

## **Monitoring en lessen PV-projecten Amersfoort en HAL-gebied**

Auteurs:  
Rob Westerhuis  
Leendert Verhoef  
New-Energy-Works

Wilfried van Sark  
Universiteit Utrecht, Copernicus Instituut voor Duurzame Ontwikkeling en Innovatie,  
Natuurwetenschap en Samenleving

Met medewerking van:  
Willem Koppen  
Koppen vast*Goed*

New-Energy-Works BV  
Hooghiemstraplein 160  
3514 AZ Utrecht  
tel: +31-30-276 9253  
fax: +31-30-273 5130  
e-mail: [welcome@new-energy-works.com](mailto:welcome@new-energy-works.com)  
website: [www.new-energy-works.com](http://www.new-energy-works.com)

In opdracht van:  
SenterNovem

Rapportnummer New-Energy-Works: N0744  
Rapportnummer UU: NWS-E-2008-18  
Datum: 21-4-2008



## Samenvatting PV-systemen op grote schaal in nieuwbouwprojecten

In Nederland zijn er twee nieuwbouwgebieden waar photovoltaïsche zonne-energie (PV) systemen op grote schaal zijn toegepast. Dit zijn de PV-projecten gerealiseerd in de wijk 'Nieuwland' in Amersfoort en in het HAL-gebied. Onder het HAL-gebied worden de PV-projecten verstaan die in Heerhugowaard, Alkmaar en Langedijk zijn uitgevoerd. In deze rapportage worden de resultaten van het project Nieuwland in Amersfoort, het project Stad van de Zon in Heerhugowaard en het project Vroonermeer in Alkmaar beschreven.

In Nieuwland is bijna 10 jaar geleden meer dan 1 MWp aan PV-systemen geplaatst op ruim 500 huizen. Nieuwland is hiermee het eerste Nederlandse project waar PV op een dergelijk grote schaal op nieuwbouw is toegepast. Het tweede grote PV-project is Stad van de Zon in Heerhugowaard waar 2,45 MWp aan dakgeïntegreerde PV-systemen in de gebouwde omgeving gepland zijn. In Stad van de Zon zijn tot maart 2008 reeds 1.060 woningen gebouwd met een totaal van 1,6 MWp aan dakgeïntegreerde PV-systemen. In Vroonermeer in Alkmaar zijn 152 woningen bedekt met in totaal 516,8 kWp aan PV-systemen. Bij deze projecten is veel kennis en praktische ervaring opgedaan.

Om de prestaties van de PV-systemen te kunnen bepalen worden de systemen gemonitord. Over een periode van minimaal één jaar wordt de energieopbrengst van de PV-systemen gemeten. Met deze gegevens kan de zogenaamde Performance Ratio (PR) van de systemen bepaald worden.

In Nieuwland werd voor 70% van de systemen een PR van 0,70 en voor nog eens 25% een PR van 0,65 of hoger verwacht. Dit zijn voor die tijd realistische waarden. Op basis van 5 jaar meetgegevens is een PR berekend die rond de 0,70 ligt. Dit is een waarde voor goed werkende PV-systemen die onder de juiste omstandigheden functioneren en zo aan de verwachtingen voldoen. Daarnaast heeft tweederde van de systemen in Nieuwland een lagere opbrengst en een PR die lager is dan 0,65. Hiermee voldoen niet alle PV-systemen aan de verwachtingen. Twee oorzaken zijn bekend: schaduwval en elektrische systeemfouten. Elektrische systeemproblemen als string-errors en corrosie op de connectoren spelen hier een rol. Maar een belangrijke conclusie is dat (gedeeltelijk) defecte systemen niet werden opgemerkt door gebrek aan beheer en controle van de systemen. De methode van berekening van de PR bij Nieuwland is niet bij alle systemen correct meer. Het gaat hierbij om de systemen die verminderde opbrengst hebben door meer 'schaduwval'. Schaduwval zorgt voor een lagere zonne-instraling, wat een negatieve invloed heeft op de opbrengst van een PV-systeem. Een herberekening van de PR is nodig, waarbij gerekend wordt met daadwerkelijke zonne-instraling (en dus ook schaduwval), zou tot een meer realistische - en hogere PR leiden.

### Performance Ratio en Energy Yield

De Performance Ratio (PR) is een kental om de prestatie van een PV-systeem weer te geven. Vrij vertaald is de PR van een PV-systeem gelijk aan de prestatie van de PV-modules in dat systeem bij standaard testcondities minus de systeemverliezen.

Systeemverliezen treden o.a. op in de modules (door afwijking van de standaard condities), de inverter en de bekabeling. Een performance ratio van 0,75 betekent derhalve dat de systeemverliezen 25% bedragen.

De PR wordt met de Energy Yield bepaald. De Energy Yield is energieopbrengst van het PV-systeem per nominaal module vermogen, weergegeven in Wh/Wp. Voor het bepalen van de PR wordt de Energy Yield verrekend met de daadwerkelijke zonne-instraling.



De verwachtingen voor de PV-systemen bij Stad van de Zon lagen op een PR van 0,80. De gemiddelde PR bij Stad van de Zon ligt op 0,81. De lessen die uit het project Nieuwland zijn getrokken hebben ertoe geleid dat deze systemen heel goed presteren.

De gegevens zoals die van Alkmaar bekend zijn, zijn kwalitatief beoordeeld. De conclusies hieruit zijn meegenomen in de Lessons Learned.

De kennis en ervaring die is opgedaan bij het PV-project in Nieuwland heeft bijgedragen tot betere prestaties van de systemen in het HAL-gebied. Het is nu van belang deze opgedane kennis te verspreiden. Per slot van rekening draagt dit uiteindelijk bij tot betere prestatie van nieuwe systemen. In deze samenvatting worden aanbevelingen gedaan op de thema's:

- bouwkundige aspecten,
- juridische zaken,
- monitoring, beheer en onderhoud.

Deze 'Lessons Learned' dragen bij aan een optimalisatie van de prestaties van bestaande en nieuwe PV-systemen.

#### ***Lessons Learned PV-systeem***

- Bij het plannologisch ontwerp dient bij de verkaveling rekening gehouden te worden met de gewenste zuidelijke oriëntatie van de PV-systemen.
- De PV-systemen hebben de hoogste opbrengst indien ze op het zuiden zijn gericht onder een hoek van 35 graden.
- Dakgeïntegreerde PV-systemen dienen voldoende koeling te hebben.
- Notarieel dient vastgelegd te worden dat uitbouw of beplanting die schaduw kan geven op omliggende PV-systemen niet toegestaan is.
- Bij een systeemverandering dient met de daaruit voortvloeiende nieuwe systeemp parameters opnieuw de PR bepaald te worden.
- Gebruik per PV-systeem slechts één inverter.
- Zonne-instralingsgegevens op locatie zijn nodig om de prestaties van de systemen te kunnen bepalen.

#### ***Lessons Learned Beheer en Onderhoud***

In principe is onderhoud aan PV-systemen niet noodzakelijk, controle op goed functioneren wel. Deze controle wordt gedaan door middel van periodieke monitoring door of voor de eigenaar van energieopbrengst en analyse/ingrijpen beneden een bepaalde opbrengst. Een regelmatige visuele controle van de PV-panelen zou vroegtijdig onvolkomenheden (bijvoorbeeld schade) aan de panelen aan het licht kunnen brengen.

- Eigenaar van de PV-systemen moet betrokken zijn bij de systemen om de kans op controle en regelmatige monitoring te vergroten.
- Monitoring is noodzakelijk om de opbrengst van de systemen te kunnen meten.
- Analyse van monitoringsgegevens is noodzakelijk om de prestaties van de systemen te kunnen bepalen.
- Analyse van monitoringsgegevens is noodzakelijk om disfunctioneren te kunnen waarnemen.
- Snelle respons op storingen verhoogt de prestatie van systemen.



## Inhoudsopgave

Samenvatting PV-systemen op grote schaal in nieuwbouwprojecten .....	2
Inhoudsopgave .....	4
1 Inleiding .....	5
1.1 Aanleiding .....	5
1.2 Probleemstelling .....	5
1.3 Doelstelling .....	5
1.4 Aanpak .....	6
2 Achtergrond projecten .....	7
2.1 Nieuwland, Amersfoort .....	7
2.1.1 Verwachtingen .....	7
2.1.2 Resultaten .....	7
2.2 HAL-gebied .....	10
2.3 Stad van de Zon, Heerhugowaard .....	10
2.3.1 Verwachtingen .....	11
2.3.2 Resultaten .....	11
2.4 Vroonermeer, Alkmaar .....	12
3 Vergelijking Amersfoort en HAL-gebied .....	15
3.1 Prestaties .....	15
3.2 Protocol Monitoring Duurzame Energie (SenterNovem) .....	16
3.3 Monitoringmethoden .....	17
4 Conclusies: Lessons Learned .....	18



## 1 Inleiding

### 1.1 Aanleiding

Ervaring met nieuwe energietechnieken leert dat het belangrijk is grote voorbeeldprojecten te monitoren om vroegtijdig problemen te constateren. Problemen bij dergelijke grote voorbeeldprojecten kunnen gemakkelijk negatieve publiciteit opleveren. Voor grootschalige toepassing van photovoltaïsche zonne-energie (PV) in de woningbouw geldt dit ook. Resultaten van monitoring van 'Nieuwland' in Amersfoort en de projecten in het HAL-gebied (Heerhugowaard, Alkmaar en Langedijk) geven inzicht in de prestaties van PV-systemen.

Na een periode van verminderde belangstelling vanuit de markt voor PV lijkt nu, mede door de per 1 april 2008 ingaande Stimulering Duurzame Energieproductie (SDE) de interesse voor deze techniek in Nederland weer toe te nemen<sup>1</sup>.

### 1.2 Probleemstelling

Negatieve publiciteit en het te laat inspelen op calamiteiten rondom innovatieve technieken brengt veel schade toe aan het vertrouwen in deze technieken. In deze rapportage worden grote (spraakmakende) projecten in Amersfoort en het HAL-gebied, geanalyseerd. Omdat deze projecten reeds langere tijd functioneren, kunnen er lessen voor de toekomst uit getrokken worden.

### 1.3 Doelstelling

Doel van het project waarover hier gerapporteerd wordt, is het krijgen van antwoord op de volgende vragen en deze informatie te verspreiden in artikelen en brochures:

1. Hoe functioneren systemen gedurende meerdere jaren?
2. Welke lessen zijn er voor nieuwe projecten te trekken om zorg te dragen dat systemen gedurende meerdere jaren goed blijven functioneren?
3. Welke aanbevelingen voor beheer en onderhoud van toekomstige projecten zijn er uit de projecten te halen?

Deelvragen zijn:

- a) Verschillen tussen Amersfoort en het HAL-gebied: welke lessen uit Amersfoort hebben in het HAL-gebied problemen voorkomen?
- b) Leveren de PV systemen ook op wat er bij aanvang van het project (of op basis van huidige toepassing) van verwacht werd?
- c) Klopt het kental voor de opbrengst van PV systemen dat in het protocol monitoring duurzame energie wordt gebruikt?
- d) Zijn er veel systemen gewijzigd, verwijderd of zijn er belangrijke wijzigingen in projecten die negatieve invloed hebben op opbrengsten?
- e) Hoeveel gebreken zijn er geweest en welk onderhoud/reparatie is uitgevoerd?
- f) Wat is de kans op niet- of minder functioneren en zijn daaruit aanbevelingen voor beheer te halen?
- g) Wat zijn de technische- en beheersmatige oorzaken van niet- of minder functionerende systemen?

---

<sup>1</sup> Zie voor details over de SDE regeling [www.senternovem.nl/sde](http://www.senternovem.nl/sde)  
New-Energy-Works  
Universiteit Utrecht



Deze rapportage bevat een globale analyse van beschikbare gegevens om op systeemniveau het functioneren van de systemen te beoordelen. Het betreft geen systematische detail analyse van alle factoren die de opbrengst beïnvloeden.

#### **1.4 Aanpak**

Bestaande monitoringrapportages van Nieuwland in Amersfoort, Stad van de Zon in Heerhugowaard en Vroonermeer in Alkmaar zijn verzameld en geanalyseerd in de eerste maanden van dit jaar. Daarbij worden zowel de energieopbrengst, Energy Yield als Performance Ratio (PR) bekeken<sup>2</sup>. Daarnaast zijn in een tweetal rondetafel gesprekken de globale 'Lessons Learned' bepaald, waarna deze zijn gedocumenteerd in deze rapportage. De samenvatting is geschikt voor publicatie in bijvoorbeeld de bladen Stromen of Energie-plus, de 'Lessons Learned' zouden kunnen worden opgenomen in de leidraad zonnestroom.

---

<sup>2</sup> Zie voor definitie van termen als Energy Yield en Performance Ratio Appendix 1.



## 2 Achtergrond projecten

### 2.1 Nieuwland, Amersfoort

In 2001 is de installatie van meer dan 1 MWp PV-systemen afgerond in Amersfoort. De PV-systemen zijn geplaatst op ruim 500 huizen, flats, schoolgebouwen en een sporthal in het nieuwbouwgebied Nieuwland in acht sectoren (Vlek, 1998). Nieuwland is hiermee het eerste Nederlandse project waarbij PV op zo'n grote schaal op nieuwbouw is toegepast. De realisatie vond plaats in de periode 1999-2001. Het 1 MWp project is onderverdeeld in acht sectoren met in iedere sector gelijke modules, omvormers en manier van inpassing. Om de prestaties van deze systemen in kaart te krijgen is de opbrengst gemonitord over de periode 2001-2005 (Vlek, 2002, de Keizer, 2007, de Keizer, 2008). Dit heeft geleid tot een unieke dataset vanwege de grote hoeveelheden systemen op eenzelfde locatie met een gelimiteerd aantal architectonische ontwerpen.

PV opbrengst wordt in Nieuwland gemeten door de energieleverancier door gebruik te maken van een Eclipse/PV solar display (Eclipse/PV, 2008, Molenbroek, 2000) voor elk systeem. Die zijn gekoppeld aan kWh-counters met pulse-output. De Eclipse meet de opbrengst van het PV-systeem elke dag (Kil, 2004), en biedt uitgebreide mogelijkheden aan de huiseigenaar om deze opbrengst weer te geven. De display toont actuele energievermogens, en naar keuze kWh-totalen per dag, week, maand, of jaar. Eéns per jaar worden de data uitgelezen door Ecofys. Ook is de bewoners aangeboden gebruik te maken van de 'zonnewijzer' service van het bedrijf Ecofys. Dit is een webservice waarbij bewoners zelf hun opbrengsten kunnen invoeren en deze kunnen vergelijken met een normopbrengst (Molenbroek, 2002).

#### 2.1.1 Verwachtingen

Voor meer dan 70% van de systemen was een PR van 0.7. Voor nog eens 25% van de systemen wordt een PR van 0.65 of hoger verwacht.

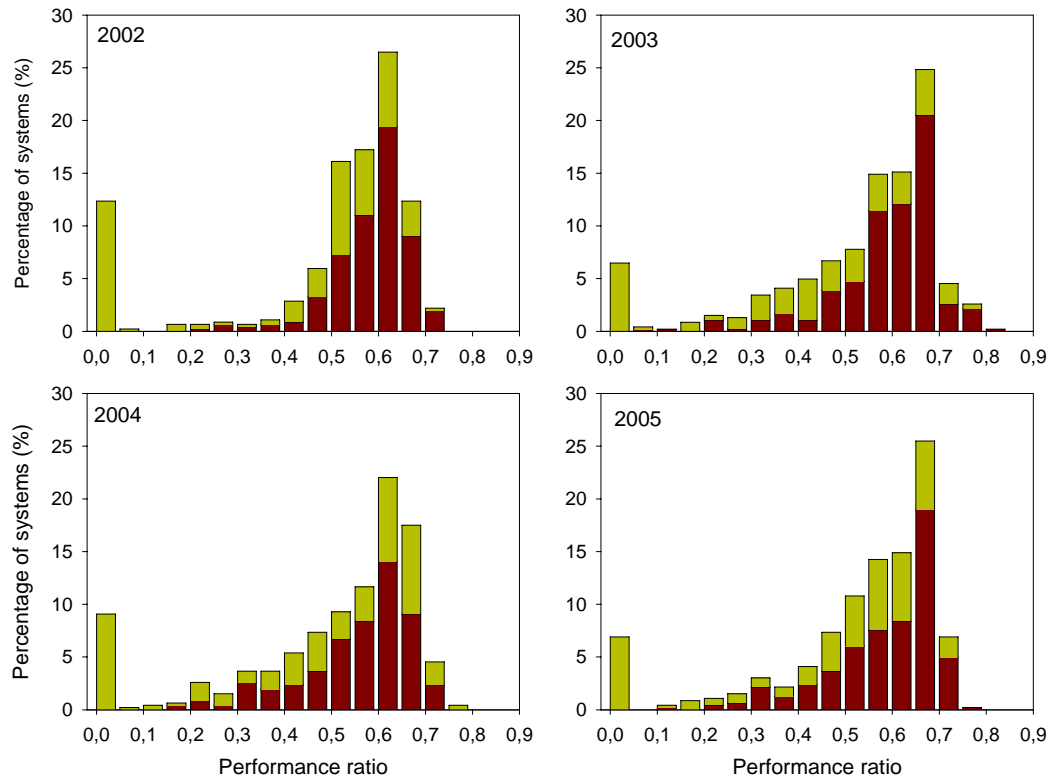
#### 2.1.2 Resultaten

Van 463 systemen die in het totaal 1,2 MWp representeren, is 92% van de monitoringsgegevens over de periode 2002-2005 bekend. Van de overige 8% is de overdracht van data uit de datalogger niet goed gegaan, waardoor de maandelijkse opbrengsten ontbraken. Van de 92% bruikbare data was 14% van de gemeten maandelijkse opbrengst gelijk aan nul. Die 14% is niet verder geanalyseerd.

In Figuur 1 is een overzicht van de PR gegeven voor de jaren 2002-2005. Uit deze figuur blijkt duidelijk dat slechts 15-32% over de jaren een PR heeft van meer dan 0.65 (dit percentage stijgt gedurende de jaren door reparatie van slecht functionerende systemen). Met name in twee van de acht sectoren is de PR laag, maar ook in andere sectoren is de verdeling van de PR breed. Hierbij moet aangegeven worden dat de bij de berekening gebruik is gemaakt van instralinggegevens die niet lokaal bepaald zijn. Een herberekening van de PR, waarbij gerekend wordt met daadwerkelijke lokale zonneinstraling, zou tot een betere en meer realistische PR leiden. Het gaat hierbij vooral om de systemen die door meer schaduwval worden getroffen, bijvoorbeeld door een gegroeide boom of later geplaatste dakopbouw. Schaduwval heeft namelijk wel invloed op de opbrengst van een PV-systeem, maar nagenoeg geen invloed op de PR zie formule in appendix I.



Beheer en onderhoud van de systemen heeft meer tijd gekost dan verwacht (Welschen, 2007). De huidige praktijk van jaarlijkse monitoring en inspectierondes is niet afdoende gebleken om goed functioneren te garanderen. Een gedetailleerde inspectie van enkele niet-goed functionerende systemen en reparatie daarvan leidde tot herstel van opbrengst (Ecofys, 2005).



Figuur 1. Overzicht van Performance Ratios voor de jaren 2002-2005. De systemen die gedurende hele jaren hebben gefunctioneerd zijn weergegeven in rood. Systemen waarvoor data nul zijn of missen voor een aantal maanden zijn weergegeven in groen. De performance ratio wordt alleen berekend voor de tijdsduur met maandelijkse opbrengst groter dan 5 kWh.

Zelfs het door de energieleverancier aangeboden gebruik van de Zonnewijzer service van Ecofys, heeft niet geleid tot een verhoogde rapportage van mogelijke problemen met opbrengst. De energieleverancier is eigenaar van 45% van de systemen, de resterende 55% van de PV systemen is eigendom van de bewoners. Vooral in de sectoren waar de energieleverancier eigenaar is van de systemen is de PR laag. Het in eigendom hebben van en het zich verantwoordelijk voelen voor het PV systeem leiden tot blijkbaar tot beter beheer.

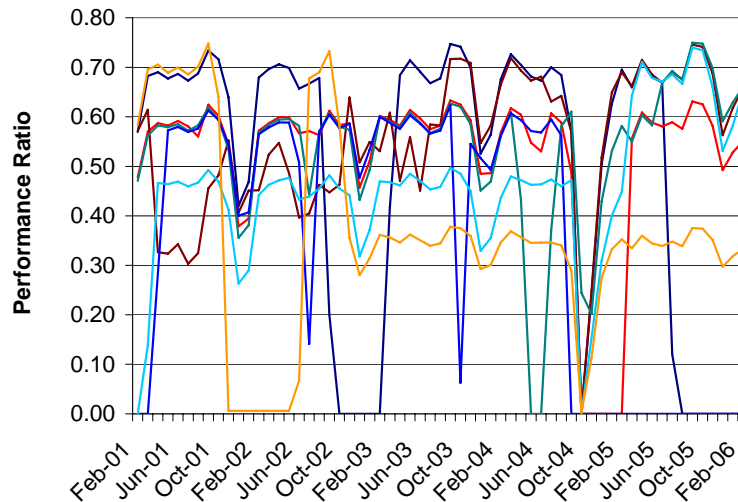
In het rapport van De Keizer et al. (De Keizer, 2008) worden de volgende conclusies getrokken:

- In de meerderheid van de sectoren functioneert de meerderheid van de systemen goed;
- In deze sectoren is een aantal systemen dat niet goed functioneert, vanwege bekende oorzaken: voornamelijk string-errors (uitvallen van een string, een aantal PV modules in serie geschakeld) en beschaduwing (door nieuwe dakopbouwen). Deze leiden tot partiële uitval en terugval in opbrengst die niet worden opgemerkt (en niet gerepareerd). Een voorbeeld hiervan is gegeven in Figuur 2;
- Voor goed functionerende systemen is de PR constant over de jaren, er treedt geen noemenswaardige degradatie op;





- In twee sectoren presteren de systemen beneden verwachting. Hier zijn mogelijk de connectoren (corrosie) de oorzaak van de problemen. Ecofys heeft in 2005 gedetailleerde metingen gedaan aan een beperkt aantal systemen in deze sectoren. Daarbij bleek corrosie van connectoren oplosbaar te zijn door de omvormers simpelweg uit- en aan te schakelen (Ecofys, 2005).



Figuur 2. Performance Ratio van een aantal systemen met string-errors. De afname van PR met een factor  $1/6^e$ ,  $2/6^e$  en  $3/6^e$  is duidelijk te zien. De PV eigenaar merkt dit niet op, wat resulteert in aanzienlijke opbrengstverliezen.

Over de methode van monitoring wordt het volgende opgemerkt:

- Met het grafisch weergegeven van PR als functie van de tijd kunnen bepaalde problemen herkend worden (bv. string-errors);
- Presentatie van PR distributies (als in Figuur 1) is een goede manier om het optreden van problemen te zien;
- Bij de monitoringsmethode en de berekeningen van de PR is er sprake geweest van een systematische meetfout in de instraling. Deze fout zorgt voor variaties in de opbrengst zodat subtiele effecten (van de orde van 5-10%) als degradatie niet herkend kunnen worden;
- Gebruik maken van luchtfoto's, zoals in Google Earth of Google Maps, kan een goed instrument zijn om oorzaken van achteruitgang in opbrengst te signaleren (schaduw door dakopbouwen, Figuur 3). Een dakopbouw zoals weergegeven in Figuur 3 leidt tot een systeemverandering, wat een lagere energieopbrengst geeft.



Figuur 3. Google Earth foto's, van voorjaar 2006. Systemen 4, 5, 6 en 9, zijn de oorspronkelijke. Bij systemen 1, 2, 3, 7 en 8 is een dakuitbouw gerealiseerd, dat door beschaduwing leidt tot een lagere opbrengst van het eigen systeem, maar ook tot schaduwverliezen van naastgelegen systemen.

In het rapport van De Keizer et al. (De Keizer, 2008) wordt tevens aanbevolen een analyse uit te voeren om de precieze oorzaken van opbrengst problemen te achterhalen. Dit zou inhouden een grondiger analyse per systeem waarin berekeningen van verwachte opbrengst worden vergeleken met werkelijke opbrengst. Dit kan worden uitgevoerd aan de hand van de specificaties van modules en inverters, die eventueel nog apart gemeten zouden kunnen worden, in combinatie met een verbeterde instralingsmeting. Daarnaast zou een inspectie ter plaatse en gesprekken met bewoners/eigenaars nog extra informatie kunnen verschaffen over eventueel opgetreden problemen en hoe daar op is gereageerd. Op deze wijze zou bepaald worden hoe groot de invloed van verschillende factoren op de PR is.

Bij een project van deze omvang kan het lonen een goede beheersstructuur op te zetten. Een beheersstructuur waarin onder andere met remote monitoring (het op afstand automatisch aflezen van dagelijkse of zelfs uurlijkse opbrengsten) gecombineerd met automatische analyse en rapportage met indicaties van mogelijk disfunctioneren. Zo is het mogelijk om disfunctioneren van een PV-systeem vroegtijdig te ontdekken en kan er adequaat actie ondernomen worden. Drews et al. (Drews, 2007) hebben in het project PVSAT hiertoe een voorzet gegeven.

## 2.2 HAL-gebied

Het Hal-project bestaat uit projecten in Heerhugowaard (Stad van de Zon), Alkmaar (Vroonermeer) en Langedijk. Drie projecten die gezamenlijk een totaal van 5 MWp aan PV-systemen realiseren op woningen. Van het project in Langedijk zijn geen monitoringsgegevens beschikbaar. Van Stad van de Zon en Vroonermeer zijn de beschikbare volledige monitoringsgegevens geanalyseerd en hieronder weergegeven.

## 2.3 Stad van de Zon, Heerhugowaard

Heerhugowaard heeft zichzelf de doelstelling opgelegd om van 'Stad van de Zon' een CO<sub>2</sub>-neutraal woon/werkgebied te maken. Naast het plaatsen van windturbines wordt dit bereikt door het toepassen van 2,45 MWp aan PV-systemen op de daken van de woningen. In 2002 is begonnen met de bouw van het eerste cluster; 120 woningen met voor 432 kWp aan PV-systemen. In maart 2008 waren 1.060 woningen gebouwd met een totaal van 1,6 MWp op de daken. De PV-systemen zijn eigendom van bewoners.



Twee adviesbureaus zijn belast met het monitoren van de systemen en doen dit ieder op eigen wijze. Tweederde van de systemen wordt gemonitord middels het manueel uitlezen van de meters. Dit gebeurt op maandelijkse basis. De rest van de woningen zijn uitgerust met PowerLine-Communication (PLC) waarmee op afstand de opbrengst kan worden uitgelezen.

Momenteel is het monitoren van één cluster woningen afgerond. Middels een enquête is de maandelijkse opbrengst van 42 PV-systemen van de 120 achterhaald, die een totaal van 432kWp representeren.

Van de PV-systemen waarbij gemonitord is met behulp van PLC, zijn gegevens bekend over een periode van ongeveer één jaar. Deze gegevens zijn nog niet geanalyseerd. Wel is er kwalitatieve informatie over de monitoringsmethode.

### 2.3.1 Verwachtingen

De systemen zijn van het type BPSolar BP790, 90Wp panelen, voor het totaal van 3.600 Wp per systeem. De verwachte opbrengst van de PV systemen was 3.080 kWh per jaar (Van Nieuwmegen, 2007). Wij hebben dit naar PR omgerekend gebruik makend van de zonne-instraling van 1.070 kWh/m<sup>2</sup>/jaar in Noord-Holland: dit geeft een verwachte PR van 0,80. De PV leverancier heeft een jaaropbrengstgarantie voor 10 jaar afgesloten met de bewoners. Deze jaaropbrengstgarantie ligt circa 15% lager dan de door BPSolar verwachte opbrengst, namelijk op 2.675 kWh per jaar.

### 2.3.2 Resultaten

De 42 systemen van ieder 3,6 kWp zijn gemonitord van februari 2005 tot en met juli 2006. Over deze periode van 18 maanden zijn in onderstaande tabel de energie opbrengst, Energy Yield en PR weergegeven. Dit is voor vijf perioden van een jaar weergegeven in Tabel 1, met startdata variërend van januari tot juni als startmaand. Uit deze gegevens blijkt dat deze systemen jaarlijks tussen de 3500 +/- 100 kWh hebben opgebracht, met een PR van 0.81. De Energy Yield ligt, afhankelijk van de startmaand van meting, tussen de 941 and 1.006 kWh/kWp per jaar. De PR is constant en wijkt enkel in de laatste periode met 0,02 af van de rest van de maanden

De betrouwbaarheid van de gegevens is bevestigd door de aangeleverde meterstanden bij aanvang van het onderzoek te vergelijken met de meterstanden op de opleverformulieren van de projectontwikkelaar. Bovendien zijn de meterstanden door medewerkers van Koppen Vastgoed ter plekke opgenomen bij aanvang en bij afronding van het monitoringsproject.

Tabel 1 Overzicht van opbrengsten PV-systemen

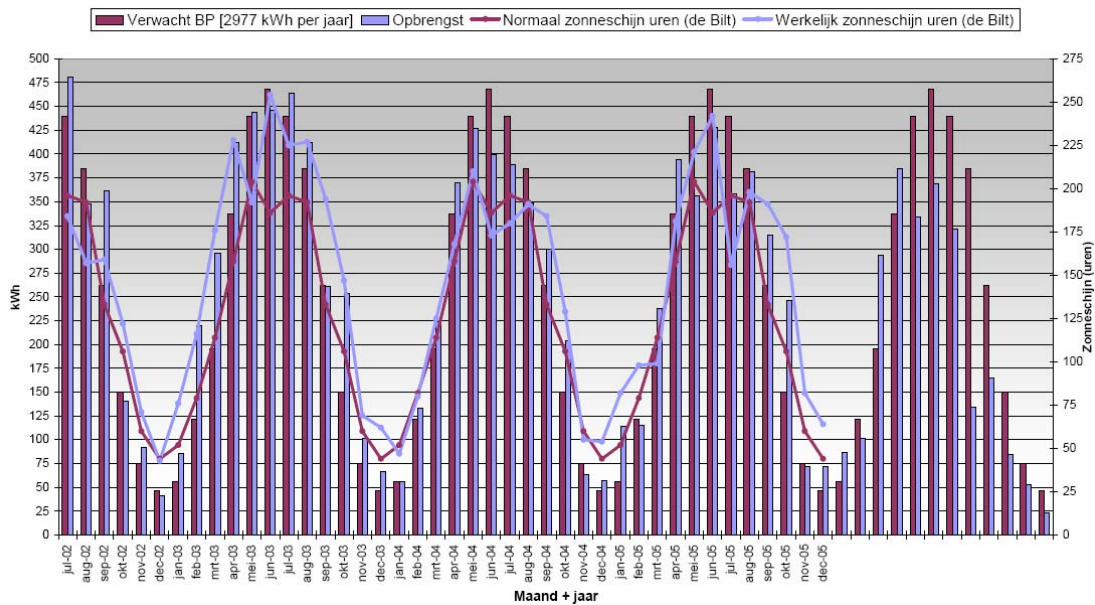
Periode		Energie opbrengst kWh	Energy Yield kWh/kWp	Instraling kWh/m <sup>2</sup>	PR
Van	Tot/met				
Februari 2005	Januari 2006	3407	946	1175	0.81
Maart 2005	Februari 2006	3387	941	1161	0.81
April 2005	Maart 2006	3452	959	1181	0.81
Mei 2005	April 2006	3404	946	1172	0.81
Juni 2005	Mei 2006	3508	974	1174	0.83
Juli 2005	Juni 2006	3471	964		
Augustus 2005	Juli 2006	3623	1006		



### 2.4 Vroonermeer, Alkmaar

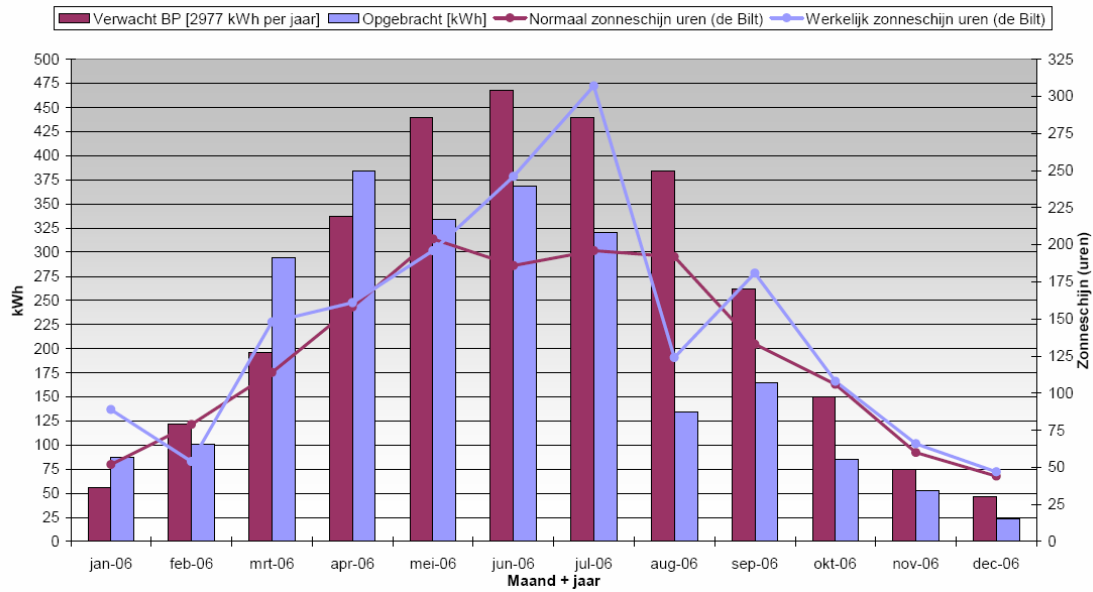
In de wijk Vroonermeer, Alkmaar, zijn meerdere projecten uitgevoerd. Van deze projecten zijn grafische monitoringsgegevens beschikbaar. In deze rapportage worden de gegevens van project de Tuinen en project Waterzoom beschreven.

Bij de Tuinen, Vroonermeer Zuid te Alkmaar zijn 152 woningen uitgerust met PV-systemen van 3.400Wp per woning. De totale omvang van dit project is 516,8 kWp. De verwachte opbrengst van deze systemen is 2.975kWh per jaar. In Figuren 4 en 5 is de opbrengst van deze systemen weergegeven. Deze gegevens zijn verkregen door in de maanden juni en september 2003 een enquête uit te voeren naar de energieopbrengst bij de 152 woningen. Op de enquête in juni heeft 25% gereageerd en 16,4% op de enquête in september. Vanaf oplevering medio 2002 is t/m eind 2006 is er bij één woning maandelijks de meterstand opgevraagd. Tevens zijn bij drie andere huishoudens in de periode 2004 t/m 2005 maandelijks de meterstanden opgevraagd.



Figuur 4. Verwachte en gerealiseerde opbrengst van systemen in De Tuinen periode 2002-2005.

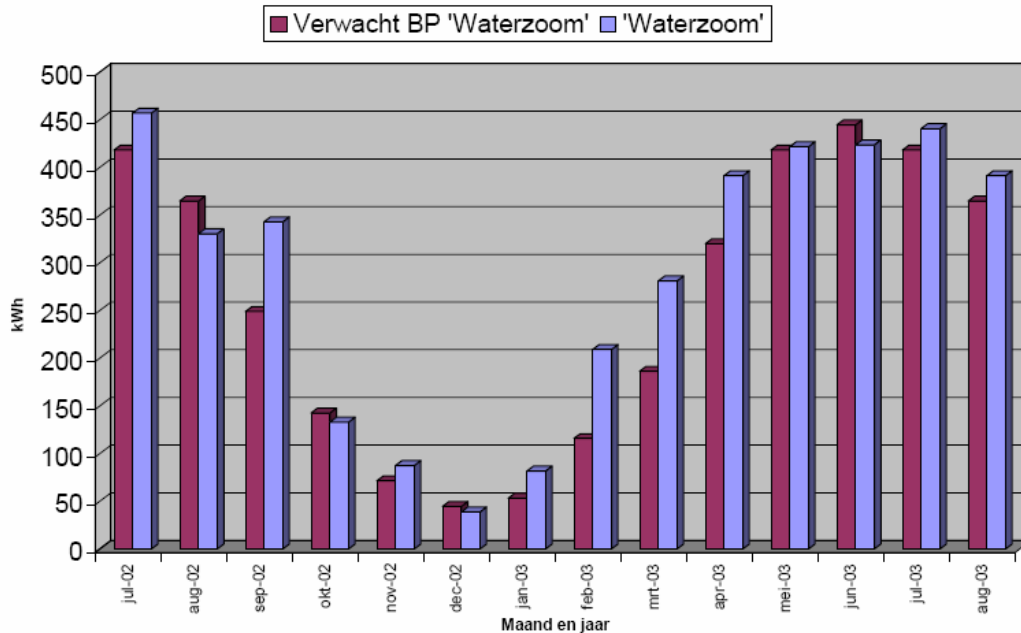
Over de periode 2002 t/m 2005 is een gemiddelde jaaropbrengst van 3.472 kWh gemeten. Dit is handmatig uit bovenstaande grafiek bepaald. Dit zou betekenen dat de Energy Yield 1.021 kWh/kWp per jaar zou bedragen.



Figuur 5. Verwachte en gerealiseerde opbrengst van systemen in De Tuinen periode 2002-2005.

Over het jaar 2006 is een gemiddelde jaaropbrengst van 2.360 kWh gemeten door handmatig de opbrengst uit bovenstaande grafiek te bepalen. Dit zou betekenen dat de Energy Yield 694 kWh/kWp per jaar zou bedragen. Deze dataset is van slechts een woning en wordt verder niet gebruikt in de beantwoording van de onderzoeksvraag.

Daarnaast zijn er bij Waterzoom, Vroonermeer Zuid te Alkmaar 58 woningen gerealiseerd met 3.230 Wp PV-systemen op de daken. Van deze systemen is de verwachte opbrengst 2.826 kWh per jaar. Vanaf juli 2002 t/m augustus 2003 is er bij één woning maandelijks de meterstand opgevraagd. Zie Figuur 6 voor de resultaten.



Figuur 6. Verwachte en gerealiseerde opbrengst van systemen in Waterzoom.



Over de periode september 2002 t/m augustus 2003 is een gemiddelde jaaropbrengst van 3.225 kWh gemeten door handmatig de opbrengst uit bovenstaande grafiek te bepalen. Dit levert een Energy Yield van 998 kWh/kWp per jaar op. Deze dataset is van slechts een woning en wordt verder niet gebruikt in de beantwoording van de onderzoeksvraag.

De PV-systemen van deze projecten zijn deels in eigendom van de bewoner, en deels in eigendom van de energieleverancier. Voor zover wij kunnen overzien zijn geen monitoringsgegevens bekend zijn bij de energieleverancier. In het algemeen zijn er weinig monitoringsgegevens bekend van de systemen in Alkmaar.



### 3 Vergelijking Amersfoort en HAL-gebied

#### 3.1 Prestaties

In Tabel 2 zijn de Energy Yield en de Performance Ratios van Nieuwland, Stad van de Zon en Vroonermeer, voor zover aanwezig weergegeven.

Tabel 2 Vergelijking Nieuwland en Stad van de Zon

Locatie	Jaar monitoring	Aantal woningen gemonitord	Systeem Grootte (Wp)	Energy Yield (kWh/kWp)	PR	Verwachte PR bij aanvang
Amersfoort Nieuwland	2002-2005	426 v/d 463	2.400 (gem.)	Geen rapportage	1/3 $\cong$ 0,70 2/3 < 0,65 *	70% = 0,7 95% > 0,65
Heerhugowaard Stad van de Zon	2005-2006	42 v/d 120	3.600	962	0,81	0,80
Alkmaar Vroonermeer De Tuinen	2002-2006	1 v/d 152	3.400	1.021	Geen rapportage	Geen rapportage
	2004-2005	3 v/d 152				
	Juni + september 2003	Variërend				
Alkmaar Vroonermeer Waterzoom	2002-2003	1 v/d 58	3.230	998	Geen rapportage	Geen rapportage

\* PR is hier voor een deel van de systemen niet goed vast te stellen i.v.m. nieuwe schaduwgevende elementen

Bij Nieuwland voldoen de systemen ten dele aan de verwachtingen. Tweederde van de systemen heeft een PR van minder dan 0,65. Twee oorzaken zijn bekend: schaduwval en elektrische systeemfouten. Elektrische systeemproblemen als string-errors en corrosie<sup>3</sup> op de connectoren spelen hier een rol. Maar een belangrijke oorzaak is dat (gedeeltelijk) defecte systemen niet werden opgemerkt door gebrek aan beheer en controle van de systemen.

Bij Stad van de Zon liggen de prestaties van de systemen dicht bij de verwachte waarden. Dat komt mede door lessen die Stad van de Zon heeft kunnen leren uit het project Nieuwland. Het is duidelijk te zien dat er een opwaartse lijn in de prestaties van PV-systemen is, en dat er lessen geleerd worden uit voorgaande projecten.

Verder is nog van belang te melden dat in Amersfoort de bewoner een vastgestelde jaarlijkse vergoeding krijgt, onafhankelijk van het functioneren van het systeem. In het HAL-gebied is er een teruggave 'alsof de energiemeter terugdraait'. Daarmee is de betrokkenheid van de bewoner in het HAL-gebied groter vanwege de hoge economische opbrengsten van de zonnestroom

Voor Stad van de Zon zijn de lessen uit het project Nieuwland voornamelijk getrokken door de gedrevenheid van een projectontwikkelaar. Er was weinig informatie uit Nieuwland beschikbaar op schrift en desgevraagd heeft zelfs geen mondelinge kennisoverdracht plaats gevonden. Door zelf 'op de ladder' te klimmen is praktische

<sup>3</sup> Corrosie problemen zijn bij gebruik van tegenwoordig gangbare connectoren geen probleem meer.



informatie opgedaan om aanbevelingen te kunnen geven voor Heerhugowaard. Redenen waarom de prestaties van Stad van de Zon beter zijn:

- Geen schaduwval op de PV-systemen door (latere) uitbouw, zoals in Nieuwland;
- Goede monitoring;
- Betere controle van werking systemen;
- Goede verkaveling bij stedenbouwkundige planning;
- Goede dakhelling PV-systemen (in Nieuwland is er meer geëxperimenteerd met dakhellingen);
- Loze ruimte (bijv. 5 cm) voor ventilatie tussen PV-systemen en dak van het huis;
- Er zijn PV-panelen ingezet met een zo hoog mogelijk rendement<sup>4</sup>;
- Betere betrokkenheid bewoner.

Het is aan de hand van de beschikbare gegevens niet mogelijk om aan te geven hoe groot het effect is van ieder van die redenen op de prestaties (opbrengst, Energy Yield en PR).

Een interessant gegeven is de wil van de PV-leverancier om de PV-panelen te leveren aan Stad van de Zon en de daaraan gekoppelde jaaropbrengstgarantie gedurende 10 jaar. Dit heeft geleid tot uitstekende systemen met een hoog rendement.

Ook waren uit voorgaande projecten al problemen bekend met een bepaald type inverter. Een bekend probleem was de zogenaamde OK4-inverter die direct achter de panelen geplaatst is. Een onacceptabel aantal van deze inverters heeft uiteindelijk uitval vertoond wat heeft geleid tot slecht functioneren van systemen. Deze inverters zijn achter de panelen vandaan gehaald en aan de binnenkant van het dak gemonteerd of zelfs helemaal vervangen. Bij Heerhugowaard is per systeem één inverter gebruikt, onder het dak geplaatst.

Inverters hebben een harmonische emissie die invloed heeft op de netspanningskwaliteit. Simpelweg gezegd kunnen inverters de kwaliteit van de stroom in het net verstoren, zogenaamde netvervuiling. Hoe meer systemen gekoppeld zijn, hoe groter de kans op netvervuiling. Bij Nieuwland is netvervuiling een probleem geweest. Bij Stad van de Zon heeft de netbeheerder, die verantwoordelijk is voor de spanningskwaliteit, gezegd niet de verantwoordelijkheid voor mogelijke netvervuiling door de omvormers te willen nemen. Dit probleem is uiteindelijk ondervangen door het afdingen van goede garanties bij de fabrikant van de systemen.

### 3.2 Protocol Monitoring Duurzame Energie (SenterNovem)

In het 'Protocol Monitoring Duurzame Energie' (Bosselaar, Gerlagh, 2006) wordt het theoretisch maximum (bij de ideale hellingshoek en oriëntatie, zonder beschaduwingsverliezen en met de best beschikbare inverter) geschat op 850-900 kWh/kWp. In het protocol ligt het kental voor de schatting van de gemiddelde jaarlijkse energieopbrengst (2006) op 700 kWh/kWp.

De gemiddelde Energy Yield voor Stad van de Zon ligt op 962 kWh/kWp per jaar, erg hoog in vergelijking met de Energy Yields genoemd in het Protocol Monitoring Duurzame Energie. Voor de systemen in Stad van de Zon is meer dan in Nieuwland gebruik gemaakt van ideale hellingshoek en oriëntatie. Ook is de hoge opbrengst voor een deel toe te schrijven aan het feit dat 2006 een jaar was met veel zon en derhalve veel

<sup>4</sup> Opgemerkt dient te worden dat door een constructiefout in de BP solar panelen er kans was op kortsluiting met brand als gevolg. Uit voorzorg zijn daarom alle BPsolar panelen vervangen.





instraling. In het protocol wordt geen gebruik gemaakt van de PR, waarin de instralingswaarde van een bepaald jaar wordt gebruikt voor normering. Een jaar met relatief hoge instraling kan dus leiden tot een kental dat hoger ligt dan het gemiddelde kWh/kWp kental.

In Nieuwland is een PR gerealiseerd van ongeveer 0.70 (helaas voldoet slechts een derde van de systemen daaraan). Omdat de opbrengst in kWh/kWp niet is gerapporteerd moeten we met een norm instraling werken (1.000 kWh/m<sup>2</sup>) om de PR om te rekenen naar opbrengst: 700 kWh/kWp. Echter is er bij Nieuwland sprake van een aantal systemen die een lagere opbrengst hebben. Gekeken naar de gegevens van Stad van de Zon en Nieuwland is de schatting van 700 kWh/kWp per jaar voor systemen gemaakt in 2006 (zoals genoemd in het Protocol Monitoring Duurzame Energie) een goede, maar conservatieve schatting.

Voor toekomstige projecten moet gebruik gemaakt worden van extrapolatie naar 825 kWh/kWp in 2020, als kental van een mix van bestaande en nieuwe systemen in dat jaar. Over 12 jaar (2020) functioneert Nieuwland naar verwachting nog steeds. Door de introductie van de SDE regeling wordt verwacht dat veel nieuwe netgekoppelde PV systemen gerealiseerd zullen worden, met Performance Ratios van 750 kWh/kWp en hoger. Hiermee zal de gemiddelde energieopbrengst stijgen. Het kental van 825 kWh/kWp voor 2020 is ons inziens daarmee goed gekozen.

### 3.3 Monitoringmethoden

Bij de projecten zijn verschillende monitoringsmethoden gebruikt. Zoals gezegd gaat het om Eclipse monitoring devices bij Nieuwland en om Manueel uitlezen en PLC-monitoring bij Stad van de Zon. In tabel 3 is kwalitatief aangegeven wat de voor- en nadelen van de verschillende systemen zijn, op basis van 'expert judgement'.

Tabel 3 Vergelijking Monitormethoden (score van hoog (++) naar laag (--))

Methode	Eclipse monitoring devices	Manueel	PLC
Kosten	+	--	++
Storingsgevoeligheid	-	++	--
Nauwkeurigheid	++	-	++
Uitleesfrequentie	++	--	++
Betrouwbaarheid	+	--	+
Gemak gebruiker	++	-	++

De verschillende manieren van monitoren hebben allen voor- en nadelen, die tevens nog afhangen van het wel of niet in eigendom hebben van een PV systeem en de hoogte van een terugleververgoeding. Belangrijk bij monitoren is dat met bepaalde frequentie de gegevens worden uitgelezen. Wij adviseren minimaal jaarlijks. Nog belangrijker is dat er iets gedaán wordt met de gegevens. De gegevens dienen, naast het bepalen van de hoeveelheid geleverde energie, gebruikt te worden om disfunctioneren van de systemen te kunnen waarnemen. De betrokkenheid van bewoners kan door zelfopname (manueel monitoren) worden vergroot, wanneer hij/zij inziet dat een niet of slecht functionerend systeem kan leiden tot inkomstenderving van enkele honderden euros per jaar.



## 4 Conclusies: Lessons Learned

Doel van het project waarover hier gerapporteerd wordt, is antwoord te krijgen op de volgende vragen en deze informatie te verspreiden in artikelen en brochures:

1. Hoe functioneren systemen gedurende meerdere jaren?

*De goed functionerende systemen van de twee grootste PV projecten in Nederland, Nieuwland en HAL-gebied, hebben een gemiddelde PR van resp. 0,7 en 0,81. Nieuwland heeft ook een aantal slecht functionerende systemen: tweederde heeft een PR lager dan 0.65. De oorzaken daarvan zijn bekend en elimineerbaar.*

### Performance Ratio en Energy Yield

De Performance Ratio (PR) is een kental om de prestatie van een PV-systeem weer te geven. Vrij vertaald is de PR van een PV-systeem gelijk aan de prestatie van de PV-modules in dat systeem bij standaard testcondities minus de systeemverliezen.

Systeemverliezen treden o.a. op in de modules (door afwijking van de standaard condities), de inverter en de bekabeling. Een performance ratio van 0,75 betekent derhalve dat de systeemverliezen 25% bedragen.

De PR wordt met de Energy Yield bepaald. De Energy Yield is energieopbrengst van het PV-systeem per nominaal module vermogen, weergegeven in Wh/Wp. Voor het bepalen van de PR wordt de Energy Yield verrekend met de daadwerkelijke zonne-instraling.

2. Welke lessen zijn er voor nieuwe projecten te trekken om ervoor zorg te dragen dat systemen gedurende meerdere jaren goed blijven functioneren?

*De projectontwikkelaar van Stad van de Zon heeft lessen getrokken uit het project Nieuwland. De gegevens van Nieuwland waren niet zonder meer voorhanden en zijn op eigen initiatief door hem vergaard. De gegevens en de aanbevelingen die hieruit naar voren kwamen hebben ertoe geleid dat de systemen in Stad van de Zon een veel betere prestatie behalen dan de systemen in Nieuwland. De Lessons Learned zijn (toelichting volgt verderop):*

1. *Bij het plannologisch ontwerp dient de verkaveling rekening te houden met de gewenste zuidelijke oriëntatie van de PV-systemen.*
2. *Goede dakhelling kiezen.*
3. *Goede koeling van PV-systemen is noodzakelijk.*
4. *Notariële vastlegging tot verbieden uitbouw, bomen planten etc. om schaduwwerking op de PV-systemen te voorkomen.*
5. *Bij een systeemverandering dient met de nieuwe systeemp parameters de PR te worden bepaald.*
6. *Gebruik per PV-systeem slechts 1 inverter.*
7. *Zonne-instralingsgegevens op locatie zijn benodigd om de prestaties van de systemen te kunnen bepalen.*



3. Welke aanbevelingen voor beheer/onderhoud voor toekomstige projecten zijn er uit de projecten te halen?

*Een vijftal additionele Lessons Learned zijn als antwoord hierop geformuleerd:*

- 8. Eigenaar van de PV-systemen moet betrokken zijn bij de systemen om de kans op controle en regelmatige monitoring te vergroten.*
- 9. Monitoring is noodzakelijk om de prestaties van de systemen te kunnen meten.*
- 10. Analyse van monitoringsgegevens is noodzakelijk om de prestaties van de systemen te kunnen bepalen.*
- 11. Analyse van monitoringsgegevens is noodzakelijk om disfunctioneren te kunnen waarnemen.*
- 12. Snelle respons op storingen verhoogt de prestatie van systemen.*

De geformuleerde deelvragen worden als volgt beantwoord:

- a) Verschillen tussen Amersfoort en HAL-gebied: welke lessen uit Amersfoort hebben in het HAL-gebied problemen voorkomen?  
*Projectontwikkelaar heeft op eigen initiatief de lessen geleerd, met name betreft dit de Lessons Learned (1) t/m (4) uit punt 2.*
- b) Leveren de PV-systemen ook op wat er bij aanvang van het project (of op basis van huidige toepassing) van verwacht werd?  
*Voor Nieuwland wel voor de goed functionerende systemen, voor de Stad van de Zon ook.*
- c) Klopt het kental voor de opbrengst dat in het protocol monitoring duurzame energie wordt gebruikt?  
*Ja.*
- d) Zijn er veel systemen gewijzigd, verwijderd of zijn er belangrijke wijzigingen in projecten die negatieve invloed hebben op opbrengsten?  
*De wijzigingen in Nieuwland zijn de toegevoegde dakopbouw geweest. In het HAL gebied zijn uit voorzorg alle PV modules vervangen.*
- e) Hoeveel gebreken zijn er geweest, welk onderhoud/reparatie?  
*Voor de Stad van de Zon zijn er geen gebreken geweest, anders dan het uit voorzorg vervangen van de PV modules, dankzij reeds toepassen van de 'Lessons Learned'. Bij Nieuwland zijn met name string uitval en extra beschadwing, maar ook niet functioneren van dataloggers de oorzaak van tegenvallende prestaties.*
- f) Wat is de kans op niet-functioneren en zijn daaruit aanbevelingen voor beheer te halen?  
*Hier is op dit moment niet veel over te zeggen, een nadere diepgaande analyse kan hier antwoord op geven.*
- g) Wat zijn de technische en beheersmatige oorzaken van niet- of minder functionerende systemen?  
*De oorzaak van niet- of minder goed functioneren zijn met name technisch van aard (string-errors), maar door slecht beheer treedt er een groot verlies op in energieopbrengst.*



### ***Toelichting Lessons Learned***

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

PV-systemen hebben op het Noordelijk Halfrond de hoogste opbrengst als ze op het zuiden gericht zijn. Hierom is het belangrijk bij de planologische besluitvorming het toepassen van PV-systemen mee te nemen. Bij het planologisch ontwerp moeten de daken van de woningen zuidelijk georiënteerd kadastraal ingepast worden om een maximale prestatie van de PV-systemen mogelijk te maken. Er is een geringe afname in opbrengst acceptabel, zodat verkaveling ook in zuid-west en zuid-oost mogelijkheden biedt.

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

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

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

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

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

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

- 5. Bij een systeemverandering dient met de daaruit voortvloeiende nieuwe systeemp parameters opnieuw de PR bepaald te worden.*

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

- 6. Gebruik per PV-systeem slechts één inverter.*

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



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

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

*8. Eigenaar van de PV-systemen moet betrokken zijn bij de systemen om de kans op controle en regelmatige monitoring te vergroten.*

In Nieuwland is een aantal PV-systemen op de woningen in eigendom van een elektriciteitsleverancier. De elektriciteitsleverancier houdt de opbrengsten van de systemen nauwelijks in de gaten. Omdat de opbrengsten niet gemonitord worden, wordt disfunctioneren van de systemen niet of nauwelijks waargenomen. Hierdoor gaat de gemiddelde opbrengst van deze systemen drastisch naar beneden. Zelfs als bewoners wel melding maken van eventuele storingen, leidt dit door economische motieven niet automatisch tot reparatie.

*9. Analyse van monitoringsgegevens is noodzakelijk om de prestaties van de systemen te kunnen bepalen.*

Monitoring en analyse van opbrengstgegevens is noodzakelijk om de prestaties van de systemen te kunnen bepalen, en adequaat te kunnen reageren mocht er een onverwachte teruggang in opbrengt geconstateerd wordt (meten is weten!) Monitoring is een vereiste in de toekomstige Stimuleringsregeling Duurzame Energie, die per 1 april 2008 van kracht wordt. Bij monitoring van veel kleinere systemen die dicht bij elkaar zijn geïnstalleerd (zoals Nieuwland of Stad van de Zon) is een lokale instralingsmeting zinvol, en leidt tot kleinere fouten in instraling en een nauwkeuriger bepaling van PR. Hierdoor kunnen afwijkingen ten opzichte van een normopbrengst eerder herkend worden.

*10. Analyse van monitoringsgegevens is noodzakelijk om disfunctioneren te kunnen waarnemen*

Met de prestaties van de PV-systemen bekend kan onderzocht worden of de systemen voldoen aan de systeemeisen.

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

Via monitoring kan de eigenaar van de PV-systemen achterhalen of de systemen goed, minder goed, of slecht functioneren. Afhankelijk van vermoedde oorzaak van slecht functioneren, moet een beslissing worden genomen over de te nemen acties, zoals vervangen van defecte inverter of panelen. Maar ook het eventueel aanpassen van verwachte PR door veranderingen in het PV systeem. In principe is onderhoud niet noodzakelijk. Beheer en onderhoud kan worden uitbesteed aan speciale organisaties, vaak tegen een bepaalde vergoeding. Essentieel is de beschikbaarheid van opbrengstgegevens en de snelheid van respons.



## Bronvermelding

- Bosselaar, L. T. Gerlagh. Protocol Monitoring Duurzame Energie, Update 2006, Methodiek voor het berekenen en registreren van de bijdrage van duurzame energiebronnen, Rapport 2DEN0611, Senternovem, 2006.
- Ecofys, Stringmetingen K1/K2 Nieuwland, 20 mei 2005.
- Eclipse/PV, zie [http://www.beldezon.nl/winkel/accessoires\\_eclipse.html](http://www.beldezon.nl/winkel/accessoires_eclipse.html) (Maart 2008)
- De Keizer, C., Ter Horst, E., Van Sark, W., 2008. Performance evaluation of the 1 MW building integrated PV project in Nieuwland, Amersfoort, the Netherlands, Final Report, Utrecht University, the Netherlands
- De Keizer, A.C., E. Ter Horst, E.C. Molenbroek, W.G.J.H.M. van Sark, *Evaluating 5-years performance monitoring of 1 MW building integrated PV project in Nieuwland, Amersfoort, the Netherlands*. in: Proceedings of the 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference, (Eds. G. Willeke, H. Ossenbrink, P. Helm), WIP-Renewable Energies, Munich, Germany, 2007, pp. 2960-2965.
- A. Drews, A.C. de Keizer, H.G. Beyer, E. Lorenz, J. Betcke, W.G.J.H.M. van Sark, W. Heydenreich, E. Wiemken, S. Stettler, P. Toggweiler, S. Bofinger, M. Schneider, G. Heilscher, D. Heinemann, *Monitoring and remote failure detection of grid-connected PV systems based on satellite observations*, Solar Energy 81 (2007) 548-564.
- Kil, A.J., E.C. Molenbroek, and H. Van Diermen. *Long-term performance monitoring of 500 grid connected PV systems in Amersfoort, the Netherlands*. in *19th EUPVSEC*. 2004. Paris, France: WIP, Munich, Germany, pp. 3009-3011.
- Koppen, W., 2007, Overzicht monitoring PV-systemen, Project 5 MWp 'Stad van de Zon', Koppen Vastgoed, Bergen.
- Molenbroek, E.C., A.J. Kil, A.J.N. Schoen, G. De Angelis, A. Illiceto, and F. Vlek. *Quality control in large scale projects for grid-connected PV-systems*. in Proc. 16th EUPVSEC. 2000. Glasgow, UK: James & James, London, UK, pp. 1990-1993.
- Molenbroek, E.C., A.J. Kil, A.J.N. Schoen, F. Vlek, *Quality control and performance monitoring in the 1 MW PV project in Amersfoort, the Netherlands* Conference Record of the Twenty-Eighth IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 2000, Anchorage, AK, pp. 1756 - 1759.
- Molenbroek, E.C., G. Timmers, C.P. Byrman, J. Jol, W. van den Berg, *An internet service for PV-system owners*, in Proc. 17th EUPVSEC. 2002. Munich, Germany: WIP, Munich, Germany, pp. 2609-2612.
- Orgill, J.F. and K.G.T. Hollands, Solar Energy 19 (1977) 357-359
- Perez, R., R. Seals, R. Ineichen, R. Stewart and D. Menicucci, Solar Energy 39 (1987) 221-231.
- Ramaekers, L.A.M., 'Ruimtelijke variatie instraling', Ecofys report nr. E921, june 1996
- Sjerps-Koomen, E.A., E.A. Alsema and W.C. Turkenburg, Solar Energy 57 (1996) 421-432
- Vlek, F. A.J. Kil, E.C. Molenbroek, and G. De Angelis. *Results of the 1 MW PV project in Amersfoort, the Netherlands*. in Proc. 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference. 2002. Munich, Germany: WIP, Munich, Germany, pp. 2367-2370.



Vlek, F, T. Schoen, A.J. Kil, and A. Illiceto. *1 MW decentralized and building integrated PV system in a new housing area of the city of Amersfoort, the Netherlands*. in Proc. 2nd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion. 1998. Vienna, Austria: WIP, Munich, Germany, pp. 2492-2495.

Welschen, H., mondeling overleg met Hans Welschen, Innovative Energy Concepts, June 2007.



## Appendix 1

De prestatie van de systemen wordt geëvalueerd door middel van de Performance Ratio (PR). Deze is als volgt gedefinieerd (zie ook <http://www.pv-monitoring.novem.nl/>)

$$PR = \frac{\eta_{sys}}{\eta_{stc}} = \frac{\frac{E_{fi}}{H_i \cdot A}}{\frac{P_{stc}}{G_{stc} \cdot A}} = \frac{E_{fi} \cdot G_{stc}}{H_i \cdot P_{stc}}$$

met:

$\eta_{sys}$  = systeem rendement

$\eta_{stc}$  = module rendement bij standaard test condities (STC)

$E_{fi}$  = energie opbrengst systeem (kWh/jaar)

$H_i$  = daadwerkelijke zonne-instraling op het systeem (kWh/m<sup>2</sup>/jaar)

$A$  = oppervlak van het systeem (m<sup>2</sup>)

$P_{stc}$  = nominaal module vermogen (Wp)

$G_{stc}$  = zonne-instraling op module bij standaard test condities (= 1000 W/m<sup>2</sup>)

De PR is een indicator voor de verliezen die kunnen optreden in PV systemen. Deze verliezen kunnen te maken hebben met de modules zelf, inverters, instralingspatronen, en factoren als kabelverliezen.

Voor Nieuwland zijn zowel maandelijkse energie opbrengsten als zonne-straling in het vlak van de module verkregen van Ecofys. De maandelijkse zonne-straling in het vlak van de module is door Ecofys uitgerekend op grond van globale horizontale instralingsdata van het dichtstbijzijnde KNMI station (De Bilt). Daarbij zijn algoritmes gebruikt zoals beschreven in Perez (1987) and Orgill and Holland (1977). De instraling in de PV modules is daardoor naar schatting 6% lager voor de façade systemen en 4% lager voor andere systemen (Sjerps-Koomen, 1996).

### *Nauwkeurigheid van PR berekening*

Er zijn een aantal bronnen van onzekerheid in de berekening van de PR. Ten eerste, de energie opbrengst wordt uitgerekend met kWh tellers, die een onnauwkeurigheid hebben van 2%. Ten tweede geldt dat het nominale vermogen van de modules verschillend kan zijn per module (fabrikanten specificeren dit vaak met 5 of 10% nauwkeurigheid). De belangrijkste onnauwkeurigheid is in de berekening van de instraling in het vlak van de module, omdat deze gebaseerd is op globale horizontale instralingsdata van het KNMI station in De Bilt, dat 20 km verwijderd is van Nieuwland. De fout die hiermee wordt geïntroduceerd is ongeveer 3.6% (Ramaekers, 1996). De conversie naar instraling in het vlak leidt tot nog enigszins grotere fouten, zeker voor systemen met grote tilt hoeken (façade). Een analyse van data voor het jaar 2001 heeft geleid tot vaststelling van een fout door instralingsberekeningen van 4-8% op jaarbasis. Ondanks de optredende onnauwkeurigheden, is monitoring met een Eclipse uitermate zinnig als beheersinstrument.