

# **Energy rating procedure voor PV-modules**

**N.J.C.M. van der Borg**

**M.J. Jansen**

Oktober 2005

## Verantwoording

De hier beschreven werkzaamheden zijn uitgevoerd in het kader van het ECN-Engine programma van 2005; Cluster PV-netgekoppeld (budget 7.9008). In ditzelfde project wordt deelgenomen aan het Europese Coordinated Action project PV-CAtapult. Deze laatste werkzaamheden worden niet in dit rapport gerapporteerd.

## Abstract

The performance of PV-modules is usually characterized by the nominal power at standard test conditions. However more relevant for the end-user is the energy production. To arrive at a so-called energy rating procedure the  $P(G_i, T_m)$  matrix is defined, which makes it possible to calculate the expected annual energy production of a PV-module at any given location with known frequency distribution of horizontal irradiation and ambient temperature.

In order to make the  $P(G_i, T_m)$  independent of the time and location of the tests the effective irradiation ( $G_i$ ) is measured with a device with the same characteristics as the module under test. Such a device can be a suitable reference cell or, even better, the module under test itself. The latter, however, is only possible in case the module under test is stable in time.

Measurements were performed to test the applicability of the so-called self-reference for a-Si modules. Furthermore the difference between the effective irradiance and the real irradiance (measured with a pyranometer) was quantified for the test location Petten, the Netherlands.

The conclusions are:

- Self-reference is not applicable for a-Si modules because of the time instability, even after 1 full year of degradation.
- Self-reference signals (the short circuit current of the module under test) can be calibrated outdoor by comparison with a pyranometer at irradiance levels above  $800 \text{ W/m}^2$ . The uncertainty of such a calibration is within 3%.
- The difference between the effective irradiance and the real irradiance on annual basis at Petten is virtually zero for  $\mu$ -Si modules and about 1% for a-Si modules.

## Inhoud

|  |    |
|--|----|
| Lijst van tabellen                                     | 4  |
| Lijst van figuren                                      | 4  |
| Samenvatting   | 5  |
| 1. Inleiding   | 7  |
| 2. Gebruikte meetgegevens                              | 9  |
| 3. Resultaten  | 11 |
| 3.1 Stabiliteit zelfreferentie                         | 11 |
| 3.2 Geschikte momenten voor buitenkalibratie           | 13 |
| 3.3 Effectieve instraling versus werkelijke instraling | 21 |
| 4. Conclusies  | 23 |
| 5. Referenties   | 24 |

## Lijst van tabellen

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Tabel 3.1 | <i>Gemiddelde verhouding tussen instralingswaarde verkregen met de pyranometer en de referentiecel (mits instraling <math>&gt;800 \text{ W/m}^2</math> en stabiel).....</i> | 15 |
|-----------|---|----|

## Lijst van figuren

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Figuur 2.1  | <i>Schets van de buitenopstelling .....</i>  | 9  |
| Figuur 2.2  | <i>Gemeten spectrale gevoeligheid van de "a-Si" referentiecel (x-Si cel met infraroodfilter) .....</i>       | 10 |
| Figuur 2.3  | <i>Gemeten spectrale gevoeligheid van de x-Si referentiecel .....</i>  | 10 |
| Figuur 3.1  | <i>Relatie tussen de kortsluitstroom van x-Si module 4 en de x-Si referentiecel in augustus 2004 .....</i>   | 12 |
| Figuur 3.2  | <i>Relatie tussen de kortsluitstroom van x-Si module 4 en de x-Si referentiecel in juli 2005 .....</i>       | 12 |
| Figuur 3.3  | <i>Relatie tussen de kortsluitstroom van a-Si module 2 en de "a-Si" referentiecel in augustus 2004 .....</i> | 13 |
| Figuur 3.4  | <i>Relatie tussen de kortsluitstroom van a-Si module 2 en de "a-Si" referentiecel in juli 2005 .....</i>     | 13 |
| Figuur 3.5  | <i>Verhouding tussen de pyranometer en de referentiecel in augustus 2004.....</i>                            | 16 |
| Figuur 3.6  | <i>Verhouding tussen de pyranometer en de referentiecel in september 2004 .....</i>                          | 16 |
| Figuur 3.7  | <i>Verhouding tussen de pyranometer en de referentiecel in oktober 2004.....</i>                             | 17 |
| Figuur 3.8  | <i>Verhouding tussen de pyranometer en de referentiecel in november 2004.....</i>                            | 17 |
| Figuur 3.9  | <i>Verhouding tussen de pyranometer en de referentiecel in december 2004 .....</i>                           | 18 |
| Figuur 3.10 | <i>Verhouding tussen de pyranometer en de referentiecel in januari 2005 .....</i>                            | 18 |
| Figuur 3.11 | <i>Verhouding tussen de pyranometer en de referentiecel in februari 2005.....</i>                            | 19 |
| Figuur 3.12 | <i>Verhouding tussen de pyranometer en de referentiecel in maart 2005 .....</i>                              | 19 |
| Figuur 3.13 | <i>Verhouding tussen de pyranometer en de referentiecel in april 2005 .....</i>                              | 20 |
| Figuur 3.14 | <i>Verhouding tussen de pyranometer en de referentiecel in mei 2005 .....</i>                                | 20 |
| Figuur 3.15 | <i>Verhouding tussen de pyranometer en de referentiecel in juni 2005 .....</i>                               | 21 |
| Figuur 3.16 | <i>Verhouding tussen de pyranometer en de referentiecel in juli 2005 .....</i>                               | 21 |
| Figuur 3.17 | <i>Vergelijking tussen de "effectieve instraling" en de werkelijke instraling.....</i>                       | 22 |

## Samenvatting

Het is gebruikelijk om de prestatie van PV-modules te karakteriseren met het nominale vermogen onder standaard testcondities (STC). Echter dit nominaal vermogen geeft geen directe indicatie voor de energieopbrengst. Om tot een karakteristiek voor de energie-opbrengst (energy rating) te komen wordt de prestatie van de module gekarakteriseerd met de  $P(G_i, T_m)$  matrix waarmee de te verwachten jaaropbrengst voor elke locatie berekend kan worden met behulp van de voorkomensverdeling van omgevingstemperatuur en instraling op het horizontale vlak.

Om de  $P(G_i, T_m)$  matrix onafhankelijk te laten zijn van de testperiode en testlocatie wordt de effectieve instraling ( $G_i$ ) gemeten met een sensor met identieke karakteristieken als de te karakteriseren PV-module. Hiervoor kan een geschikte referentiecel gebruikt worden of, nog beter, de te karakteriseren PV-module zelf mits deze stabiel in de tijd is.

Onderzocht is of deze zogenaamde zelfreferentie bruikbaar is bij a-Si modules. Tevens is (voor Petten) gekwantificeerd wat het verschil is tussen de effectieve instraling en de werkelijke instraling zoals verkregen met een pyranometer.



## 1. Inleiding

De prestatie van een PV-module wordt veelal beschreven door het nominale vermogen ( $W_p$ ) bij standaard test condities ( $G_i = 1000 \text{ W/m}^2$ , loodrechte inval, referentiespectrum AM1.5,  $T_m = 25^\circ\text{C}$ ). Echter het vermogen is van ondergeschikt belang ten opzichte van de jaarlijkse energieproductie. In referentie [1] is aangetoond dat de jaarlijkse energieproductie van een kristallijn PV-module voor een bepaalde locatie (met bekende voorkomensverdeling van omgevingstemperatuur en instraling) berekend kan worden via de module-rendement als functie van instraling (in-plane) en module temperatuur. Op deze manier wordt de prestatie van de module gekarakteriseerd met de  $P(G_i, T_m)$  matrix waarmee de te verwachten jaaropbrengst voor elke locatie berekend kan worden met behulp van de voorkomensverdeling van omgevingstemperatuur en instraling op het horizontale vlak. Het converteren van de instraling naar het getilde vlak en de berekening van de moduletemperatuur gaat via bekende procedures. Echter effecten van het spectrum, invalshoek (en eventuele vervuiling/veroudering) worden daarbij niet in rekening gebracht. Daarmee is de  $P(G_i, T_m)$  matrix niet een zuivere karakteristiek van de module maar tevens afhankelijk van de locatie en oriëntatie en zelfs van de testperiode. In dit rapport wordt ingegaan op de volgende twee doelen van het onderzoek.

### Doel 1: Ontwikkelen van een zuivere modulekarakteristiek voor Energy Rating

Voor dit doel wordt geprobeerd een procedure te ontwikkelen om de  $P(G_i, T_m)$  matrix onafhankelijk te maken van de testlocatie en van de testperiode. In essentie komt dit neer op de bepaling van de "effectieve instraling", dat wil zeggen de denkbeeldige instraling die bij loodrechte inval en het AM1.5 spectrum dezelfde respons in de PV-module teweeg brengt als de werkelijk gemeten instraling (pyranometer). Feitelijk wordt deze procedure stilzwijgend gevolgd in ref. [1] door het gebruik van een x-Si referentiecel voor metingen aan een x-Si module. Echter voor andere moduletechnologieën is niet altijd een referentiecel beschikbaar. Daarom zal de instraling op het moment van de test afgeleid worden van de kortsluitstroom van de onderzochte module zelf (mits deze stabiel is in de tijd!) met de volgende formule:

$$G_{i,eq}^{test} = \frac{I_{sc}^{test}}{I_{sc}^{STC}} * 1000 \text{ Wm}^{-2}$$

Hiervoor is het nodig om de kortsluitstroom bij STC te kennen. Deze waarde wordt gemeten door de kortsluitstroom en de instraling (pyranometer) te meten op een moment dat de condities vrijwel gelijk zijn aan STC. Onderzocht is welke momenten (tijdstip van de dag, seizoen, instralingsswaarde) daar geschikt voor zijn. Het resultaat daarvan bepaalt de minimale testduur en optimale testperiode om de voorgestelde procedure toe te passen.

### Doel 2: Verschil tussen werkelijke instraling en effectieve instraling te Petten

Het concept van de "zuivere modulekarakteristiek" is gebaseerd op het gebruik van een referentiecel, eventueel zelfreferentie. Daarmee is de karakteristiek onafhankelijk van testlocatie, oriëntatie en periode. Hiermee kan de energy rating bepaald worden voor een (internationaal) af te spreken instralingstijdreeks.

Echter om tot een werkelijke energieverwachting te komen voor een bepaalde locatie zal de effectieve instraling voor die locatie bekend moeten zijn. De beschikbare data zijn globale instraling op het horizontale vlak en de omgevingstemperatuur (uurwaarden voor een test referentie jaar). De effecten van tilthoek en reflectie kunnen redelijk goed berekend worden (bv. met ECN-Yield programma of het programma PVsyst) maar de kennis over het spectrum ontbreekt. De gebruikelijke procedure voor energievoorspelling is gebaseerd op het gebruik van een modulekarakteristiek, verkregen op basis van effectieve instraling (referentiecel) in combinatie met de werkelijke instraling, verkregen door het KNMI (pyranometer). Door het verwaarlozen van het verschil tussen effectieve instraling en werkelijke instraling ontstaat een fout in de voorspelde energie. Doel 2 voor dit project is het kwantificeren van de grootte van

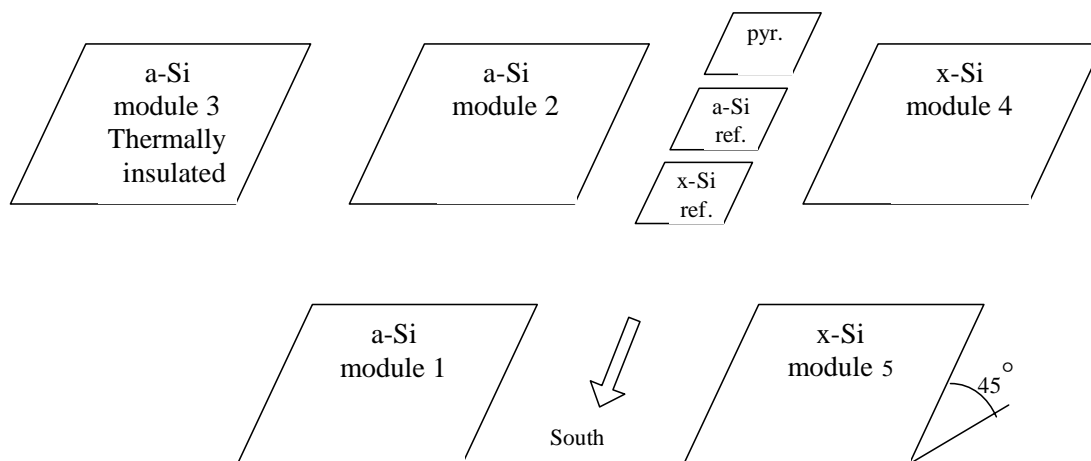
deze fout voor x-Si en voor a-S- voor de testlocatie Petten en een zuid-georiënteerd systeem met tilthoek 45°.



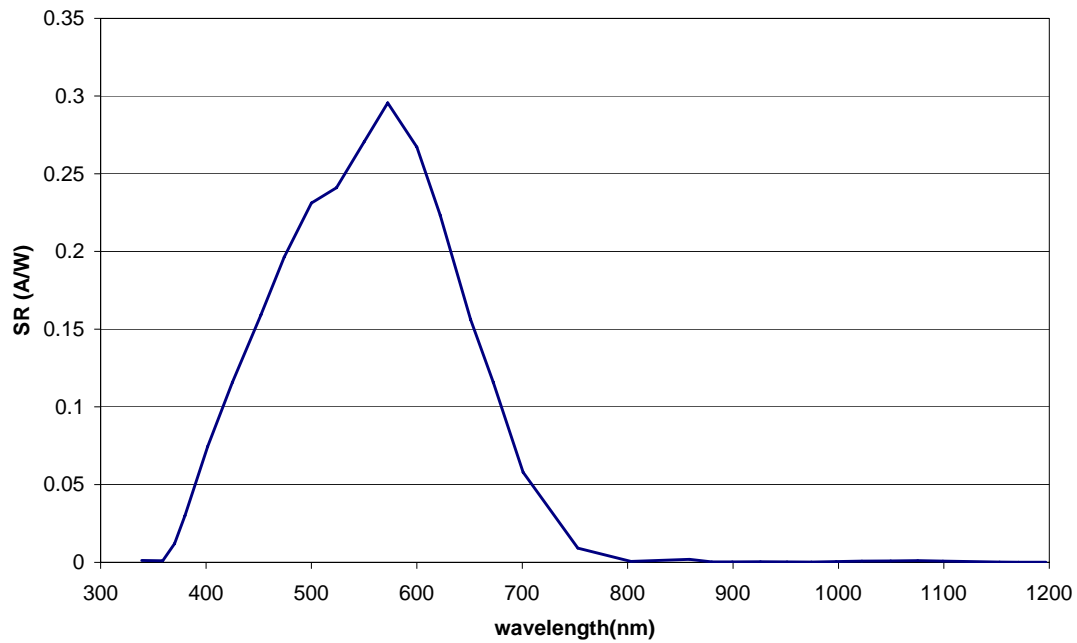
## 2. Gebruikte meetgegevens

In dit onderzoek is gebruik gemaakt van een meetopstelling op het dak van het DE-gebouw van ECN. Een schets van de opstelling is gegeven in Figuur 2.1. Er is sprake van drie a-Si modules, twee x-Si modules, een pyranometer en twee referentiecellen (co-planair). De pyranometer is gekalibreerd door de leverancier (Kipp en Zonen) en de referentiecellen door ECN-Zon. De gemeten spectrale respons van de twee referentiecellen is gegeven in Figuur 2.2 en Figuur 2.3. De zogenaamde "a-Si" referentiecel is gemaakt van een kristallijn silicium cel en een infrarood filter (KG5 glas) waardoor de cel een spectrale gevoeligheid heeft die sterk lijkt op die van a-Si. Tevens heeft deze "a-Si" referentiecel de stabiliteit van kristallijn silicium.

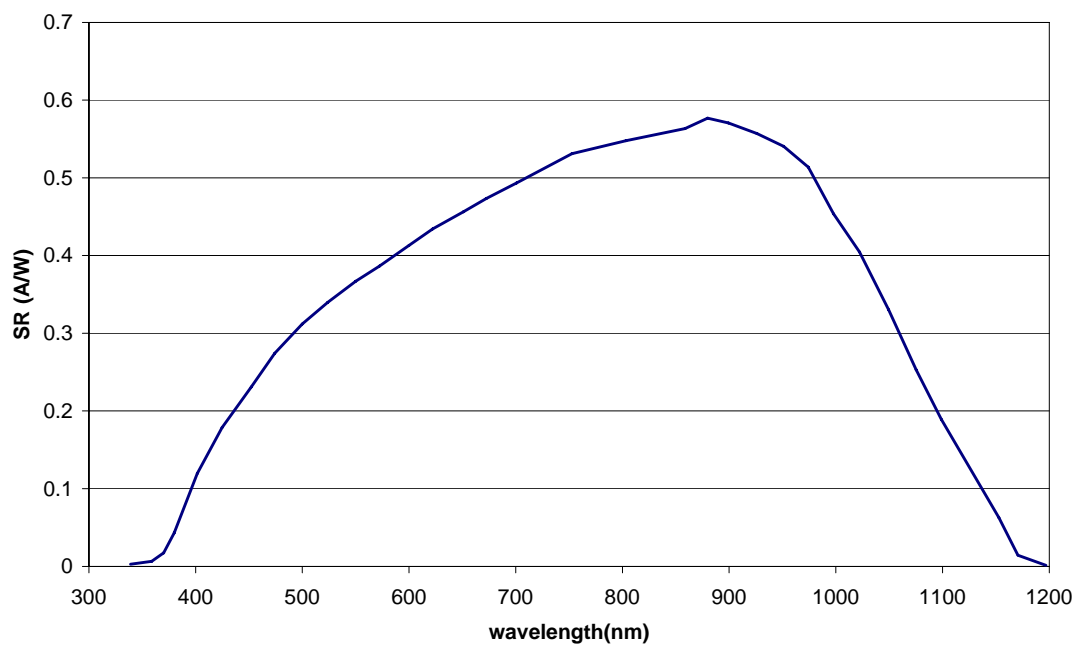
De IV-karakterieken van elk van de vijf PV-modules en de bijbehorende instalingswaarden (pyranometer en referentiecellen) worden éénmaal per 10 minuten gemeten gedurende een meettijd van ongeveer 1 seconde. De gegevens in dit rapport zijn verkregen over een periode van een jaar (1 augustus 2004 - 31 juli 2005).



Figuur 2.1 Schets van de buitenopstelling



Figuur 2.2 *Gemeten spectrale gevoeligheid van de "a-Si" referentiecel (x-Si cel met infraroodfilter)*



Figuur 2.3 *Gemeten spectrale gevoeligheid van de x-Si referentiecel*

### 3. Resultaten

#### 3.1 Stabiliteit zelfreferentie

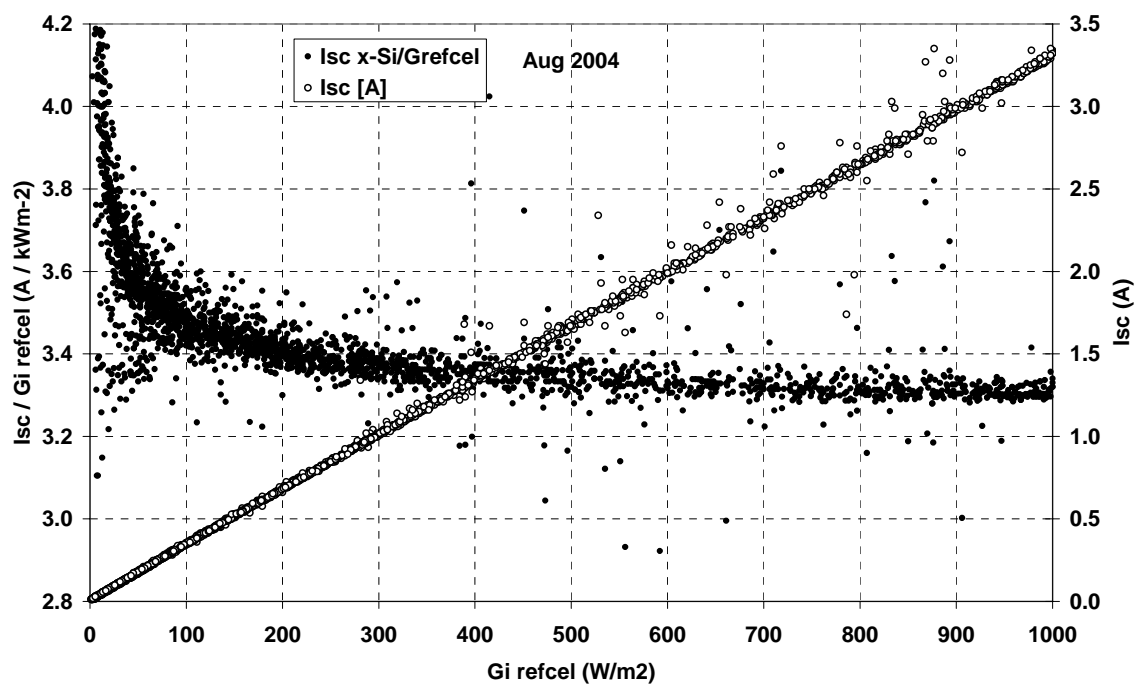
Om de gemeten modulekarakteristiek ongevoelig te maken voor de keuze van de testlokatie en testperiode is het wenselijk om niet de werkelijke instraling in het modulevlak te meten maar een "effectieve instraling", dat wil zeggen de instralingswaarde bij loodrechte inval en een spectrum van AM1.5 die dezelfde kortsluitstroom van de module veroorzaakt als de werkelijke instraling (de integraal van het actuele spectrum). Veelal wordt hiervoor een referentiecél gebruikt van dezelfde technologie maar in feite kan ook de kortsluitstroom van de te testen module als instralingsindicator gebruikt worden (zelfreferentie). Een voorwaarde daarvoor is dat de kortsluitstroom stabiel is in de tijd (dus niet degradeert). De stabiliteit van de kortsluitstroom van de onderzochte a-Si en x-Si modules is onderzocht door meetresultaten van augustus 2004 te vergelijken met die van juli 2005. De modules hebben een initiële degradatie ondergaan doordat ze vanaf december 2003 buitengestaan hebben.

De waarde van de kortsluitstroom van x-Si module 4 is vergeleken met de instralingswaarde verkregen met de x-Si referentiecél en de waarde van de kortsluitstroom van a-Si module 2 is vergeleken met de instralingswaarde verkregen met de "a-Si" referentiecél. Het resultaat voor de eerste maand van het onderzochte jaar en voor de laatste maand van het onderzochte jaar is gepresenteerd in Figuur 3.1 tot en met Figuur 3.4. De meetpunten in de figuren zijn verkregen uit de 1-seconde durende IV-metingen.

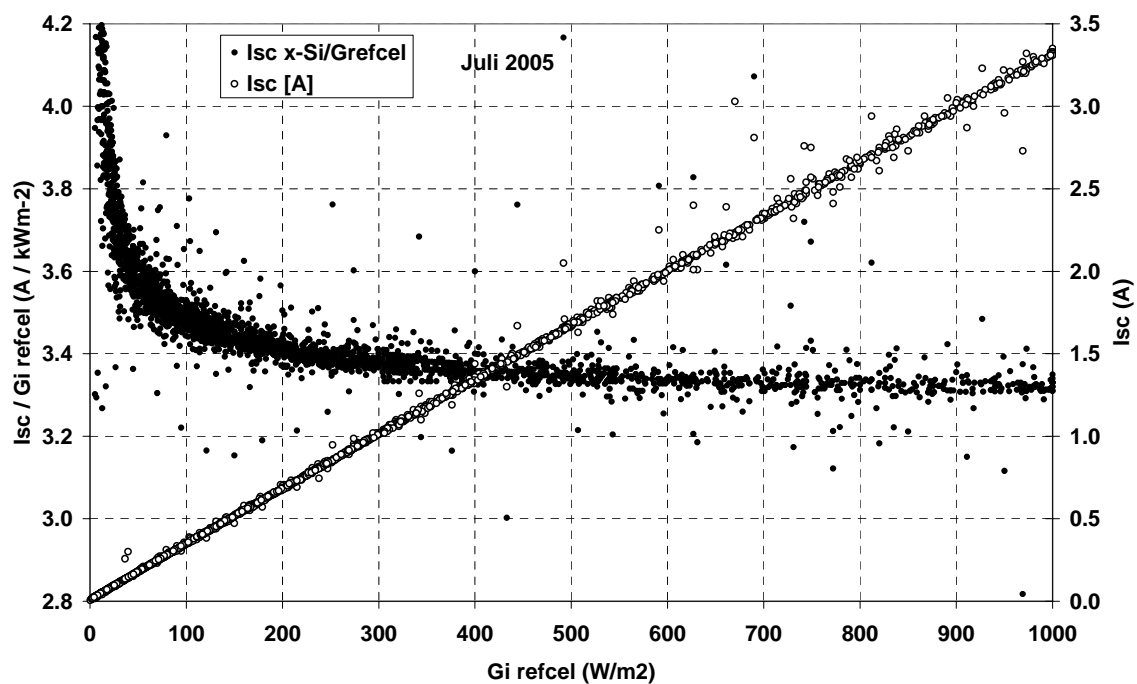
De verhoudingswaarden in de figuren lijken aan te geven dat de referentiecél en/of de zelfreferentie (kortsluitstroom) bij lage instralingen niet lineair is. Echter kleine afwijkingen in de nulpunten van de diverse meetsignalen geven al grote effecten op de verhoudingswaarden. Ook kan er in principe sprake zijn van geringe verschillen tussen de spectrale gevoeligheid of reflectieverlies tussen de modules en de bijbehorende referentiecellen. Deze effecten hebben de grootste invloed bij lage instralingswaarden (lage zonnestand, scherpende inval). Daardoor is er geen significante aanwijzing dat de kortsluitstroom van de referentiecellen of van de modules niet lineair zou zijn met de (effectieve) instraling.

Verder lijken de figuren van de a-Si module enigszins te dalen bij hoge instraling. Dit wordt veroorzaakt door het verschil in temperatuurcoëfficiënt van de "a-Si" referentiecél, die in feite bestaat uit x-Si, en van het a-Si module.

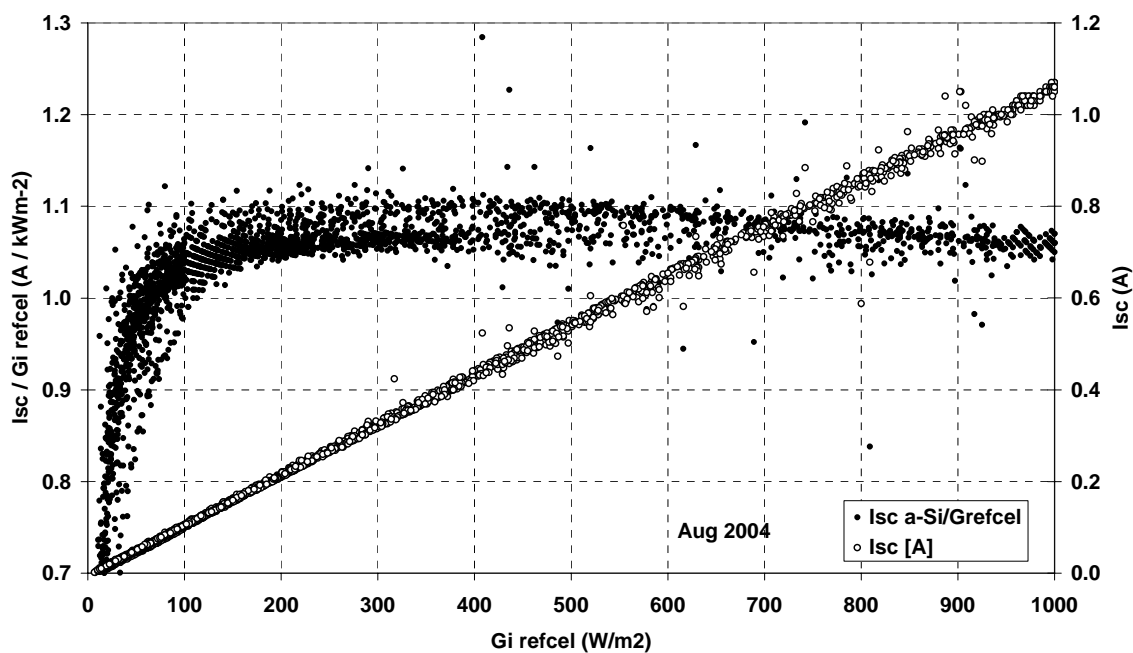
Vergelijking van de resultaten van augustus 2004 met juli 2005 laat zien dat de kortsluitstroom van de a-Si module een beetje gedegradéerd is zodat de zelfreferentiemethode niet toegepast kan worden bij de a-Si module.



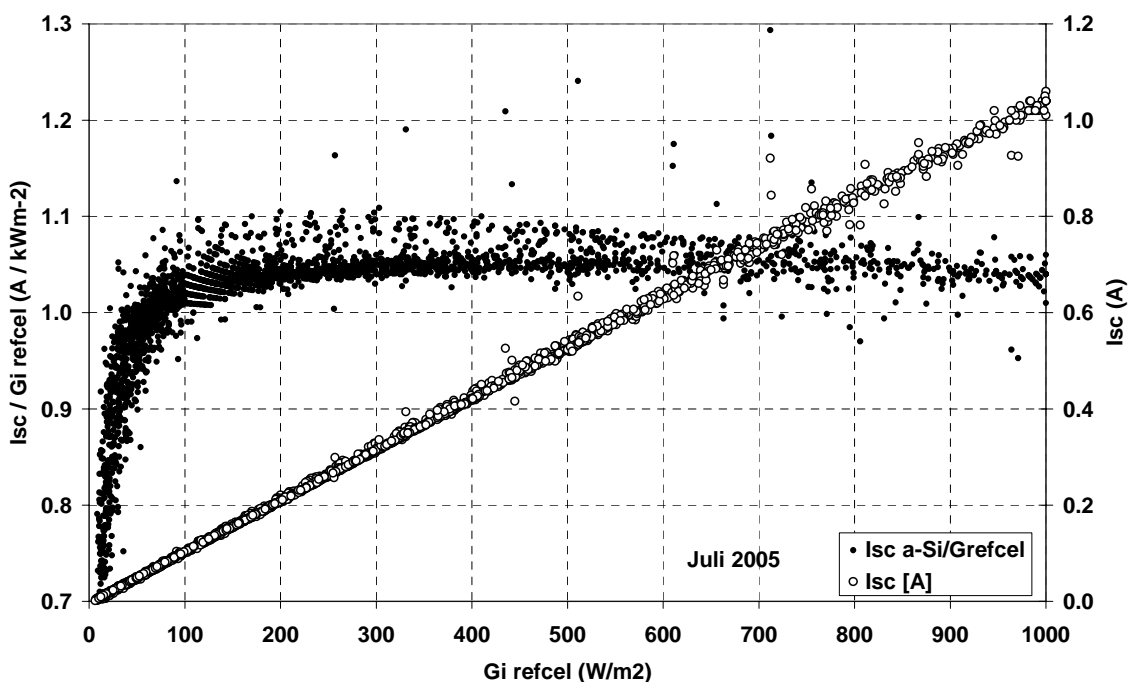
Figuur 3.1 Relatie tussen de kortsluitstroom van x-Si module 4 en de x-Si referentiecel in augustus 2004



Figuur 3.2 Relatie tussen de kortsluitstroom van x-Si module 4 en de x-Si referentiecel in juli 2005



Figuur 3.3 *Relatie tussen de kortsluitstroom van a-Si module 2 en de "a-Si" referentiecel in augustus 2004*



Figuur 3.4 *Relatie tussen de kortsluitstroom van a-Si module 2 en de "a-Si" referentiecel in juli 2005*

### 3.2 Geschikte momenten voor buitenkalibratie

Indien de methode van zelfreferentie geschikt is voor een module dient de module gekalibreerd te worden, dat wil zeggen dat de waarde van de kortsluitstroom bij STC-condities gemeten moet worden. Dit kan gedaan worden door gebruik te maken van een pyranometer op momenten dat

de condities overeenkomen met STC (loodrechte inval, AM1.5 spectrum,  $1000\text{W/m}^2$  instraling en moduletemperatuur  $25^\circ\text{C}$ ). Het probleem is dat deze situatie zich zelden of nooit voordoet en zelfs dan moet de situatie als zodanig herkend worden. Om te onderzoeken hoe groot de effecten zijn van afwijkende STC-condities op de kalibratiewaarde is de instraling verkregen met de referentiecellen vergeleken met die instraling verkregen met de pyranometer. Hierbij is geen rekening gehouden met de temperatuur van de referentiecellen. In beide gevallen (x-Si en "a-Si") is de temperatuurcoëfficiënt voor kortsluitstroom  $0.07\%/K$  hetgeen afwijkingen tussen pyranometer en referentiecel kan veroorzaken van een aantal procenten.

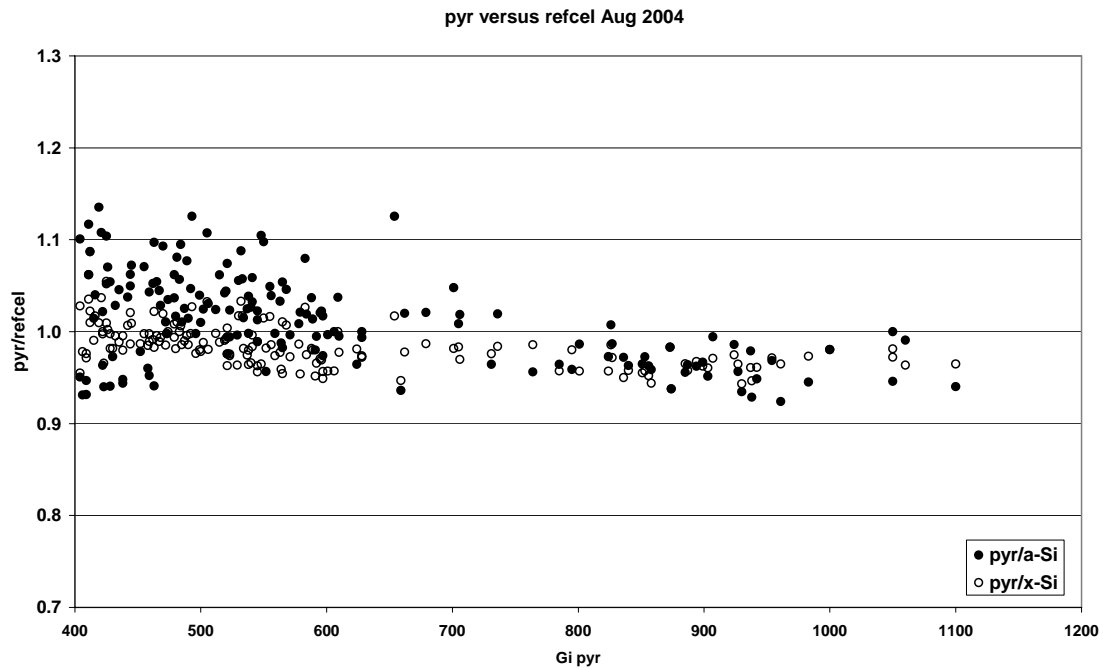
De resultaten van elk van de 12 maanden van het meetjaar zijn gegeven in Figuur 3.5 tot en met Figuur 3.16. De meetpunten in de figuren zijn verkregen uit de 1-seconde durende IV-metingen. Alleen de meetwaarden zijn weergegeven die verkregen zijn bij instralingen boven  $400\text{W/m}^2$  en gedurende relatief stabiele instralingcondities. Voor dit laatste is als arbitrair criterium gebruikt dat de instralingwaarde, gemeten met de (trage) pyranometer gedurende de meetduur van ongeveer 1 seconde niet meer mag variëren dan  $2\text{W/m}^2$ .

Uit de figuren blijkt dat de verhouding tussen de meetwaarde van de pyranometer en van de referentiecel tamelijk constant is voor instralingwaarden boven  $800\text{W/m}^2$ . Dit geldt zowel voor de x-Si referentiecel als voor de "a-Si" referentiecel. Kennelijk zijn de afwijkingen van het invallend spectrum ten opzichte van AM1.5 bij hoge instralingen zodanig dat ze niet erg veel invloed hebben op de kortsluitstroom van de referentiecellen. Dit geldt zelfs voor de "a-Si" referentiecel met de bijbehorende smalle spectrale gevoeligheid (Figuur 2.2).

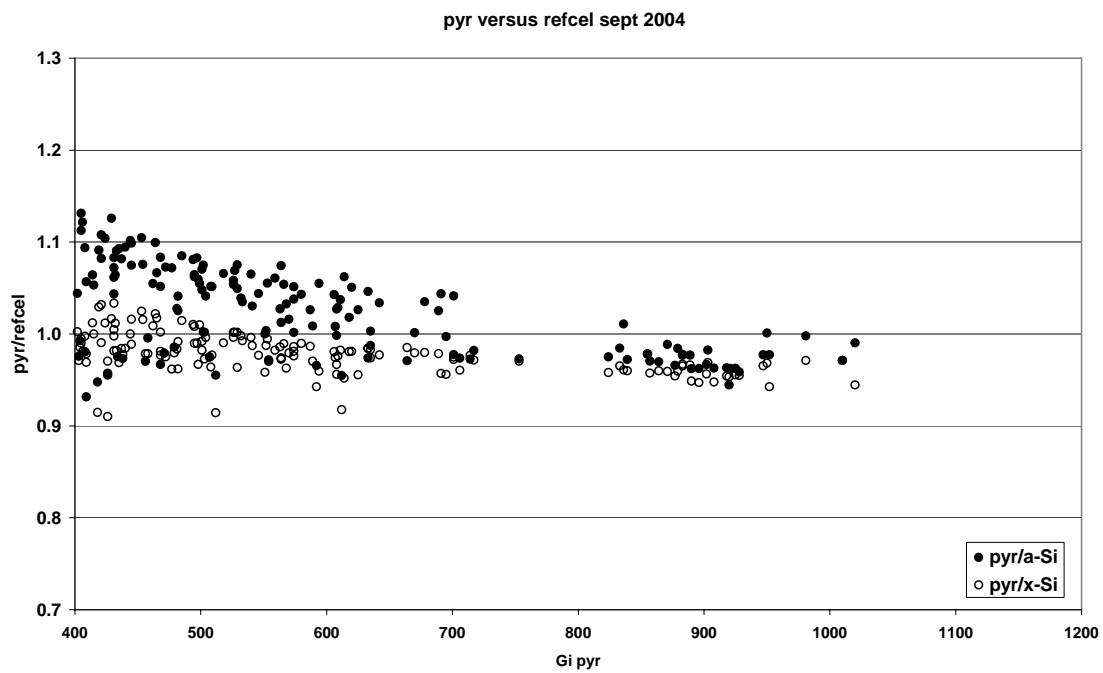
De gemiddelde waarde van de meetwaarden in de figuren, verkregen van alle meetwaarden boven  $800\text{W/m}^2$  en een stabiele pyranometer-meting (variatie beneden  $2\text{W/m}^2$  in de meetperiode van ongeveer 1 s), zijn per maand gegeven in de tabel Tabel 3.1. Buitenkalibratie blijkt mogelijk te zijn tijdens een stabiele instraling boven  $800\text{W/m}^2$ . De onzekerheid in kalibratie is in de orde van 3%, zelfs voor de "a-Si" referentiecel. Deze onzekerheid wordt door een deel veroorzaakt door het verwaarlozen van de temperatuurcoëfficiënt van de kortsluitstroom van de te kalibreren module, in dit geval van de referentiecellen. Als deze coëfficiënt erg groot is (groter dan die van x-Si) wordt de kalibratie-onzekerheid groter, tenzij voor het effect gecorrigeerd wordt.

Tabel 3.1 *Gemiddelde verhouding tussen instralingswaarde verkregen met de pyranometer en de referentiecél (mits instraling  $>800 \text{ W/m}^2$  en stabiel)*

| maand   | pyr / a-Si | pyr / x-Si |
|---|------------|------------|
| aug-04  | 0.97       | 0.96       |
| sep-04  | 0.97       | 0.96       |
| okt-04  | 1.00       | 0.97       |
| Nov-04 t/m feb-05:<br>Pyr $< 800 \text{ W/m}^2$ |            |            |
| mrt-05  | 1.01       | 0.99       |
| apr-05  | 1.01       | 0.99       |
| mei-05  | 0.99       | 0.98       |
| jun-05  | 0.97       | 0.97       |
| jul-05  | 0.96       | 0.98       |

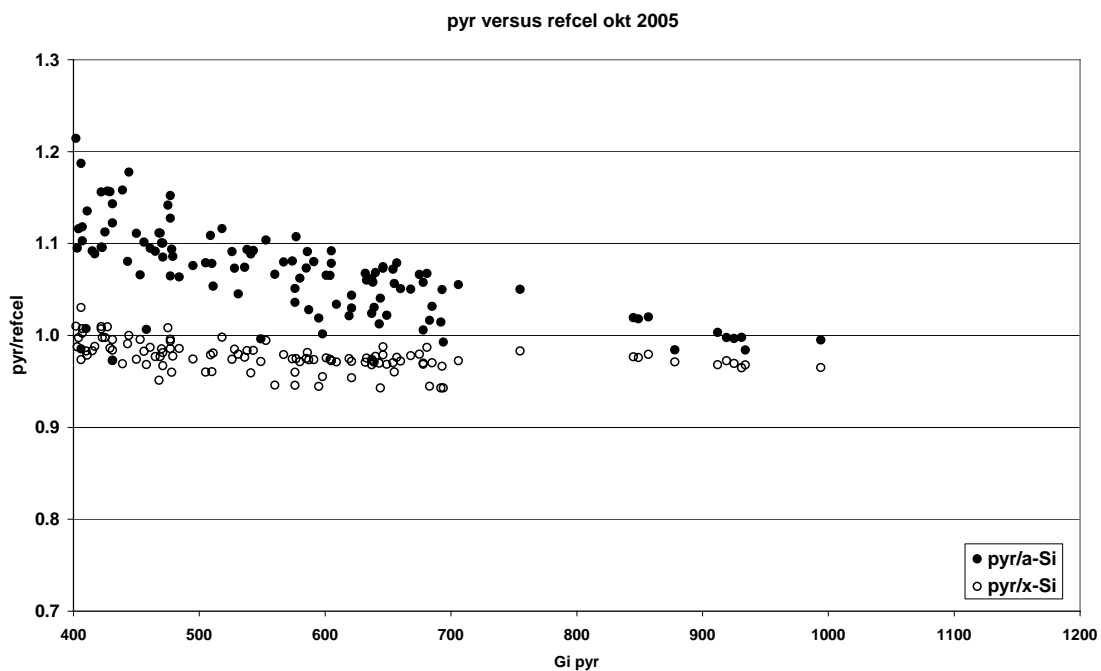


Figuur 3.5 *Verhouding tussen de pyranometer en de referentiegel in augustus 2004*

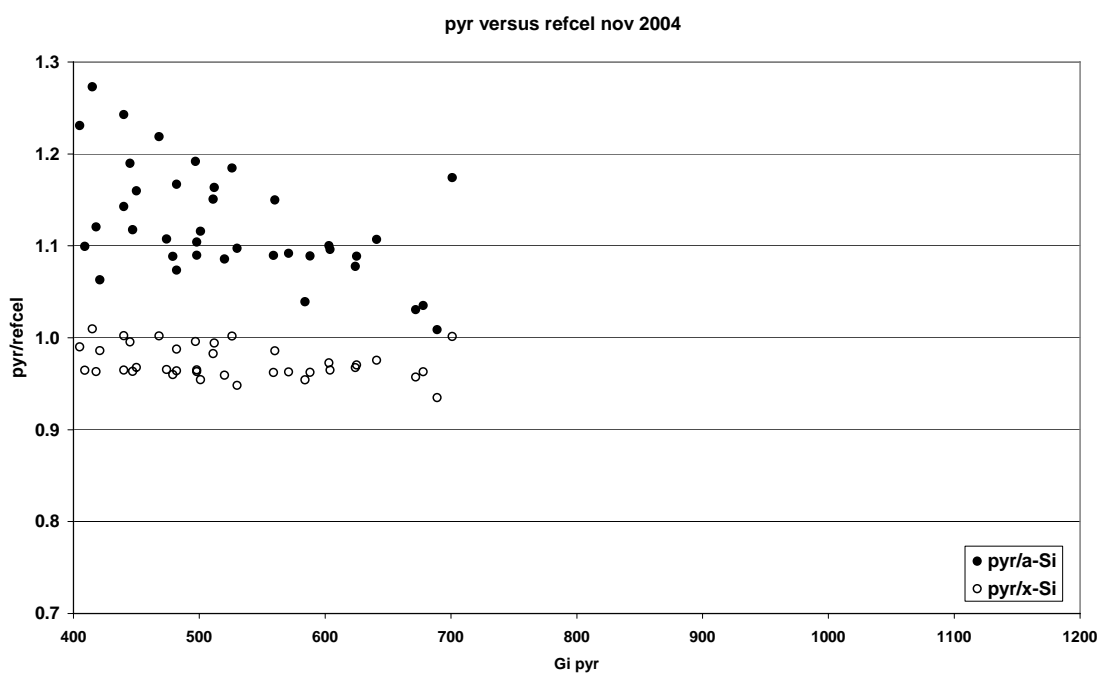


Figuur 3.6 *Verhouding tussen de pyranometer en de referentiegel in september 2004*

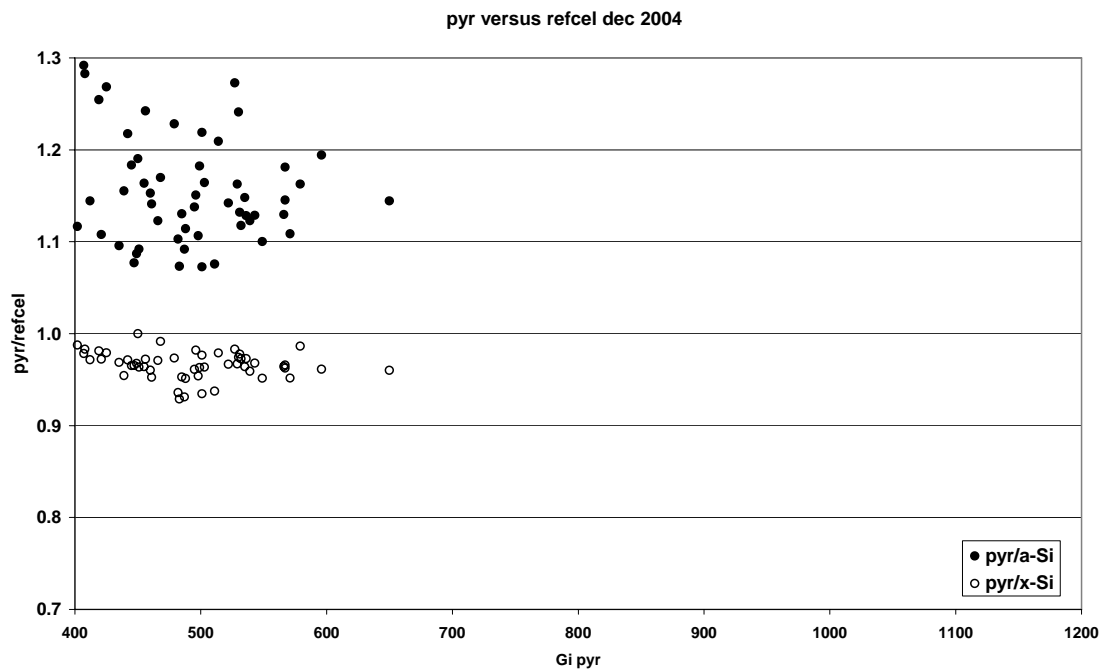




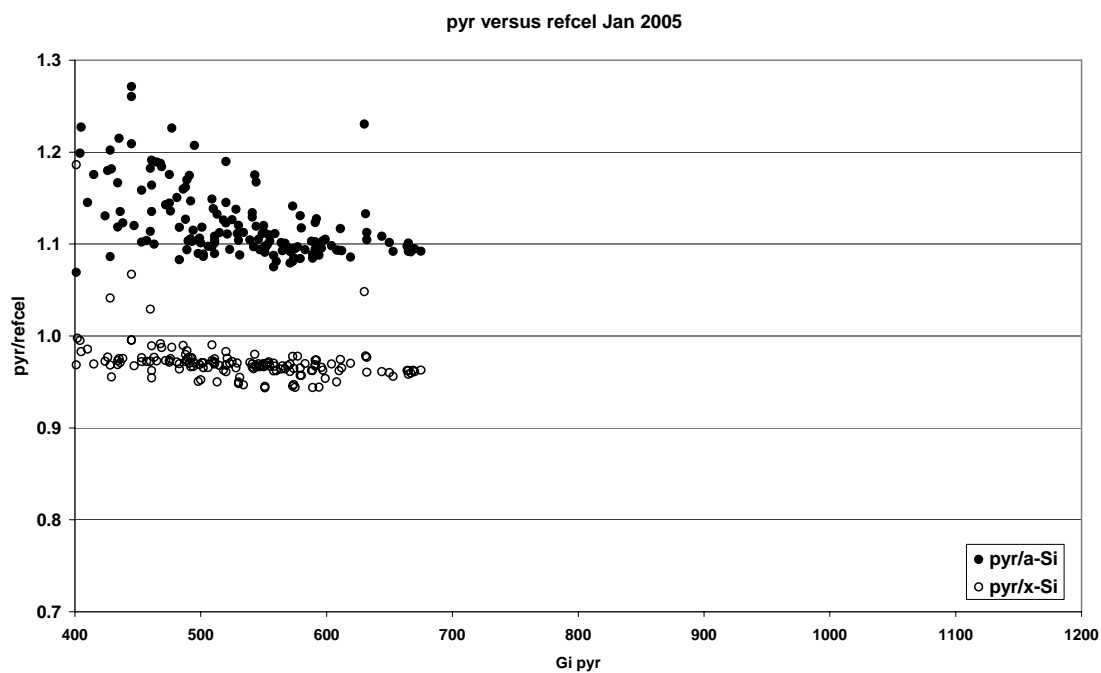
Figuur 3.7 *Verhouding tussen de pyranometer en de referentiecel in oktober 2004*



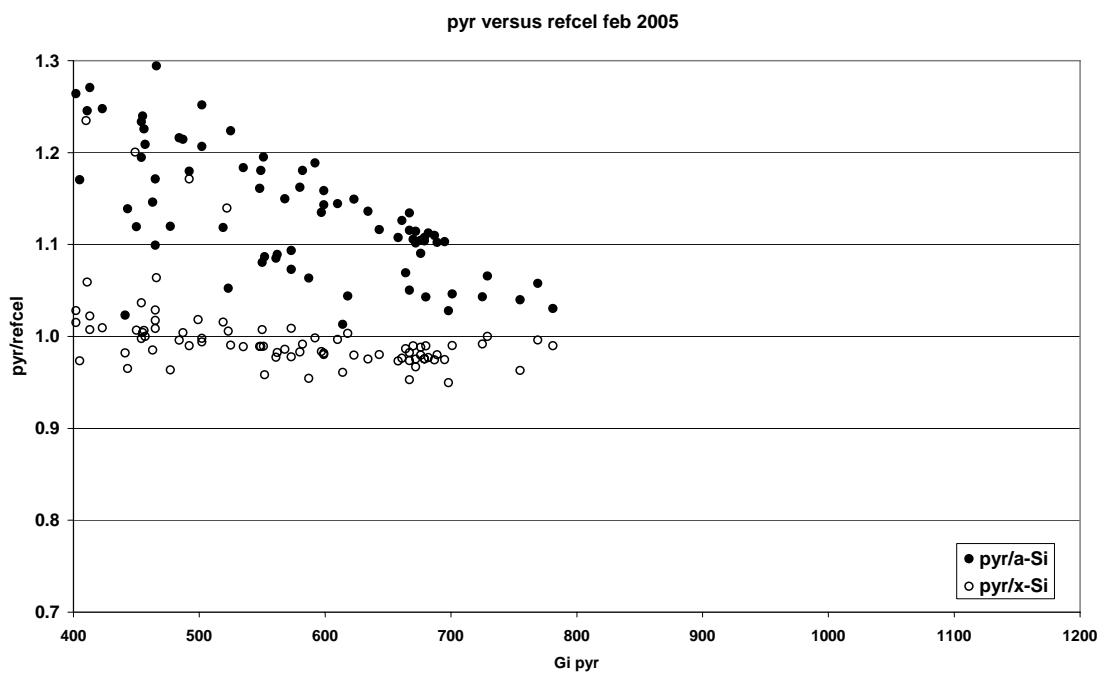
Figuur 3.8 *Verhouding tussen de pyranometer en de referentiecel in november 2004*



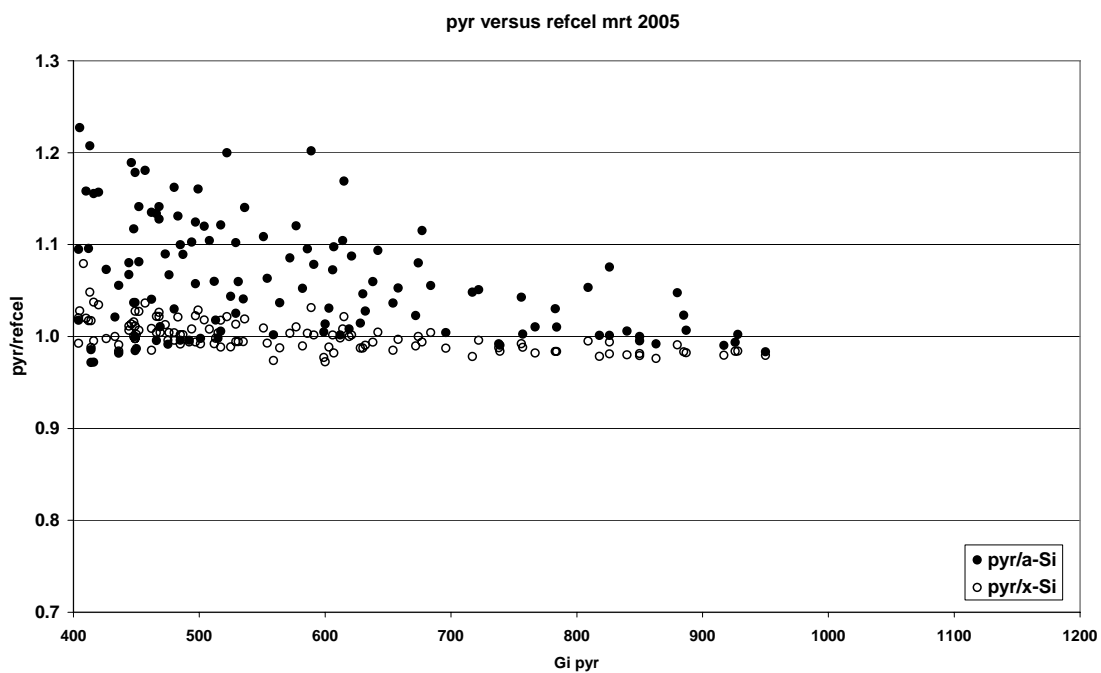
Figuur 3.9 *Verhouding tussen de pyranometer en de referentiecel in december 2004*



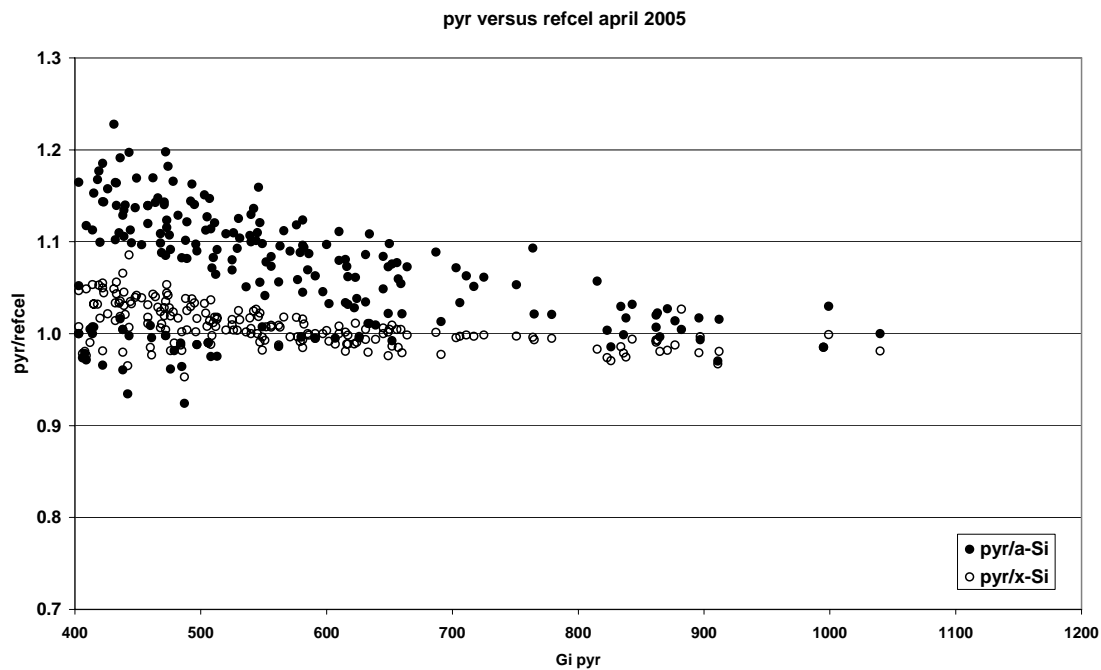
Figuur 3.10 *Verhouding tussen de pyranometer en de referentiecel in januari 2005*



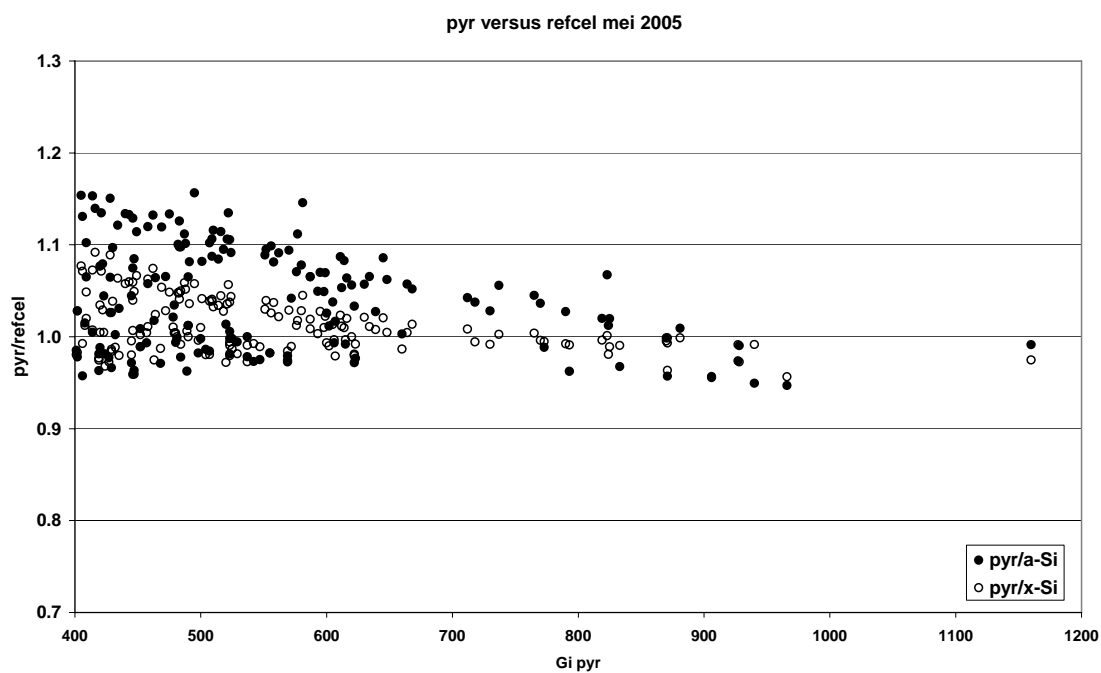
Figuur 3.11 *Verhouding tussen de pyranometer en de referentiecel in februari 2005*



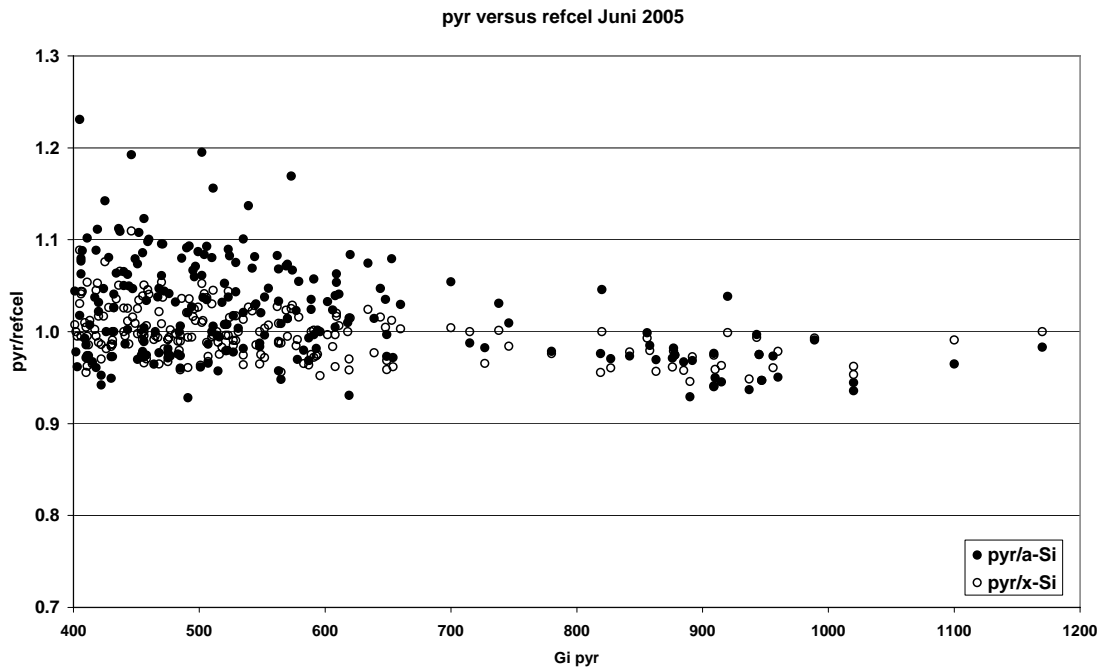
Figuur 3.12 *Verhouding tussen de pyranometer en de referentiecel in maart 2005*



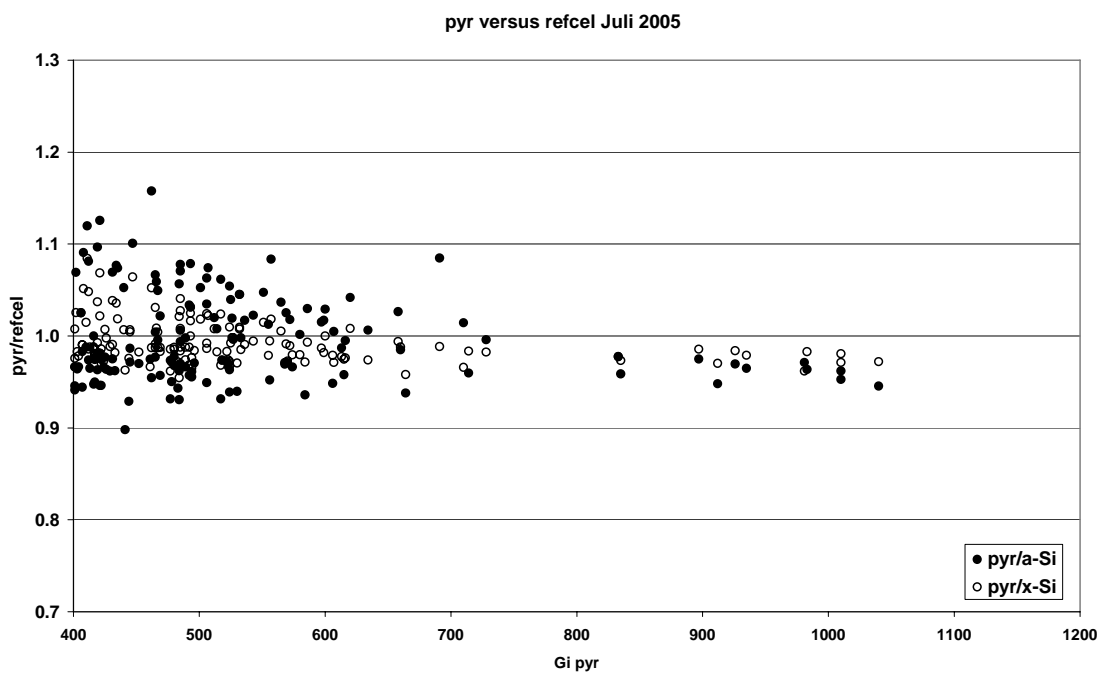
Figuur 3.13 *Verhouding tussen de pyranometer en de referentiegel in april 2005*



Figuur 3.14 *Verhouding tussen de pyranometer en de referentiegel in mei 2005*



Figuur 3.15 *Verhouding tussen de pyranometer en de referentiecel in juni 2005*



Figuur 3.16 *Verhouding tussen de pyranometer en de referentiecel in juli 2005*

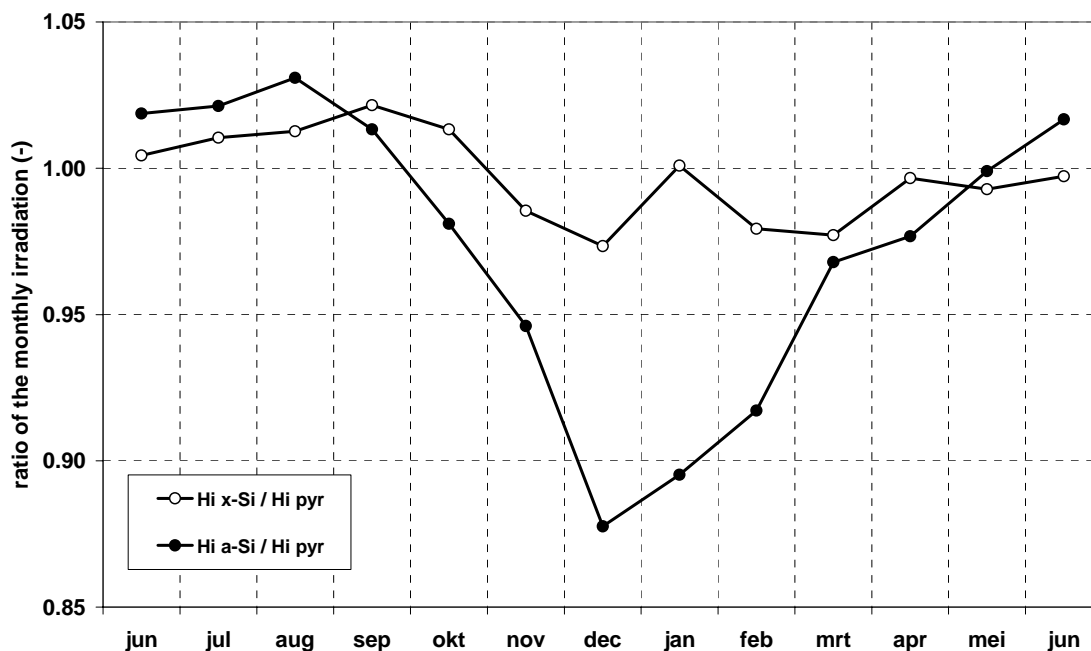
### 3.3 Effectieve instraling versus werkelijke instraling

Het concept van "effectieve instraling" is geïntroduceerd om de modulekarakteristiek ongevoelig te maken voor de keuze van meetlocatie en meetperiode. Echter voor de berekening van jaaropbrengsten worden instralingswaarden gebruikt die verkregen zijn van meteorologische meetstations, en die zijn gebaseerd op pyranometers. De verschillen tussen de effectieve instraling en de werkelijke instraling is verkregen uit de eerder genoemde

meetgegevens. Het resultaat is per maand gegeven in Figuur 3.17 voor de x-Si referentiecel en ook voor de "a-Si" referentiecel. Het effect is voor de x-Si referentiecel gedurende het gehele jaar in de orde van enkele %-en. Voor de "a-Si" referentiecel is het effect vooral in de winterperiode erg groot (12% in december).

Op jaarbasis is de verhouding tussen de effectieve instraling voor x-Si en de werkelijke instraling gelijk aan 1.00 en voor a-Si is dat 0.99. Kennelijk is de jaarlijkse instraling gemeten met een pyranometer nauwelijks anders dan de jaarlijkse instraling als die gemeten zou zijn geweest met een geschikte referentiecel (te weten een x-Si cel voor x-Si modules en een "a-Si" cel voor a-Si modules).

Hieruit blijkt dat het combineren van meteo-gegevens (instralingswaarden verkregen met pyranometer) met modulekarakteristieken gebaseerd op de effectieve instraling (referentiecel) in Nederland op jaarbasis aanleiding geeft tot slechts kleine fouten, zelfs voor a-Si modules. Het voordeel van het gebruik van een referentiecel voor de karakterisering van PV modules (te weten de onafhankelijkheid van testlocatie en testperiode) veroorzaakt daardoor een te verwaarlozen nadeel (te weten de verschillen tussen de op pyranometer gebaseerde meteo - gegevens en de feitelijk benodigde meteo-gegevens zoals die gemeten zouden zijn met dezelfde referentiecel).



Figuur 3.17 *Vergelijking tussen de "effectieve instraling" en de werkelijke instraling*

## 4. Conclusies

- Zelfreferentie is niet toepasbaar voor a-Si modules, ook niet na de initiële degradatie. Dit wordt veroorzaakt door de instabiliteit van de modules.
- Modules kunnen ten behoeve van zelfreferentie buiten gekalibreerd worden met behulp van een pyranometer mits de instraling stabiel is en hoger is dan  $800 \text{ W/m}^2$ . De onzekerheid die hierdoor geïntroduceerd wordt ligt in de orde van 3% voor modules met de spectrale gevoeligheid van a-Si en x-Si en met de temperatuurcoëfficiënt van x-Si. Corrigeren voor de temperatuurcoëfficiënt van de kortsluitstroom van de module (mits bekend) kan de onzekerheid reduceren.
- De afwijking tussen de effectieve jaarlijkse instraling (referentiecel) en de werkelijke jaarlijkse instraling (pyranometer) is nihil voor x-Si modules en in de orde van 1% voor a-Si modules.

De voorgestelde energy rating procedure van een PV module voor een bepaalde toepassingslocatie is gebaseerd op de vermogensmatrix van de module (verkregen met referentiecelmetingen op een willekeurige testlocatie) en de jaarlijkse instralingsgegevens van de betreffende toepassingslocatie (verkregen uit pyranometermetingen). De procedure is als volgt.

1. Bepaal de vermogensmatrix  $P(G_i, T_m)$  door middel van buitenmetingen. Hierbij is  $G_i$  de instraling op het modulevlak en  $T_m$  de moduletemperatuur.
2. Bepaal de benodigde  $G_i$ -waarden met behulp van een geschikte referentiecel. Dit kan zijn een referentiecel van dezelfde technologie als de onderzochte PV module of door gebruik te maken van de zelfreferentie (kortsluitstroom  $I_{sc}$  als maat voor de instraling).
3. Pas de zelfreferentie niet toe als de module niet stabiel in de tijd is. Het in dit project onderzochte a-Si module was na een initiële degradatieperiode van een half jaar niet stabiel.
4. Als de zelfreferentie gebruikt wordt kan de relatie tussen de kortsluitstroom van de onderzochte module en de instraling verkregen worden door de kortsluitstroom te vergelijken met de uitlezing van een pyranometer in hetzelfde vlak bij instralingswaarden boven  $800 \text{ W/m}^2$ .
5. Gebruik de beschikbare instralingsgegevens van de betreffende toepassingslocatie uit meteo-bestanden alsof ze gemeten zijn met een referentiecel in plaats van de werkelijke sensor: de pyranometer.

De op deze manier verkregen modulekarakteristiek (de vermogensmatrix) is onafhankelijk van het lichtspectrum op de testlocatie tijdens de testperiode. Hierdoor is de modulekarakteristiek een zuivere karakteristiek.

De toepassing van deze karakteristiek in combinatie met meteo-data die normaliter gebaseerd zijn op pyranometermetingen geeft bij x-Si en a-Si modules vrijwel geen extra onzekerheid in de jaaropbrengst bij Nederlandse condities.

## 5. Referenties

1. Kenny, Friessen, Chianese, Bernasconi and Dunlop: "Energy rating of PV modules comparison of methods and approach"; 3rd World Conference on PV-conversion, Osaka, 11-18 May 2003 (pre-print).
2. Gottschalg, Infield and Kearney: "Experimental study of variation of the solar spectrum of relevance to thin film solar cells", Solar Energy Materials & Solar Cells 79 (2003) 527 - 537