

# Kalibrierschein / Calibration Certificate

erstellt durch das Kalibrierlaboratorium  
*issued by the calibration laboratory*



**Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE**  
 Callab PV Modules  
 Heidenhofstraße 2  
 79110 Freiburg  
 Deutschland

000XXX
D-K-11140-02-00
2023-02

Kalibrierzeichen  
*Calibration mark*

Gegenstand  
*Object* **Monofacial PV module**

Hersteller  
*Manufacturer* **Manufacturer**

Typ  
*Type* **Module Type**

Fabrikat/Serien-Nr.  
*Serial number* **ABCD001 / 1234ABCD**

Auftraggeber  
*Customer* **Orderer Name**  
**Street**  
**City**  
**Country**

Auftragsnummer  
*Order No.* **001ABCD1122**

Anzahl der Seiten des Kalibrierscheines  
*Number of pages of the certificate* **5**

Datum der Kalibrierung  
*Date of calibration* **16.02.2023**

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 des ausstellenden Kalibrierlaboratoriums. Kalibrierscheine ohne Unterschrift haben keine Gültigkeit. Die Kalibrierergebnisse beziehen sich ausschließlich auf den kalibrierten Gegenstand, der vom Kunden bereitgestellt wurde.

*This calibration certificate may not be reproduced other than in full except with the permission of the issuing calibration laboratory. Calibration certificates without signature are not valid. The calibration results refer exclusively to the device under test which was provided by the customer.*

Datum  
*Date*

**16.02.2023**

## Calibration object

Kalibriergegenstand

Object <i>Gegenstand</i>	Monofacial PV module
Manufacturer <i>Hersteller</i>	Manufacturer
Type <i>Typ</i>	Module Type
Cell material <i>Zellmaterial</i>	mono-Si
Serial number <i>Seriennummer</i>	1234ABCD
Module area <i>Modulfläche</i>	1903 mm x 1134 mm

## Calibration procedure

Kalibrierverfahren

The calibration is performed under standard test conditions (STC) in accordance with IEC 60904-1 Ed.3 (2020-09) under irradiance with a pulsed solar simulator class A+A+A+ according to [4]. The irradiance is controlled with a reference solar cell during the measurement in order to correct fluctuations.

*Die Kalibrierung wird gemäß IEC 60904-1 Ed.3 (2020-09) mit einem gepulsten Sonnensimulator Klasse A+A+A+ nach [4] unter Standardtestbedingungen (STC) durchgeführt. Die Bestrahlungsstärke wird mit Hilfe einer Referenzsolarzelle während der gesamten Messdauer aufgenommen und deren Schwankungen bezüglich der Messung korrigiert.*

Before calibration, the PV module is stored at  $(25 \pm 3) ^\circ\text{C}$  and  $(50 \pm 30) \% \text{rH}$  for at least 10 hours.

*Das PV-Modul wird vor der Kalibrierung mindestens 10 h bei  $(25 \pm 3) ^\circ\text{C}$  und  $(50 \pm 30) \% \text{rH}$  gelagert.*

The measurement of the IV-curve (current voltage curve) is performed with a 2- or 3-quadrant power amplifier and an electronic load cassette. The solar plugs of the PV module are connected to the measurement system in four-wire technology with specially developed solar Y-plugs. Hysteresis measurements – forward measurement from  $I_{\text{SC}}$  to  $V_{\text{OC}}$  and backward measurement from  $V_{\text{OC}}$  to  $I_{\text{SC}}$  – are performed and the average of both curves is calculated. The voltage sweep rate during the recording of an IV-curve is controlled by the number of sections and the measurement duration. The number of sections specifies the number of flashes used for the recording of the entire IV-curve per direction.

*Die Messung der IU-Kennlinie (Strom-Spannungs-Kennlinie) des Messobjektes erfolgt mit Hilfe eines 2- oder 3-Quadranten-Netzteiltes und einer elektronischen Lastkassette. Die Solarstecker des PV-Moduls werden an das Messsystem in Vierleitertechnik angeschlossen mit eigens entwickelten Y-Adaptoren. Es werden Hysteresis-Messungen durchgeführt (Messungen von  $I_{\text{SC}}$  zu  $V_{\text{OC}}$  (vorwärts) und  $V_{\text{OC}}$  zu  $I_{\text{SC}}$  (rückwärts)) und der Mittelwert aus beiden Kurven gebildet. Die Spannungsänderungsrate bei der Aufnahme einer IU-Kennlinie wird über die Anzahl der Sektionen und die Messzeit eingestellt. Die Anzahl der Sektionen gibt dabei die Zahl der Blitze an, die für die Aufnahme einer IU-Kennlinie pro Richtung benötigt wird.*

The measurement result either includes spectral mismatch correction [2] or takes into account the spectral mismatch by increased measurement uncertainty. The spectral mismatch is caused by the deviation of the simulator spectrum from the standard spectrum AM1.5G [1] in combination with the different spectral response of the reference cell and the device under test (DUT). 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 [3]. The traceability of the measurement of the spectral distribution to SI-Units is achieved using a calibrated irradiance reference lamp for the calibration of the spectroradiometer.

*Das Messergebnis enthält entweder eine Korrektur der spektralen Fehlanpassung (spektraler Mismatch) [2] oder berücksichtigt die Fehlanpassung durch eine erhöhte Messunsicherheit. Die spektrale Fehlanpassung entsteht durch die Abweichung der spektralen Verteilung des Klasse A Simulators vom Standard-Spektrum AM1.5G [1] in Kombination mit den verschiedenen spektralen Empfindlichkeiten von Referenzzelle und Messobjekt. Für die Korrektur der spektralen Fehlanpassung werden die spektrale Verteilung der Bestrahlung (Sonnensimulator) mit einem Spektralradiometer und die spektrale Empfindlichkeit des Messobjektes mit einem Filtermonochromator [3] gemessen. Die Rückführung der Spektralmessung auf SI-Einheiten erfolgt über den Vergleich mit einer kalibrierten Bestrahlungsstärke-Kalibrationslampe.*

## Ambient conditions

*Umgebungsbedingungen*

Calibration was carried out in the tempered premises of CalLab PV Modules.  
*Die Kalibrierung wurde in den temperierten Räumlichkeiten des CalLab PV Modules durchgeführt.*

Temperature (25 ± 3) °C  
*Temperatur*

Relative humidity (50 ± 30) %  
*Relative Feuchte*

## Measurement conditions

*Messbedingungen*

Total irradiance (1000 ± 10) W/m<sup>2</sup>  
*Absolute Bestrahlungsstärke*

Module temperature (25.0 ± 0.3) °C  
*Modultemperatur*

Measurement system FL3 - Pasan HighLIGHT VLMT  
*Messsystem*

Spectral mismatch correction 1.001272  
*Spektrale Mismatch-Korrektur*

Hysteresis 0.17 %  
*Hysterese*

Number of sections 10  
*Anzahl der Sektionen*

Measurement duration 73.9 ms  
*Messzeit*

Comment  
*Kommentar*

## Measurement uncertainty

*Messunsicherheit*

The expanded measurement uncertainty is stated as the standard measurement uncertainty multiplied by the coverage factor  $k=2$ . It has been determined in accordance with EA-4/02 M:2022. The value of the measurand lies within the assigned value range with a probability of 95%. No part for long term stability of the calibration object is included. The measurement uncertainties are absolute values related to the measured value.

*Angegeben ist jeweils die erweiterte Messunsicherheit, die sich aus der Standardmessunsicherheit durch Multiplikation mit dem Erweiterungsfaktor  $k=2$  ergibt. Sie wurde gemäß EA-4/02 M:2022 ermittelt. Der Wert der Messgröße liegt mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% im zugeordneten Wertintervall. Ein Anteil für die Langzeit-Instabilität des Kalibriergegenstandes ist nicht enthalten. Die Messunsicherheiten sind Absolutwerte, bezogen auf den Messwert.*

## Measurement results

Messergebnisse

Measurement results were corrected to standard test conditions (STC):  
Spectral irradiance distribution: AM1.5G [1], Total irradiance: 1000 W/m<sup>2</sup>, Temperature: 25 °C

Die Messergebnisse wurden korrigiert auf Standardtestbedingungen (STC).

Spektrale Bestrahlungsstärke: AM1.5G [1], Absolute Bestrahlungsstärke: 1000 W/m<sup>2</sup>, Temperatur: 25 °C

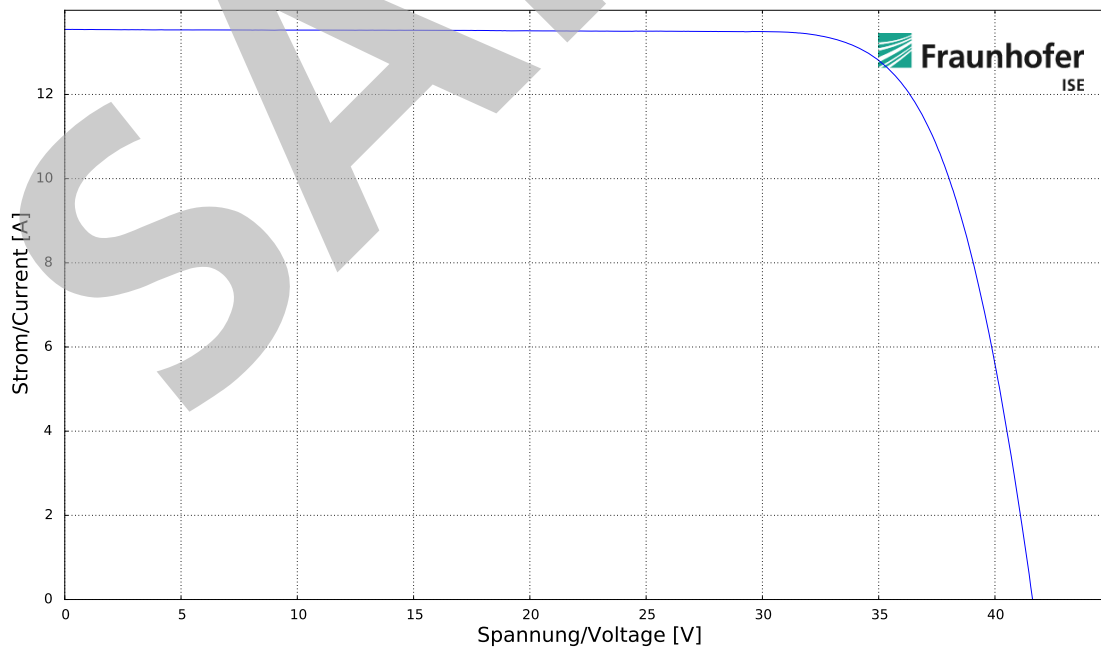
Measurand Messgröße		Measured value Messwert	± ±	Uncertainty Unsicherheit
Short circuit current Kurzschlußstrom	$I_{SC} / A$	13.55	±	0.15
Open circuit voltage Leerlaufspannung	$V_{OC} / V$	41.62	±	0.25
Current at maximum power Strom bei maximaler Leistung	$I_{MPP} / A$	12.91	±	0.20
Voltage at maximum power Spannung bei maximaler Leistung	$V_{MPP} / V$	34.73	±	0.35
Maximum power * Maximale Leistung *	$P_{MPP} / W$	448.58	±	4.94
Fill factor * Füllfaktor *	$FF / \%$	79.57	±	0.88
Efficiency * Wirkungsgrad *	$\eta / \%$	20.79	±	0.32

\* Derived value

\* Abgeleitete Größe

### IV-curve

IU Kennlinie



## Additional information

Zusatzinformationen

	$I_{SC}$ / A	$V_{oc}$ / V	$I_{mpp}$ / A	$V_{mpp}$ / V	$P_{mpp}$ / W	FF / %	$\eta$ / %
Module nominal values <i>Modulnennwerten</i>	14.01	41.48	13.45	34.20	460.00	79.16	21.32
Measurement result <i>Messergebnis</i>	13.55	41.62	12.91	34.73	448.58	79.57	20.79
Deviation from nominal values <i>Abweichung von den Nennwerten</i>	-3.3 %	0.3 %	-4.0 %	1.6 %	-2.5 %	0.5 %	-2.5 %

## Measuring equipment

Messeinrichtungen

Description <i>Bezeichnung</i>	Serial number <i>Seriennummer</i>	Traceability <i>Rückführung</i>	Calibration date <i>Kalibrierdatum</i>
WPVS Reference Solar Cell <i>Czibula &amp; Grundmann - RS-ID-5</i>	023-2016	47043-PTB-22	01.06.2022
Calibration Resistor <i>burster - 1240-0.5</i>	359404	27579-D-K-15141-01-00	24.11.2021
IV-Curve Tracer <i>Pasan - CT506/HL3</i>	0010046614000000212	E140042-D-K-15070-01-01	24.02.2022
Temperature Sensor <i>h.a.l.m. - Pt100/4-L</i>	Temp 20-03	T187885-D-K-15070-01-10	09.06.2022
Temperature Sensor <i>h.a.l.m. - Pt100/4-L</i>	Temp 20-04	T187909-D-K-15070-01-10	08.06.2022
Temperature Sensor <i>h.a.l.m. - Pt100/4-L</i>	Temp 20-05	T187889-D-K-15070-01-10	09.06.2022
Temperature Sensor <i>h.a.l.m. - Pt100/4-L</i>	Temp 20-06	T187888-D-K-15070-01-10	09.06.2022

## Normative references

Normative Referenzen

- [1] IEC 60904-3 Ed.4 (2019-02):  
Photovoltaic devices - Part 3: Measurement principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data
- [2] IEC 60904-7 Ed.4 (2019-08):  
Photovoltaic devices - Part 7: Computation of the spectral mismatch correction for measurements of photovoltaic devices
- [3] IEC 60904-8 Ed.3 (2014-05):  
Photovoltaic devices - Part 8: Measurement of spectral responsivity of a photovoltaic (PV) device
- [4] IEC 60904-9 Ed.3 (2020-09):  
Photovoltaic devices - Part 9: Solar simulator performance requirements

— End of calibration certificate / Ende des Kalibrierscheins —