

10 Elektriciteit

Het beleid van de rijksoverheid is erop gericht dat in 2020 14% van het totale energieverbruik duurzaam is en in 2023 16% [226]. In 2019 was 8,6% duurzaam (bron: Netbeheer Nederland). Van het elektriciteitsverbruik was in 2019 naar schatting ruim 19% duurzaam (bron: www.energieopwek.nl). Doel is om in 2050 de energievoorziening bijna geheel duurzaam te laten zijn.

Daarnaast blijft besparing op het elektriciteitsverbruik alle aandacht vragen; denk hierbij aan:

- De toepassing van zuinige installaties voor verwarming en ventilatie (paragraaf 10.1.1);
- De toetreding van daglicht optimaliseren waardoor minder kunstverlichting nodig is (paragraaf 10.1.1);
- Het stimuleren dat bewoners minder en zuinige huishoudelijke apparatuur gaan gebruiken; mogelijke maatregelen zijn o.a. het realiseren van een wasdroogruimte en hot-fill aansluitpunten (paragraaf 10.1.2).

In dit hoofdstuk komt zowel besparing op het elektriciteitsverbruik als duurzame energie aan de orde. Wat dit laatste betreft: vooral PV krijgt aandacht. Windenergie valt buiten het kader van deze uitgave omdat de mogelijkheden voor die bron vooral buiten de gebouwde omgeving liggen. In paragraaf 10.2.2 wordt kort ingegaan op windenergie.

Deelchecklist

Energiebewust ontwerpen: Elektriciteitsbesparing en duurzame elektriciteit

Initiatief / haalbaarheid / projectdefinitie

- Neem in het Programma van Eisen maatregelen op over elektriciteitsbesparing en gebruik van duurzame elektriciteit. Houd hierbij rekening (indien van toepassing) met een Energievisie voor de betreffende locatie of met een energieconvenant (paragraaf 3.1);
- Ga na welke mogelijkheden er zijn voor toepassing van duurzame elektriciteit (zon, wind, biomassa), zowel voor individuele als collectieve installaties;
- Informeer naar de mogelijkheden en randvoorwaarden voor het terugleveren van de elektriciteit afkomstig van de PV aan het openbare net.

Structuurontwerp/Voorontwerp

- Maak optimaal gebruik van daglicht ('hoge' ramen, dakramen enz., zie paragraaf 4.3), mede ter beperking van het gebruik van kunstlicht;
- Reserveer ruimte voor het natuurlijk drogen van de was, het drogen vindt dus plaats zonder gebruik te maken van een wasdroger;
- Houd rekening met een (toekomstig) gebruik van PV-panelen in het ontwerp (dakvorm, dakoriëntatie en dakhelling). Voorkom beschaduwning door uitbouwen dakdoorvoeren en bomen; leg dat zonodig vast in een bestemmingsplan of ander juridisch stuk.

Definitief Ontwerp / Technisch ontwerp

- Maak aansluitpunten voor hot-fill huishoudelijke apparatuur (vaatwasser en wasmachine) (paragraaf 10.1);
- Neem eisen op over het maximale opgenomen elektrische vermogen (eenheid: Watt) voor hulpenergie van installaties voor verwarming, koeling, warm tapwater en ventilatie, inclusief de regelingen voor deze installaties; het gaat daarbij om ventilatoren, pompen en regelingen (zie hoofdstuk 6, 7, 8 en 9);
- Detailleer daken (en eventueel gevels) zodanig dat PV geïnstalleerd kan worden, direct of op termijn (paragraaf 10.2). Maak ook dakdoorvoeren voor de benodigde leidingen. Maak ook een aparte groep in de meterkast voor de aansluiting van PV. Reserveer (loze) leidingen voor de bekabeling van de PV-panelen naar de omvormer(s) en de meterkast;

- Installeer bij gebruik van PV de juiste elektriciteitsmeter(s).

Uitvoering / Gebruik / Exploitatie

- Informeer bewoners en beheerders over het toepassen van energiezuinige elektrische apparatuur en de aanwezigheid van eventuele voorzieningen hiervoor (o.a. hot-fill); overweeg om bij de woningen voorzieningen zoals een hot-fill voorschakelkastje standaard mee te leveren;
- Informeer bewoners en beheerders over het controleren van het functioneren van PV-installaties. Deze controle moet regelmatig plaatsvinden, bijv. minimaal 4x per jaar (paragraaf 10.2).

Techniek Nederland en ISSO hebben een digitale gebruikshandleiding ontwikkeld waarmee o.a. installateurs, architecten en opdrachtgevers een handleiding kunnen samenstellen die specifiek op een bepaalde woning betrekking heeft. Zie www.mijnhuisinstallatie.nl.

10.1 Beperken elektriciteitsverbruik

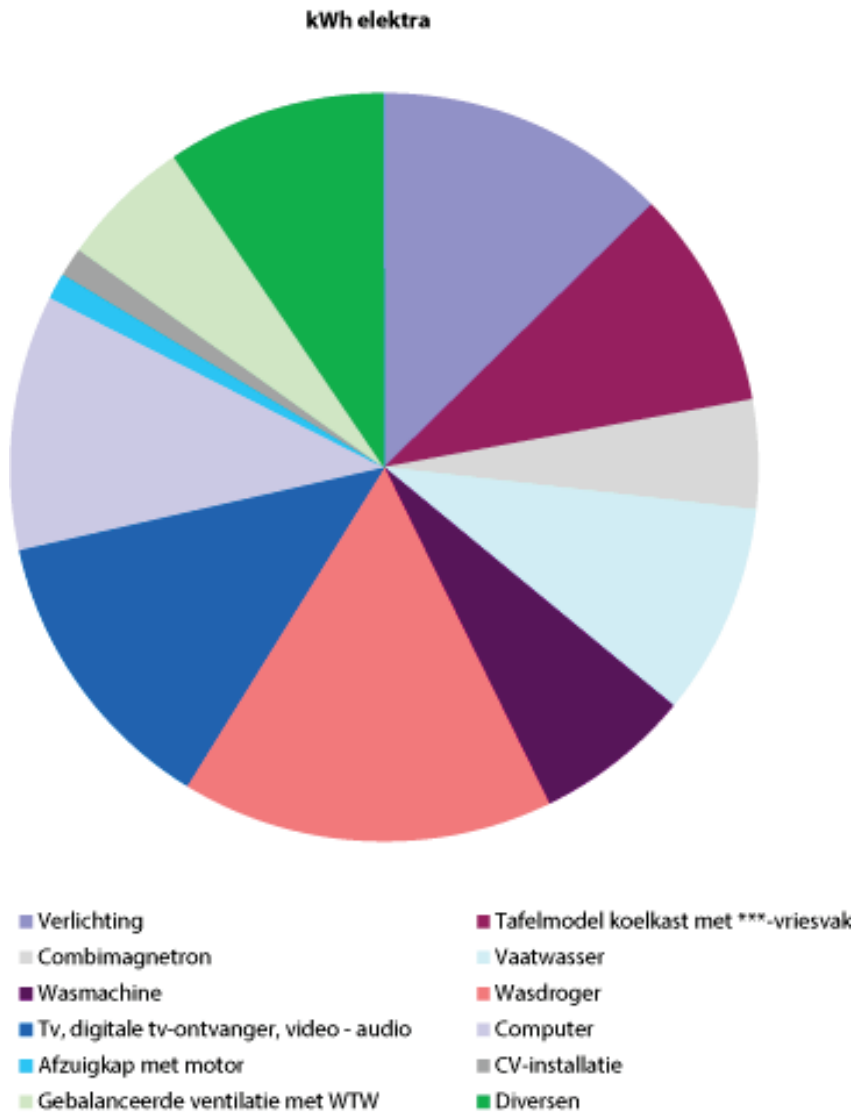
Het gemiddelde totale elektriciteitsverbruik per huishouden steeg de afgelopen twintig jaar gestaag (paragraaf 1.3). In 2008 is de stijging tot stilstand gekomen [225]. Daarna daalde het verbruik weer. Dit komt waarschijnlijk door o.a. zuiniger huishoudelijke apparaten, zuiniger verlichting [20] en door zelf opgewekte zonnestroom.

De stijging tot 2008 is vooral toe te schrijven aan het hogere elektriciteitsverbruik van installaties voor verwarming en ventilatie en aan de toename van het aantal (huishoudelijke) apparaten per huishouden. Weliswaar zijn (en worden) deze apparaten over het algemeen zuiniger dan een aantal jaren geleden, maar dit weegt niet op tegen het grotere aantal per huishouden. Bij verlichting is een zelfde trend te zien: In 1990 waren er ruim 24 lampen per huishouden, in 2011 44 [226]. In 1990 was er gemiddeld één spaarlamp per woning, in 2011 waren er negen. Bij vervanging van alle niet-zuinige verlichting door spaarlampen, LED en TL is een aanzienlijke besparing mogelijk (paragraaf 10.2). Dat is ook het geval bij het verbruik voor stand-by van huishoudelijke apparaten, computers, tv's enzovoort: het huidige verbruik is totaal zo'n 450 kWh/jaar (Bron: www.milieucentraal.nl). Niet al deze apparaten hoeven stand-by te staan. Zeker de helft is 'echt' uit te zetten.

Als gevolg van het besluit dat nieuwbouwwoningen vanaf 1 juli 2018 geen gasaansluiting meer krijgen zal het gemiddelde elektriciteitsverbruik van woningen de komende jaren weer gaan stijgen doordat steeds meer woningen voorzien zullen worden van elektrische warmtepompen.

Het elektriciteitsverbruik is te beperken door:

- Maatregelen te nemen in het woningontwerp en aan de installaties voor verwarming, warm tapwater, ventilatie en liften (paragraaf 10.1.1);
- Te stimuleren dat bewoners minder en zuiniger huishoudelijke apparaten gaan gebruiken (paragraaf 10.1.2).



Afb. 10.1 Elektriciteitsverbruik per jaar, verdeeld naar apparatuur en functie, van een denkbeeldig huishouden in een nieuwbouw rijtjeswoning met ventilatiesysteem D (gebalanceerde ventilatie met WTW). Dit huishouden heeft een verbruik van 3.170 kWh per jaar en gebruikt o.a. een relatief zuinige wasdroger, meerdere spaar- en ledlampen en kookt op gas. Het totale energieverbruik van dit huishouden ligt iets onder het gemiddelde landelijke verbruik van circa 3.400 kWh per huishouden. Maar zodra er elektrisch gekookt gaat worden en een kleine elektrische boiler in de keuken geïnstalleerd wordt, schiet het verbruik omhoog tot zo'n 4.100 kWh/jr, het gasverbruik neemt dan wel af met circa 65 m³ (koken) en 60 m³ (warmwater keuken) per jaar. Samenstelling: BOOM-SI op basis van afbeelding 10.2.

Afb. 10.2 Globale indicatie van het gemiddelde jaarlijkse elektriciteitsverbruik van huishoudelijke apparaten, verlichting en installaties in een huishouden. Links het huidige gemiddelde energieverbruik, rechts het verbruik van zuinige varianten. (Bron: www.milieucentraal.nl, www.consumentenbond.nl en gegevens van fabrikanten)

Verlichting / apparatuur / installatie		Gemiddeld verbruik incl. standby [kWh/jaar]	Zuinige apparatuur incl. standby [kWh/jaar]	
Verlichting/apparatuur	Verlichting	480	150	
	Tafelmodel koelkast met ***-vriesvak	290	100	
	Koel/vrieskast tweedeurs	400	150	
	Diepvrieskist (ca. 250 liter)	250	115	
	Magnetron	100		
	Combimagnetron	150		
	Koken*	Elektrische inductie kookplaat	450	
		Elektrisch quickterm kookplaat	450	
		Elektrische halogeen kookplaat	530	
		Elektrische keramische kookplaat	530	
		Elektrische conventionele kookplaat	750	
	Vaatwasser	290	210	
	Wasmachine	215	130	
	Wasdroger	580	500	
	Warmtepompdroger	250	210	
	Kleine elektrische inbouw-keukenboiler	480		
	TV (42 inch) (LCD-, plasmascherm)	330	120	
	TV (26 inch) (LCD-, plasmascherm)	155	35	
	Digitale tv-ontvanger	130	90	
	Video	100		
	Audio (midiset)	50		
	Laptop	80	10	
	Computer (LCD-scherm)	230	90	
	Waterbed	1000	200	
	Afzuigkap (incl. verlichting met motor)		35	
	Afzuigkap met luchtgordijn aangesloten op mechanisch systeem		15	
	Diversen (o.a. koffiezetapp., stofzuiger)	300	120	
Installaties	CV-installatie (pomp, ventilator en elektronische regeling)	80	30	
	Mechanische afzuiging (systeem C)	120	80	
	Gebalanceerde ventilatie met WTW (systeem D)	250	180	
	Airconditioner	400 à 1750		

* Koken op gas (zonder waakvlam): 65 m³ aardgas/jaar

10.1.1 Besparing bij woning- en gebouwoontwerp en installaties

Beperking van het elektriciteitsverbruik is o.a. te bereiken door:

- Ruime toepassing van daglicht; dit beperkt de noodzaak voor kunstverlichting (paragraaf 4.3);
- Toepassing van zomernacht- of grondbuiskoeling waardoor géén airco-systeem aangeschaft zal worden (paragraaf 6.8);
- Gebruik van zuinige installaties voor verwarming, warm tapwater en ventilatie:
 - Kies altijd voor gelijkstroom ventilatoren;
 - Pas een aparte pompschakeling toe voor wand- en vloerverwarming;
 - Pas een 'eco'-schakeling toe bij een weersafhankelijke regeling, deze voorkomt dat de CV-pomp continu draait; sommige fabrikanten leveren zo'n schakeling als optie;
 - Realiseer een zo klein mogelijke luchtweerstand in het ventilatiesysteem (paragraaf 6.2.2);
 - Overweeg een hybride ventilatiesysteem (paragraaf 6.7).
- Toepassing van energiezuinige LED-verlichting. Gebruik ook energie-efficiënte armaturen. Voorzie verlichting in (collectieve) (berg)ruimten van een tijdschakeling, schemerschakeling en/of bewegingssensoren. Meer informatie op www.milieucentraal.nl;
- Het toepassen van zuinige liften, informeer altijd naar verbruiksgegevens en vergelijk deze met alternatieven; gebruik geen hydraulisch aangedreven liften omdat deze onzuinig zijn;
- Het voorkomen van elektrolintverwarming voor vorstbeveiliging. Plaats verwarmingssystemen binnen de thermische schil of zorg voor goed geïsoleerde leidingen (betreft vooral woongebouwen);
- Het aanbrengen van een energiezuinige regeling van de opritverwarming (indien nodig!) bij parkeerkelders. Deze regeling moet rekening houden met de buitentemperatuur en de aanwezigheid van vocht.

Domotica

Domotica omvat alle apparaten en infrastructuur in en rond woningen, die elektronische informatie benutten voor het meten, programmeren en sturen van functies voor bewoners of verleners van diensten aan huis.

Het optimaal aansturen van bijv. ventilatie kan het energieverbruik beperken. Domoticoepassingen vereisen wel extra regelingen en apparaten en dus extra energieverbruik. Dit extra verbruik dient op te wegen tegen de te realiseren besparingen.

10.1.2 Huishoudelijke apparaten en verlichting

Beperking van het elektriciteitsverbruik is o.a. te bereiken door:

- Het realiseren van een wasdroogruimte. Hierdoor kan het gebruik van een wasdroger beperkt of overbodig worden. Een belangrijke voorwaarde is dat de vochtige lucht niet in (het overige deel van) de woning terecht komt. Dit niet alleen vanwege het vocht zelf, maar ook omdat het drogen van de was (c.q. het verdampen van het vocht) ook energie kost. Men kan denken aan de volgende ruimten:
 - Loggia, overdekt (dak)terras en veranda; bij voorkeur ligt deze ruimte afgeschermd en aan de zonbeschenen-zijde van de woning;
 - Een goed te ventileren inpandige ruimte (bijv. zolder); deze ruimte moet afsluitbaar zijn van de rest van de woning en mag niet als 'warmtelek' optreden: de scheiding tussen de droogruimte en het overige deel van de woning moet dus van voldoende warmte-isolatie zijn voorzien.
- Het realiseren van aansluitpunten op de warmwaterleiding voor een hot-fill wasmachine en vaatwasser. In ons land worden zowel vaatwassers als wasmachines vrijwel altijd met alleen koud water gevuld, waarna de (vaat)wasmachines dit water elektrisch verwarmen. Het is vanuit milieuoogpunt bekeken vaak gunstiger om deze apparaten te vullen met warm water uit de warmwaterleiding, zeker als de warmte deels afkomstig is uit zonneboiler. Veel vaatwassers kunnen zondermeer hierop worden aangesloten (mits watertemperatuur maximaal 60 °C, raadpleeg fabriekshandleiding). Er zijn enkele typen hot-fill wasmachines verkrijgbaar, voor normale wasmachines zijn voorschakelkastjes te koop (paragraaf 9.1.4). Het is te overwegen om

dergelijke kastjes standaard te monteren, dit zal het gebruik er van sterk stimuleren. Meer informatie: paragraaf 9.1.4 en www.milieucentraal.nl;

- Goede voorlichting aan bewoners en beheerders, o.a. over energiezuinige verlichting. Tip: Lever (als optie) voor een aantrekkelijk bedrag een aantal LED-lampen met bijpassende armaturen mee voor bijv. de buitenverlichting, hal en trappenhuis. Monteer ze ook voor de oplevering. Op www.nsvv.nl is allerlei informatie over (kunst)verlichting te vinden.

10.2 Duurzame elektriciteit

Het beleid van de rijksoverheid is er op gericht dat in 2020 14% van het totale energieverbruik duurzame (hernieuwbare) energie is (paragraaf 2.1.2) en dat er een CO₂-reductie van 30% optreedt ten opzichte van 1990. In 2019 was 8,6% duurzaam (bron: Netbeheer Nederland) (zie ook paragraaf 1.2).

Voor het totale elektriciteitsverbruik streeft de overheid naar 37% duurzame opwekking in ons land in 2020 [228], in 2019 bedroeg dat aandeel naar schatting ruim 19% (bron: www.energieopwek.nl). van het totale elektriciteitsverbruik. Het merendeel komt uit biomassa en windenergie (paragraaf 1.2). Ongeveer een vijfde is afkomstig van 'zonnestroom' via PV-panelen.

Windenergie en gebruik van biomassa vallen buiten het kader van deze uitgave omdat de mogelijkheden voor die bronnen vooral buiten de gebouwde omgeving liggen. In paragraaf 10.2.2 wordt kort ingegaan op windenergie. De mogelijkheden voor PV in de bebouwde omgeving zijn echter wel groot: op daken en aan gevels zijn PV-panelen zeer goed te bevestigen, mits de oriëntatie zongericht is, zie verder paragraaf 10.2.1. Wel zullen aanpassingen aan het openbare elektriciteitsnet noodzakelijk zijn om de groei van zonne-energie op te kunnen vangen met het oog op voldoende capaciteit en flexibiliteit [236].

10.2.1 PV-systemen

Een PV-systeem zet zonne-energie om in elektriciteit. De term PV is afkomstig uit het Engelse Photo (= licht) en Voltaic (= elektriciteit). Zonnestroom komt tot stand door een fysisch proces in een PV-cel. PV-cellen leveren gelijkstroom. Ze worden in serie aan elkaar gekoppeld en ondergebracht in een PV-paneel. PV-panelen worden samen met de overige benodigde onderdelen zoals omvormers, bekabeling en bouwkundige voorzieningen een PV-systeem genoemd.

PV-systemen leveren dankzij de omvormer(s) wisselstroom en kunnen daardoor aan het normale elektriciteitsnet gekoppeld worden. Boven de 600 Wp (Watt-piek) vermogen (> circa 3 à 4 m² PV-panelen), heeft een systeem een eigen groep in de meterkast nodig, kleinere systemen mogen aan een willekeurig stopcontact in de woning worden verbonden.

In Nederland worden in de woningbouw vrijwel altijd netgekoppelde PV-systemen toegepast. Er vindt (dus) geen opslag in accu's plaats zoals in autonome systemen bij bijv. volkstuinhuisjes, parkeermeters, jachten en lichtboeien voor de scheepvaart. De opgewekte energie bij netgekoppelde systemen wordt meestal zo veel mogelijk in de betreffende woning of het betreffende woongebouw gebruikt. Alleen het overschot wordt aan het net geleverd. Er wordt echter door diverse partijen gewerkt aan de opslag van zonne-energie voor de korte termijn in accu's voor huishoudelijk gebruik.

Op een horizontaal (dak)vlak valt in ons land jaarlijks per m² globaal 1.000 kWh zonne-energie, op een naar het zuiden gericht vlak nog meer, namelijk ruim 1.150 kWh bij de optimale hellingshoek. Het huidige 'netto' rendement (rekening houdend met systeemverliezen van 15 à 20%) van een PV-systeem is maximaal 20%. Uit metingen [229] blijkt dat de opbrengst van PV hoger is dan tot voor kort gedacht. Als kengetal is anno 2017 een opbrengst van 875 kWh/kWp aan te houden. Hogere opbrengsten zijn echter zeker mogelijk. Een oppervlak van 10 à 15 m² zonnepaneel is dus voldoende om in de elektriciteitsbehoefte van een huishouden te voorzien, mits dit de meest zuinige woninginstallaties en apparatuur in gebruik heeft en daar ook zuinig mee omgaat. Wanneer een woning met een warmtepomp uitgevoerd wordt, stijgt het elektriciteitsverbruik. Om dan een (over het jaar heen) nul-energie woning te hebben, is het veelal noodzakelijk zijn om een voldaks PV-systeem aan te brengen (afbeelding 10.1).

De kosten van PV-systemen zijn de laatste jaren sterk gedaald. Ter indicatie: Een PV-systeem met 10 PV-panelen (van circa 3.000 WP) levert globaal 2.600 kWh per jaar en kost inclusief omvormer, installatie en

btw in de nieuwbouw globaal € 4.400,- (prijspeil 2019). De BTW kan binnen 6 maanden na afloop van het installatiejaar teruggevraagd worden bij de Belastingdienst.

Voor particulieren is het rendement van een investering in een PV-systeem vergelijkbaar met een rente van circa 6% op een spaarrekening (bron: Milieu Centraal) en verdient zich in globaal 8 jaar terug. Houd er wel rekening mee dat door veroudering het rendement in de loop van de jaren langzaam zal afnemen. Uit buitenlands onderzoek blijkt dat deze afname gemiddeld zo'n 0,5% per jaar bedraagt [229].

Informatie over PV-systemen is o.a. te vinden op:

- www.rvo.nl met algemene informatie, handige sites en literatuur;
- www.hollandsolar.nl met algemene informatie over zonne-energie en info over de leden van deze brancheorganisatie;
- www.duurzameenergie.org; ODE, vereniging van burgers en energiecoöperaties, met info over o.a. terugleveren en salderen;
- www.top50solar.nl met info over leveranciers;
- www.iea-pvps.org met internationale informatie.

Leidraad zonnestroomprojecten

De uitgave 'Leidraad zonnestroomprojecten' [230] geeft veel praktische informatie over o.a. ontwerprichtlijnen voor PV-systemen in de woning- en utiliteitsbouw. Ook zijn veel gerealiseerde voorbeelden te zien. Speciale aandacht wordt gevraagd voor het ontwerp- en bouwproces inclusief aanbesteding en de beheerfase; denk aan o.a. de volgende punten:

- Reserveer voldoende tijd voor overleg met alle betrokkenen; zo kan in een vroeg stadium het ruimtelijk ontwerp optimaal afgestemd worden op het toepassen van PV. Dat geldt zowel voor het stedenbouwkundig als het bouwkundig ontwerp. PV is een relatief nieuwe techniek en mogelijk zijn nog niet alle partijen gewend om met PV om te gaan;
- Zorg in het ontwerp er voor dat dit niet afgestemd is op één bepaald model PV-paneel van één fabrikant; het levert een slechte onderhandelingspositie op wat de prijs opdrijft;
- Informeer de bewoners over o.a. de werking van PV-systemen en de mogelijke consequenties van beschaduwing door bijv. (dak)uitbreiding en beplanting;
- Het is aan te raden om notarieel vast te leggen dat uitbouwen of beplanting die schaduw kunnen geven op omliggende PV-systemen niet toegestaan zijn;
- PV-panelen beperken mogelijk ook latere uitbreidingen door dakramen of dakopbouwen, tenzij de PV-panelen verplaatst worden;
- Zorg dat er duidelijke afspraken komen tussen bewoners (eigenaren, huurders), eventuele verhuurder en energiebedrijven over o.a.:
 - De te hanteren vergoeding (teruglevertarieven) van de zonnestroom;
 - De toegankelijkheid van het PV-systeem voor onderhoud, beheer en controle.
- Regelmatige controle tijdens de montage en een oplevertest zijn sterk aan te raden. In [230] is een overzicht opgenomen van veel voorkomende montagefouten;
- Regelmatige controle tijdens het beheer op het goed functioneren is gewenst (minimaal 4x jaar door bewoner inverter controleren [178]);
- Minimaal 1 x per jaar controleren op vervuiling en zonodig schoonmaken; ook visuele controle op gebreken.

PV-systemen worden in NTA 8800 [30] gewaardeerd. Door veel PV-panelen toe te passen zijn negatieve BENG 2 indicatoren mogelijk. Daarnaast is PV een belangrijke factor in de berekening van het aandeel hernieuwbare energie in de NTA 8800 (de derde BENG indicator). De met PV-panelen geproduceerde elektriciteit wordt in de NTA 8800 volledig gezien als hernieuwbare energie. En draagt daarbij mee aan een positieve BENG 3 score.

In de Leidraad wordt naar diverse normen en richtlijnen verwezen zoals:

- NEN 7250:2014, Zonne-energiesystemen - Integratie in daken en gevels-Bouwkundige aspecten [231]. In deze norm zijn zowel eisen als bepalingmethoden opgenomen voor een adequate inbouw van zonne-energiesystemen in de gebouwschil. De norm bevat zowel prestatie-eisen als testmethoden;

- NEN 1010:2015, Elektrische installaties voor laagspanning [232]. Deze norm bevat bepalingen voor het ontwerp en de realisatie van veilige, doelmatige en goed functionerende elektrische installaties.

In [254] wordt ingegaan op de esthetische inpassing van PV-panelen. Het rapport is bedoeld voor de bestaande bouw, maar is zeker ook voor nieuwbouw nuttig.

PV-cellen, de techniek

Een PV-cel bestaat uit een halfgeleidermateriaal dat elektriciteit levert wanneer hier licht op valt. Silicium is het meest gebruikte materiaal. Hiermee worden drie typen PV-cellen gemaakt:

- Multikristallijn of polykristallijn silicium (p-Si). Dit is het meest toegepaste type silicium voor PV-cellen. De kleur van deze PV-cellen is meestal blauw, in rijke schakeringen. De PV-cellen hebben afmetingen variërend van 10 x 10 cm tot 15 x 15 cm. Het rendement van deze PV-cellen bedraagt maximaal 16%;
- Monokristallijn silicium (m-Si). De kleur van deze PV-cellen is egaal antraciet of donkerblauw. De PV-cellen hebben afmetingen variërend van 10 x 10 cm tot 15 x 15 cm. Het rendement van deze PV-cellen bedraagt maximaal 17%;
- Amorf silicium (a-Si). De kleur van deze PV-cellen is bruin tot zwart. De PV-cellen worden in een zeer dunne laag op een dragermateriaal aangebracht. Het rendement van deze PV-cellen bedraagt circa 6%. Bij een uitvoering met drie lagen (triple) kan deze circa 10% bedragen.

Naast silicium, worden ook andere halfgeleidermaterialen in PV gebruikt zoals:

- CIS, verbindingen van koper-indium-diselenide, ca. 13% rendement;
- CdTe, cadmium-telluride, ca. 12% rendement;
- CIGS, verbindingen van koper-indium-gallium-seleen, ca. 14% rendement.

Om de reflectie van zonlicht te beperken worden PV-cellen gecoat. De kleur bepaalt de mate van de reflectievermindering. Een donkerblauwe of zwarte coating geeft de minste reflectie. Andere kleuren zijn mogelijk (bijv. geel, groen, bruin, grijs, paars), maar de rendementen zijn daarbij 10% tot 30% minder dan bij donkere cellen. PV-cellen op basis van polymeren (plastic) en organische materialen zijn in ontwikkeling [230].

PV-panelen

PV-cellen worden in serie gekoppeld en ondergebracht in een paneel, ook wel PV-paneel of PV-module genoemd. Er zijn (nog) geen standaardmaten voor PV-panelen, de maatvoering verschilt per leverancier. PV-panelen zijn verkrijgbaar met of zonder frame. Frameloze panelen (laminaten) kunnen behandeld worden als normale glazen ruiten. De dikte van een paneel zonder frame bedraagt 5 à 8 mm. Een paneel inclusief frame is circa 70 mm dik.

Multikristallijn en monokristallijn PV zijn altijd achter glas aangebracht, de andere vormen kunnen zowel achter glas als op een flexibele ondergrond zoals een kunststoffolie worden aangebracht (dunnefilmcellen). Een bijzondere vorm van PV zijn glazen buizen waar aan de binnenzijde amorf PV is opgedampt. De buizen zijn aan metalen rekken bevestigd en deze kunnen op platte daken worden neergezet. Er is weinig of geen ballast nodig omdat het geheel vrij ongevoelig is voor wind als gevolg van de open ruimte rondom de buizen.

Tegen meerprijs kunnen laminaten in vrijwel iedere gewenste vorm worden gefabriceerd.

Lichtdoorlatende of 'semi-transparante' PV-panelen kunnen worden uitgevoerd in verschillende mate van transparantie, waardoor ze bijv. als permanente zonwering dienst kunnen doen.

In dak en gevel geïntegreerde PV-panelen (m.u.v. amorf PV) moeten voldoende koeling hebben. Hoe warmer PV-systemen namelijk worden, hoe lager het rendement. Dit is te bereiken door het aanbrengen van een spouw tussen de PV-panelen en de dakbedekking of achterliggende gevelconstructie waarbij de spouw ruimschoots met de open lucht in verbinding staat. Uit de praktijk blijkt bij een hellend dak een spouw van 50 mm voldoende te zijn voor koeling door natuurlijke ventilatie (wind) [233].

PVT

Een bijzondere vorm van een PV-paneel is het PVT-paneel. In zo'n paneel wordt PV gecombineerd met de opwekking van Thermische energie voor bijv. warm tapwater. Achter de PV-cellen loopt water of een ander koelmiddel waardoor de PV-cellen gekoeld worden (belangrijk voor een goed rendement). Dit gebeurt normaal door buitenlucht die langs een paneel stroomt. De totale energieopbrengst per m² dak met een PVT-paneel is hoger dan met een los PV-paneel en een losse zonnecollector. Een voorbeeld: een zonnecollector van 3,5 m² en een PV-systeem van 3,5 m² kunnen samen worden vervangen door 4 m² PVT-panelen met dezelfde opbrengst (volgens berekening met de NTA).

Er is dus minder (dak)oppervlak nodig voor dezelfde hoeveelheid nuttige zonne-energie. Toch worden ze nog niet veel toegepast, o.a. omdat ze zeker niet goedkoper zijn dan aparte panelen.

Omvormer

Een belangrijk onderdeel van een PV-systeem is de omvormer (inverter) [239] [ISSO-Kenniskaart 83](#). Deze zet de gelijkstroom (DC, Direct Current) om in wisselstroom (AC, Alternating Current). Netgekoppelde omvormers zorgen ervoor dat de opgewekte stroom dezelfde eigenschappen als de stroom uit het openbare net krijgt, zodat de stroom hierin gevoed kan worden. Beveiligings- en schakelapparatuur zorgen ervoor dat er geen ongewenste stromen en spanningen in het systeem ontstaan. Netgekoppelde omvormers worden geactiveerd door het elektriciteitsnet en werken dan ook pas wanneer ze aangesloten zijn op het net. De omvormer kan geplaatst worden:

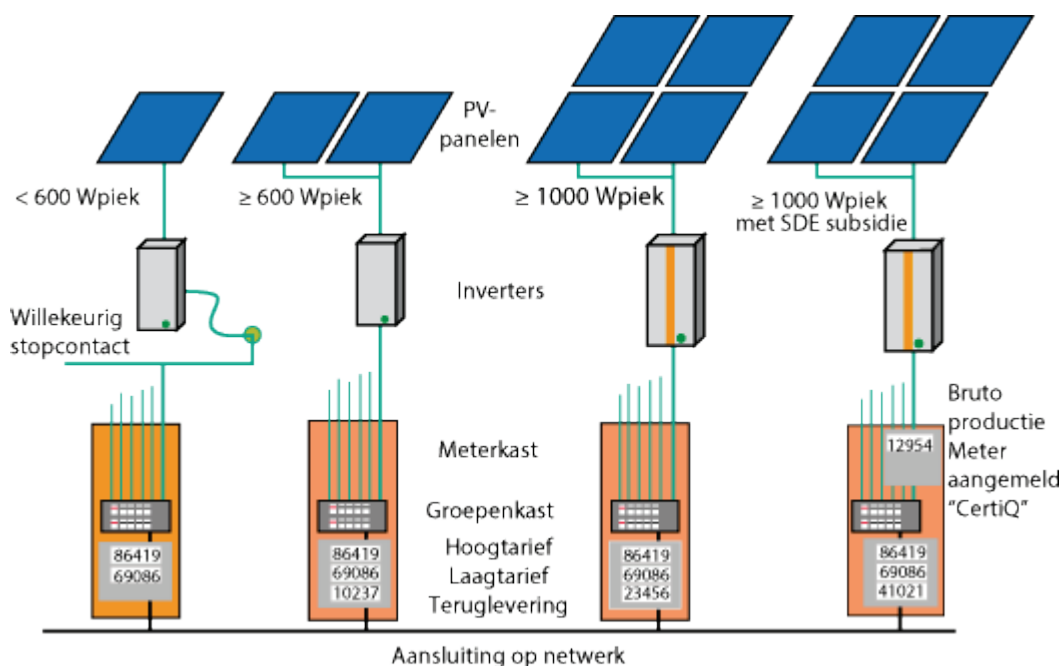
- Per PV-paneel (mini-omvormer). De omvormer wordt aan de achterzijde van elk PV-paneel aangebracht. Dergelijke PV-panelen met omvormer (AC-modules) kunnen direct op het elektriciteitsnet in huis worden aangesloten; maximaal 4 à 6 panelen per elektriciteitsgroep (maximaal 600 Wp). Belangrijke nadelen zijn dat deze omvormers, na installatie van het systeem, meestal moeilijk bereikbaar zijn voor onderhoud en controle;
- Per woning (centrale omvormer of stringomvormer) in bijvoorbeeld de meterkast of op zolder. Bij gestapelde bouw kan dat in een aparte kast in het trappenhuis zodat de omvormer door derden (beheerder, technische dienst) bereikbaar kan zijn zonder de woning in te hoeven. De ruimte of kast waarin de omvormer staat moet goed geventileerd en niet te vochtig zijn;
- In een speciale ruimte (centrale omvormer). De PV-systemen van meerdere woningen of een woongebouw zijn aangesloten op één omvormer. Deze ruimte moet goed geventileerd zijn en niet te vochtig. De omvormers mogen niet warmer worden dan 45 °C.

Aandachtspunten:

- Houd bij de situering van de omvormer(s) bij grotere PV-systemen rekening met de transportverliezen in de leidingen tussen PV-panelen, omvormer en net-aansluiting. Raadpleeg een deskundige;
- Situeer de omvormer(s) (of inverters) bij voorkeur dichtbij de PV-panelen; kleine systemen vragen hiervoor weinig ruimte: de omvormer(s) kan/kunnen bijvoorbeeld op zolder gemonteerd worden. Let op: Omvormers kunnen geluidhinder veroorzaken (bijv. zoemend geluid en trilling), kies dus een goede plek en/of neem geluidwerende maatregelen en monteer de omvormers op een stevige ondergrond.

Teruglevering en opbrengst in kWh

De opgewekte elektriciteit zal over het algemeen zoveel mogelijk in de eigen woning of het eigen woongebouw gebruikt worden.



Afb. 10.3

Schematische weergave van mogelijkheden voor aansluiting op het openbare elektriciteitsnet

Saldering

Huishoudens en andere kleinverbruikers die op kleine schaal zonnestroom opwekken, kunnen 'salderen'. Dit betekent dat aan het net (terug)geleverde elektriciteit verrekend wordt met verbruikte elektriciteit voor dezelfde prijs. Dit is wettelijk vastgelegd. Wordt er op jaarbasis netto meer teruggeleverd, dan kan dat door het energiebedrijf ingekocht worden tegen een onderling af te spreken vergoeding. Meer info: www.rvo.nl en www.milieucentraal.nl, ook voor informatie over [terugvragen van BTW](#) door een particulier. Voor aanmelden terugleveren zie www.energieleveren.nl. Voor huishoudens die samen eigenaar zijn van een PV-installatie voor lokaal opgewekte energie geldt een speciale regeling voor saldering: zie www.rvo.nl.

SDE+

De subsidieregeling SDE+ geldt anno 2019 alleen nog voor zeer grote PV-installaties; meer info over deze regeling: www.rvo.nl.

Een eventueel overschot zal aan het openbare net geleverd worden; hiervoor is (vreemd genoeg) de term 'teruglevering' gangbaar. Het is van belang om vóór de oplevering de goede elektriciteitsmeter of meters te kiezen en te installeren. In afbeelding 10.3 zijn de diverse mogelijkheden in schema gezet.

Opbrengst

De opbrengst van een PV-systeem hangt af van:

- Het rendement van het PV-systeem;
- Oppervlakte van het PV-systeem (vermogen);
- De hoeveelheid opvallende zonneshij.

Rendement

Op een horizontaal (dak)vlak valt in ons land jaarlijks per m² globaal 1000 kWh zonne-energie, op een naar het zuiden gericht vlak met een helling van 36° ruim 1.150 kWh. Het rendement van een PV-systeem met kristallijne PV-cellen, is zodanig dat elke m² PV-paneel jaarlijks maximaal zo'n 160 kWh aan elektriciteit oplevert, met amorf PV-cellen is dat maximaal zo'n 70 kWh. In beide gevallen bij de gunstigste oriëntatie en hellingshoek.

Let op: Een compleet PV-systeem heeft in de praktijk een lager rendement dan het (STC) rendement (zie kader) van de PV-panels van dat systeem. De verhouding hiertussen wordt wel aangeduid met het begrip 'opbrengstfactor' of 'performance ratio (PR)'. Bij een netgekoppeld systeem ligt deze factor rond

0,85. Het verlies aan rendement wordt veroorzaakt door o.a. verlies bij de omvormer, door reflectie van de zonnestrallen en door opwarming van de panelen.

Vermogen

In het kader is het veel gebruikte begrip 'piekvermogen' toegelicht. In de praktijk reduceren verschillende interne en externe verliesfactoren vaak de opbrengst.

Piekvermogen Wp

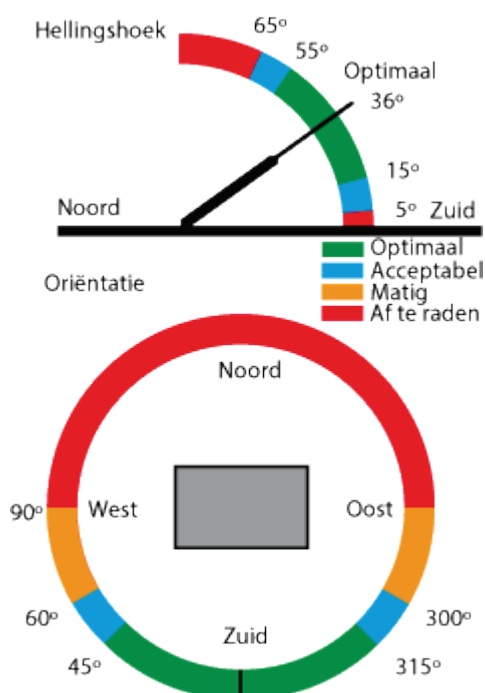
Bepaling van het feitelijke rendement van PV-panelen gebeurt onder Standaard Test Condities (STC). Dat betekent een instraling van 1.000 W/m^2 (stralend blauwe hemel in juni) bij een PV-celtemperatuur van 25°C . Het vermogen dat een bepaald paneel onder deze omstandigheden levert, is het zogenoemde piekvermogen, uitgedrukt in Watt-piek (Wp): een PV-paneel met een celoppervlak van 1 m^2 en een rendement van 15 %, heeft een piekvermogen van $0,15 \times 1000 = 150 \text{ Wp}$.

Zonneschijn

De maximale opbrengst van een PV-paneel wordt behaald bij:

- Een zuidoriëntatie (optimaal is 5° naar het westen gedraaid vanaf zuid) én;
- Een hellingshoek van 36° .

Er is een redelijke variatie mogelijk in hellingshoek en oriëntatie zonder dat de opbrengst van de zonnepanelen al te veel afneemt (afbeelding 10.4).



Afb. 10.4 Richtlijnen voor helling en oriëntatie zonnepanelen. Zie het Zonne-instralingsdiagram in Bijlage 7 voor meer gedetailleerde informatie.

Opbrengst indicatie

In het kader staat een gangbare eenvoudige formule voor een indicatie van de gemiddelde jaarlijkse opbrengst van een PV-systeem. Een belangrijk kengetal van een bepaald type PV-installatie is de 'specifieke opbrengst' met als eenheid: kWh/kWp per jaar. Dit kengetal geeft dus weer wat een geïnstalleerde kiloWatt-piek (kWp) aan zonnestroomvermogen per jaar aan elektrische energie (in kWh) levert. In Nederland blijkt uit onderzoek [229] dat in een gemiddeld jaar bij de gunstigste oriëntatie en helling een PV-paneel van 1 kWpiek 875 kWh aan elektrische stroom levert.

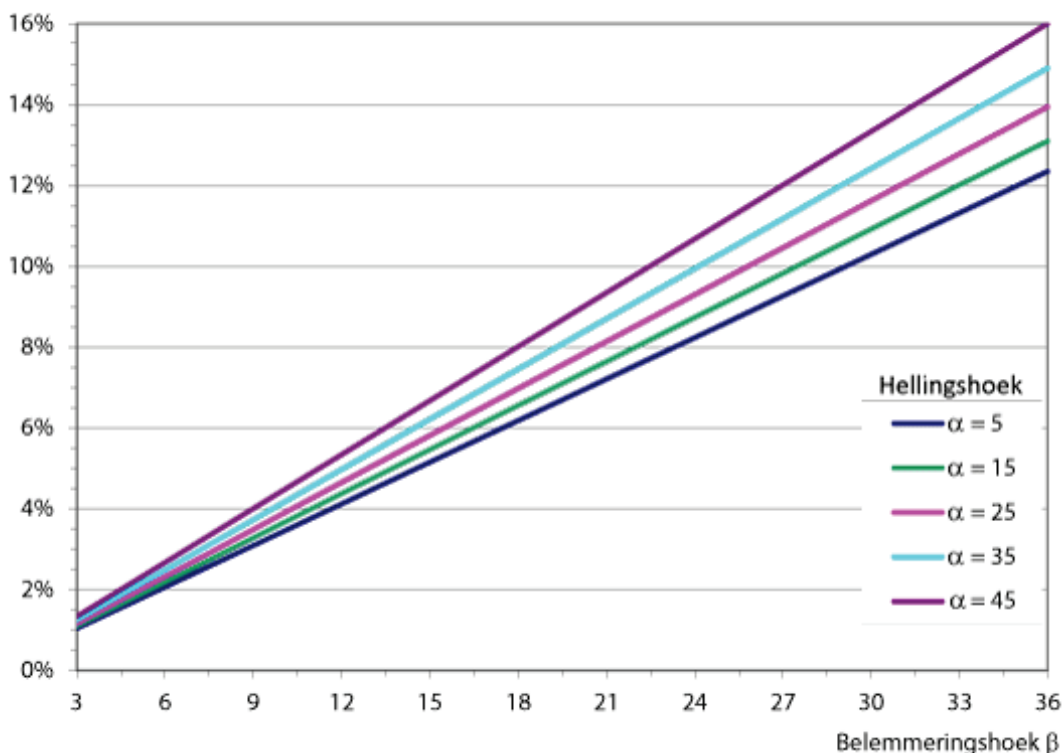
Jaarlijkse opbrengst

De jaarlijkse energieopbrengst van een PV-systeem in Nederland is ongeveer: Opbrengst (kWh) = 875 kWh/kWp x Piekvermogen van de panelen (kWp) x % jaarlijkse instraling (bepaald volgens de instralingsschijf zonne-energie in bijlage 7) x (100% – vermindering opbrengst door belemmeringshoek in % volgens afbeelding 10.5) Voorbeeld: 4 m² panelen à 150 Wp optimaal op het zuiden onder een helling van 36° met een belemmeringshoek van 12° levert per jaar: 875 x 4 x 0,15 x 100% x (100% - 5%) = 499 kWh/jaar.

De opbrengst van een PV-paneel daalt drastisch wanneer dit paneel gedeeltelijk wordt beschaduwd. Dit komt doordat de PV-cellen in serie zijn geschakeld, meestal een aantal series per paneel. Wanneer een cel beschaduwd wordt, levert de hele serie geen stroom. Ook panelen kunnen in serie staan, zodat ook daarbij hetzelfde effect kan optreden. Let dus goed op dat er geen beschaduwing optreedt door dakopbouwen, dakdoorvoeren, ventilatie dak-units, dakkapellen, bomen of andere PV-panelen.

In afbeelding 10.5 is de relatie aangegeven tussen instralingsverlies en beschaduwing door belemmeringen van zuidgerichte panelen met een verschillende hellingshoek. Wil men bijv. bij een zuidgericht PV-paneel die onder de optimale hoek van 36° staat maximaal 5% instralingsverlies, dan moet een maximale belemmeringshoek van circa 12° worden aangehouden, gerekend vanaf de onderkant van het PV-paneel.

Vermindering opbrengst



Afb. 10.5 Grafiek voor een indicatie van het effect van beschaduwing van zuidgerichte PV-panelen. Op de verticale as percentages (%) voor de vermindering van de opbrengst, op de horizontale de belemmeringshoek (β) in graden. De lijnen gelden voor PV-panelen onder verschillende hellingshoek (α), van 5° t/m 45°. (Bron: Grafiek afgeleid uit formule in [230])

Kosten

De kosten per Wp voor PV-systemen zijn de laatste jaren enorm gedaald. Anno 2019 bedragen die € 1,00 tot € 1,50 per Wp ofwel € 100,- tot € 150,- per m², afhankelijk van het type PV, inclusief BTW en montage en exclusief subsidies. De kosten per kWh opgewekt door PV, zijn nu voor een particulier lager dan de kosten voor een kWh die hij moet betalen aan het energiebedrijf.

PV-systemen integreren in het gebouw

PV-panelen kunnen geïntegreerd worden in:

- Daken;
- Gevels;
- Serres, atria.

In alle gevallen kan PV ook als zonwering dienst doen.

Ter inspiratie: [Inventarisatie esthetische inpassing zonnepanelen](#) [254]. Dit rapport is eigenlijk bedoeld voor de bestaande bouw.

Daken

In de woningbouw ligt toepassing van PV op of bij het dak voor de hand: men heeft daar de minste kans op schaduw door bebouwing en beplanting. Bovendien is daar meestal het grootste aaneengesloten oppervlak beschikbaar (afbeelding 10.6). Er zijn verschillende mogelijkheden:

- Standaard PV-panelen 'in' het dak met bevestigingsprofielen, onder de panelen ligt meestal een waterkerende folie; voor hellende daken;
- Standaard PV-panelen op een (metalen) ondersteuningsconstructies boven het ondergelegen dak; voor hellend en plat (vegetatie) dak;
- Dakpannen met geïntegreerde PV-cellen;
- PV-cellen geïntegreerd in glasdaken (zie hierna);
- PV-folie geplakt op metalen daken;
- PV-folie geïntegreerd in kunststof dakbedekking;
- PV opgedampt op binnenzijde glazen buis.

Een voordeel van platte daken is dat de panelen op de zon gericht kunnen worden ongeacht de woning-oriëntatie.

Gevels

PV kan worden bevestigd op de gevel (afbeelding 10.7). Het kan gaan om 'losse' PV-panelen of PV geïntegreerd in kozijnen en/of beglazing. Nadeel is dat een verticale opstelling slechts 70% van de maximale zoninstraling ontvangt. Daarbij is het risico van beschaduwing meestal groot. Architectonisch bieden 'doorzichtpanelen' (beglazing deels met PV-cellen voorzien) speciale mogelijkheden doordat ze het daglicht en bezonning wat temperen.

Serres, atria

In serres en atria bieden 'doorzicht' panelen in de daken en gevels allerlei mogelijkheden om voldoende licht door te laten en tegelijk een deel van de warmte die tot oververhitting kan leiden te weren.

Zonwering

PV-panelen kunnen dienst doen als zonwering, zowel vaste als beweegbare (bijv. lamellen-zonwering). Ook hier kan 'doorzicht'-PV toegepast worden.



Afb. 10.6 PV-panelen in het dak geïntegreerd in het meet- en demonstratieproject in de 'Stad van de Zon' op de HAL-locatie (Heerhugowaard, Alkmaar, Langedijk) van VBM. Per woning is PV met 3.600 Wp vermogen aangebracht. De gemeten opbrengst bedraagt circa 3.400 kWh per jaar. Voor het toegepaste type dak is de Dakaward 2004 toegekend. (Betrokken partijen: Ontwerp: BBHD Architecten, ontwikkeling:

VBM (VosAlkmaar), projectleider: Willem Koppen, aannemer: Heddes Bouw, fabrikant PV: BP-Solar.
Realisatie 2003)



Afb. 10.7 In het duurzame renovatieproject Torenflat Bieslandsekade van Woonbron Delft zijn gelijk met de renovatie 260 m² PV-panelen geplaatst. De PV-panelen zijn geïntegreerd in de gevel, het dak én in balkons. De PV-panelen op het dak doen ook dienst als zonwering en de PV-panelen in de balkons zorgen tegelijk voor privacy. De zonnestroom die wordt opgewekt verzorgt bijna alle collectieve installaties in het tien verdiepingen hoge gebouw, zoals liften, verlichting en mechanische ventilatie. (Betrokken partijen: Opdrachtgever: Woonbron, Architect: Van Schagen architecten, PV engineering en installatie: BST, Elektron, advies: W/E-adviseurs. Realisatie: 2003)

Belangrijke ontwerprichtlijnen (bronnen o.a. [230])

- Oriëntatie: Kies voor een oriëntatie tussen zuidoost en zuidwest, optimaal is zuid (en dan 5° naar het westen). Ook kan worden gekozen voor de combinatie van oost en west ligging (rug aan rug) van de PV-panelen op het platte dak. De opbrengst per m² paneel neemt weliswaar af, maar de energieopbrengst van het totale dak kan dan hoger zijn doordat er meer panelen geplaatst kunnen worden dan bij een zuidoriëntatie waarbij onderlinge beschaduwning van de panelen zo veel mogelijk moet worden vermeden. Zo'n oost-west opstelling levert bovendien meer verspreid over de dag de energie op ten opzichte van zuid gerichte PV-panelen hetgeen soms interessant kan zijn;
- Hellingshoek: Kies voor een hellingshoek van minimaal 5°; dit i.v.m. het voorkomen van vervuiling; zorg er voor dat er aan de onderzijde van het paneel geen opstaand randje zit zodat er geen water op het paneel blijft staan;
- Voor een adequate waterkerende functie (indien van toepassing) is de minimale hellingshoek 10°;
- Ventilatie: Een hoge temperatuur verkleint de opbrengst van PV-panelen (dit geldt niet voor amorf-PV). Zorg ervoor dat de panelen koel blijven, bijvoorbeeld door een luchtspouw achter de panelen die onder en boven in contact staat met de openlucht. Neem maatregelen om de spouw te beschermen tegen ongedierte, vogels en vervuiling;
- Koeling door vegetatiedak: Het plaatsen van PV op een vegetatiedak (in plaats van op een donker gekleurd dak) helpt mee om de PV-panelen minder op te warmen. Uit buitenlands onderzoek [237] blijkt dat dit een extra opbrengst van enkele procenten kan opleveren;

- **Uitbouwen en dakdoorvoeren:** Voorkom dat schoorstenen, dakkapellen en andere dakdoorvoeren schaduw veroorzaken op de PV-panelen. Gedeeltelijke beschaduwning van een paneel beperkt de opbrengst van de hele (elektrische) keten waar dit paneel onderdeel van uit maakt;
- **Monitoring:** Maak eenvoudige monitoring mogelijk door de opbrengst van het systeem te kunnen meten via een aparte meter of via de inverter(s). Vergelijk de resultaten met die van het jaar daarvoor of met de opbrengst van andere systemen via internet (bijv. via fabrikant van de inverter). Hierdoor kan het eventueel niet-goed functioneren van het PV-systeem (bijv. door een defecte omvormer) snel worden ontdekt;
- **Bereikbaarheid PV-panelen:** Een goede bereikbaarheid van de panelen is van belang voor onderhoud. Maar zorg er tevens voor dat de panelen niet eenvoudig te stelen zijn;
- **Waterdichtheid:** Een PV-systeem bestaande uit panelen in een profiel is in extreme gevallen (bijv. stuifsnieuw) niet 100% waterdicht. Bovendien kan aan de achterzijde condensvorming optreden. Zorg er dus voor dat het onderdak waterdicht en dampdoorlatend is, bijvoorbeeld door een folie;
- **Geluidsoverdracht:** Onderbreek het PV-systeem boven woningscheidende wanden ter voorkoming van ongewenst flankerend geluidsoverdracht tussen naast elkaar gelegen woningen;
- **Bekabeling:** Zorg ervoor dat de stringbekabeling beschermd is tegen UV-straling, ongedierte en vocht. Vanaf het dak (of de gevel) waar de panelen zijn gemonteerd, lopen kabels naar de omvormer(ruimte). Voor deze bekabeling moet een kabelgoot of een mantelpijp aanwezig zijn. Het is raadzaam hiermee bij het ontwerp van het gebouw rekening te houden. Voor een compleet systeem met één inverter per woning heeft de bundel kabels een diameter van ongeveer 50 mm;
- **Omvormerruimte:** Situeer de omvormer(ruimte) van grotere PV-systemen in overleg met een deskundige. Zorg voor goede ventilatie van de ruimte waar de omvormer aangebracht is om te hoge temperaturen te voorkomen (circa 5 % van het vermogen wordt hier omgezet in warmte). De omvormers (inverters) mogen niet warmer worden dan 45 °C en niet in een te vochtige ruimte zijn aangebracht.

10.2.2 Windturbines

Windturbines zijn over het algemeen minder geschikt om in of nabij de gebouwde omgeving toe te passen. Dit komt vooral door een relatief laag, niet-stabiel, windaanbod. Maar ook geluidhinder en visuele hinder kunnen een rol spelen. Gebouwgebonden kleine windmolens zijn mede daardoor slechts in bijzondere gevallen het overwegen waard.

Windenergie via grote windmolens aan de rand van bebouwing grenzend aan open gebied of open water kan wel interessant zijn.

Meer informatie: www.rvo.nl.

