



akkreditiert durch die / *accredited by the*

## Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH



Deutsche  
Akkreditierungsstelle  
D-K-11140-01-00

als Kalibrierlaboratorium im / *as calibration laboratory in the*

## Deutschen Kalibrierdienst



Kalibrierschein

*Calibration certificate*

Kalibrierzeichen

*Calibration mark*

D-K-
11140-01-00

Gegenstand  
*Object*

**WPVS reference cell**

Hersteller  
*Manufacturer*

**ISE**

Typ  
*Type*

**monocrystalline silicon**

Fabrikat/Serien-Nr.  
*Serial number*

Auftraggeber  
*Customer*

Auftragsnummer  
*Order No.*

Anzahl der Seiten des Kalibrierscheins  
*Number of pages of the certificate*

**6**

Datum der Kalibrierung  
*Date of calibration*

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.*

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  
*Date*

Leiter des Kalibrierlaboratoriums  
*Head of the calibration laboratory*

Bearbeiter  
*Person in charge*

16.05.2014

*Wilhelm Warta*

*Astrid Semeraro*

## 1. Beschreibung des Kalibriergegenstandes

### *Description of the calibrated object*

Das Kalibrierobjekt besteht aus einer Solarzelle Typ: monokristallines Silicium, die mit einem 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 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*

Die Kalibrierung des Kalibrierobjektes wird gemäß /1/ mit einem DC-Sonnensimulator Klasse A nach /6/ unter Standardtestbedingungen (STC) durchgeführt. Die Einstrahlung wird mit Hilfe einer Monitorzelle während der gesamten Messdauer aufgenommen und deren Schwankungen bezüglich der Messung korrigiert. Die Divergenz der Randstrahlen ist  $< 8^\circ$ . Die Solarzelle wird auf einem Vakuumprobentisch thermisch stabilisiert.

*The calibration of the test sample was performed at Standard Testing Conditions (STC) in accordance with /1/ under irradiation with a steady-state class A solar simulator according to /6/. The irradiance is controlled with a monitor cell during the measurement in order to correct fluctuations. The divergence of the peripheral beams is  $< 8^\circ$ . The solar cell is kept at constant temperature on a vacuum chuck.*

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

Identitäts-Nr. / <i>Identity-Nr. :</i>	Kalibrierschein-Nr./ <i>Certificate-Nr. :</i>	Rückführung/ <i>Traceability :</i>
023-2010	47048-PTB-13	PTB

Das Messergebnis für den Kurzschlussstrom enthält eine Korrektur der spektralen Fehlanpassung (Mismatch), die durch die Abweichung der spektralen Verteilung des Klasse A Simulators vom Standard-Spektrum AM1.5G /3/ in Kombination mit den verschiedenen spektralen Empfindlichkeiten von Referenzzelle und Messobjekt entsteht /4/. Dazu wurde die spektrale Verteilung der Bestrahlung (Sonnensimulator) mit einem Spektralradiometer und die spektrale Empfindlichkeit des Messobjektes mit einem Filtermonochromator /5/ gemessen (s. Kalibrierschein Nr: ). Die Einstrahlung erfolgt auf der gesamten Fläche, die mit dem Filterglas bedeckt ist. Bei einer Teilbeleuchtung der aktiven Fläche kann es bei dem vorliegenden Messobjekt zu einer Veränderung der spektralen Empfindlichkeit kommen.

*The spectral mismatch - caused by the deviation of the simulator spectrum from the standard spectrum AM1.5G /3/ in combination with the different spectral response of reference cell and device under test (DUT) – is calculated according to /4/ and corrected.*

*For the spectral mismatch correction the spectral distribution of the solar simulator is measured with a spectroradiometer, the spectral response of the DUT is measured with a filter monochromator according to /5/ (cf. Calibration Mark: ). The irradiation was done on the full area covered by the filter glas. For this special device, a measurement with partial illumination of the active area may cause a different characteristic of the spectral response.*

Die Rückführung der Spektralmessung auf SI-Einheiten erfolgte über den Vergleich mit einer Standardlampe.  
*The traceability of the measurement of the spectral distribution to SI-Units is achieved using a standard lamp for the calibration of the spectroradiometer.*

Identitäts-Nr. / <i>Identity-Nr.:</i>	Kalibrierschein-Nr./ <i>Certificate-Nr.:</i>	Rückführung/ <i>Traceability:</i>
BN-9101-451	40006-11-PTB	PTB

### 3. Messbedingungen

*Measurement conditions*

Standardtestbedingungen (STC) / *Standard Testing Conditions (STC)* :

Absolute Bestrahlungsstärke /  
*Total irradiance* : 1000 W/m<sup>2</sup>

Temperatur des Messobjektes /  
*Temperature of the DUT* : 25 °C

Spektrale Bestrahlungsstärke /  
*Spectral irradiance distribution* : AM1.5G Ed.2 (2008) /3/

Die Messung der IV-Kennlinie (Strom-Spannungs-Kennlinie) des Messobjektes erfolgt mit Hilfe eines Vierquadranten-Netztes und eines Kalibrierwiderstandes.

*The measurement of the IV-curve is performed with a 4-quadrant power amplifier and a calibration resistor.*

### 4. Messergebnis

*Measurement result*

Kennlinienparameter des Messobjektes unter Standardtestbedingungen (STC) / *IV-curve parameter under Standard Testing Conditions (STC)* :

Leerlaufspannung /  
*Open-circuit voltage* :  $V_{oc} = ( 636.0 \pm 2.2 ) \text{ mV}$

Kurzschlussstrom /  
*Short-circuit current*  
(Ed.2-2008):  $I_{sc} = ( 122.6 \pm 2.3 ) \text{ mA}$

Füllfaktor / *Fill factor* :  $FF = ( 79.45 \pm 0.52 ) \%$

maximale Leistung /  
*maximum power* :  $P_{MPP} = ( 61.9 \pm 1.2 ) \text{ mW}$

## 5. Zusatzinformationen

### Additional informations

Nur zum Vergleich / *For comparison purposes* :

Berechneter Wert nach bisherigem Normspektrum / *Calculated value according to previous standard spectrum* :

Kurzschlussstrom /  $I_{SC}$  = ( 121.7 ± 2.3 ) mA  
*Short-circuit current*  
 (Ed.1-1989)/2/:

Mismatch-Faktor /  $MM$  = 1.0033  
*Mismatch factor* :

(Spektral-Korrektur / *for spectral correction* )

Weitere Kennlinienparameter des Messobjektes unter Standardtestbedingungen (STC) / *Additional IV-curve parameter under Standard Testing Conditions (STC)* :

Strom am Punkt max. Leistung /  $I_{MPP}$  = 114.0 mA  
*Current at max. power point* :

Spannung am Punkt max. Leistung /  $V_{MPP}$  = 543.3 mV  
*Voltage at max. power point* :

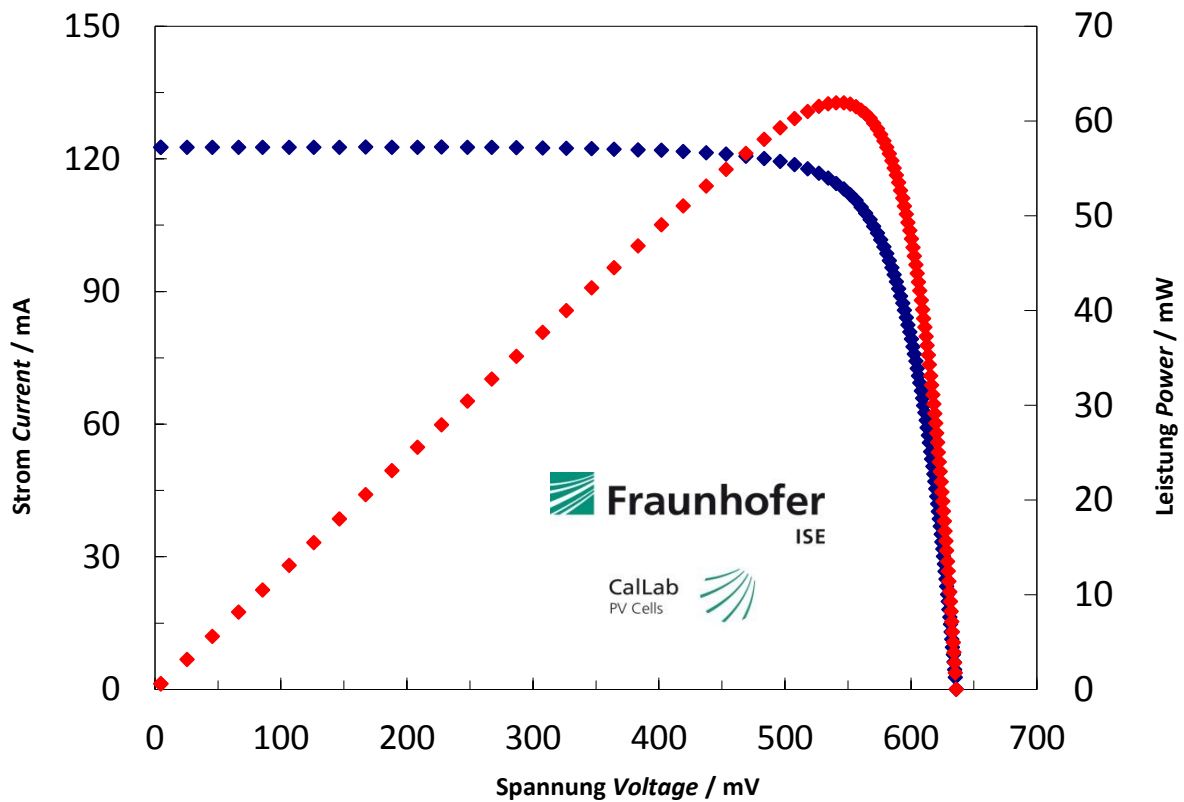
Angegeben ist jeweils die erweiterte Messunsicherheit, die sich aus der Standardmessunsicherheit durch Multiplikation mit dem Faktor  $k=2$  ergibt. Sie wurde gemäß dem "Guide to the expression of Uncertainty in Measurement" ermittelt. Sie entspricht bei einer Normalverteilung der Abweichungen vom Messwert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

*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%.*



Spannung Voltage / mV	Strom Current / mA	Leistung Power / mW
4.73	122.57	0.58
4.82	122.60	0.59
25.69	122.55	3.15
45.69	122.59	5.60
66.46	122.59	8.15
85.57	122.57	10.49
106.65	122.56	13.07
126.27	122.60	15.48
146.62	122.55	17.97
167.45	122.63	20.54
188.19	122.59	23.07
208.54	122.57	25.56
227.65	122.62	27.92
248.16	122.55	30.41
267.34	122.55	32.76
287.07	122.48	35.16
307.77	122.43	37.68
326.68	122.40	39.98
346.61	122.27	42.38
364.49	122.14	44.52
383.55	122.01	46.80
402.09	121.94	49.03
419.38	121.67	51.02
437.75	121.34	53.12
453.50	121.03	54.89
469.26	120.56	56.57
483.53	120.07	58.06
496.23	119.41	59.25
507.71	118.65	60.24
518.19	117.72	61.00
527.06	116.75	61.54
534.51	115.63	61.81
540.86	114.42	61.89
546.94	113.19	61.91
551.97	111.88	61.76
556.43	110.55	61.51
560.59	109.06	61.14
564.16	107.67	60.74
567.61	106.19	60.28
570.58	104.69	59.73
573.44	103.17	59.16
576.01	101.64	58.54
578.52	100.07	57.89
580.79	98.51	57.22
582.90	96.96	56.52
584.86	95.37	55.78
586.79	93.77	55.03
588.51	92.21	54.27
590.24	90.61	53.48
591.93	88.92	52.63
593.49	87.33	51.83

Spannung Voltage / mV	Strom Current / mA	Leistung Power / mW
594.98	85.71	50.99
596.41	84.08	50.15
597.77	82.44	49.28
599.10	80.83	48.42
600.36	79.18	47.54
601.67	77.48	46.62
602.79	75.83	45.71
603.98	74.20	44.81
605.06	72.54	43.89
606.15	70.92	42.99
607.20	69.27	42.06
608.29	67.50	41.06
609.33	65.80	40.09
610.22	64.14	39.14
611.13	62.53	38.22
612.12	60.81	37.22
612.97	59.20	36.29
613.87	57.47	35.28
614.76	55.74	34.27
615.77	53.75	33.10
616.57	52.09	32.12
617.40	50.38	31.10
618.17	48.70	30.11
618.94	47.03	29.11
619.69	45.35	28.10
620.49	43.59	27.05
621.20	41.92	26.04
621.89	40.24	25.02
622.63	38.55	24.00
623.30	36.90	23.00
624.02	35.10	21.90
624.70	33.34	20.83
625.34	31.70	19.83
625.99	30.03	18.80
626.64	28.33	17.75
627.25	26.64	16.71
627.87	24.94	15.66
628.47	23.27	14.62
629.13	21.45	13.49
629.70	19.82	12.48
630.29	18.08	11.39
630.86	16.31	10.29
631.41	14.69	9.28
632.00	12.99	8.21
632.55	11.29	7.14
633.12	9.54	6.04
633.67	7.83	4.96
634.21	6.14	3.90
634.73	4.44	2.82
635.26	2.73	1.74
635.93	0.00	0.00



## 6. Literatur

### Literature

- /1/ IEC 60904-1-Ed.2:2006, *Photovoltaic devices - Part 1: Measurement of photovoltaic current-voltage characteristics*
- /2/ IEC 60904-3-Ed.1:1989, *Photovoltaic devices - Part 3: Measurement principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data*
- /3/ IEC 60904-3-Ed.2:2008, *Photovoltaic devices - Part 3: Measurement principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data*
- /4/ IEC 60904-7-Ed.3:2008, *Photovoltaic devices - Part 7: Computation of the spectral mismatch error introduced in the testing of a photovoltaic device*
- /5/ IEC 60904-8-Ed.2:1998, *Photovoltaic devices - Part 8: Measurement of the spectral response of a photovoltaic (PV) device*
- /6/ IEC 60904-9-Ed.2:2010, *Photovoltaic devices - Part 9: Solar simulator performance requirements*