

Untersuchung von PV-Modulen
vor und nach der Reinigung
mit SOLA-TECS Reinigungsgeräten

THEMA

Die Firma Cleantecs GmbH hat ein neuartiges Reinigungssystem SOLA-TECS entwickelt. Mit einer Untersuchung soll nachgewiesen werden, dass keine Schädigungen an PV-Modulen durch ein SOLA-TECS Reinigungsgerät entstehen. BEC-Engineering GmbH wurde durch die Firma Cleantecs GmbH beauftragt, PV-Module mit einem mobilen Testcenter zu untersuchen.

AUFGABENSTELLUNG

Die Firma Cleantecs GmbH, 89250 Senden beauftragte die Firma BEC-Engineering GmbH, 85652 Ottersberg, eine Untersuchung der PV-Module, vor und nach der Reinigung mit SOLA-TECS Reinigungsgeräten durchzuführen. Zur Untersuchung wurde die MMP-Leistung bestimmt und auf STC-Bedingungen extrapoliert, sowie die Elektrolumineszenz verglichen, um eventuelle Schädigungen an PV-Modulen durch SOLA-TECS Reinigungsgeräte zu ermitteln. Folgende PV-Modultypen stehen je 7 mal zur Verfügung: LUXRA PV 60R-250-6, NSI 190/72-M und SC75-EX-B.

Die Untersuchung der PV-Module geht von folgenden Vorgaben aus:

- > Extreme Verschmutzung der PV-Module <
- > Jedes PV-Modul wird 5 mal mit dem Reinigungsgerät SOLA-TECS gereinigt <
 - > PV-Module werden 2 mal im Jahr gereinigt <
 - > Lebenserwartung der PV-Module – 20 Jahre <

Aufgrund dieser Vorgaben wurden die PV-Module 200 Reinigungszyklen unterzogen.

DURCHFÜHRUNG

Die PV-Module wurden vor Ort am 12.03.2013 vermessen. Für jedes Modul wurde die MPP-Leistung bei STC-Bedingungen bestimmt, sowie Elektrolumineszenzaufnahmen vor und nach einer Modulreinigung verglichen. Die Untersuchung wird von der Firma BEC-Engineering GmbH durchgeführt. Die Messung der PV-Module findet vor der Reinigung mit dem SOLA-TECS Reinigungsgerät und nach der Reinigung statt. Es werden hierzu 200 Reinigungszyklen mit dem Reinigungsgerät SOLA-TECS C700 und SOLA-TECS W800 durchgeführt. (Bild 1)

ERGEBNIS

Bei den untersuchten kristallinen PV-Modulen zeigt sich keine feststellbare Änderung der Leistung nach 200 Reinigungszyklen. Ebenfalls bei der Verwendung von härteren Bürsten wie auch von Reinigungsgerät W800 konnte keine feststellbare Leistungsänderung beobachtet werden. Eine visuelle Überprüfung der Elektrolumineszenzaufnahmen vor und nach den Reinigungszyklen zeigte keine Veränderung des Zellmaterials. Es sind weder neue Mikrorisse im Zellmaterial entstanden noch haben sich vorhandene Mikrorisse durch die Belastung ausgebreitet. Inaktive Bereiche sind nicht entstanden. Auch ließen sich bei einer Sichtprüfung keine verursachten Kratzer oder Oberflächenmanipulationen feststellen. (Bild 2-3)

ABBILDUNGEN



Abbildung 1: Darstellung des Modulreinigungsvorgangs mit Reinigungsgerät C700

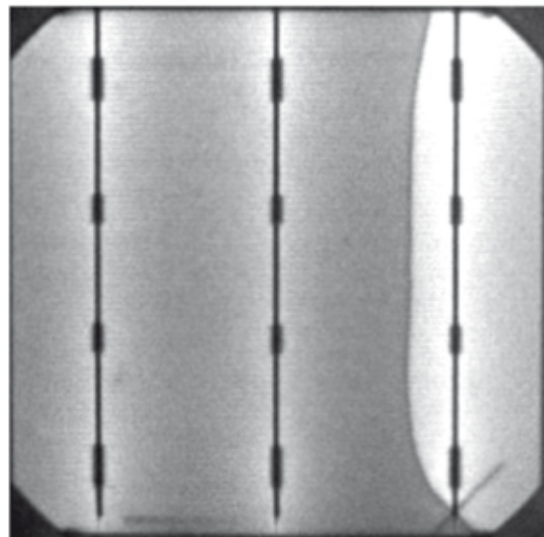
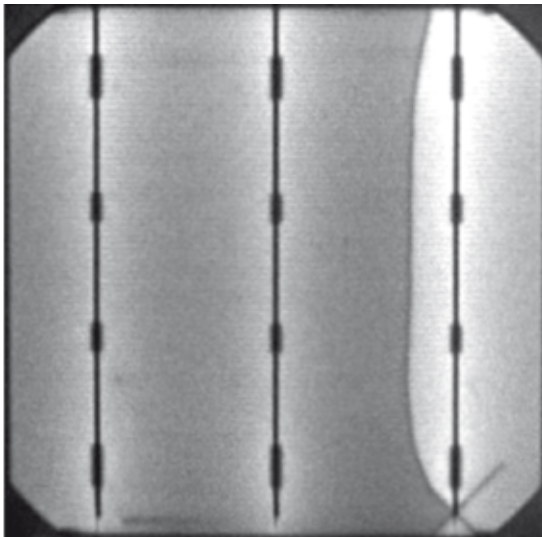


Abbildung 2-3: Exemplarische EL-Aufnahme einer Einzelzelle von PV-Modul LUXRA PV 60R-250-6 (SN 21154512061104449) mit Vorschädigung vor (links) und nach (rechts) den Reinigungszyklen

AUFTRAGGEBER

Cleantecs GmbH
Hofackergasse 3
D-89250 Senden - Hittistetten

T: +49 (0) 7307 92 65 0
F: +49 (0) 7307 92 65 20

info@cleantecs.de
www.cleantecs.de

BEARBEITER

BEC-Engineering GmbH
Zweigniederlassung Schabing
Kellerstraße 8
D-83119 Obing

T: +49 (0)8121 884567 0
F: +49 (0)8121 884567 88

info@bec-engineering.de
www.bec-engineering.de

ABSCHLUSSBERICHT FUE 24266

Untersuchung möglicher Beschädigungen
von Solarmodulen durch Reinigungsmaschine
der Firma Cleantecs GmbH

ABSCHLUSSBERICHT FUE 24266

Untersuchung möglicher Beschädigungen von
Solarmodulen durch Reinigungsmaschine der
Firma Cleantecs GmbH

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme
in Freiburg

FUE24266

Cleantecs GmbH
Grundweg 10
89250 Senden

Dieser Bericht umfasst 15 Seiten. Eine Veröffentlichung der Ergebnisse darf nicht unvollständig oder in sinnentstellendem Zusammenhang erfolgen. Die Weitergabe an Dritte bedarf der vorherigen Zustimmung des Fraunhofer ISE.

Freiburg, 23. Juli 2024

Dr. Ingrid Hädrich
Gruppenleiterin
Degradationsanalytik und -modellierung

Thomas Kaltenbach
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Gruppe Degradationsanalytik und
-modellierung

Inhalt

1	Zusammenfassung	5
2	Projektbeschreibung	6
2.1	Hintergründe und Ziele	6
2.2	Aufbau Prüfstand und Versuchsdurchführung	6
3	Ergebnisse	8
3.1	Leistungsmessung	8
3.2	Elektrolumineszenz Aufnahmen	8
3.3	Elektrische Sicherheit	9
3.4	Lichtmikroskopische Untersuchung	10
3.5	Unterer Modulrand, Fotodokumentation	12
Anhang		14
	Charakterisierungsmessungen	14
	Sichtprüfung gemäß IEC 61215-2:2021, MQT 01	14
	Leistung bei STC gemäß IEC 60904 (-1 und -3)	14
	Kriechstromprüfung / Prüfung des Isolationswiderstandes unter Benässung gemäß IEC 61215-2:2021, MQT 15	14
	Elektrolumineszenzmessung	15

1 Zusammenfassung

In diesem Projekt sollen PV-Module vor und nach Reinigung charakterisiert werden. Ziel ist es, zu untersuchen, ob und inwieweit die Reinigungssysteme der Fa. Cleantecs die Oberfläche der Solargläser verändern und ob dies einen Einfluss auf die elektrische Leistung oder die elektrische Sicherheit der Solarmodule hat.

2 Module wurden jeweils in 50 Zyklen gereinigt, was bei einer 2-maligen jährlichen Reinigung einer Feldlebensdauer von 25 Jahren entspricht. Zur Reinigung wurde ein Flechtenentferner und das Solatecs W System von Fa. Cleantecs verwendet.

Ergebnis:

Die Reinigung der Module hat

- zu keiner Veränderung in der Modulleistung geführt
- zu keiner Veränderung der Isolationseigenschaften geführt
- zu keinerlei Zellbrüchen geführt
- zu keinen sichtbaren Schäden am Modulrand geführt

In Mikroskopaufnahmen konnten *vereinzelte* Kratzer in der Antireflexbeschichtung der Gläser festgestellt werden im Bereich der Reinigung mit dem Solatec W System. Diese sind mit bloßem Auge nicht erkennbar und haben *keinen* Einfluss auf die Leistung des Moduls. In den Bereichen des Flechtenentferners konnten auch unter dem Mikroskop keine Glasbeschädigungen nachgewiesen werden.

2 Projektbeschreibung

2.1

Hintergründe und Ziele

In diesem Projekt sollen PV-Module vor und nach Reinigung charakterisiert werden. Ziel ist es, zu untersuchen, ob und inwieweit die Reinigungssysteme der Fa. Cleantecs die Oberfläche der Solargläser verändern und ob dies einen Einfluss auf die elektrische Leistung der Solarmodule hat.

2.2

Aufbau Prüfstand und Versuchsdurchführung

In diesem Projekt wurde untersucht, ob es durch die Reining von Solarmodulen mit den von Fa. Cleantecs bereitgestellten Systemen (Flechtenentferner und SOLA-TECS W) zu nachweisbaren Beschädigungen der Module kommt. Hierfür wurden 2 Solarmodule (Typ Heckert und JA Solar) auf einem Teststand am Fraunhofer ISE in Freiburg in einem 10° Winkel montiert.

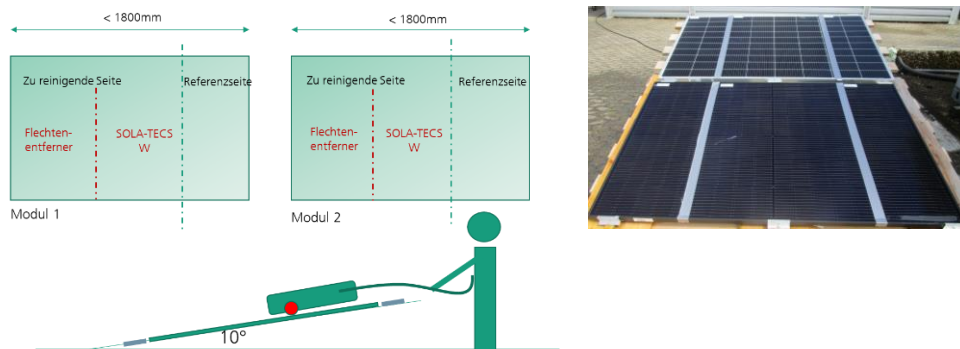


Abbildung 01 Links. Prinzipskizze der Aufteilung der Reinigungsflächen und der Unterkonstruktion Rechts: Heckert Solar und JA Solar Modul mit jeweils abgeklebten Reinigungsbereichen



Abbildung 02 SOLA-TECS W

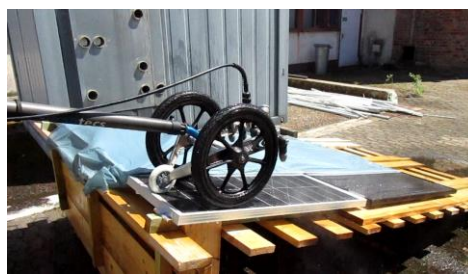


Abbildung 03 Flechtenentferner

Die Module wurden jeweils in 50 Zyklen gereinigt, was bei einer 2-maligen jährlichen Reining einer Feldlebensdauer von 25 Jahren entspricht.

Die Module wurden vor und nach Reinigung jeweils charakterisiert durch:

- Leistungsmessungen (Strom-Spannungs-Kennlinie)
- Elektrolumineszenz Aufnahmen
- Nass und trockene Isolationsprüfung und Kriechstromprüfung
- Lichtmikroskopische Untersuchung der Glasoberfläche der Module, um ggf. Änderungen der Oberfläche zu visualisieren

3 Ergebnisse

3.1 Leistungsmessung

Heckert							
	Isc (A)	Voc (V)	Imp (A)	Vmpp (V)	Pmpp (W)	FF	eta (%)
M01 initial	17,66	27,63	16,84	23,04	388,12	79,54	19,93
M01 nach Reinigung	17,66	27,6	16,86	23,02	387,99	79,61	19,92
delta	0	-0,03	0,02	-0,02	-0,13	0,07	-0,01
delta rel.	0,0%	-0,1%	0,1%	-0,1%	0,0%	0,1%	-0,1%

JA Solar							
M03 initial	13,04	37,45	12,4	31,4	389,36	79,72	19,94
M03 nach Reinigung	13,06	37,36	12,41	31,28	388,16	79,53	19,88
delta	0,02	-0,09	0,01	-0,12	-1,2	-0,19	-0,06
delta rel.	0,2%	-0,2%	0,1%	-0,4%	-0,3%	-0,2%	-0,3%

Abbildung 04 Leistungsmessung an den Modulen Heckert und JA Solar, initial und nach Reinigung

Es sind keine signifikante Leistungsdegradation vor und nach Reinigung feststellbar.

3.2 Elektrolumineszenz Aufnahmen

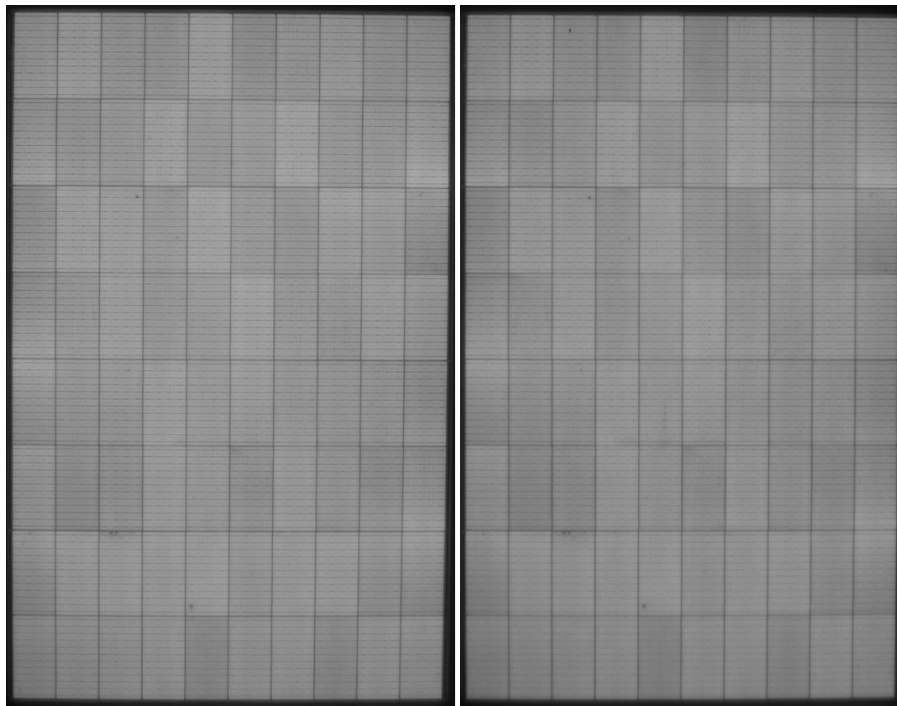


Abbildung 05 Elektrolumineszenz Aufnahmen M01 Heckert, initial (links) und nach Reinigung (rechts)

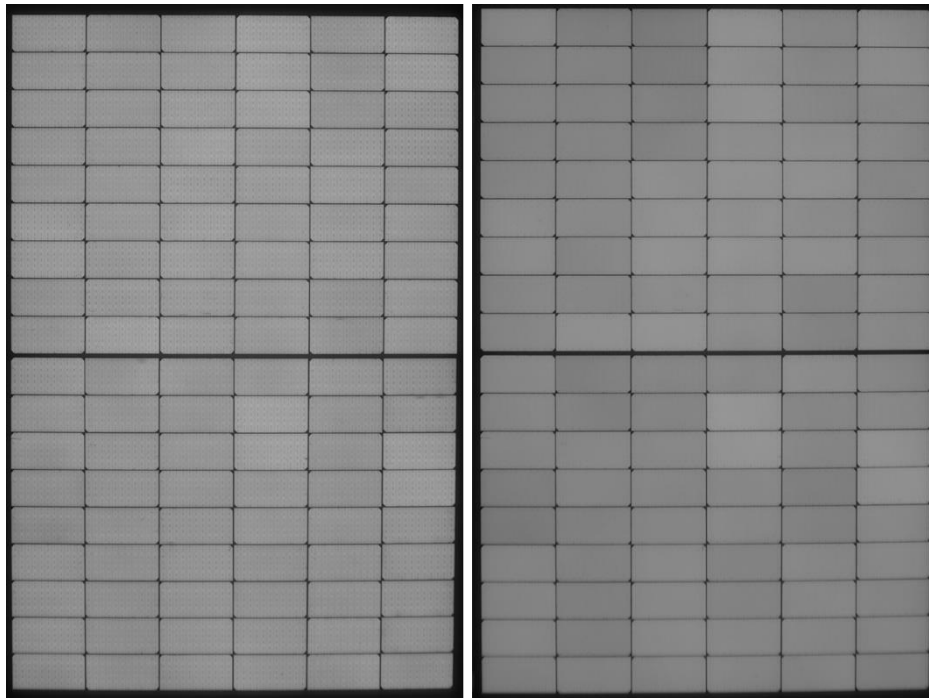


Abbildung 06 Elektrolumineszenz Aufnahmen M03 JA-Solar, initial (links) und nach Reinigung (rechts)

Es sind keinerlei Zellbrüchen vor und nach Reinigung feststellbar.

3.3 Elektrische Sicherheit

Die elektrische Sicherheit bei trockenen- und feuchten Bedingungen wurde bestimmt.

	M01	M02	M03	M04
Isolationsprüfung trocken/nass	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓
Kriechstromprüfung trocken/nass	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓
Nach Reinigung:				
Isolationsprüfung trocken/nass	✓/✓	-	✓/✓	-
Kriechstromprüfung trocken/nass	✓/✓	-	✓/✓	-

Abbildung 07 Isolations- und Kriechstromprüfung an den Modulen Heckert und JA Solar, initial und nach Reinigung

Es sind keine Änderungen des Isolations- und Kriechstromverhaltens vor und nach Reinigung feststellbar.

3.4 Lichtmikroskopische Untersuchung

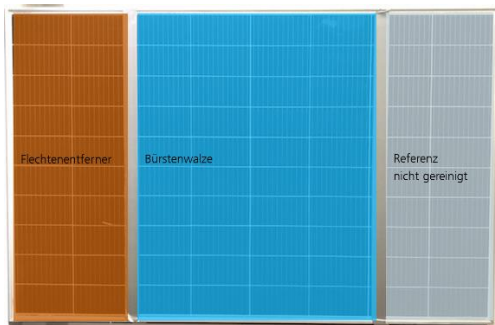
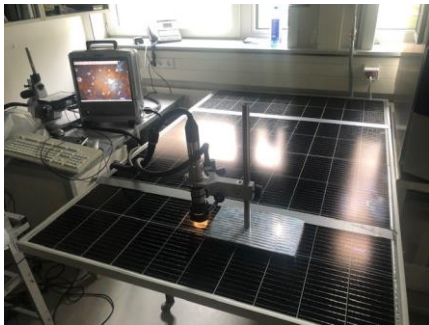


Abbildung 08 Oben links: Modul M01 (Fa. Heckert) bei Aufnahme mit dem Lichtmikroskopaufsatz
Oben rechts: Module M01 mit den untersuchten Messpositionen
Unten links: Zuordnung der Flächen zu den verwendeten Reinigungssystem bzw. Referenzgebiet

Die Reinigungsebene der Reinigung ist jeweils von rechts nach links erfolgt. Es wurde eine 100-fache Vergrößerung gewählt, X100.

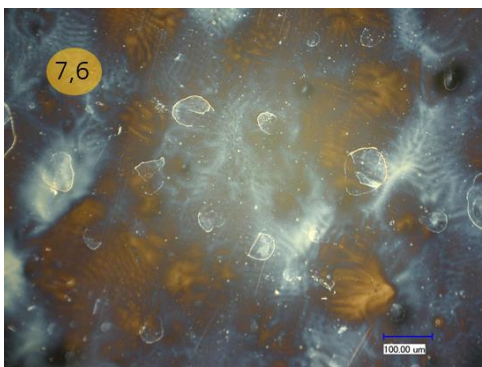
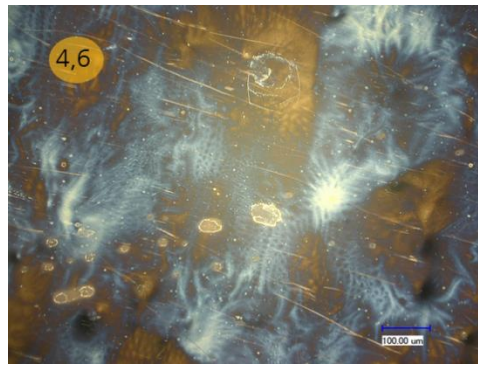
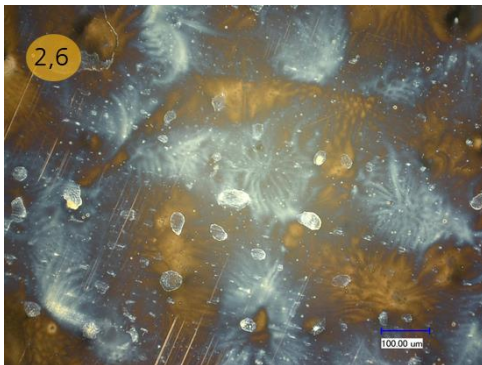


Abbildung 09 Lichtmikroskopaufnahmen, X100, am M01 Heckert, in den 3 untersuchten Bereichen

Es konnten vereinzelte Kratzer in der Referenzregion (also die nicht-gereinigte Fläche) festgestellt werden. Diese können durch Transport, Handling entstanden sein. Es sind

weiterhin *vereinzelte* Kratzer sichtbar im Bereich des Soltacs W gereinigten Bereiches. Es sind keine Beschädigungen in dem mit dem Flechtenentferner behandelten Bereich erkennbar.



Abbildung 10 Module M03 (JA Solar) mit den untersuchten Messpositionen

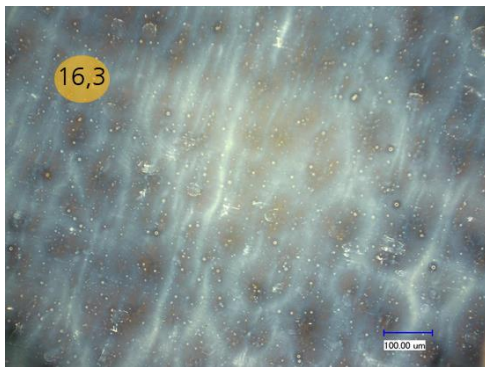
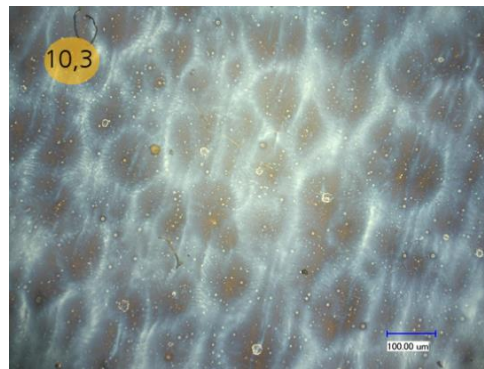
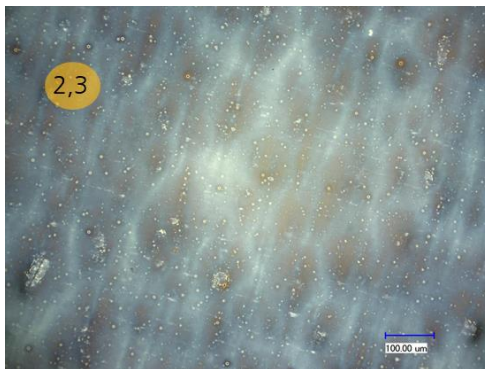


Abbildung 11 Lichtmikroskopaufnahmen, X100, am M03 JA-Solar, in den 3 untersuchten Bereichen

Es sind keine Auffälligkeiten vor und nach Reinigung sichtbar.

3.5 Unterer Modulrand, Fotodokumentation

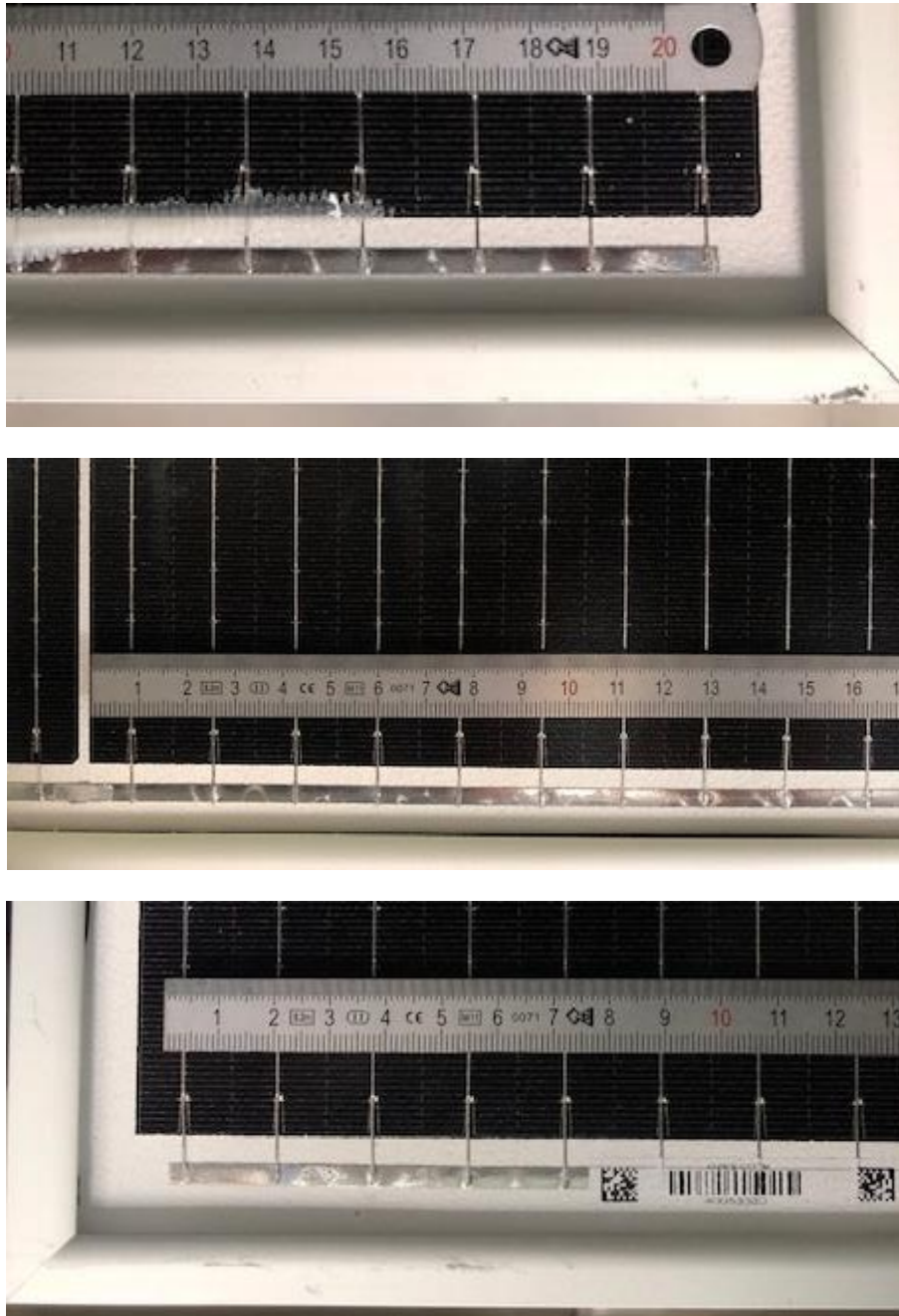


Abbildung 12 Fotoaufnahmen am M01 Heckert, initial (oben), nach Bürstenreinigung (mitte) und nach Flechtenreinigung (unten)

Am unteren Modulrand sind keine sichtbaren Schäden durch die Reinigung feststellbar.

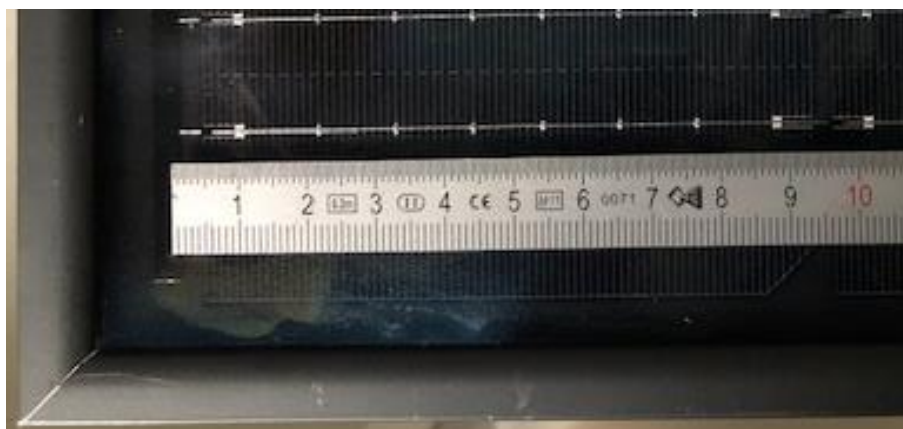
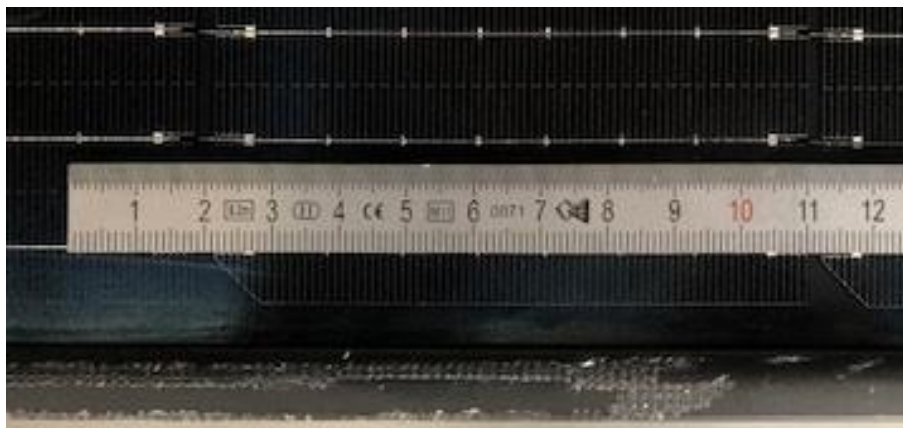
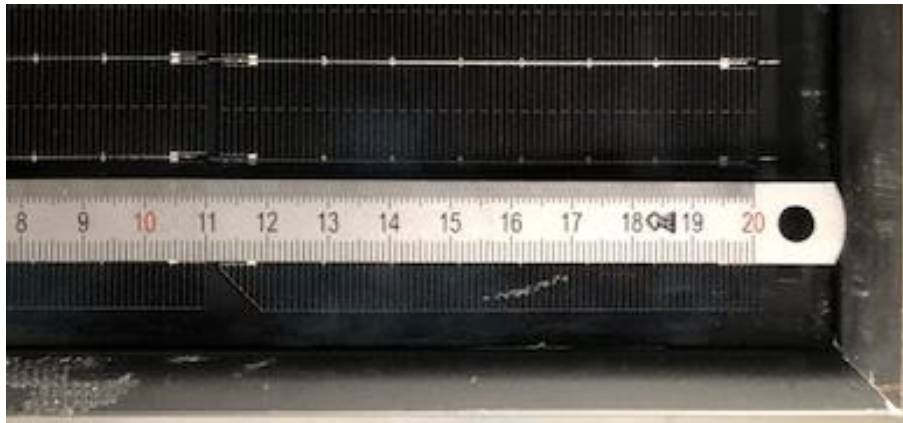


Abbildung 13 Fotoaufnahmen am M03 JA-Solar,
initial (oben), nach Bürstenreinigung (mitte)
und nach Flechtenreinigung (unten)

Am unteren Modulrand sind keine sichtbaren Schäden durch die Reinigung feststellbar.

Anhang

Charakterisierungsmessungen

Charakterisierungsmessungen werden vor, nach und zwischen Belastungstests durchgeführt. Diese Messungen ermöglichen es, die Beständigkeit der Module gegenüber den durchgeführten Belastungsprüfungen zu bewerten.

Sichtprüfung gemäß IEC 61215-2:2021, MQT 01

Die Sichtprüfung dient der Feststellung von sichtbaren Schäden innerhalb eines PV-Moduls. Jede Sichtprüfung wird mit einer Aufnahme von Front- und Rückseite dokumentiert. Ggf. werden Detailaufnahmen von Schäden oder Veränderungen aufgenommen. Alle Bilder können dem Kunden in elektronischer Form zugänglich gemacht werden.

Bei der Sichtprüfung wird das PV-Modul bei einer Beleuchtungsstärke von mindestens 1000 Lux einer sorgfältigen Sichtprüfung auf folgende Zustände unterzogen:

- Gebrochene, rissige oder gerissene äußere Oberflächen
- Blasen oder Ablösungen, die einen durchgehenden Pfad zwischen einem Teil des Stromkreises und der Kante des Moduls bilden
- Ein Riss in einer Zelle, dessen Ausbreitung mehr als 10 % der Zellfläche vom Stromkreis des Moduls trennen könnte
- Verlust der mechanischen Unversehrtheit in einem Umfang, dass Installation und/oder Betrieb des Moduls beeinträchtigt wären.

Leistung bei STC gemäß IEC 60904 (-1 und -3)

Bei der Leistungsmessung können Leistungsunterschiede zur Leistung laut Typenschild und vor und nach den Belastungsprüfungen festgestellt werden. Die Leistung der Module wird unter standardisierten Bedingungen (STC - Standard Test Conditions) in einem Blitzlichtsimulator ermittelt:

Bestrahlungsstärke:	1000 W/m ²
Modultemperatur:	25 °C
Spektrum des Simulators:	AM 1,5 global
Klasse (gemäß IEC60904-9):	AAA

Kriechstromprüfung / Prüfung des Isolationswiderstandes unter Benässung gemäß IEC 61215-2:2021, MQT 15

Mittels Kriechstromprüfung wird festgestellt, ob das Modul zwischen den spannungsführenden Komponenten und dem Rahmen oder anderen zugänglichen Teilen des Moduls auch bei Nässe ausreichend gut elektrisch isoliert ist. Hierfür wird das Modul in ein Wasserbad eingetaucht und die maximal zulässige Systemspannung zwischen Zellen und Wasserbad angelegt. Nach einer gewissen Haltezeit wird der Isolationswiderstand des Moduls gemessen. Das Produkt aus gemessenem Isolationswiderstand und Modulfläche darf $40 \text{ M}\Omega \cdot \text{m}^2$ nicht unterschreiten.
Anforderung Mindestwiderstand: $40 \text{ M}\Omega \cdot \text{m}^2 / 2,70 \text{ m}^2 = 14,81 \text{ M}\Omega$

Elektrolumineszenzmessung

Bei der Elektrolumineszenzprüfung wird das Modul im Rückstrom betrieben. Dadurch emittiert es eine Strahlung, die für das menschliche Auge nicht sichtbar ist.

Die Anzahl der emittierten Ladungsträger ist hierbei proportional zum Zellstrom. Beschädigte oder schlecht kontaktierte Bereiche einer Zelle erscheinen auf einer Elektrolumineszenzaufnahme als dunkle Stellen.

Durch eine Elektrolumineszenzmessung können vor allem Zellbrüche oder defekte Rückseitenkontaktierung sowie defekte Stromsammelfinger (Grids) sichtbar gemacht werden. Auch leistungsschwache Zellen in einem Verbund können detektiert werden.