

Fehleranalyse an Photovoltaikmodulen

Prof. Konrad Mertens

Labor für Optoelektronik und Sensorik, Photovoltaik-Prüflabor

Fachbereich Elektrotechnik und Informatik

Fachhochschule Münster



Gliederung

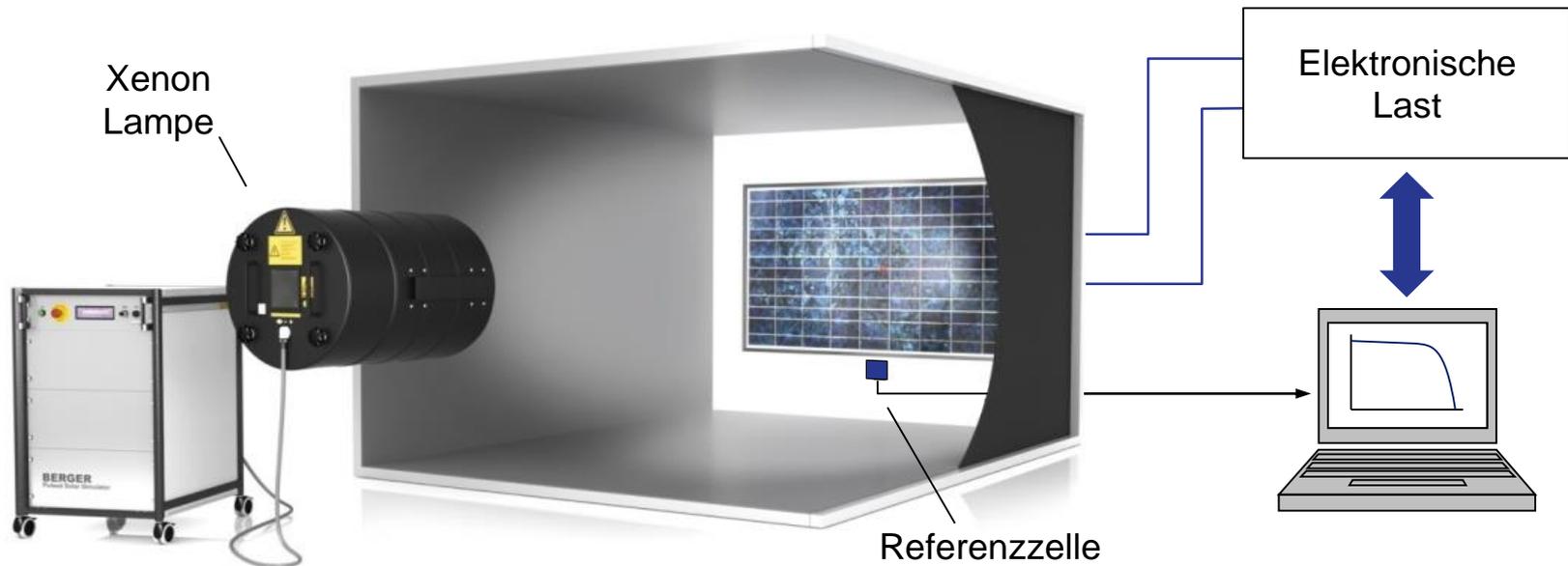
- › Welche Standard-Messmethoden gibt es?
- › Motivation für LowCost-Outdoor-EL
- › Umbau von Spiegelreflexkameras
- › Optimierung der Technik für Outdoor-EL
- › Wie werden die Messungen durchgeführt?
- › Konkrete EL-Messbeispiele
- › Was kann man damit sonst noch anfangen?
- › Fazit



Welche Standard-Messmethoden gibt es?

1. Leistungsmessung im Flasher

› Prinzipieller Aufbau

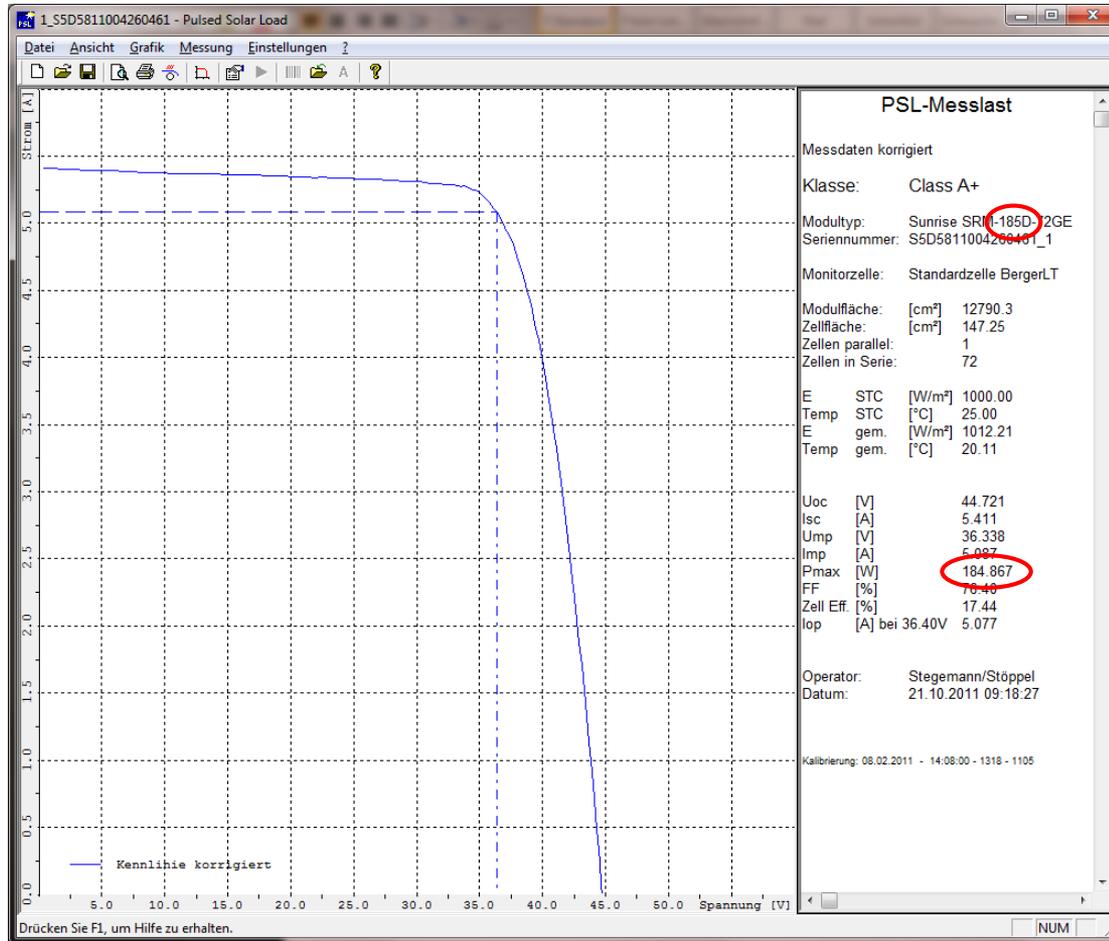


- Reihenuntersuchungen für Hersteller und Importierer
- Erstellung von Gutachten in Gerichtsverfahren (Garantie etc.)



1. Leistungsmessung im Flasher

➤ Beispielmessung: Modul ok

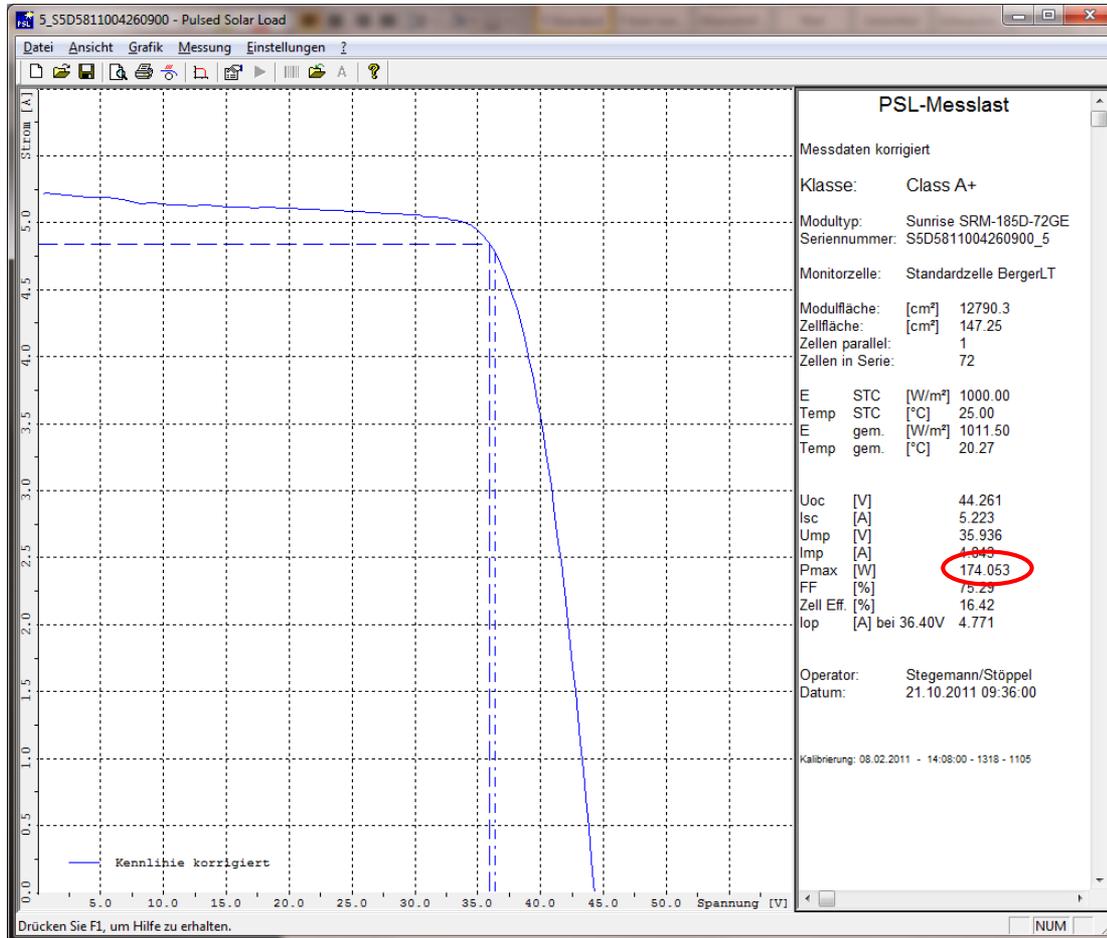


Geringe Messtoleranz: +/- 3 %



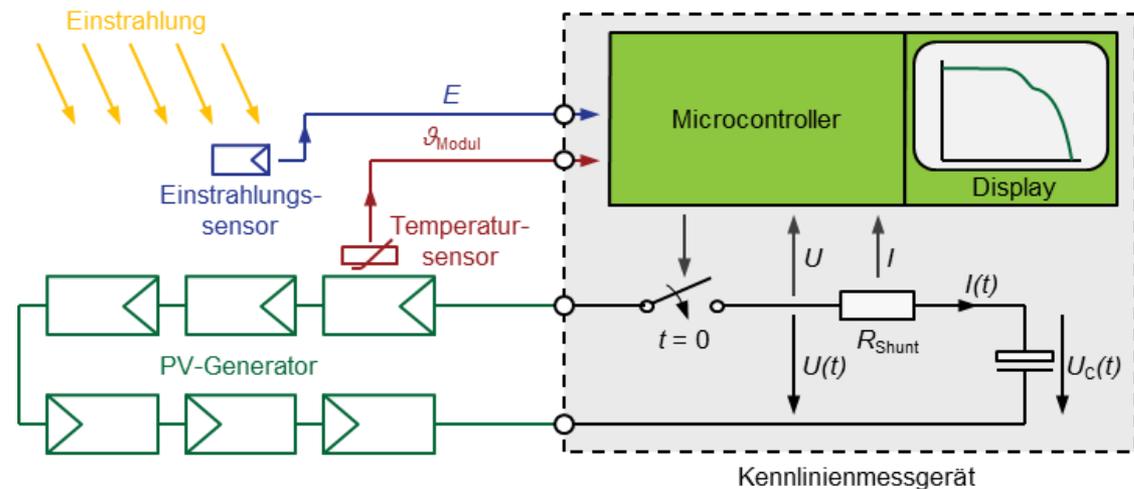
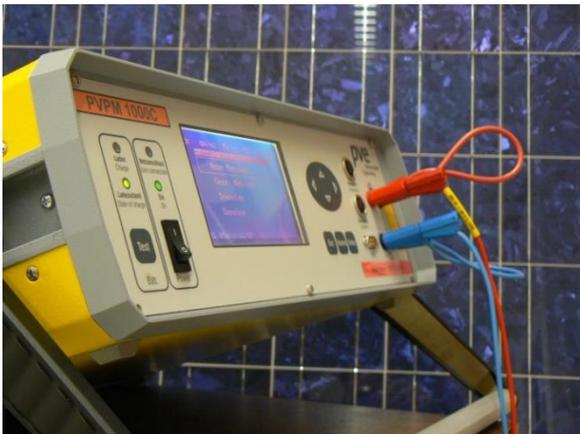
1. Leistungsmessung im Flasher

› Beispielmessung: unterschiedlich gute Zellen



2. Peakleistungsbestimmung vor Ort

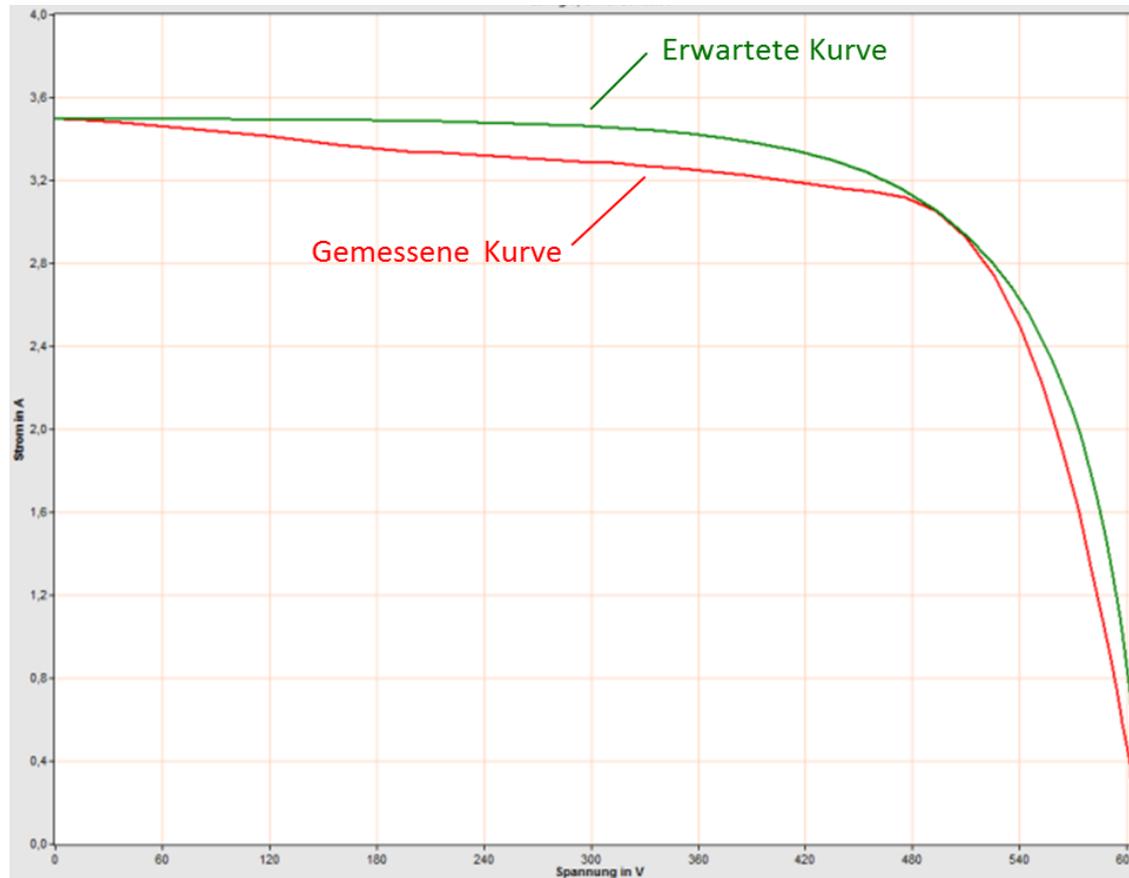
- Kennlinienmessung mit Aufnahme von Einstrahlung und Temperatur
- Gesamter String wird gemessen





2. Peakleistungsbestimmung vor Ort

› Beispielmessung: unterschiedlich gute Module

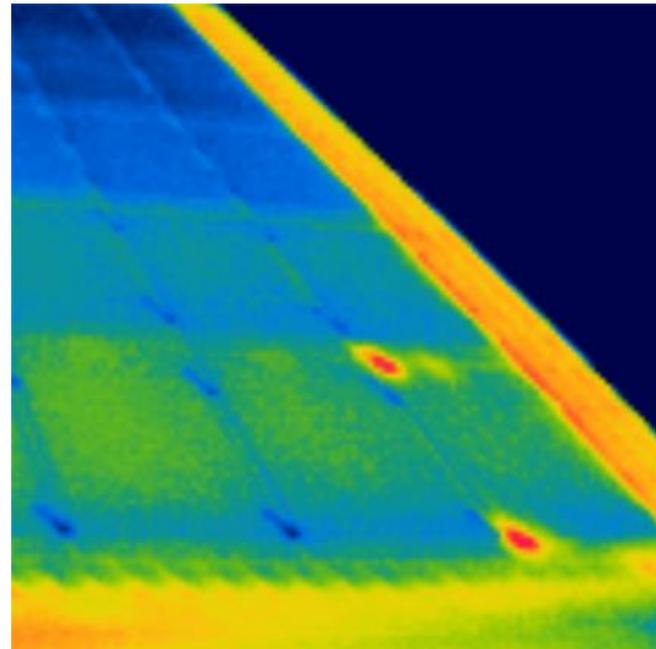


Messtoleranz: > +/- 5 %



3. Thermographie

› Beispiel: einzelne Zellen defekt

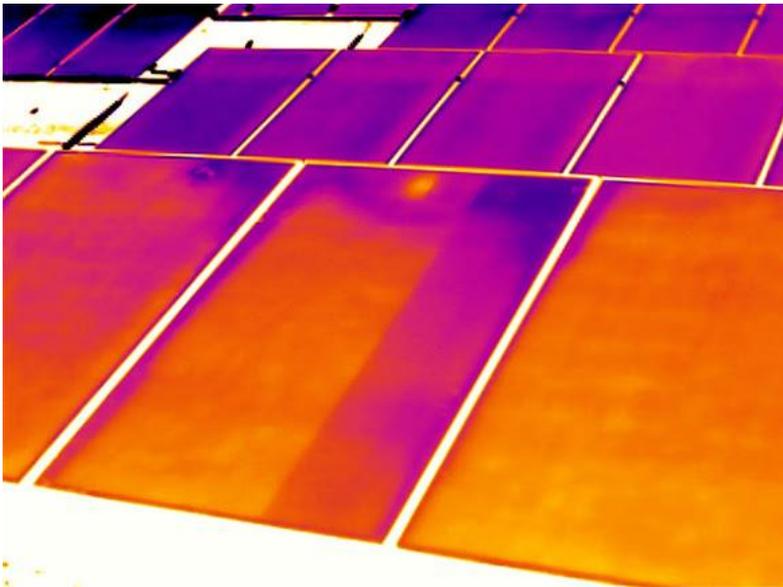


⇒ Deutlich erkennbare Fehler

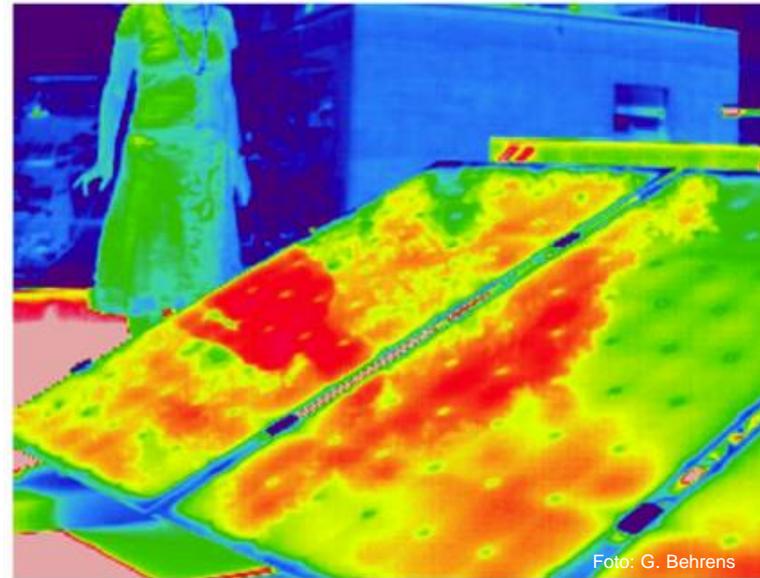


3. Thermographie

› Probleme



- unklares Fehlerbild



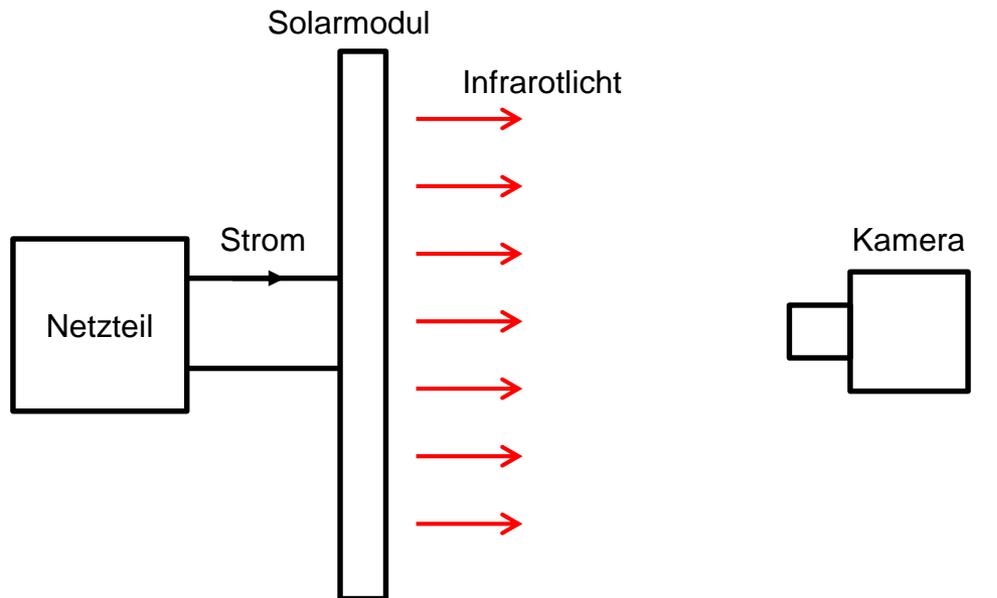
Reflexionen

gutes Wetter notwendig



4. Elektrolumineszenz

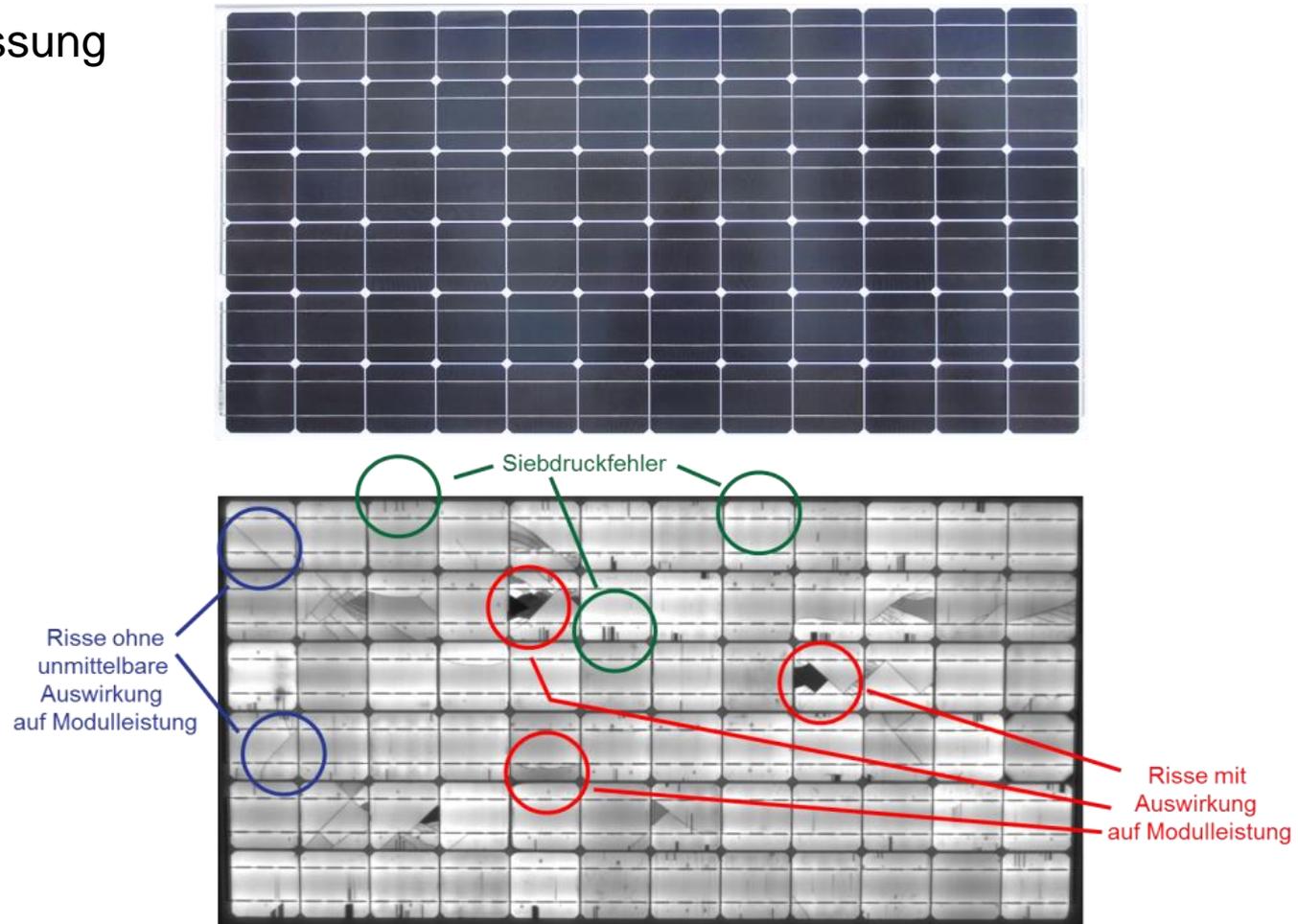
- › Prinzip: Modul wird bestromt und leuchtet im Infrarotbereich





4. Elektrolumineszenz

› Beispielmessung





Motivation für LowCost-Outdoor-EL



Motivation 1

› Normalerweise: EL-Messung im Labor

Vorteile:

- + Kein Umgebungslicht
- + Stabile Messbedingungen
- + Man wird nicht nass...☺

Nachteile:

- Demontage, Transport, Messung im Labor, Transport, Neumontage
⇒ Riesenaufwand
- Ggf. zusätzliche Schäden (Mikrorisse etc.) durch Demontage und Transport
- Es werden immer nur einzelne Module vermessen



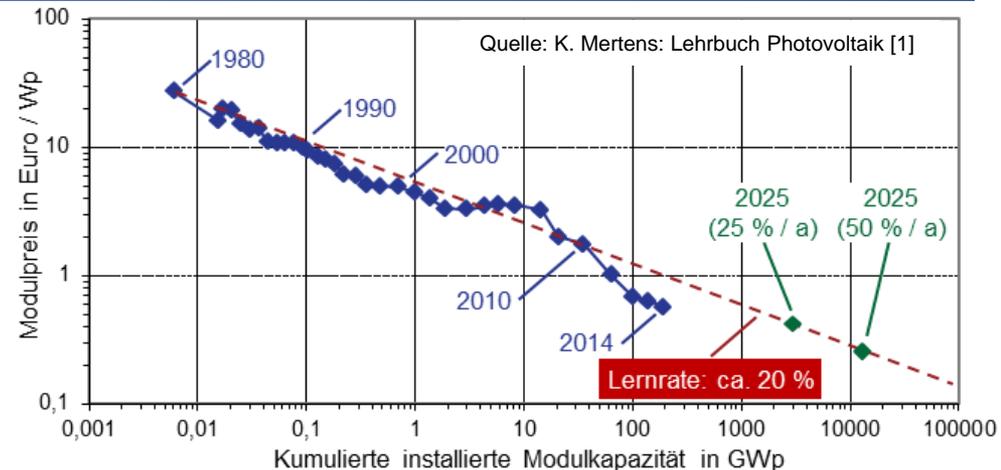


Motivation 2

› Modulpreise gehen zurück

z.B.:

- 2010:
- Modul kostete 400 – 500 Euro
 - Flasher- u. EL-Messung kostete zusammen 250 Euro
 - Zusätzlich Demontage und Transport
- 2016:
- Modul kostet 150 -200 Euro
 - Demontage- und Transportkosten sind gleich geblieben
 - Flasher- u. EL-Messung kostet zusammen ?? Euro





Motivation 3

› Günstige EL-Kameras möglich



[2]
Mertens, K., Stegemann, Th., Stöppel, T.:
LowCost EL: Erstellung von Elektrolumineszenzbildern mit einer
modifizierten Standard-Spiegelreflexkamera

Paper Staffelstein 2012:

- Normale Spiegelreflexkamera (300 €) einfach umbaubar für EL-Messungen
- Zusammen mit IR-Objektiv und Kleinteilen: ca. 900 €

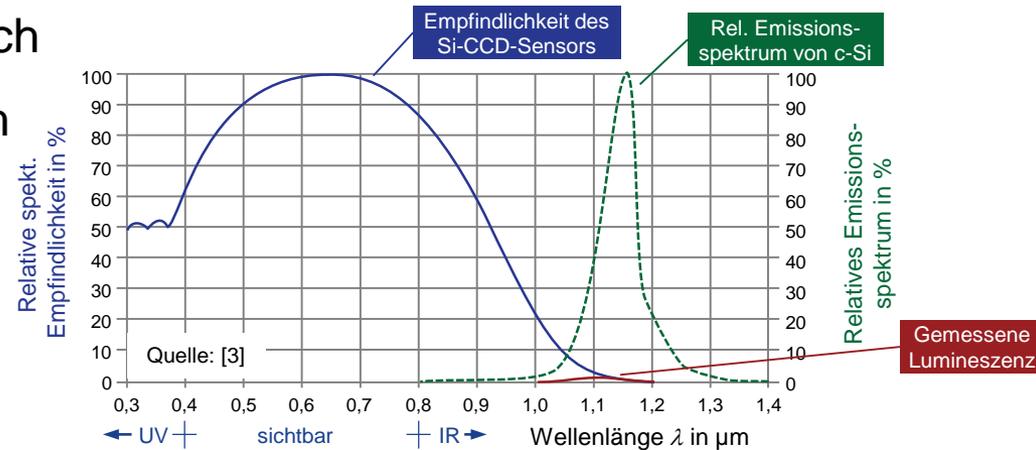
⇒ Raus aufs Dach damit!



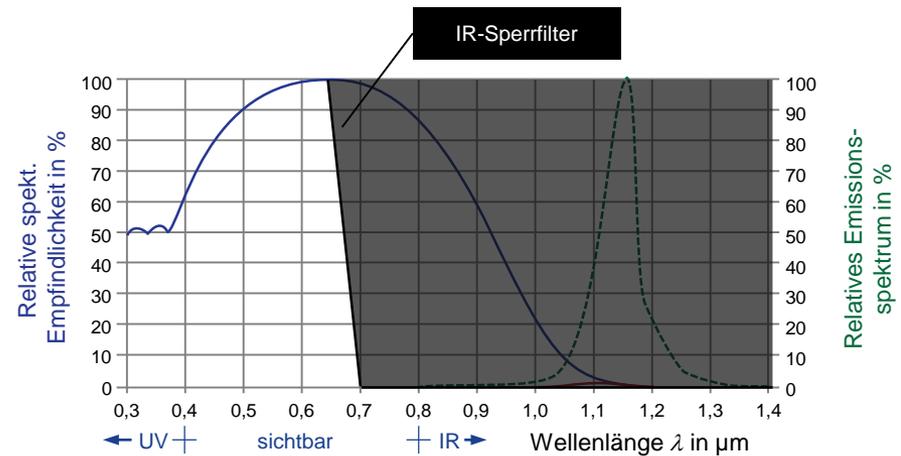
Umbau von Spiegelreflexkamas

Umbau von Spiegelreflex-Kameras

- › EL-Spektrum liegt im Infrarotbereich
 - › CCD-Sensor ist dort unempfindlich
- ⇒ Nur schwaches EL-Signal!



- › Kamera enthält Sperrfilter für IR
- ⇒ muss ausgebaut werden!

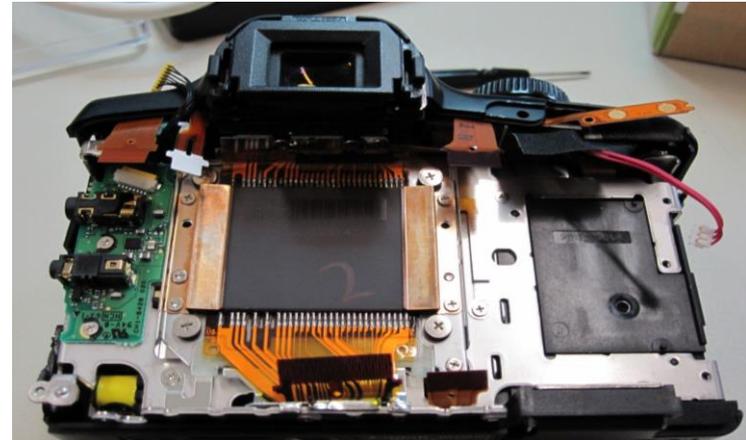




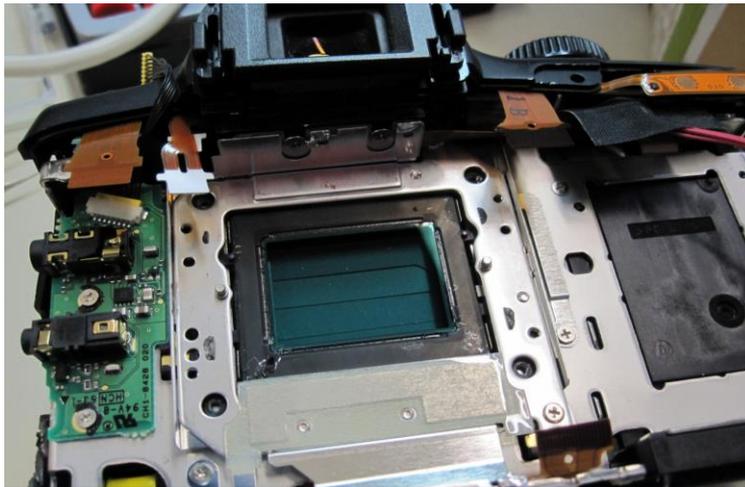
Umbau von Spiegelreflex-Kameras



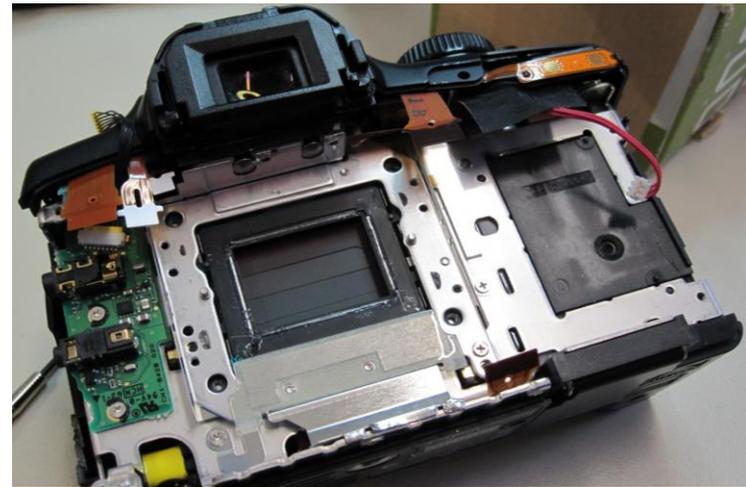
Arbeitsplatz mit benötigten Werkzeugen



Kamera geöffnet, Bildsensor freigelegt



Bildsensor entfernt, IR-Filter freigelegt

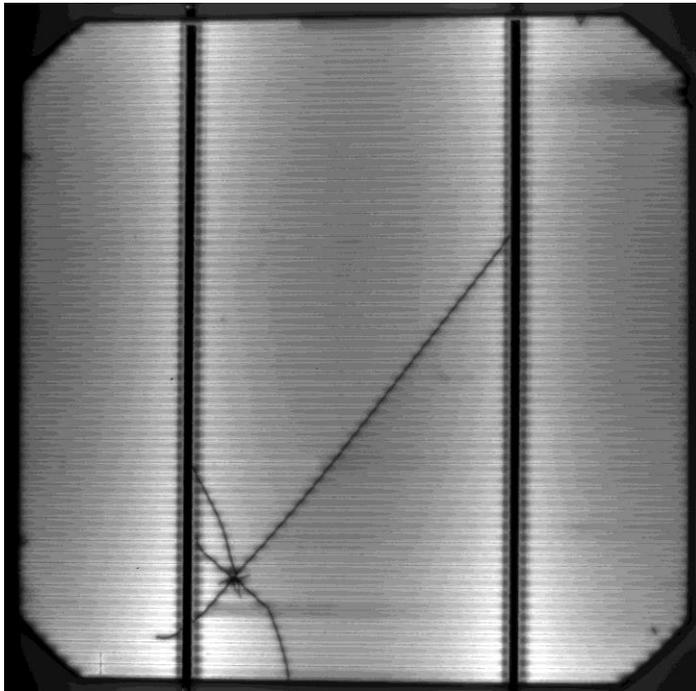


IR-Filter entfernt

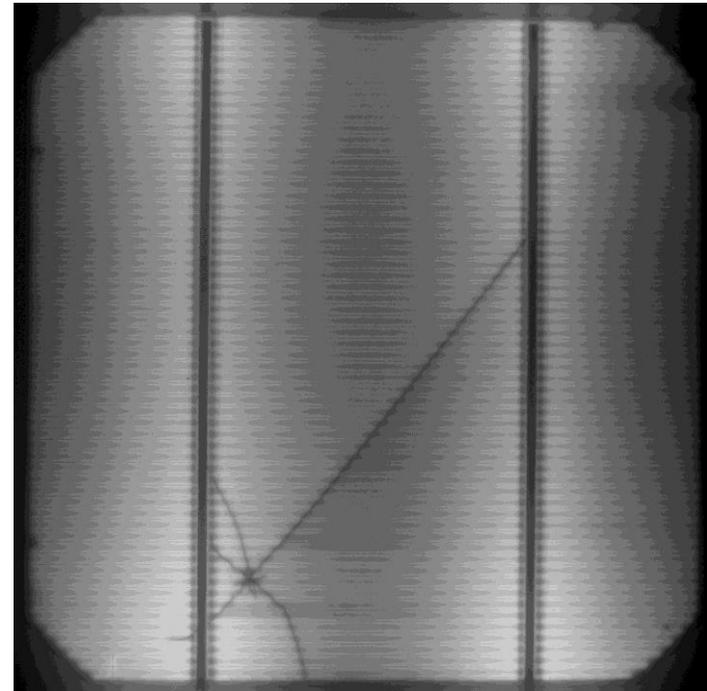


Umbau von Spiegelreflex-Kameras

› Qualitätsvergleich



Spezialkamera (> 12.000 €)



Canon EOS 1100D (300 €)

⇒ Absolut ausreichend für die Erkennung von Fehlern

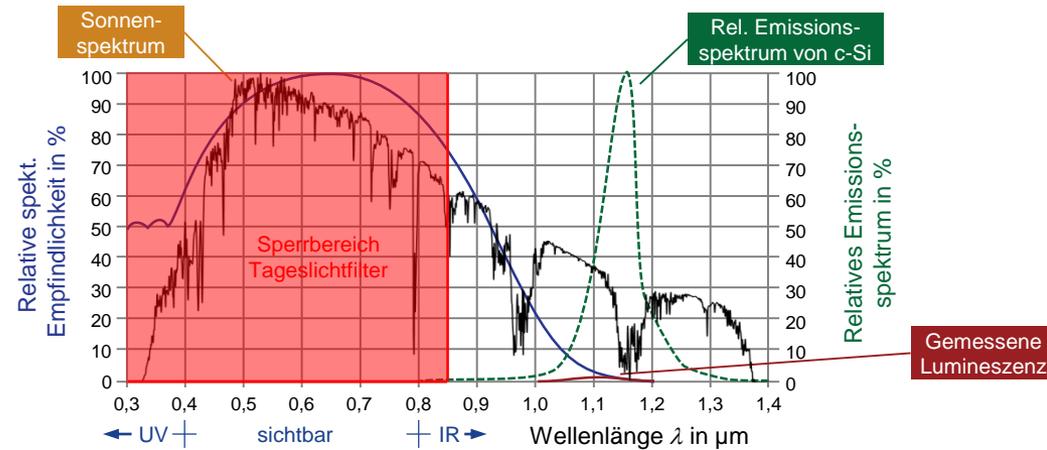


Optimierung der Technik für Outdoor-EL

Optimierung der Technik für Outdoor-EL

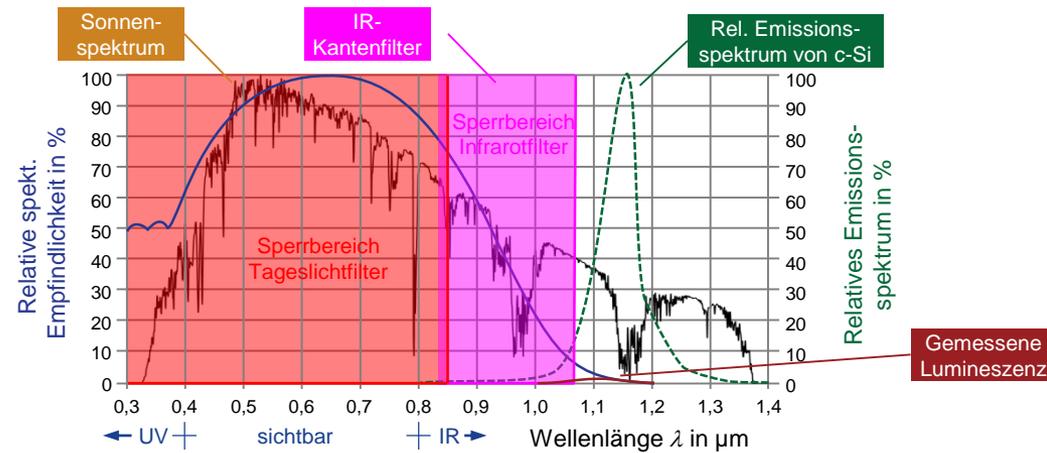
➤ Problem: Sonnenlicht stört!

⇒ Abhilfe: Tageslichtfilter



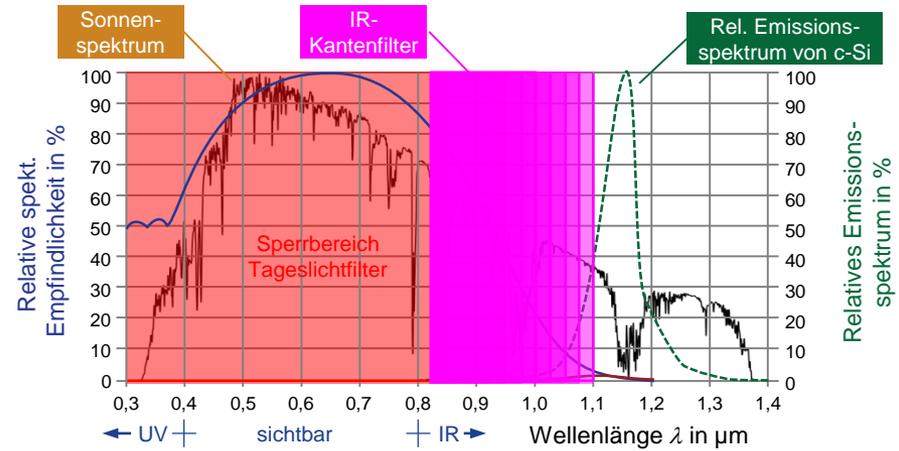
➤ Das reicht noch nicht

⇒ Zusätzliches IR-Kantenfilter

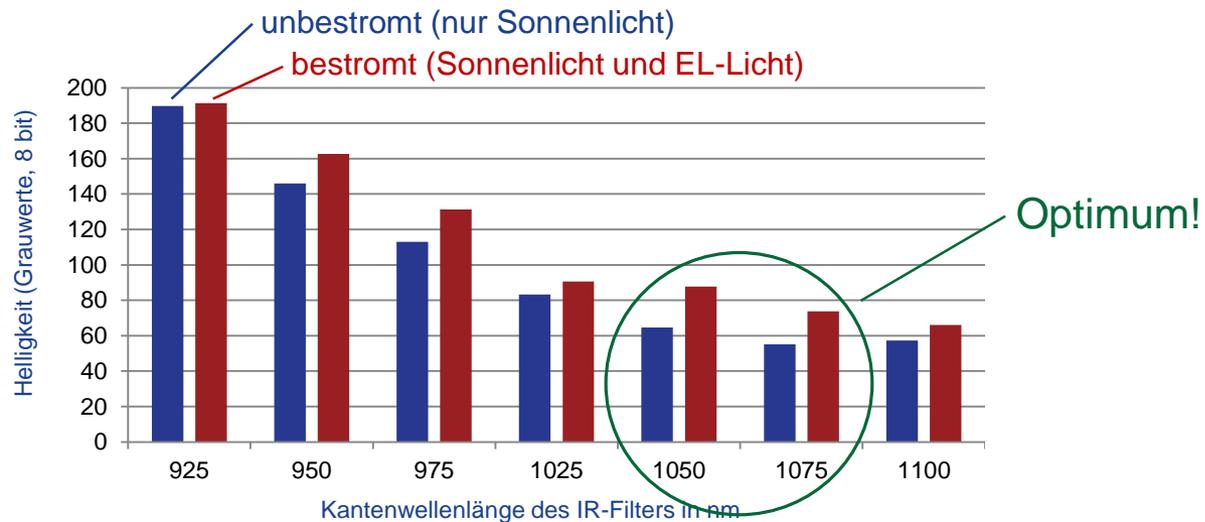


Optimierung der Technik für Outdoor-EL

› Optimierung der Filterkantenwellenlänge



⇒ Vergleich bestromtes und unbestromtes Modul:

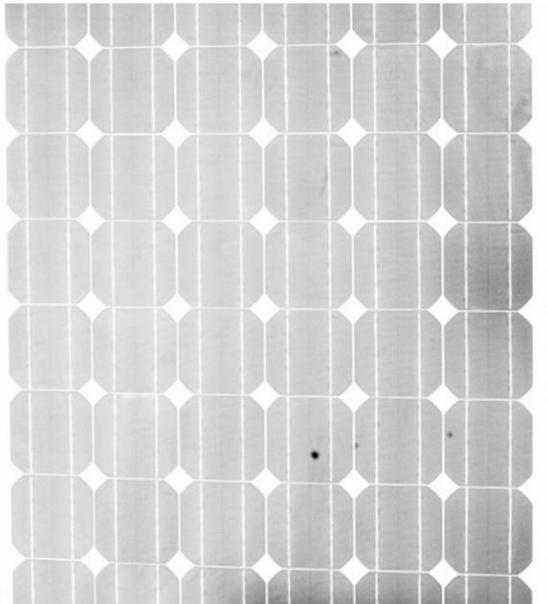




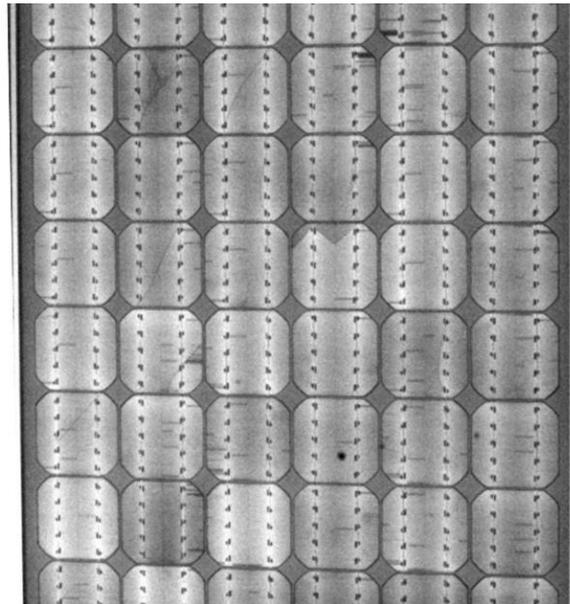
Optimierung der Technik für Outdoor-EL

› Ergebnis (soeben untergegangene Sonne...)

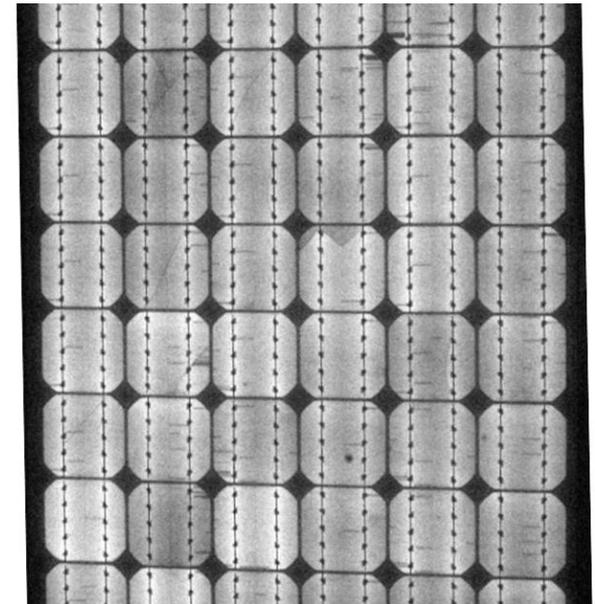
Nur Tageslichtfilter:



Tageslichtfilter und
Kantenfilter (1050 nm):



Differenzbild
(bestromt minus unbestromt):



- Im vollen Sonnenlicht: bisher keine auswertbaren Aufnahmen, ggf. lösbar über Lock-In-Technik

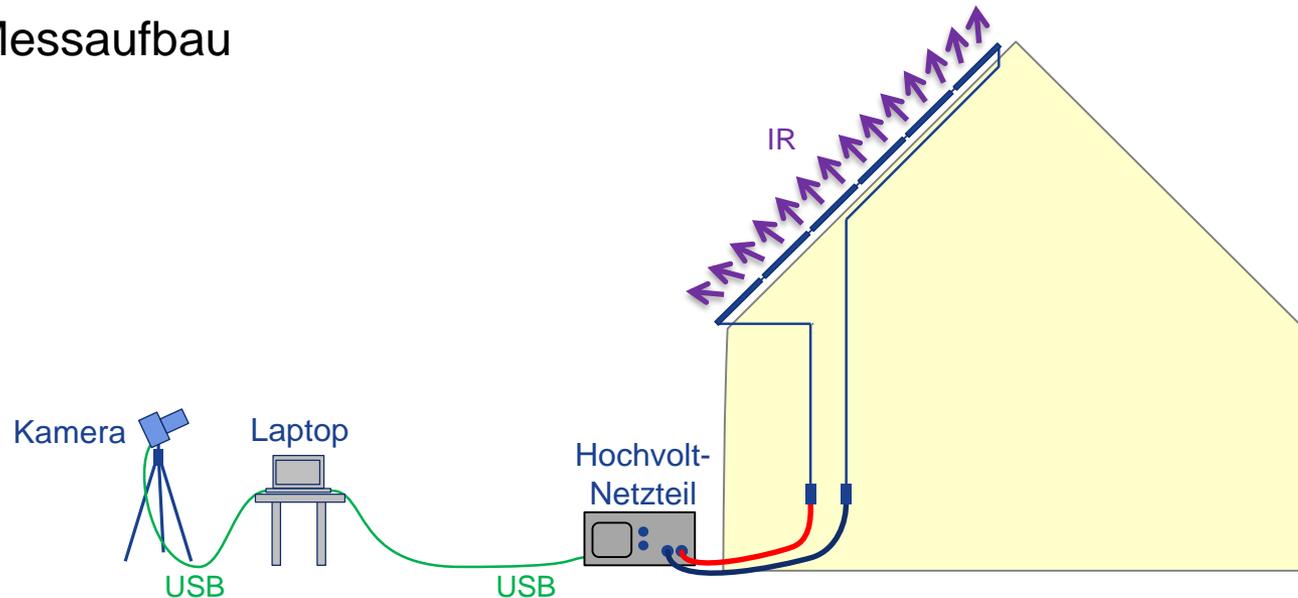


Wie werden die Messungen durchgeführt?



Wie werden die Messungen durchgeführt?

› Typischer Messaufbau



- Stringbestromung über Netzteil (z.B. halber Kurzschlussstrom)
- Scharfstellung im Videomodus
- Belichtungszeiten zwischen 0,5 und 5 sek
- Ggf. Differenzbildaufnahme (bestromt, unbestromt)



Wie werden die Messungen durchgeführt?

› Verwendetes Netzteil



„pvServe“:

- $U = 0 - 1000 \text{ V}$, $I = 0 - 5 \text{ A}$, $P_{\text{Max}} = 3,3 \text{ kW}$
- Betreibbar an 230 V - Steckdose
- Fernsteuerbar über USB-Bus



Konkrete EL-Mess-Beispiele



Konkrete EL-Messbeispiele

› Wie sind die Strings verkabelt?

String 1:



String 2:

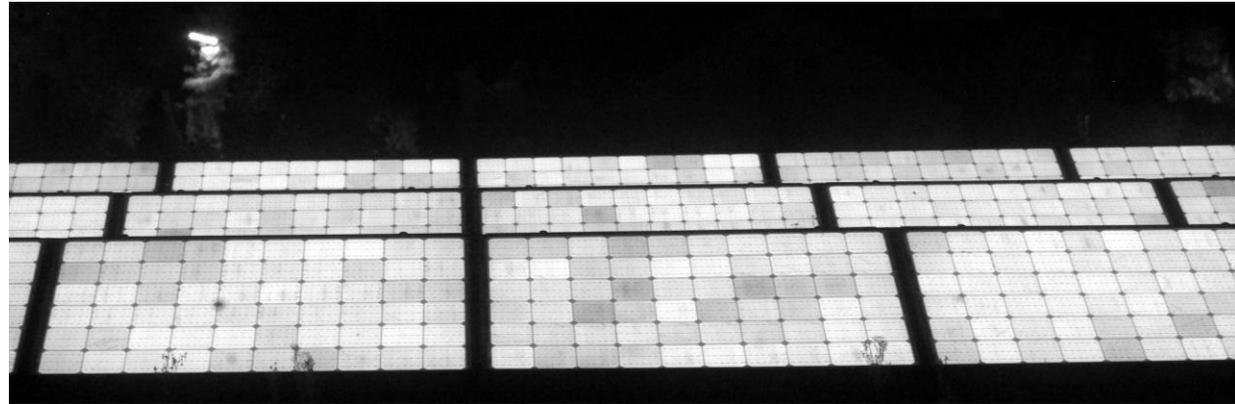




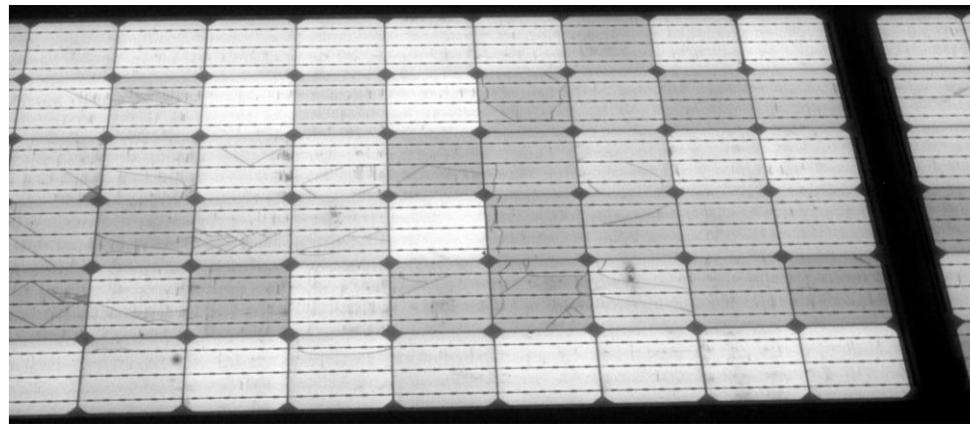
Konkrete EL-Messbeispiele

› Aufnahme Flachdachanlage

Gesamtansicht:



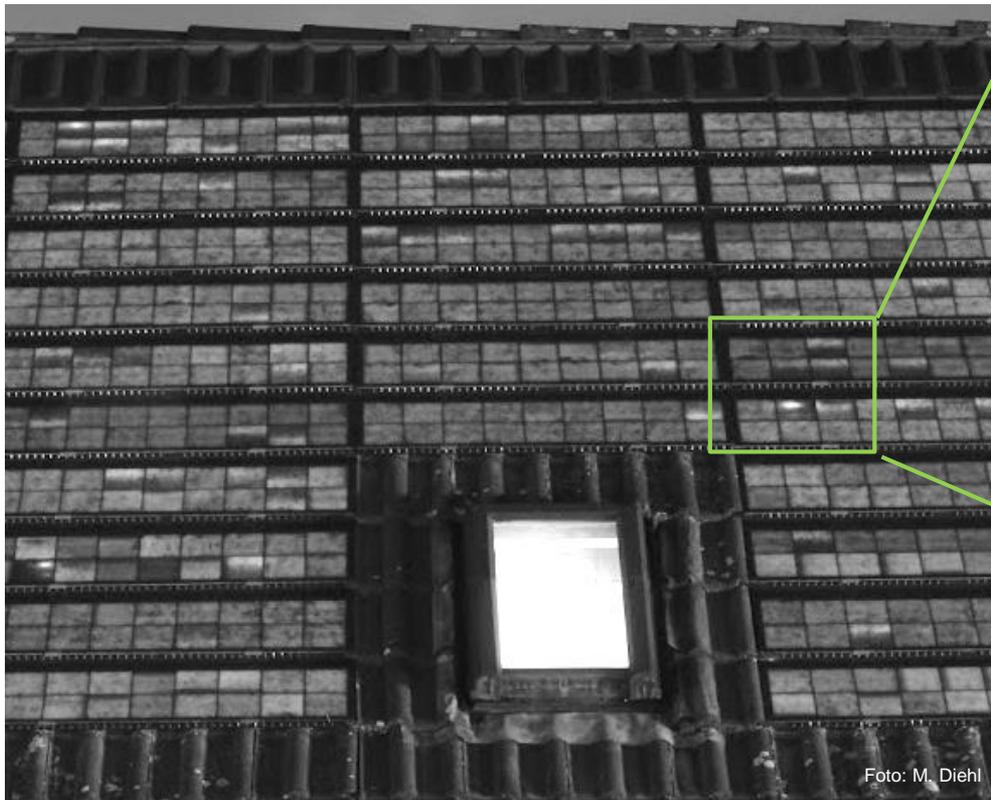
Detailansicht:



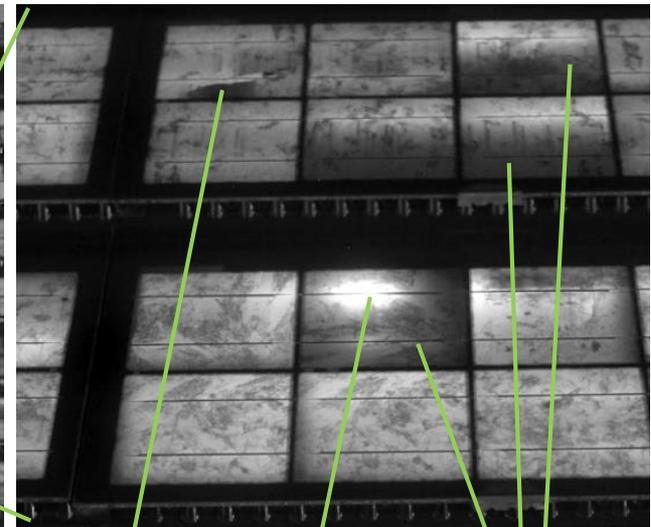
Konkrete EL-Messbeispiele

› Aufnahme Schrägdachanlage

Gesamtaufnahme:



Detailaufnahme:



Mikroriss

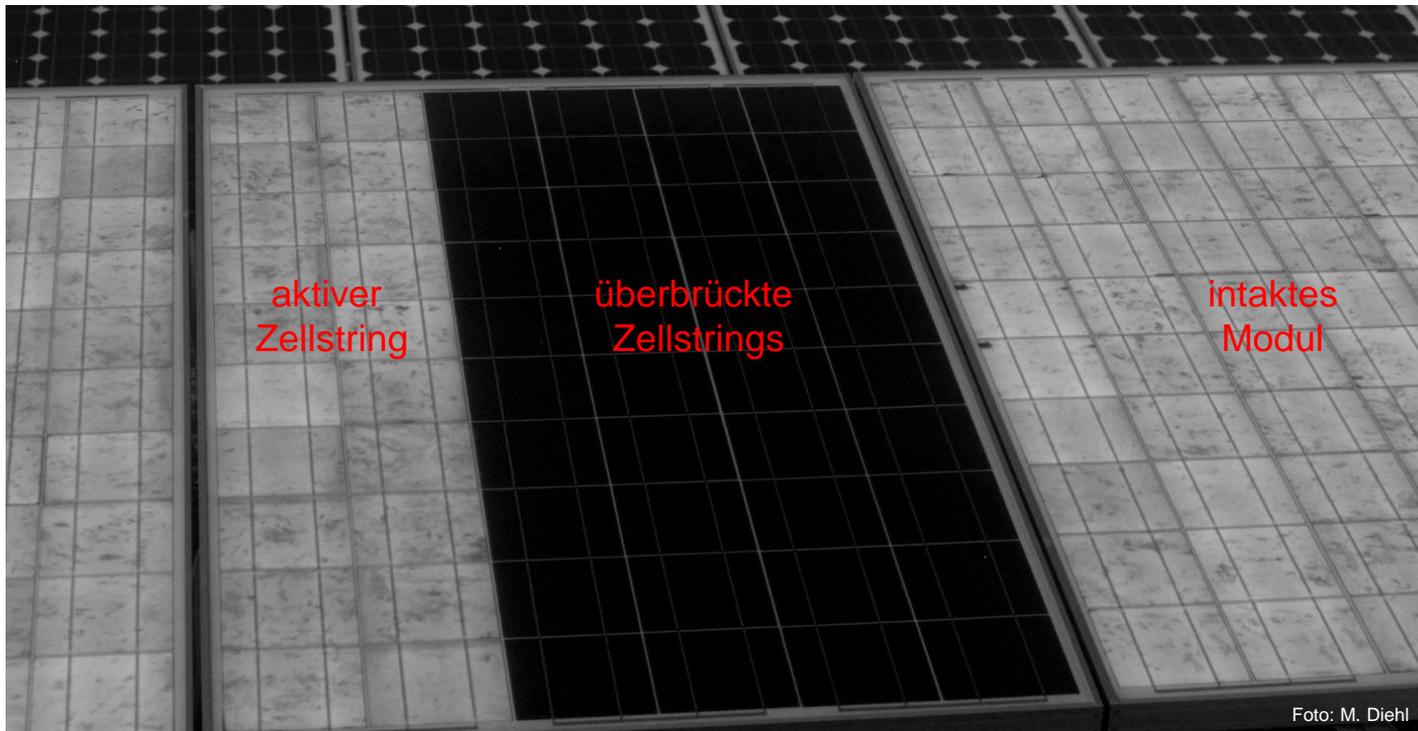
Hotspot

Inaktive
Zellverbinder



Konkrete EL-Messbeispiele

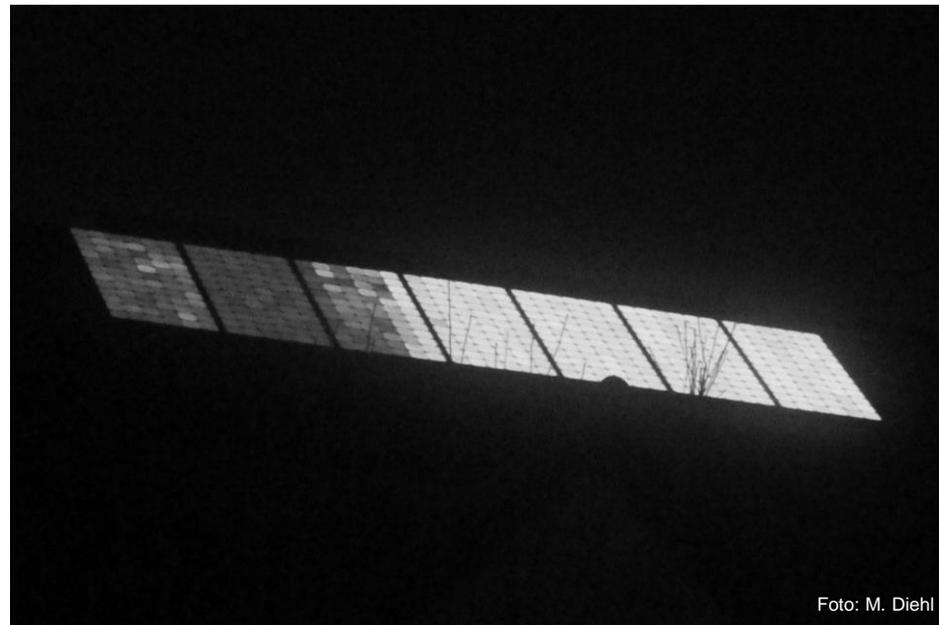
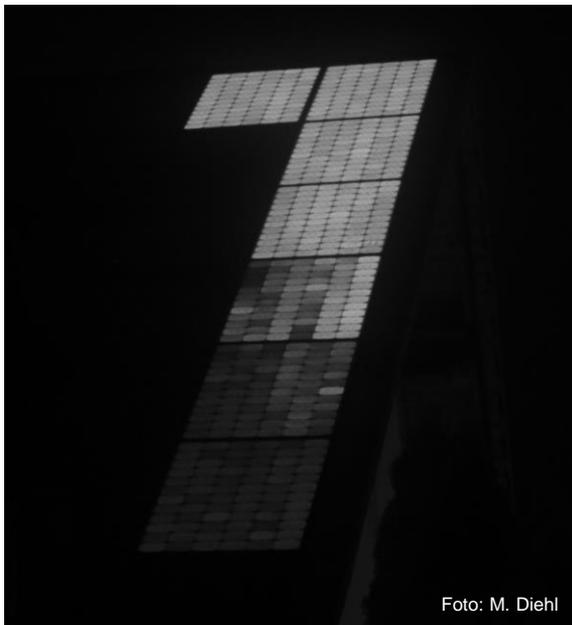
› Fehlerbild: Bypassdioden im Kurzschluss





Konkrete EL-Messbeispiele

› Fehlerbild: Potentialinduzierte Degradation (PID)



- ⇒ Effekt ist Vorort eindeutiger zu ermitteln als am Einzelmodul im Labor!
- ⇒ Hochvolt-Netzteil kann ggf. zur Heilung der PID genutzt werden (+ 1000 V gegen Masse)

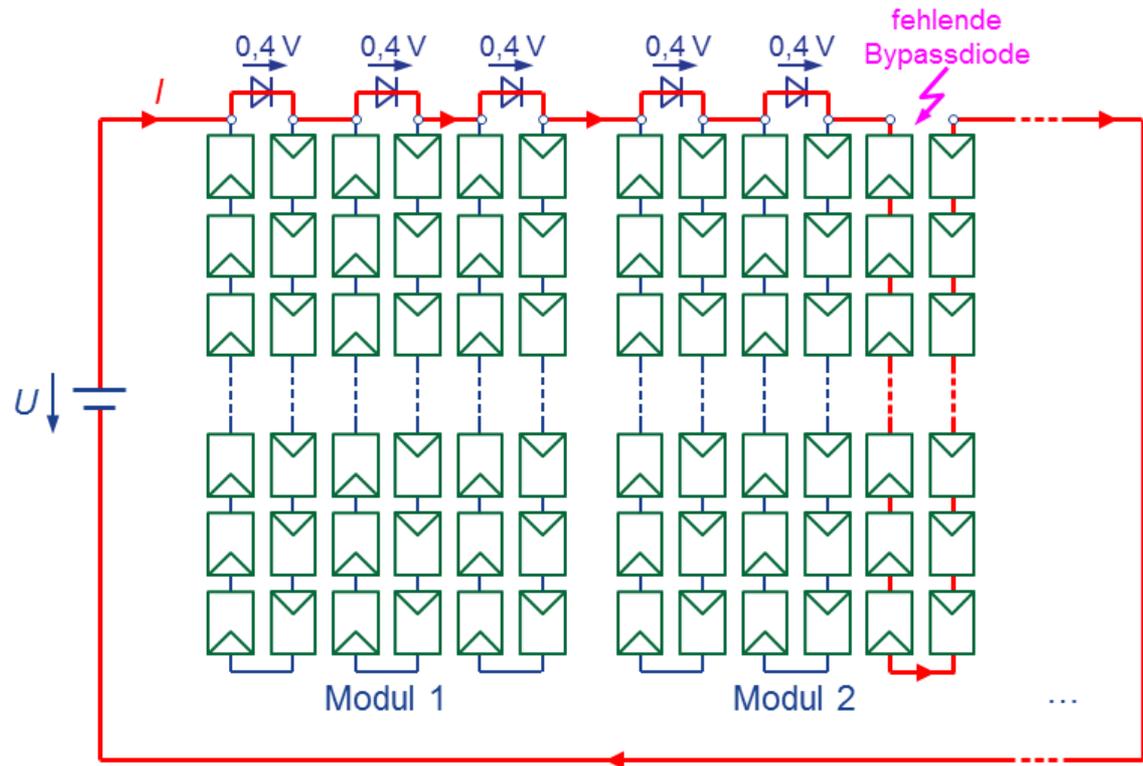


Was kann man damit (mit dem Netzteil) sonst noch anfangen?

Was kann man damit sonst noch anfangen?

› Erkennung von nicht kontaktierten oder fehlenden Bypassdioden

⇒ Anlegen einer negativen Spannung an den String:



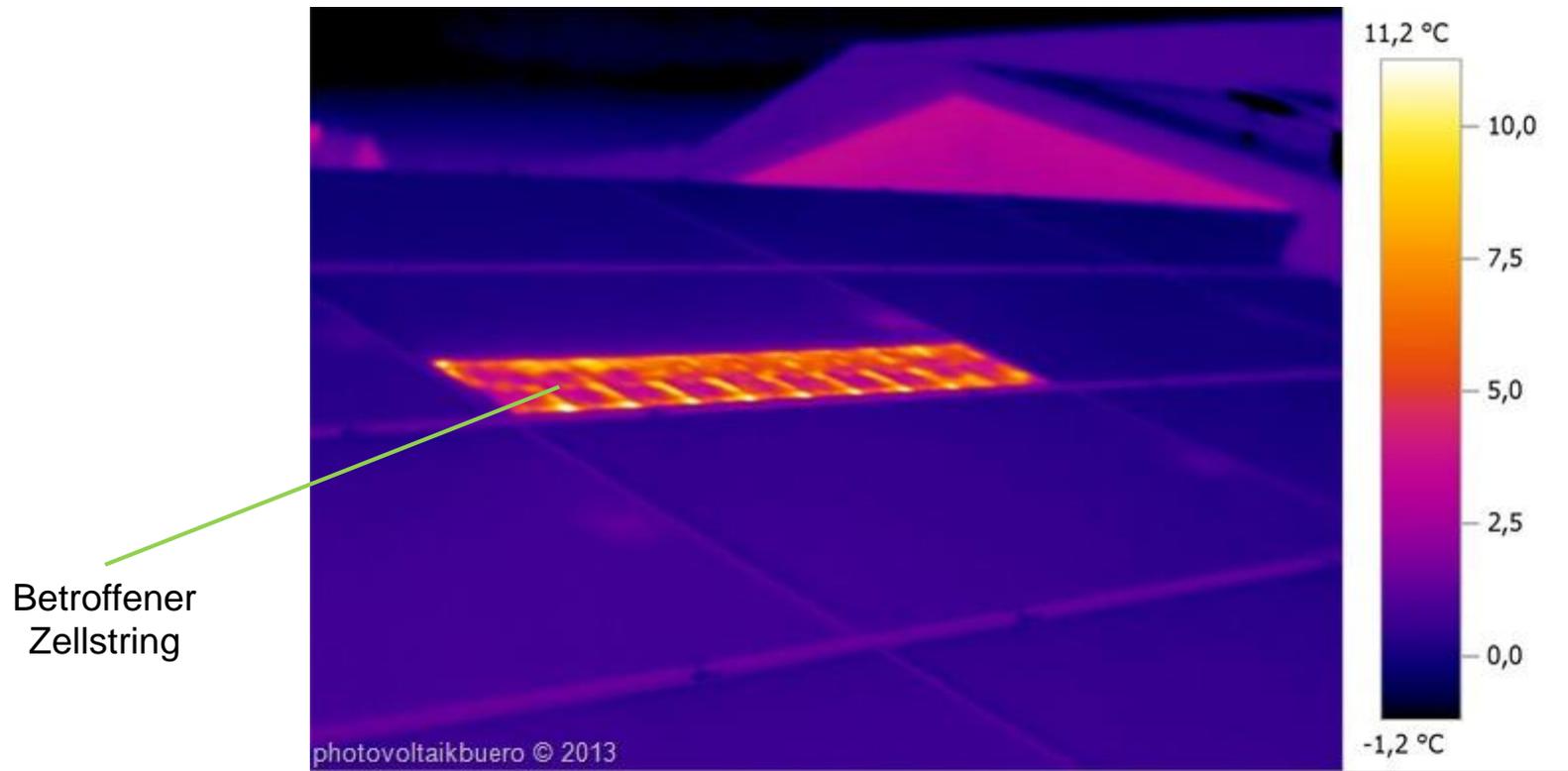
⇒ Betroffenes Modul heizt sich auf



Was kann man damit sonst noch anfangen?

› Erkennung von nicht kontaktierten oder fehlenden Bypassdioden

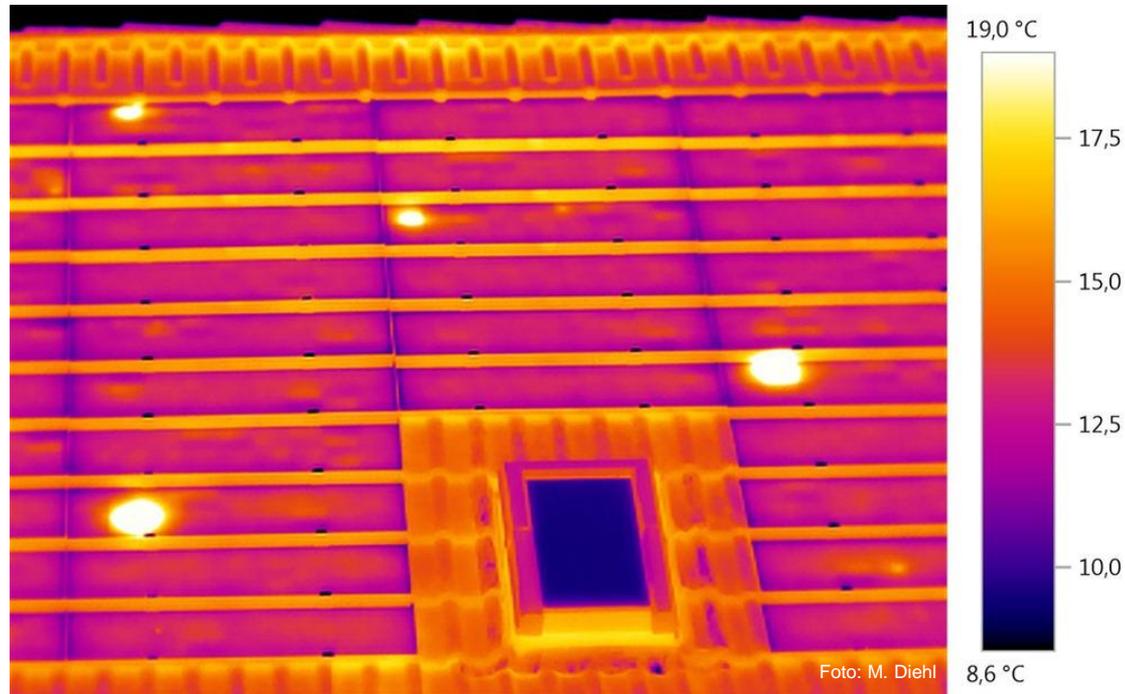
⇒ Mit Thermographie ist betroffenes Modul leicht zu finden





Was kann man damit sonst noch anfangen?

› Rückstromthermographie („Nacht-Thermographie“)



⇒ Hotspots (durch Kontaktfehler) deutlich besser detektierbar als bei Tag-Thermographie (keine Aufheizung der Zellen durch Sonnenlicht, keine Reflexionen des Sonnenlichts)



Was kann man damit sonst noch anfangen?

› Schnee abtauen... 😊





Was kann man damit sonst noch anfangen?

› Schnee abtauen... 😊





Was kann man damit sonst noch anfangen?

› Schnee abtauen... 😊





Fazit



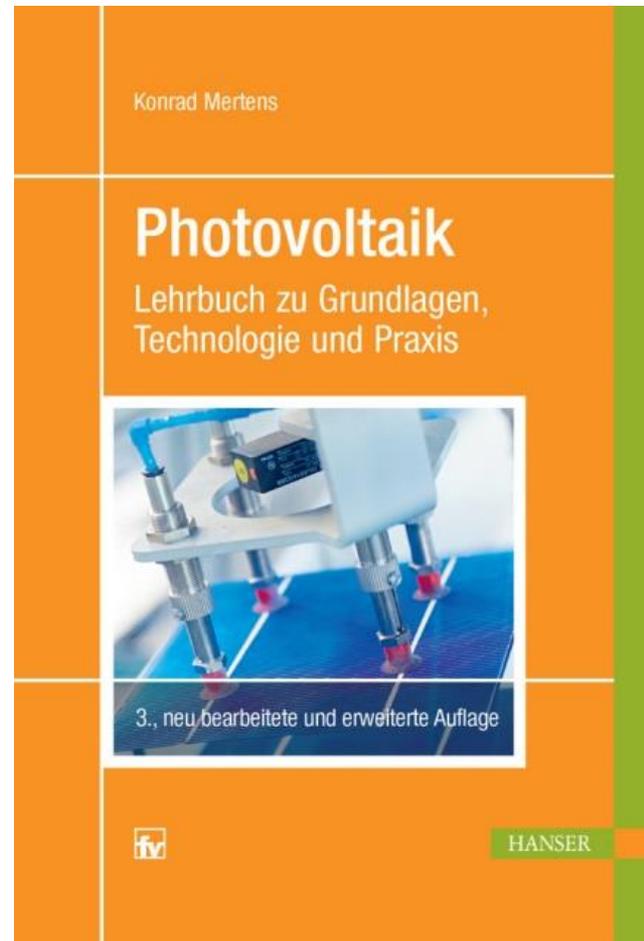
Fazit

- › Vorort-Modul-Messungen bringen viele Vorteile
- › Umgebaute Spiegelreflex-Kameras zeigen hohe EL-Qualität
- › Zusätzliches IR-Kantenfilter erlaubt Messungen auch bei schwachem Tageslicht
- › Outdoor-EL spürt Vielzahl von Fehlerarten eindeutig auf
- › Hochvolt-Netzeil erlaubt weitere Analysen der Anlage
- › Inzwischen auch EL-Videos möglich!
- › *LowCost-Outdoor-El* wird Standardmessmethode neben Kennlinienmessung und Thermographie



Lehrbuch Photovoltaik

› Photovoltaik endlich mal wirklich verstehen...☺



› Alle Abbildungen zum Download:

- Startseite
- Informationen zum Buch
- Abbildungen
- Übungsaufgaben
- Software
- Links
- Kontakt
- Englisches Buch

Abbildungen des Lehrbuchs Photovoltaik

Im Folgenden finden Sie eine Auswahl der im Lehrbuch Photovoltaik vorhandenen Abbildungen.

Diese dürfen nur unter Angabe der Quelle "**www.lehrbuch-photovoltaik.de**" verwendet werden.

Alternativ kann die vollständige Quellenangabe genutzt werden:

Konrad Mertens, "Photovoltaik - Lehrbuch zu Grundlagen, Technologie und Praxis", Hanser Verlag, 2015

Tipps:

- Die Titel der Bilder erscheinen beim Überfahren mit der Maus.
- Um die Bilder elegant durchblättern zu können, erlauben Sie bitte die Option "Java-Script" an ihrem Browser.
- Zum Speichern eines Bildes auf dem eigenen Rechner klicken Sie direkt, nachdem Sie auf das gewünschte Bild geblättert haben, mit der rechten Maustaste auf das gewünschte Bild und wählen "Grafik speichern unter".

Abbildungen aus Kapitel 1: Einführung



› Freie PV-Software zum Download: Kennliniensimulation

[Startseite](#)
[Informationen zum Buch](#)
[Abbildungen](#)
[Übungsaufgaben](#)
[Software](#)
[Links](#)
[Errata](#)
[Kontakt](#)
[Englisches Buch](#)

Software zum Lehrbuch Photovoltaik

Zur Vertiefung der Inhalte des Buches finden Sie hier einige Programme.

Diese dürfen kostenlos heruntergeladen und genutzt werden.

NEU: PV-Teach 3.0

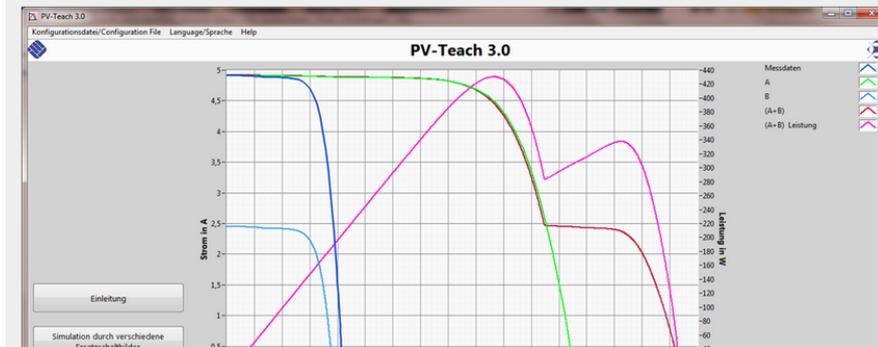
PV-Teach ist ein Programm zur Darstellung der Strom-/Spannungskurven von Solarmodulen, Solarstrings und ganzen Solargeneratoren. Als Besonderheit können verschiedene Ersatzschaltbildmodelle verwendet und miteinander verglichen werden. Außerdem lassen sich Mismatching-Verluste, wie sie beim Verschalten von unterschiedlichen oder verschatteten Solarmodulen auftreten, darstellen und berechnen.

Die neue Version 3.0 bietet zusätzliche Funktionen sowie eine deutlich bessere Bedienbarkeit.

Bitte lesen Sie vor dem Download des Programms zunächst das erste Kapitel der Bedienungsanleitung!

Das Programm basiert auf der Software LabVIEW. Falls LabVIEW nicht auf Ihrem PC installiert ist, klicken Sie bitte auf den untenstehenden Link "Installer für PV-Teach komplett incl. LabVIEW-Runtime-Engine".

Wichtig: Das Programm ist nur lauffähig auf Bildschirmen mit einer Auflösung von mindestens 1366 x 786 Pixeln!



[Bedienungsanleitung](#)

[Installer für PV-Teach komplett incl. LabVIEW-Runtime-Engine](#)



› Freie PV-Software zum Download: Renditeberechnung

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Eingaben									
2	Investitionssumme	K_0	7.000	Euro	<p>Vergleich PV-Investition mit Geldanlage bei der Bank</p> <p>The chart shows the account balance in Euro over 20 years. The y-axis ranges from 0 to 12,000 Euro. The x-axis shows years from 0 to 20. Two series are plotted: PV-Investition (blue bars) and Geldanlage (red bars). The PV-Investition starts at 0 and grows to approximately 10,000 Euro by year 20. The Geldanlage starts at 7,000 Euro and grows to approximately 9,000 Euro by year 20. The PV-Investition becomes more profitable than the bank savings starting around year 13.</p>					
3	Installierte PV-Leistung	P_{PV}	5,00	kWp						
4	Kosten pro installierter Leistung	k_0	1400,00	Euro/kWp						
5	Erwarteter spezifischer Jahresertrag	W_{Jahr}	900	kWh/kWp						
6	Vergütung laut EEG	k_{EEG}	12,0	Cent/kWh						
7										
8	Ergebnisse									
9	Jährliche Betriebskosten (1,5 % von K_0)	$K_{Betrieb}$	105,00	Euro						
10	Jährliche Einnahmen	K_{Ein}	540,00	Euro						
11	Jährlicher Überschuss	$K_{Überschuss}$	435,00	Euro						
12	Amortisationszeit	T_A	16,1	Jahre						
13										
14										
15	Vergleich zwischen PV-Investition und Geldanlage bei der Bank:									
16										
17	Angenommener Zinssatz / Rendite	p	1,3	%	Jahr	PV-Investition	Geldanlage	Differenz		
18			Zinssatz ist zu klein			[Euro]	[Euro]	[Euro]		
19	Differenz nach 20 Jahren:	D	815	Euro	0	0	7.000	-7.000		
					1	435	7.090	-6.655		
					2	876	7.181	-6.305		



Vortragsfolien

A screenshot of a Google search for "professor mertens". The search bar contains the text "professor mertens" and a magnifying glass icon. Below the search bar, there are tabs for "Alle", "Bilder", "News", "Videos", "Maps", "Mehr", and "Suchoptionen". The "Alle" tab is selected. Below the tabs, it says "Ungefähr 415.000 Ergebnisse (0,49 Sekunden)". The first search result is for "Prof. Dr.-Ing. Konrad Mertens - Münster - Fachbereich ...". The URL is "https://fh-muenster.de/fb2/personen/professoren/mertens/index.php". Below the URL, it says "Prof. Dr.-Ing. Konrad Mertens. Stegerwaldstraße 39, 48565 Steinfurt, Raum: D 118 b. Tel: 02551 9-62111. Fax: 02551 9-62142. mertensfh-muenster.de." A blue arrow points from the search result to the "Downloads:" section below.

Downloads:

Folienvortrag: Lohnt sich Solarstrom für mich als Hausbesitzer heute noch? (pdf, 2.87 MB) 



Danke für die Aufmerksamkeit!

Quellen:

- [1] Mertens, K.: Photovoltaik – Lehrbuch zu Grundlagen, Theorie und Praxis, 3. Auflage, Hanser Verlag, 2015
- [2] Mertens, K., Stegemann, Th., Stöppel, T.: LowCost EL: Erstellung von Elektrolumineszenzbildern mit einer modifizierten Standard-Spiegelreflexkamera, 27. Symposium Photovoltaische Solarenergie, S. 214-219, Staffelstein, 2012
- [3] Köntges, M. et al.: Elektrolumineszenzmessung an PV-Modulen, ep Photovoltaik aktuell, Heft 7–8/2008, S. 36–40