november 2002
<b>Panelen</b>	
aantal	1.512
afmetingen	1.197 x 530 mm
vermogen	85 Wp
bevestigingstechniek	Gegalvaniseerd stalen frame waarop panelen dmv een kunststof kliksysteem worden vastgezet
celltype	monokristallijn silicium
kleur	donker blauw
<b>Opdrachtgever</b>	Bouwfonds Wonen BV. Eindhoven
<b>Architect</b>	BEAR Architecten
<b>Studiebureau</b>	Hans Crone installatieadvies (gebouwinstallatie)
<b>Aannemer</b>	NTB
<b>Leverancier</b>	BP
<b>Installateur</b>	BP Solarex



SenterNovem,  
Hans Pattist



# Gebouwintegratie van PV-systemen

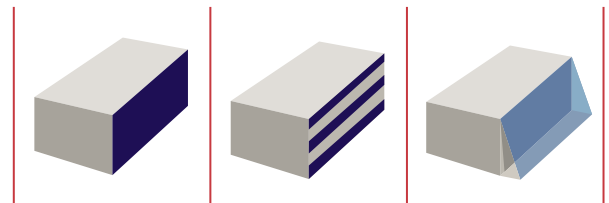
## GEVELS

### 6.2.3 Gevels

In verticale gevels is de toepassing van PV-panelen duidelijk zichtbaar en wint de architecturale uitstraling aan belang. De elektrische opbrengst daalt wel met een derde in vergelijking met een hellend systeem met optimale oriëntatie en hellingshoek. Extra aandacht voor mogelijke beschaduwing van de PV-panelen is nodig als die laag in de gevel worden geplaatst.

In gordijngevels kunnen zowel dichte als semi-transparante kaderloze PV-panelen ingepast worden in bestaande gevelsystemen met metalen profielen. Er is een trend om hiervoor grote PV-panelen te gebruiken, omdat de prijs per m<sup>2</sup> daalt met de grootte (zowel voor de fabricage montage als voor de installatiebekabeling). Net zoals bij gewone gevelbekleding kunnen PV-panelen afgewisseld worden met raampartijen. Ook massieve gevels kunnen volledig of gedeeltelijk bekleed worden met PV-panelen.

1. Imst, Oostenrijk. Vocational School ([www.oja-services.nl](http://www.oja-services.nl)). 2. Lech am Arlberg, Oostenrijk. Stoeltjeslift Kriegerhornbahn ([www.solarintegration.de](http://www.solarintegration.de)). 3. Paderborn, Duitsland. Industriegebouw (Protechno Card Biohaus). 4. Graz, Oostenrijk. Helmut List Halle ([www.solarintegration.de](http://www.solarintegration.de)). 5. St Asaph, UK. Industriegebouw OpTIC centre ([www.pvsystems.com](http://www.pvsystems.com)). 6. Amersfoort, Nederland. Waterwoningen-Gele Lis (SenterNovem, Hans Pattist).





SenterNovem, Hans Pattist

## Veenendaal (NL), Rembrandt College

Leerlingen faciliteiten bieden om aan zichzelf te bouwen. Dat is het motto van het Veenendaalse Rembrandt College. A12 Architecten kreeg de opdracht de onderwijskundige ideeën van de school bouwkundig en architecturaal vorm te geven in het nieuwe schoolgebouw. Dat uit zich in multifunctioneel ruimtegebruik en de architectonische uitwerking. De gebouwonderdelen kregen elk hun eigen vorm, kleur- en materiaalgebruik. De architecten kregen ook het interieurontwerp toegewezen en dit gaf hen de kans voor de school een eigen meubellijn te ontwikkelen.

Het Rembrandt College is niet alleen een vooruitstrevende school op gebied van onderwijs, ze wil ook de energiezuinigste school van Nederland zijn. De mechanische ventilatie is gekoppeld aan een warmteterugwinningssysteem met warmtepompen. De verlichting van de lokalen bestaat uit armaturen met HF-balasten. Ze werkt op bewegingsdetectie en daglichtsensoren. Zonneboilers op het dak zorgen voor de warmwatervoorziening van het gebouw (douches sporthal).

De architecten wilden van bij de aanvang een PV-installatie in het gebouw integreren. Het energiebedrijf REMU werd ingeschakeld als opdrachtgever van die installatie. Architect en energiebedrijf moesten samen de opdrachtgever van het gebouw, de gemeente, overtuigen. De financiering kwam van Novem en het energiebedrijf, Europese steun en de gemeente. De gemeente, tevens schoolbestuur, anticipeerde hiermee op het exploitatievoordeel voor de school.

De late definitieve toezegging van de subsidies en de hoge kostprijs van sommige delen van de installatie maakten dat, in laatste instantie, moest bespaard worden in het ontwerp. Dit betekende de installatie van een vaste PV-zonnepanelen in plaats van een verstelbaar systeem en het wegvallen van het zonnepaneelstelsel op de aula.

Het gebruik van PV-panelen als volwaardige gevelbekleding, het kleurspel en het materiaalcontrast in de gevel geven een bijzondere meerwaarde aan het gebouw. Architecturale keuzes hadden technische consequenties. De aluminium-profielen tussen de panelen liggen hoger dan de panelen zelf. Zij werpen schaduw op de rand van de panelen. Deze schaduw bepaalt de afstand van de cellen tot de rand van de panelen. 'Dummy-panelen' zijn ingeschakeld als alternatief voor niet-rechthoekige vormen.

<b>Gebouw</b>	
Locatie	Veenendaal (NL)
Functie	school
<b>Systeem</b>	
Vermogen	37 kWp
oppervlakte	430 m <sup>2</sup>
jaarlijkse opbrengst	30.000 kWh
oriëntatie en hellingshoek	zuid 90°
kostprijs	480.904 euro
datum indienststelling	december 1998
<b>Panelen</b>	
aantal	gevels: 272; zonnepanelen: 60
afmetingen	tot 2.107 x 725 mm
vermogen	gevels: tot 148 Wp; zonnepanelen: 84 Wp en 50 Wp
bevestigingstechniek	Schüco aluminium gevelsystemen
celltype	polykristallijn silicium
kleur	gevels: blauw en brons; zonnepanelen: blauw
<b>Opdrachtgever</b>	Gemeente Veenendaal (gebouw) / Remu (PV-systeem)
<b>Architect</b>	A12 Architecten
<b>Studiebureau</b>	Schreuder Groep Ingenieurs/Adviseurs
<b>Aannemer</b>	Aannemingsbedrijf Boers Veenendaal
<b>Leverancier</b>	Kyocera
<b>Installateur</b>	Firma Wennemuth/Volker B.V./ Leertouwer B.V.

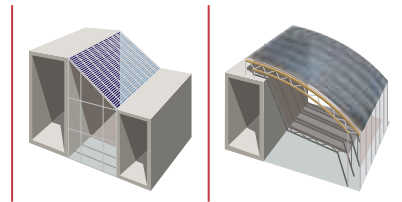
Een voorwaarde voor de toekenning van de subsidie van Novem was dat de energievoorzieningen ook in de leerstof werden verwerkt. Daarom staat de installatie, inclusief invertoren, zichtbaar opgesteld. REMU volgt de PV-installatie op in samenwerking met de energiecoördinator van de school. Hieruit zal blijken of het hoofddoel, het realiseren van de energiezuinigste school van Nederland, gehaald is.



## BEGLAASDE DAKEN

### 6.2.4 Beglaasde daken

De glazen dakbedekking van veranda's, lichtstraten en atriumdaken kan ook uitgevoerd worden in semi-transparante PV-panelen (glas-glas-panelen), die zomerse oververhitting verminderen. De buitenzijde is altijd gehard glas. Aan de binnenzijde kan, naargelang de gewenste isolatie, ook verbeterd isolerend dubbel glas voorzien worden; de aanwezigheid van doorzichtige kunststof tussen twee glasvlakken maakt van de PV-panelen bovendien ook gelaagd glas, een veilige oplossing. De lichttoetreding kan variëren door de tussenafstand tussen de zonnecellen aan te passen. Een tussenafstand van bijvoorbeeld 12 mm tussen zonnecellen van 10 cm op 10 cm geeft al 28% lichtdoorlatendheid. Bij bezonning ontstaat een typisch licht- en schaduwpatroon dat fraaie effecten oplevert. Voor een meer diffuse belichting zonder schaduwraaster kan ook mat glas worden toegepast. Extra aandacht is nodig voor de contactdozen op de achterkant van de PV-panelen en de esthetische verwerking van de bekabeling (ingewerkt in de constructie, in kabelgoten enzovoort).



1. Herne, Duitsland. Akademie Mont-Cenis ([www.solarintegration.de](http://www.solarintegration.de)). 2. Iglstadt, Duitsland. Industriegebouw Bauer Energietechnik ([www.solarintegration.de](http://www.solarintegration.de)). 3. Overijse, België. Industriegebouw. 4. Barneveld, Nederland. Bedrijfsgebouw electrotechniek Leertouwer (Leertouwer). 5. Beerse, België. Janssen Pharma (Soltech).





Christian Richters

## Houten (NL), brandweerkazerne

De gemeente Houten wees het ontwerp voor het nieuwe brandweergebouw toe aan het Belgische architectenbureau Samyn & Partners. De architecten waren reeds overtuigd van het potentieel van fotonvoltaïsche zonne-energie en vertrouwd met de integratie van PV-installaties in gebouwen (bijvoorbeeld bij de renovatie van het kasteel Groenhof in Malderen). Hun voorstel tot integratie van PV in dit gebouw werd zowel door de gemeente Houten als door het energiebedrijf REMU onmiddellijk positief onthaald. Beiden wilden het project gebruiken voor de promotie van duurzaam bouwen in het algemeen en zonnestroom in het bijzonder.

Novem financierde een deel van de installatie, de gemeente en het energiebedrijf namen de rest van de kosten op zich. De meerkost van de semi-transparante PV-panelen werd ten dele gecompenseerd door de uitgespaarde kosten van ramen en dakbedekking. De combinatie van externe financiering en uitgespaarde kosten maakte de installatie ook financieel interessant.

PV vormde de inspiratiebron voor de architect. Oriëntatie en vormgeving van het project zijn volledig op de zon gericht. De gesloten, massieve noordkant van het gebouw contrasteert met de doorzichtige zuidgevel die de garage herbergt. Semi-transparante panelen temperen het invallende licht. De verhouding glas-PV-cellen doseert het daglicht volgens de behoefte van het gebouw. Invertoren en kabels zijn zichtbaar geïnstalleerd en beklemtonen het industriële karakter van de brandweerkazerne. Rekening houdend met de hoogte van het dak vormen zij geen storend element in de dakstructuur.

De gemeente en de inwoners voelen zich sterk verbonden met het brandweergebouw. Op uitnodiging van Philippe Samyn beschilderden 2200 schoolkinderen elk een paneel op A3-formaat. Deze panelen bedekken de binnenwand tussen de garage en de andere lokalen.

De locatie en de aparte architectuur geven het gebouw een bakenfunctie in de gemeente. Brandweerwagens staan zichtbaar opgesteld en leggen de nadruk op de functie van het gebouw, de zichtbare PV-installatie beklemtoont de energievoorziening. De meetinstallatie in de kantine geeft zowel de brandweelieden als de bezoekers de kans de werking en opbrengst van het PV-systeem op te volgen.

<b>Gebouw</b>	
Locatie	Houten (NL)
Functie	brandweerkazerne
<b>Systeem</b>	
Vermogen	23,9 kWp
oppervlakte	400 m <sup>2</sup>
jaarlijkse opbrengst	30.000 kWh
oriëntatie en hellingshoek	zuid
kostprijs	256.699 euro
datum indienstelling	september 2000
<b>Panelen</b>	
aantal	288
afmetingen	±1.100 x 1.200 mm
vermogen	83 Wp
bevestigingstechniek	Schüco profiel
celltype	polykristallijn silicium
kleur	blauw
<b>Opdrachtgever</b>	Gemeente Houten
<b>Architect</b>	Samyn and partners
<b>Studiebureau</b>	Ecofys
<b>Aannemer</b>	Nijhuis Utrecht
<b>Leverancier</b>	Shell Solar
<b>Installateur</b>	Stroomwerk



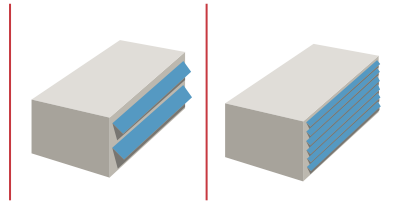
Christian Richters



## ZONNEWERING

### 6.2.5 Zonnewering

Een vaste of beweegbare oversteek boven de ramen van een zuidgevel vormt een effectieve zonnewering die de zon in de zomer buiten houdt. In de winter kan de zonnestraling ongehinderd onder de zonnewering door. Een PV-zonnewering met zonnecellen houdt het zonlicht buiten en zet het tegelijkertijd om in nuttige elektriciteit. Ook hier kunnen zowel dichte als semi-transparante PV-panelen gebruikt worden. Zelfs bewegende PV-zonneweringen in stroken boven elkaar zijn mogelijk. Zonneweringen hoeven bovendien niet waterdicht of isolerend te zijn, wat het concept vereenvoudigt. Een belangrijk aandachtspunt is de doorvoer van de bekabeling door de gevel naar binnen.



1. Beek, Nederland. Kantoorgebouw AEM Vastgoed BV (SenterNovem, Hans Pattist). 2. Dordrecht, Nederland. 22 woningen (Bear Architecten). 3. Hannover, Duitsland. Congress Centrum ([www.solarintegration.de](http://www.solarintegration.de)). 4. Zillebeke, België. Woning (Solar Technics). 5. Erlangen, Duitsland. Klinisch-Molekularbiologischen Institut (SOLON AG, Wolfram Murr). 6. Petten, Nederland. ECN-gebouw (SenterNovem, Hans Pattist).





Jo Neyens

## Heverlee (Leuven), IMEC cafetaria

IMEC (Interuniversitair Micro-Elektronica Centrum) is het grootste onafhankelijke Europese onderzoekscentrum op het gebied van micro-elektronica, nanotechnologie, ontwerpmethodes en technologieën voor ICT-systemen. Onderzoek en ontwikkeling van PV-cellen vindt plaats in de onderzoeksgroep Silicon Solar Cells van IMEC. Bij het ontwerp van de nieuwe cafetaria in 1996 waren het de onderzoekers van de werkgroep PV-systemen die de integratie van PV-panelen in het project voorstelden.

De realisatie van het project maakt het onderzoeksdomein zichtbaar voor bezoekers en geeft het gebouw (en Imec zelf) een hoogtechnologisch en duurzaam imago. De installatie maakt deel uit van een onderzoeksproject over module-invertoren. De uitgespaarde materiaalkost van de zonnepanelen, die zonder PV-installatie in andere materialen was uitgevoerd, is een bijkomend financieel voordeel.

De toepassing van semi-transparante modules als zonnepanelen en verandadak zorgt voor een gedoseerde lichtinval en een subtiel rastervormig schaduwspel. De homogeniteit van de gevel wordt bewaard door de uitlijning van de afmetingen van de modules op de raamverdelingen. Bij semi-transparante modules zorgen de invertoren dikwijls voor visuele hinder. In dit project zitten de module-invertoren van de zonnepanelen verborgen achter de metalen steunprofielen. Bij het verandadak verbergt een houten bak de invertoren.

De resultaten van het onderzoek werden ondertussen gepubliceerd. De opbrengst van de installatie wordt systematisch opgevolgd via een monitoringssysteem.



<b>Gebouw</b>	
Locatie	Leuven
Functie	bedrijfsrestaurant
<b>Systeem</b>	
Vermogen	2,378 kWp
oppervlakte	zonnepanelen: 16,1 m <sup>2</sup> ; verandadak: 7,7 m <sup>2</sup>
jaarlijkse opbrengst	1.330 kWh
oriëntatie en hellingshoek	ZZW veranda 10°, zonnepanelen 30°
kostprijs	24.000 euro
datum indienststelling	najaar 1997
<b>Panelen</b>	
aantal	zonnepanelen: 14; verandadak: 6
afmetingen	zonnepanelen: 960 x 1150 mm; verandadak: 970 x 1390 mm en 670 x 1390 mm
vermogen	zonnepanelen: 116 Wp; verandadak: 134 Wp en 84 Wp
bevestigingstechniek	zonnepanelen: inox Planar schroefstelsel; verandadak: serreprofielen
celltype	monokristallijn silicium
kleur	antraciet
<b>Opdrachtgever</b>	Imec vzw
<b>Architect</b>	Ir. J. Spaas bvba
<b>Studiebureau</b>	ATENCO NV
<b>Aannemer</b>	Soltech NV
<b>Leverancier</b>	Pilkington GmbH
<b>Installateur</b>	Soltech NV



## 6.3 Niet-gebouwgebonden PV-systemen

### 6.3.1 PV-centrales

Hiermee worden grootschalige opstellingen van rijen PV-panelen op de begane grond bedoeld, met als enige functie efficiënte elektriciteitsproductie. De opstelling is dan ook zo veel mogelijk op de zon gericht met eventueel zelfs een variabele hellingshoek en/of oriëntatie (zonnevolgsystemen).

### 6.3.2 PV-systemen op structuren

Op diverse structuren is ruim plaats voor PV-panelen:

- o open afdaken zoals treinperrons en bushaltes, stadionsdaken boven tribunes;
- o geluidswanden langs autosnelwegen of spoorwegen;
- o structuren met een bakenfunctie.

### 6.3.3 Kleinschalige PV-systemen in de gebouwde omgeving

Naast de huis- en tuintoepassingen van autonome systemen (tuinlampen, radio's enzovoort) kunnen zonnecellen ook in diverse categorieën straatmeubilair gebruikt worden. Het gaat dan meestal om lokale stroomopwekking in combinatie met een batterij, die financieel gunstiger is dan netkoppeling (arbeidsuren, transformatie) of stroomopwekking op plaatsen waar het net te veraf ligt. Voorbeelden hiervan zijn parkeermeters, elektronische tijds meldingen van bussen of trams, verkeerssignalisatie, milieumetingen, straatverlichting. Grotere PV-systemen zoals afdaken boven straatbanken kunnen ook aan het net gekoppeld worden.

1. PV-centrale (Beck Energy). 2. Floriade, Nederland (Floriade). 3. Zeeboei (Soltech). 4. Parkeermeter (SenterNovem). 5. Straatverlichting (SenterNovem, Hans Pattist). 6. Geluidsscherm (SenterNovem, Hans Pattist). 7. Solar seats (Eneco).



## 7 UITVOERING

Voor de concrete installatie van een PV-systeem moeten de volgende stappen worden gezet:

1. constructie van de draagstructuur;
2. installatie van de PV-panelen op de draagstructuur en onderlinge bekabeling;
3. plaatsing van de inverter;
4. doorvoer van de bekabeling;
5. randafwerking rond de PV-panelen;
6. netkoppeling.

### 7.1 Constructie van de draagstructuur

De draagstructuur hangt volledig af van de gekozen methode voor integratie. Fabrikanten van bevestigingssystemen hebben speciale profielen ontwikkeld voor gevelintegratie van PV-panelen, meestal een variëteit op profielen voor beglaasde gevels. Voor daken zijn er speciale profielen op de markt die een overlappende montage van kaderloze PV-panelen mogelijk maken. Omdat beschaduwing een negatieve invloed kan hebben, moet men erop letten dat afdekprofielen zo weinig mogelijk uit het vlak van het PV-paneel uitsteken.

### 7.2 Installatie van de PV-panelen op de draagstructuur en onderlinge bekabeling

De panelen moeten bevestigd worden volgens de voorschriften van de fabrikant van de draagstructuur. Daarbij moet men ook rekening houden met een strategie om eventueel beschadigde PV-panelen te kunnen vervangen zonder de hele oppervlakte te demonteren.

Samen met de bevestiging van de PV-panelen op de draagstructuur, worden de opeenvolgende PV-panelen ook door elektrische contacten in serie geschakeld. Voor grotere PV-systemen maakt de installateur een bekabelingsschema. Dat deelt de grote oppervlakte PV-panelen in aparte series in, telkens aangesloten op een serie-inverter, op basis van de maximale invertervermogens en mogelijke beschaduwingen. Het elektrische schema bepaalt daarnaast ook de vermogens van de invertoren en de plaats van de kabeldoorvoer naar binnen.

Voor de onderlinge elektrische aansluitingen worden meestal waterdichte "klik"-stekkers gebruikt, die speciaal voor gelijkstroom van PV-panelen zijn ontwikkeld. Ondanks hun vrij hoge kostprijs is het grote voordeel dat ook de dakwerker de installatie kan uitvoeren op een veilige en betrouwbare manier met de nodige garanties voor waterdichtheid en elektrische verbinding.

### 7.3 Plaatsing van de inverter

De inverter wordt best op zolder of in de kelder geplaatst en bij voorkeur zo dicht mogelijk bij de elektriciteitskast van de woning. Enerzijds is het nuttig om de lengte van de gelijkstroomkabels zo kort mogelijk te houden. Gelijkstroomkabels zijn immers duurder en hebben grotere weerstandsverliezen dan wisselstroomkabels. Anderzijds kan bij sommige invertoren een





lange wisselstroomleiding tussen de inverter en de huisaansluiting tot problemen met de interne veiligheidsfuncties leiden. De inverter moet goed bereikbaar zijn voor controle van de werking van het PV-systeem en ventilatie is nodig voor de afvoer van de door de inverter geproduceerde warmte (het grootste deel van de gelijkstroom van de PV-panelen wordt weliswaar in wisselstroom omgezet, maar het resterende deel komt vrij in de vorm van warmte). De meeste invertoren zijn ook voorzien van een display waarop diverse waarden kunnen afgelezen worden.

## 7.4 Doorvoer van de bekabeling

Elke serie PV-panelen is via twee gelijkstroomkabels verbonden met de inverter. Omdat gelijkstroomkabels dikker zijn dan gewone elektrische bekabeling moet de kabeldoorvoer dus voldoende groot zijn voor minstens twee en bij grotere systemen verschillende dubbele kabels. Bij doorvoer naar een verwarmde ruimte moet de doorvoer geïsoleerd worden om een koudebrug te vermijden.

Bij nieuwbouw verdient het aanbeveling om wachtbuizen te voorzien vanaf de gewenste plaats van doorvoer tot aan de meterkast, bijvoorbeeld kunststof sanitaire afvoerbuizen met een diameter van minstens 42 mm.

## 7.5 Randafwerking rond de PV-panelen

Na het aanbrengen van de bekabeling kan de randafwerking rond de PV-panelen gemonteerd worden.

## 7.6 Netkoppeling

Alvorens de PV-panelen aan de omvormer en de omvormer aan het net aan te sluiten, zal de installateur een controlelijst overlopen. Daarin wordt o.a. een meting voorzien van de openklemspanning en de kortsluitstroom per serie van PV-panelen. Na de controle door de installateur moet een keuring door een erkend keuringsorganisme plaatsvinden, samen met een nazicht van de elektrische installatie waarop aangesloten wordt (zekering, verliesstroomschakelaar, aarding).

Na de realisatie van de netkoppeling start het PV-systeem automatisch bij het inschakelen van de zekering, tenminste als er licht op de zonnepanelen valt. De omvormer zal dan automatisch opstarten, zijn maximaal vermogen opzoeken, zich synchroniseren met het net en stroom beginnen leveren.

1. Montage randprofielen (IZEN). 2. Montage prefab panelen op draagstructuur (IZEN). 3. Afwerking dakbedekking (IZEN). 4. Opbouw dakgeïntegreerd systeem (Solar Technics). 5. Montage opbouw op leien dak (Lenoir Solar). 6. Onderlinge koppeling PV-panelen.

## 8 GEBRUIK

Een PV-systeem vraagt in een Belgisch klimaat geen onderhoud: de regen spoelt de PV-panelen schoon. Toch is er controle nodig op de goede werking van het systeem, zeker als de financiële steun vanaf 2006 per geleverde kWh berekend wordt. Omdat een PV-systeem ook stroom levert als het minder goed of niet functioneert, worden defecten niet direct opgemerkt.

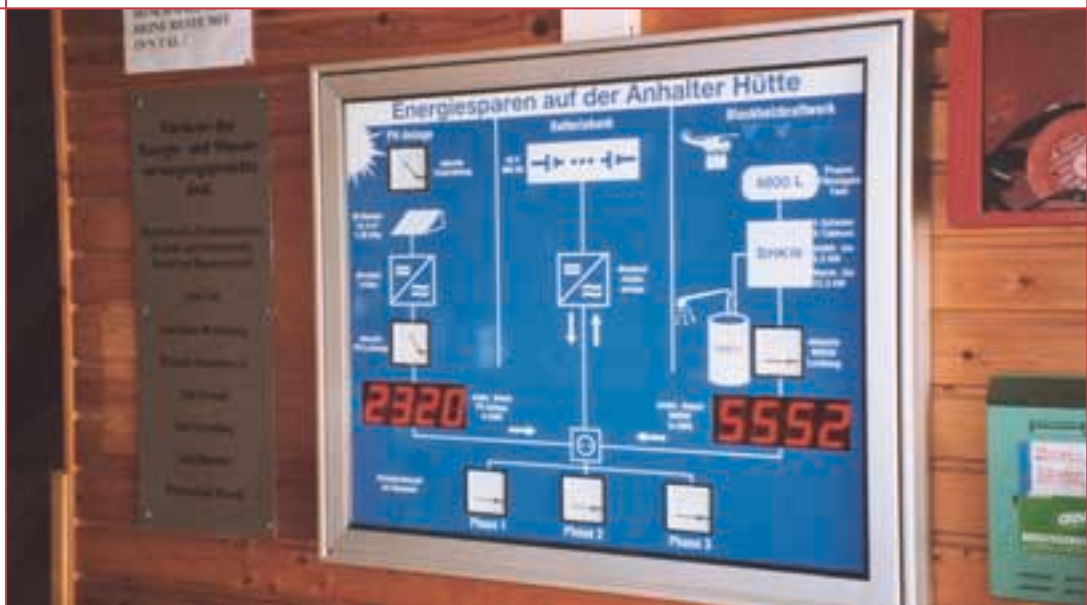
Uit de jaarlijkse meterstand van de terugdraaiende kWh-meter kan geen nauwkeurig cijfer voor de fotovoltaïsche stroomproductie berekend worden. Evenmin kunnen defecten snel worden opgespoord.

Alleen met een aparte meting van de fotovoltaïsche stroomlevering aan het net kan de opbrengst van een PV-systeem in kaart worden gebracht. Dat kan op verschillende manieren:

- door de installatie van een aparte kWh-meter en manuele controle van de opbrengst;
- door de inverter te voorzien van een meetsysteem met afleesscherm en beperkte gegevensopslag;
- door de inverter te koppelen aan een pc die de meetwaarden opslaat en in grafieken presenteert;
- door een professioneel monitoringssysteem (voor grote PV-systemen).

In het buitenland bestaan zelfs internetdiensten die de meetwaarden van een PV-systeem vergelijken met een nauwkeurige raming van de maandelijkse opbrengst (volgens de kenmerken van het PV-systeem in kwestie). Grote afwijkingen wijzen op een defect.

Afleesscherm (Marleen De Roye).



## 9 TOEKOMST

De huidige wereldmarkt voor fotovoltaïsche toepassingen is nog steeds tamelijk klein in absolute cijfers maar de markt groeit spectaculair: met gemiddeld 35% per jaar gedurende de laatste vijf jaar. Dalende productiekosten door massaproductie en verhoogde rendementen van kristallijn siliciumcellen maken de toepassing van PV-systemen steeds interessanter. Verdere kostendalingen worden verwacht van de toepassing van dunne filmzonnecellen en organische materialen voor goedkope, flexibele plastic zonnecellen.

Het technisch realiseerbare potentieel op gebouwen in België hangt samen met de gewenste, beschikbare en gunstige oppervlakte voor PV-panelen op de gebouwschil en op niet-gebouwstructuren. Diverse gedetailleerde ramingen komen uit op een mogelijk toekomstig aandeel van 12% tot 30% in het totale huidige jaarlijkse elektriciteitsverbruik in België. Dat maakt van fotovoltaïsche zonne-energie één van de potentieel belangrijkste hernieuwbare energiebronnen in ons land. Het is een gezamenlijke uitdaging voor zowel de industrie, de overheid als de individuele bouwers en ontwerpers om dit potentieel te realiseren door ieder op eigen terrein een actieve rol te spelen in de marktontwikkeling van PV-systemen.



1. Productielijn kristallijn-silicium cellen Photovoltech in Tienen (Photovoltech).  
2. Flexibele zonnecel (IMEC). 3. Laboratorium (IMEC).



## 10 MEER INFORMATIE

Adressen van leveranciers en organisaties vindt u terug in de brochure "Elektriciteit uit zonlicht" van ODE-Vlaanderen.

### 10.1 PV in Vlaanderen

Brochure **Elektriciteit uit zonlicht** van ODE-Vlaanderen  
<http://www.ode.be>, (onder Infopunt, publicaties, zon)  
Uitgebreide informatie over fotovoltaïsche zonne-energie in PDF-formaat.

Website van de Vlaamse Overheid  
<http://www.energiesparen.be>  
Actuele informatie over subsidies voor zonne-energie in Vlaanderen, zowel van het Vlaamse Gewest, de netbeheerders als van de gemeenten.



## 10.2 Informatie over PV in de architectuur

IEA Photovoltaic Power Systems

<http://www.iea-pvps.org/>

Uitgebreide website van het Internationale Energie-agentschap over PV, met projectvoorbeelden, marktontwikkeling en publicaties over diverse deelthema's zoals potentieel en gebouwintegratie.

IEA Database BIPV projects

<http://www.pvdatabase.com/>

Projectfiches van architecturale PV-projecten met zoekfunctie, van het Internationale Energie-agentschap (BIPV = building integrated PV).

BIPV Demosite Lausanne

<http://www.demosite.ch>

Overzicht van demonstratiestanden met PV-integratietechnieken aan een technische hogeschool in Lausanne.

Europese THERMIE-projecten

<http://europa.eu.int/comm/energy/en/volthome.htm>

Overzicht van demonstratieprojecten met fotovoltaïsche zonne-energie die met Europese steun gerealiseerd zijn.

EUREC-Agency: PV info in PISA II

<http://www.eurec.be/projects/pisa.htm>

PISA (Photovoltaic Information Strategy to Architects) is een initiatief van de Architect's Council of Europe (ACE) en EUREC (European Renewable Energy Centres Agency). De website toont informatieve fiches van architecturaal interessante PV-projecten.

PV systemen in Nederland

<http://www.pvinfo.nl>

Uitgebreide databank van gerealiseerde PV-projecten in Nederland, met projectfiches.

Solarintegration

<http://www.solarintegration.de>

Selectie van architecturaal interessante PV-projecten in Duitsland, per categorie van gebouwintegratie; ook informatie over zonnecellen, PV-modules en montagetechnieken.