

akkreditiert durch die / accredited by the

**Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH**



als Kalibrierlaboratorium im / as calibration laboratory in the

**Deutschen Kalibrierdienst**



Kalibrierschein  
*Calibration certificate*

Kalibrierzeichen  
*Calibration mark*

D-K-
11140-01-00

Gegenstand <i>Object</i>	<b>WPVS reference cell</b>
Hersteller <i>Manufacturer</i>	<b>ISE</b>
Typ <i>Type</i>	<b>monocrystalline silicon</b>
Fabrikat/Serien-Nr. <i>Serial number</i>	
Auftraggeber <i>Customer</i>	

Dieser Kalibrierschein dokumentiert die Rückführung auf nationale Normale zur Darstellung der Einheiten in Übereinstimmung mit dem Internationalen Einheitensystem (SI). Die DAKKS ist Unterzeichner der multilateralen Übereinkommen der European co-operation for Accreditation (EA) und der International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) zur gegenseitigen Anerkennung der Kalibrierscheine. Für die Einhaltung einer angemessenen Frist zur Wiederholung der Kalibrierung ist der Benutzer verantwortlich.

*This calibration certificate documents the traceability to national standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI). The DAKKS is signatory to the multilateral agreements of the European co-operation for Accreditation (EA) and of the International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) for the mutual recognition of calibration certificates. The user is obliged to have the object recalibrated at appropriate intervals.*

Auftragsnummer <i>Order No.</i>	
Anzahl der Seiten des Kalibrierscheins <i>Number of pages of the certificate</i>	<b>6</b>
Datum der Kalibrierung <i>Date of calibration</i>	

Dieser Kalibrierschein darf nur vollständig und unverändert weiterverbreitet werden. Auszüge oder Änderungen bedürfen der Genehmigung sowohl der Deutschen Akkreditierungsstelle GmbH als auch des ausstellenden Kalibrierlaboratoriums. Kalibrierscheine ohne Unterschrift haben keine Gültigkeit.

*This calibration certificate may not be reproduced other than in full except with the permission of both the Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH and the issuing laboratory. Calibration certificates without signature are not valid.*

Datum <i>Date</i>	Leiter des Kalibrierlaboratoriums <i>Head of the calibration laboratory</i>	Bearbeiter <i>Person in charge</i>
16.05.2014	Wilhelm Warta	Astrid Semeraro

## 1. Beschreibung des Kalibriergegenstandes

### Description of the calibration object

Das Kalibrierobjekt besteht aus einer Solarzelle Typ: monokristallines Silicium, die mit einem Filter HOQ-Filter in einem Gehäuse eingegossen ist. Die Vorderseiten- sowie die Rückseitenkontakte der Zelle sind wie die Temperaturerfassung über einen Steckkontakt zugänglich. Die Temperaturerfassung erfolgt mittels eines internen Pt 100 -Sensors. Die Stabilität der Solarzelle wurde nicht untersucht. Einbauhöhe der Solarzelle: 12.8 mm.

*The device under test is a solar cell package containing a monocrystalline silicon solar cell, which is covered with a Filter HOQ-filter. The front contact, the rear contact and the temperature sensor are accessible by a plug contact. The temperature acquisition is realized with an internal Pt 100 sensor. The temporal stability of the device was not controlled. Housing height from base to active cell surface: 12.8 mm.*

## 2. Messverfahren

### Measurement procedure

Bestimmt wird der Wert der absoluten differentiellen spektralen Empfindlichkeit im Wellenlängenbereich ca. 300-1200 nm bei einem Kurzschlussstrom, so dass diese mit der absoluten spektralen Empfindlichkeit bei Standardtestbedingungen (STC) übereinstimmt. Die Kalibrierung der Solarzelle wurde mit einem Filtermonochromator mit dem DSR-Messverfahren /1/ und entsprechend /2/ durchgeführt. Die Messung wird im Zweistrahlverfahren durchgeführt und verwendet gleichzeitig:

- a) eine stationäre Biasbestrahlung mit Bestrahlungsstärken  $E_B$ , welche jedoch nicht explizit gemessen werden. Ihre Variation erlaubt unterschiedliche Kurzschlussströme  $I_{SC}(E_B)$ , sowie
- b) eine zeitlich modulierte, quasi-monochromatische Messstrahlung. Ihre Bestrahlungsstärke wird bestimmt mit einer primärkalibrierten Referenzsolarzelle (rückgeführt: PTB).

*The absolute differential spectral response is determined in a wavelength range from 300 nm to 1200 nm at a short circuit current bias, which assures that the calibrated values are equal to the absolute spectral response at Standard Testing Conditions (STC). The measurement is done with a filter monochromator with the DSR method according to /1/ and /2/ in a two-beam geometry, using simultaneously the two irradiation beams:*

- a) A stationary bias irradiation with irradiances  $E_B$  (not measured explicitly).

*The variation of  $E_B$  allows different short circuit currents  $I_{SC}(E_B)$ ,*

- b) A time-modulated quasi-monochromatic measurement irradiation. The irradiance is determined by a primary calibrated reference solar cell (traceable: PTB).

### Rückführung der Referenzsolarzelle/Traceability of the reference solar cell :

Identitäts-Nr. / Identity-Nr. :	Kalibrierschein-Nr./ Certificate- Nr. :	Rückführung/ Traceability :
027-2010	47049-PTB-13	PTB

Mittels einer zeitlich modulierten sonnenähnlichen Messstrahlung wird durch zusätzliche Variation der Biasbestrahlungsstärke ( $E_B$ ) die Linearität der Solarzelle ermittelt. Für den Fall eines nichtlinearen Messobjektes wird so eine Biasbestrahlungsstärke bestimmt, bei welcher der Wert der absoluten differentiellen spektralen Empfindlichkeit mit dem der absoluten spektralen Empfindlichkeit bei Standardtestbedingungen (STC) übereinstimmt /3/.

*Using a time-modulated measurement irradiation with a broad band spectrum similar to the sun irradiation, the linearity of the solar cell is determined by additional variation of the bias irradiance ( $E_B$ ). Thus, in case of a non linear measurement device, a bias irradiance is determined, which leads to an absolute differential spectral response in accordance with the absolute spectral response at Standard Testing Conditions (STD) /3/.*

### 3. Messbedingungen

#### Measurement conditions

Der Arbeitspunkt der Solarzelle wird durch den Bias-Strom im  $I_{sc}$  definiert.

*The operating point of the solar cell is defined by a bias current under short circuit condition.*

Bias Strom/Bias current :	13 mA
Nominalwert der Temperatur des Messobjekts/ <i>Nominal Value of the temperature of the object:</i>	25 °C

Die Klemmenspannung der Solarzelle wird durch einen Strom-Spannungswandler auf unter  $0,03 V_{OC}$  geregelt. Die Frequenz des getakteten quasimonochromatischen Messlichtes lag bei 121 Hz. Die spektrale Bandbreite (Halbwertsbreite) der Filter liegt unter 15 nm, der Öffnungswinkel zwischen den Randstrahlen beträgt maximal  $5^\circ$ . Die Temperatur der Solarzelle wird mit einem Tastsensor ermittelt und auf  $(25 \pm 0,5)^\circ\text{C}$  eingestellt.

*The voltage at the solar cell is set to below  $0.03 V_{OC}$  by a current-voltage-converter. The frequency of the chopped quasi-monochromatic measurement light is at 121 Hz. The spectral bandwidth (full width at half maximum) of the filters is below 15 nm, the aperture angle between the peripheral beams is  $5^\circ$  maximum. The temperature of the solar cell is determined by a sensor and adjusted to  $(25 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ .*

#### 4. Messergebnis

Measurement result

Wellenlänge Wavelength / nm	* $\eta_{ext}$ / %	s / mA*W <sup>-1</sup> *m <sup>2</sup>	**rel. Messunsicherheit rel. Measurement Uncertainty / %	Messunsicherheit Measurement Uncertainty mA*W <sup>-1</sup> *m <sup>2</sup>
297.0	29.6	0.0284	14	0.0040
309.2	46.2	0.0461	10	0.0046
321.2	62.3	0.0645	9	0.0058
330.8	68.6	0.0733	9	0.0066
340.3	72.6	0.0797	9	0.0072
369.2	73.5	0.0876	9	0.0079
399.3	80.9	0.1042	9	0.0094
425.7	83.9	0.1152	2	0.0023
452.3	86.1	0.1257	2	0.0025
474.3	87.5	0.1338	2	0.0027
498.8	88.5	0.1424	2	0.0028
523.7	89.1	0.1505	2	0.0030
548.8	89.5	0.1585	2	0.0032
575.8	90.2	0.1677	2	0.0034
601.7	90.3	0.1752	2	0.0035
621.3	90.5	0.1813	2	0.0036
649.2	90.4	0.1894	2	0.0038
699.1	90.6	0.2043	3	0.0061
742.4	90.5	0.2168	3	0.0065
767.6	90.8	0.2250	3	0.0067
790.0	90.3	0.2301	3	0.0069
809.9	90.1	0.2355	3	0.0071
827.2	89.9	0.2400	3	0.0072
842.3	89.7	0.2436	3	0.0073
859.8	89.5	0.2483	3	0.0074
881.6	88.6	0.2520	3	0.0076
906.4	85.7	0.2506	3	0.0075
928.8	86.5	0.2592	3	0.0078
948.7	85.0	0.2601	3	0.0078
974.5	81.6	0.2566	3	0.0077
998.1	77.0	0.2480	3	0.0074
1015.9	71.9	0.236	10	0.024
1026.0	68.7	0.227	10	0.023
1050.4	57.9	0.196	10	0.020
1060.9	51.4	0.176	10	0.018
1067.0	47.7	0.164	10	0.016
1111.5	25.7	0.092	19	0.018
1121.6	21.2	0.077	19	0.015
1136.4	14.6	0.054	19	0.010
1164.1	4.61	0.017	75	0.013
1185.9	0.471	0.0018	206	0.0037

\*Spektrale Empfindlichkeit und externe Quanteneffizienz stehen in folgendem Zusammenhang / *Spectral response and External Quantum Efficiency are related as follows:*

$$\eta_{\text{ext}}(\lambda) = \frac{J(\lambda) / q}{E(\lambda) / h\nu} = \frac{h\nu J(\lambda)}{q E(\lambda)} = \frac{hc}{nq\lambda} \frac{s(\lambda)}{a} = 1239,8 \frac{\text{nm} \cdot \text{W}}{\text{A}} \frac{s(\lambda)}{n\lambda a}$$

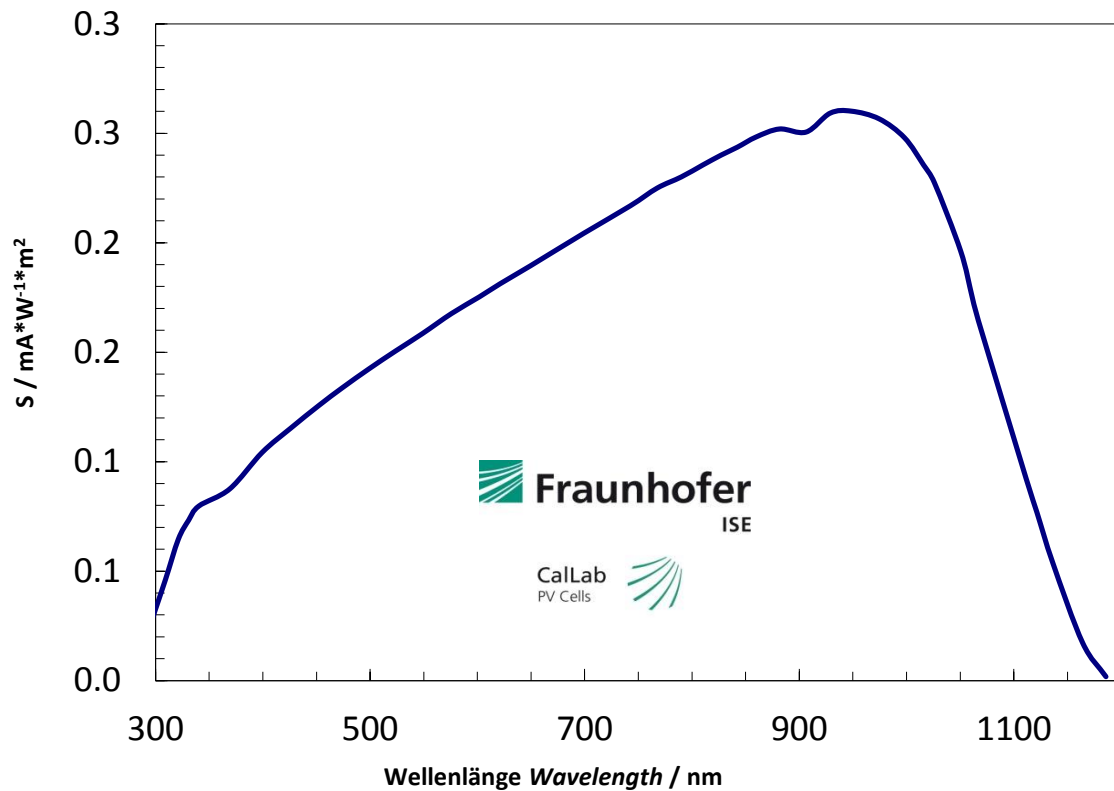
*c*: Vakuumlichtgeschwindigkeit/ *speed of light in vacuum*  
*h*: Planck'sches Wirkungsquantum/ *Planck constant*  
*q*: Elementarladung/ *elementary charge*  
*n*: Brechungsindex Luft/ *refraction index*  
*η<sub>ext</sub>(λ)*: externe Quanteneffizienz/ *external quantum efficiency*  
*s(λ)*: spektrale Empfindlichkeit/ *spectral sensitivity*  
*a*: Fläche/ *area*

\*\*Angegeben ist jeweils die erweiterte Messunsicherheit, die sich aus der Standardmessunsicherheit durch Multiplikation mit dem Faktor *k=2* ergibt. Sie wurde gemäß dem "Guide to the expression of Uncertainty in Measurement" ermittelt. Sie entspricht bei einer Normalverteilung der Abweichungen vom Messwert einer Überdeckungswahrscheinlichkeit von 95%.

*For each wavelength the expanded measurement uncertainty resulting from the standard measurement uncertainty multiplied with a factor *k=2* is specified. The calculation was carried out according to the "Guide to the expression of Uncertainty in Measurement". The value corresponds to a Gaussian distribution denoting the deviations of the measurement value within a probability of 95%.*

## 5. Zusatzinformationen:

*Additional Information*



## 6. Literatur

*Literature*

/1/ J. Metzdorf, Calibration of Solar Cells. 1: *The Differential Spectral Responsivity Method*, Applied Optics 26 (1987) p.1701-1708

/2/ IEC 60904-8-Ed.2:1998, Photovoltaic devices - Part 8: *Measurement of the spectral response of a photovoltaic (PV) device*

/3/ J. Hohl-Ebinger, G. Siefer, and W. Warta., *Non-Linearity of Solar Cells in Spectral Response Measurements*. in 22<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition. 2007.