

## Thermografie-Forum Eugendorf 2013



### CTR Carinthian Tech Research AG

Competence Centre for Advanced Sensor Technologies

„Lokalisierung und Erkennung von auffälligen  
Photovoltaikmodulen mittels Thermografie in der Praxis“



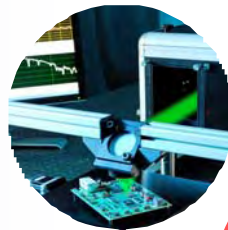
Dipl.Ing.(FH) Wolfgang Mühleisen, M.Sc.

Competence Centers for  
Excellent Technologies

- Unternehmensvorstellung
- Standardequipment in der Photovoltaik – Messgeräte und Verfahren zur Diagnose
- Normative Grundlagen in der Photovoltaik
- Vorstellung des CTR Messsystems
- Beispiele von Einsätzen im Feld
- Begleitende Thermografie Untersuchungen im Labor
- Zusammenfassung

## Die CTR AG als Sensorikzentrum in der Forschung und Entwicklung

**Optische Systeme**  
Messen mit Licht

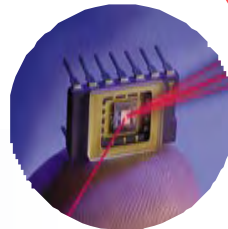


**Funk-Sensoren**  
Funk-Sensoren für heikle Aufgaben



vom  
Labor  
in die  
Praxis

**Mikrosystemtechnik**  
Systeme auf kleinstem Raum



**Photovoltaik**  
Mehr Stromgewinnung aus Sonnenenergie



## Elektrisches Verfahren Strom(I)-Spannungs(U)-Kennlinie

Ermittlung der elektrischen Leistung eines PV Modul

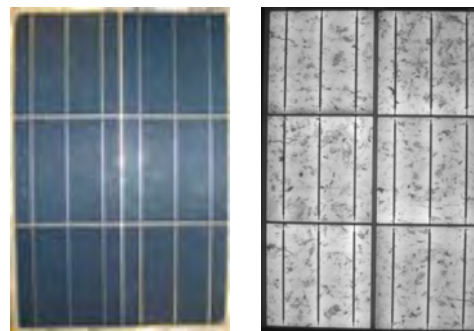
Analysemöglichkeit:  
„Mängelerkennung durch elektrische Kennlinienform - Kommt raus, was der Kunde bezahlt hat“



## Bildgebendes Verfahren Elektrolumineszenz (EL)

Ermittlung durch Betrieb eines PV Moduls als großflächige IR-Leuchtdiode

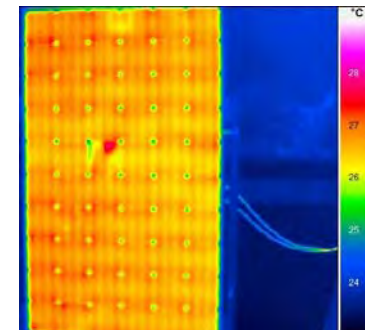
Analysemöglichkeit:  
„Schädigungserkennung von Brüchen, Rissen, Produktionsfehlern etc. über Lumineszenz“



## Bildgebendes Verfahren Thermografie (TG)

Ermittlung durch Temperaturdifferenz benachbarter Solarzellen

Analysemöglichkeit:  
„Mängelerkennung durch Stellen relativ erhöhter bzw. erniedrigter Temperatur“

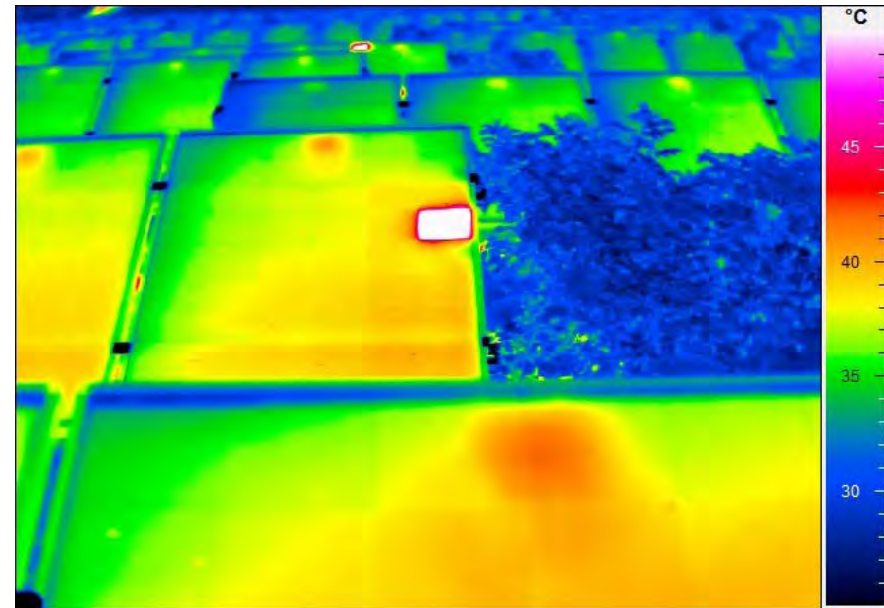


### Normative Grundlagen:

In der Norm VDE 0126-23 bzw. DIN EN 62446 wird auf die Prüfung mittels Wärmebildkamera hingewiesen. Zur Bewertung einer Photovoltaikanlage empfiehlt die Norm eine Mindestbeleuchtungsstärke in PV-Generator-Ebene von mehr als  $600 \text{ W/m}^2$ , so dass zur Erzeugung von wahrnehmbaren Temperaturschwankungen ein ausreichender Strom vorhanden ist.

### Problematik:

In der Norm steht nur wie man messen soll aber nicht ab wann ein Modul thermografisch als Defekt gilt. Somit gibt die Norm viel Handlungsfreiraum und keine klaren Richtwerte.





### Systembeschreibung

Thermografiekamera: InfraTec Head 640

Detektor: Ungekühltes Mikrobolometer Array

Spektralbereich: 7,5  $\mu\text{m}$  bis 14  $\mu\text{m}$

Auflösung: 640 x 480 IR-Pixel

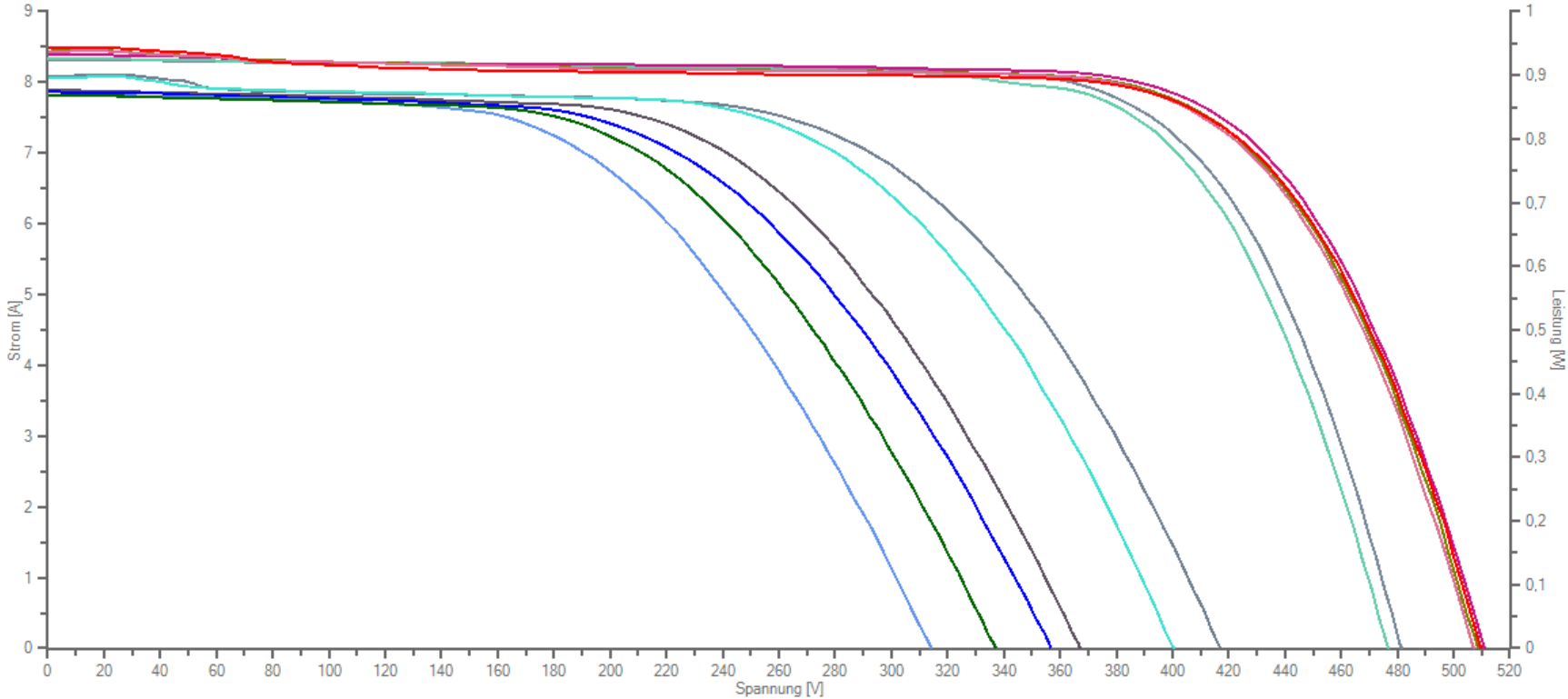
Messbereich: -40°C bis 1200°C

Empfindlichkeit: 30 mK



- In der Photovoltaik sind Voruntersuchungen nötig, damit z.B. der Sachverständige mit den Resultaten seine Thermografie Aufnahmen besser deuten kann. Umso mehr Daten also vorliegen umso genauer ist die Diagnose.
- Meistens liegen für eine PV Anlage Kennlinienmessungen und evtl. Thermografie Aufnahmen bei Sonneneinstrahlung (Hell-Thermografie) vor. Aus diesen Daten kann zwar schon eine Aussage getroffen werden, eine zusätzliche Laboruntersuchung von PV Modulen ist aber sinnvoll.
- Als Laboruntersuchung wird die Elektrolumineszenz und die Dunkel Thermografie eingesetzt. Dunkel Thermografie heißt, dass ein PV Modul in Vorwärtsrichtung bestromt wird, so dass die Solarzellen als Leuchtdioden betrieben werden. An den Stellen wo die Solarzellen defekt sind wird z.B. bei Kurzschlüssen mehr Wärme erzeugt. Die Thermografie Bilder der Hell-Thermografie und der Dunkel Thermografie sind ähnlich im Aussehen und deuten auf ähnliche Resultate.

Vor der Thermografiemessung existieren die I-U-Kennlinien der Einzelmodulstrings der 18,5 kWp Anlage. Der Grund für den Leistungseinbruch ist aber nicht erkennbar.



**Aufbau:**  
 4 Strings zu je 15 Module á 210 Wp  
 2 Strings zu je 14 Module á 210 Wp

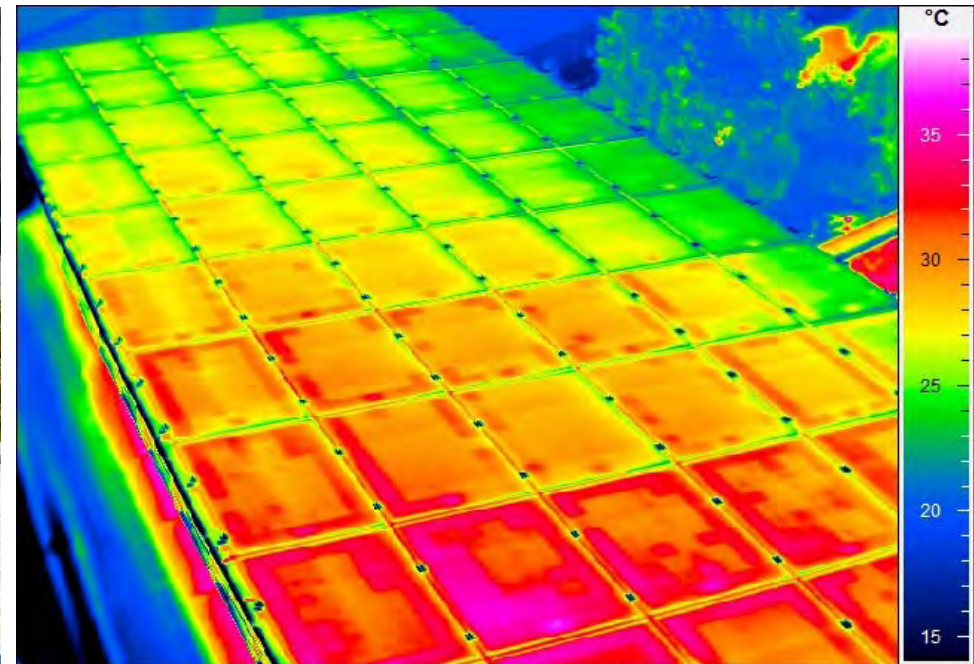
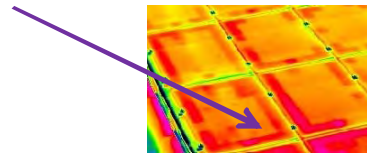
Messung Ist-Wert:  
 abnormale Kennlinien

Vergleich Soll-Wert:  
 normale Kennlinien



Inspektion 18,5 kWp Anlage in Meeresnähe:

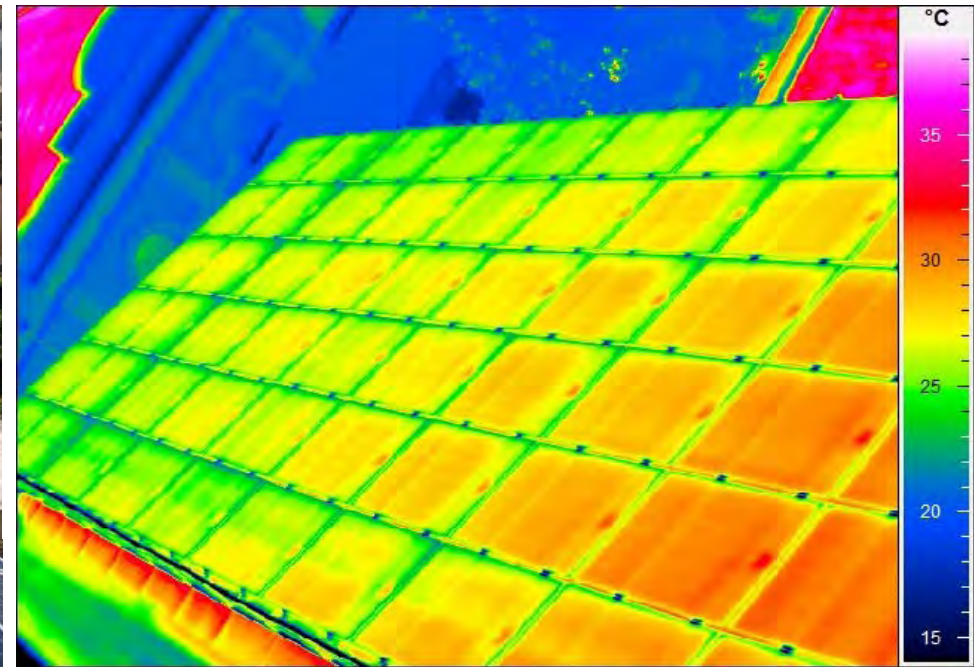
Über die Thermografie wurde der Effekt der Potenzial Induzierten Degradation (PID) entlarvt. Sehr deutlich sind die typischen PID Muster (Ring wärmerer Zellen am Rand) zu sehen.



Vorsicht bei thermografischer Interpretation wegen Aufnahmewinkel und Lambertschem Effekt!

Qualitätskontrolle der neuen 18,5 kWp Anlage in Meeresnähe:

Über die Thermografie wird der Status der neuen Anlage dokumentiert und als Indiz für einwandfreie Funktionstüchtigkeit hergenommen. Durch eine Änderung im Anlagenkonzept ist der Betreiber des PV Kraftwerks zukünftig vor dem PID-Effekt geschützt.

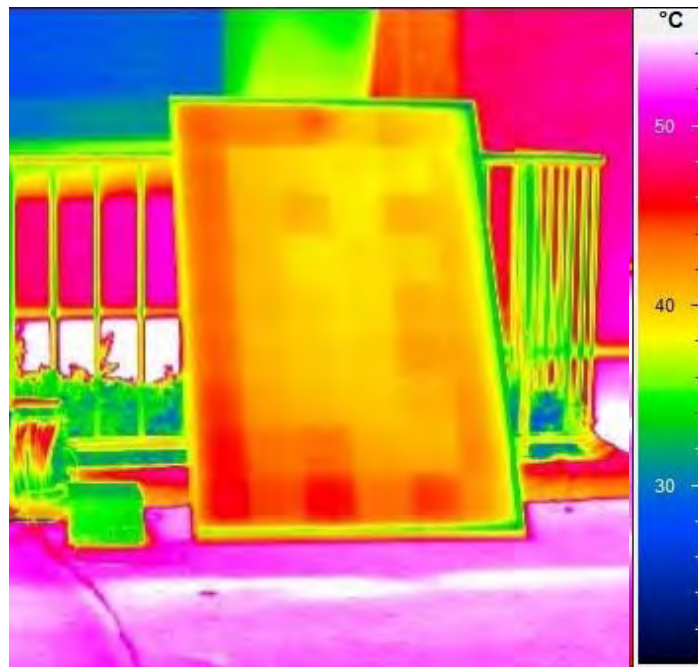


Vorsicht bei thermografischer Interpretation wegen Aufnahmewinkel und Lambert'schem Effekt!

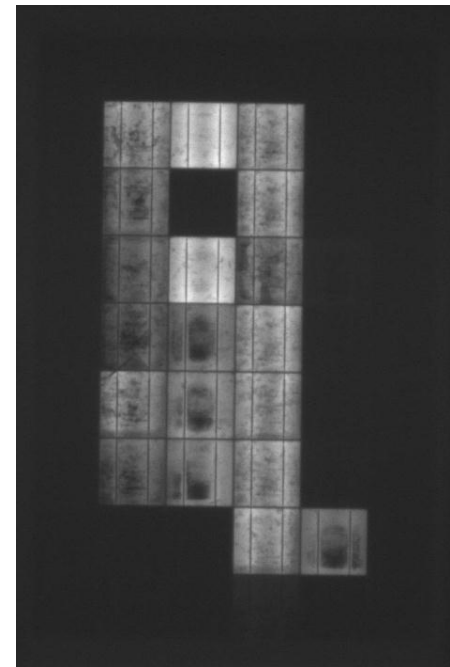


Separate Thermografie Messung eines PID befallenen Moduls der 18,5 kWp Anlage:  
Der Vergleich von Thermografie und Elektrolumineszenz zeigt deutlich Ähnlichkeiten im Zellmuster. Somit kann die Thermografie beim PID Problem die gleiche Aussage liefern wie das Standardverfahren Elektrolumineszenz.

TG Aufnahme



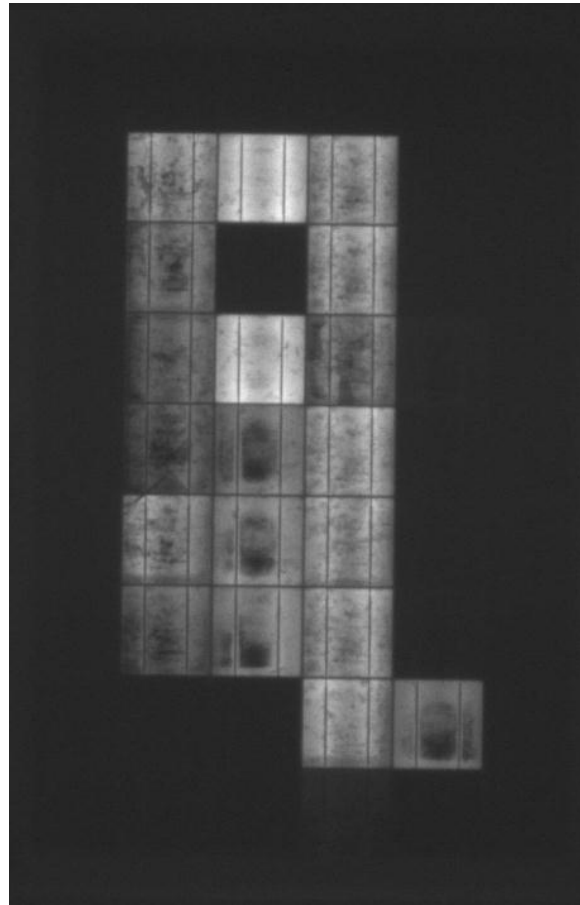
EL Aufnahme



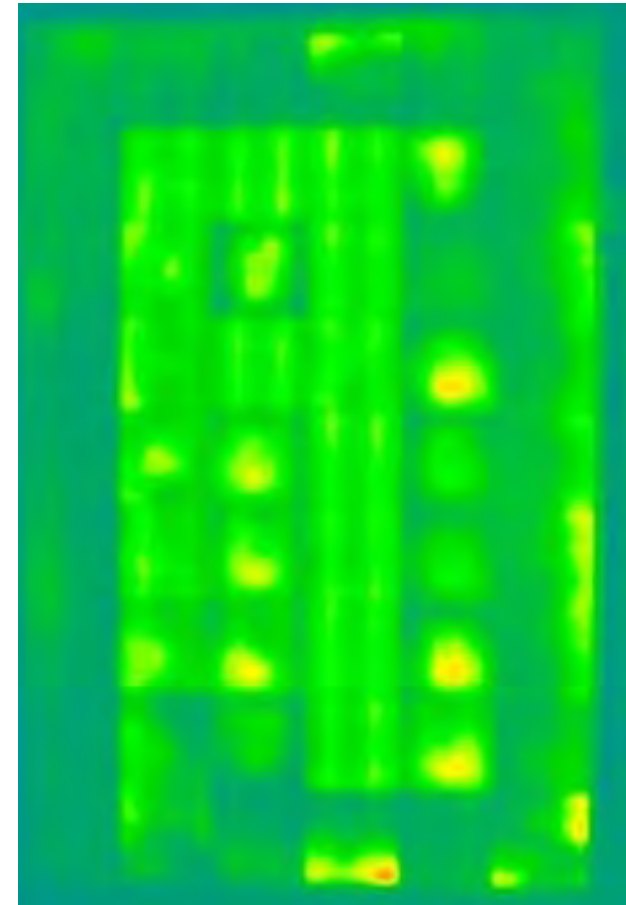
Foto



Elektrolumineszenz



Dunkel Thermografie

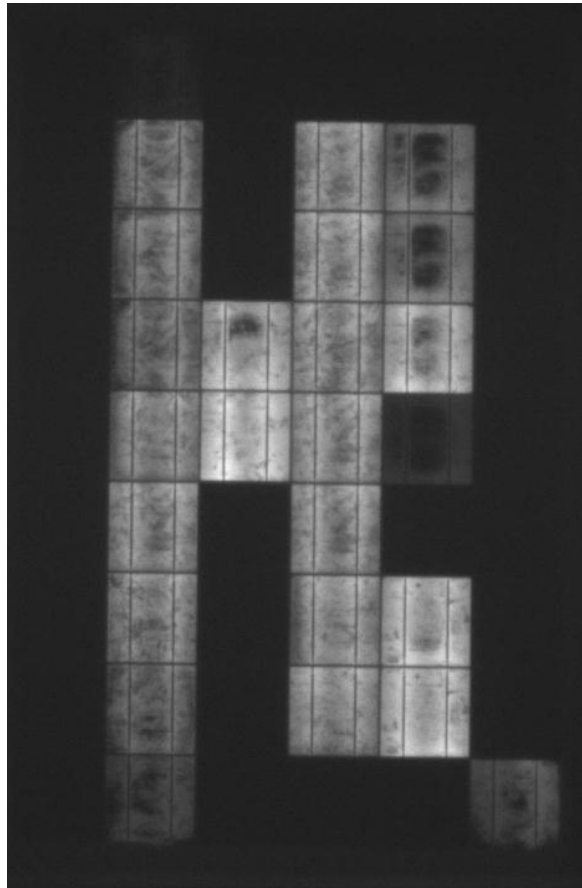


Das PID-Effekt behaftete PV Modul im Labor unter Betrieb in Vorwärtsrichtung

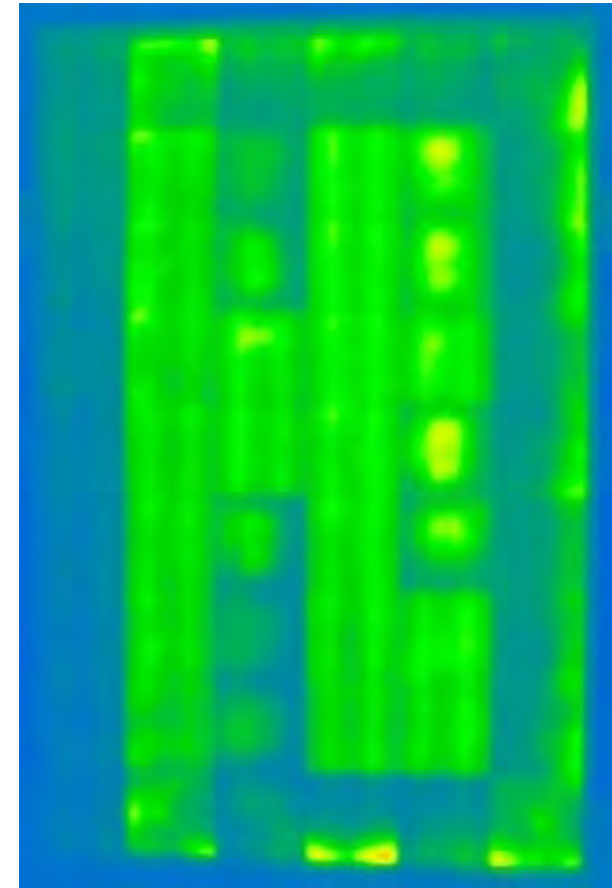
Foto



Elektrolumineszenz

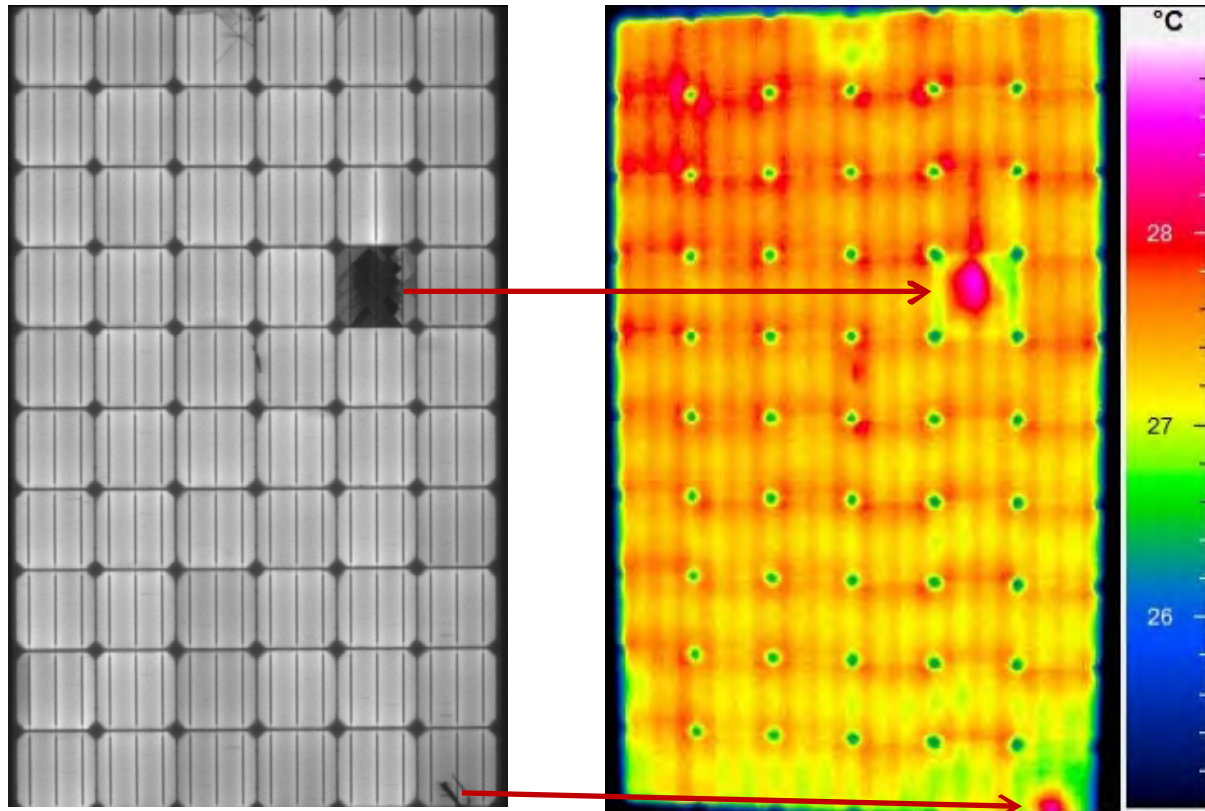


Dunkel Thermografie



Ein weiteres PID-Effekt behaftetes PV Modul im Labor unter Betrieb in Vorwärtsrichtung

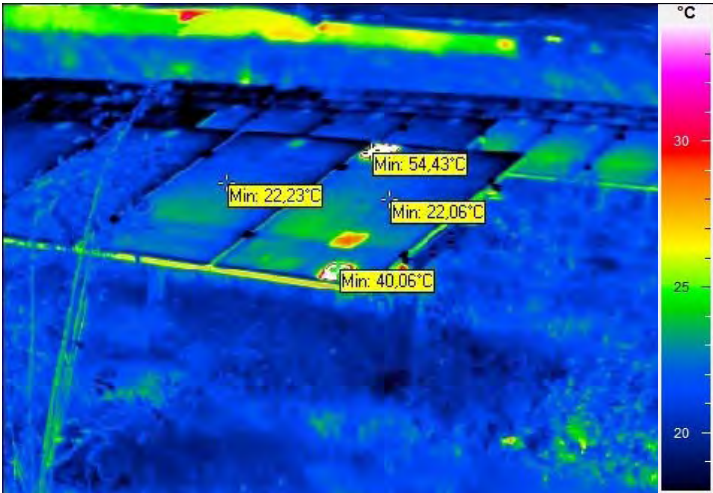
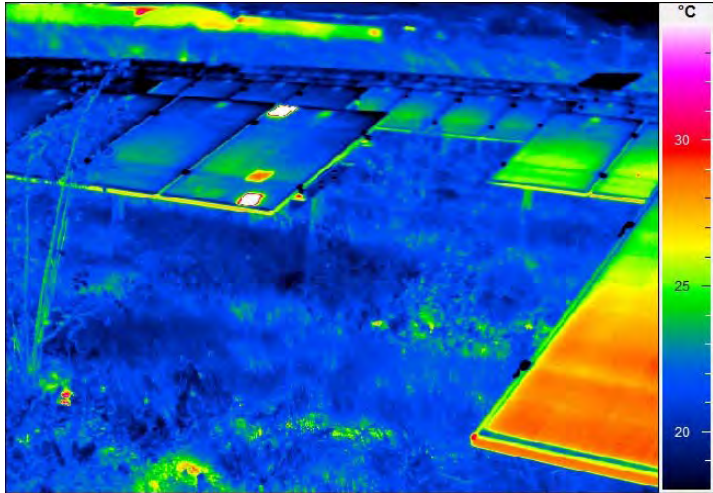
Labormessung mittels Elektrolumineszenz und Dunkel Thermografie im Vergleich.



Sowohl im EL als auch TG Bild erscheinen die gebrochenen Zellen sichtbar auf. Defekterkennung ist mit beiden Verfahren möglich.

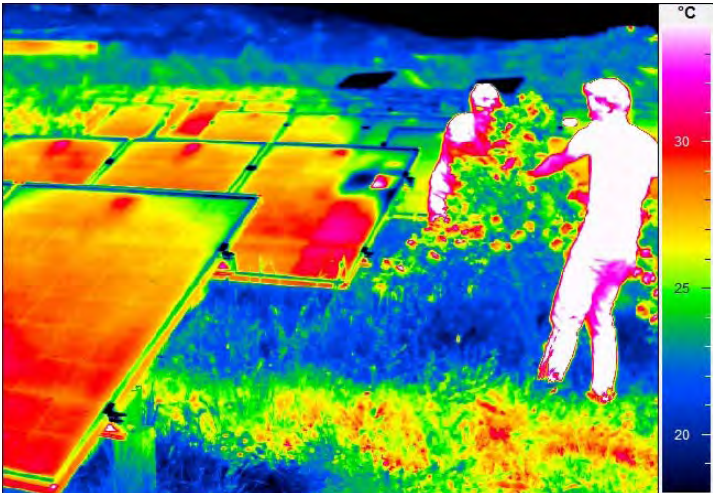
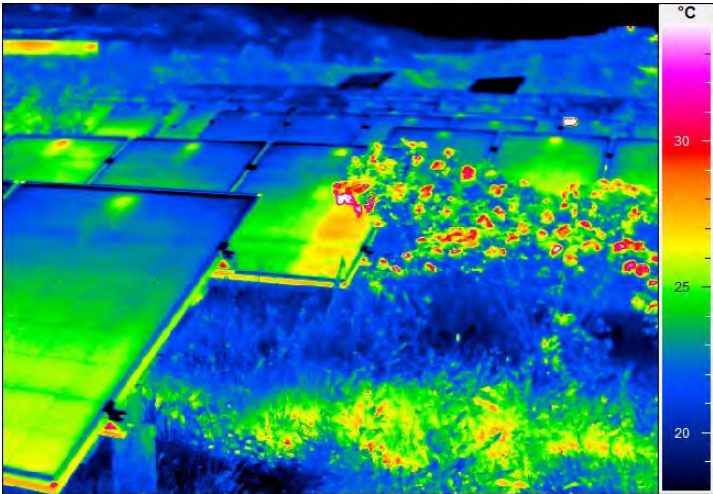


Auffällige Module und der Grund dafür – in diesem Fall: Glasbruch

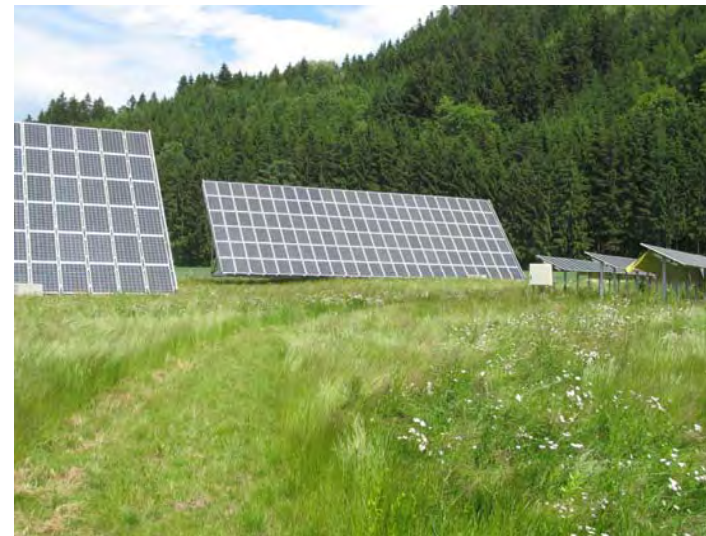
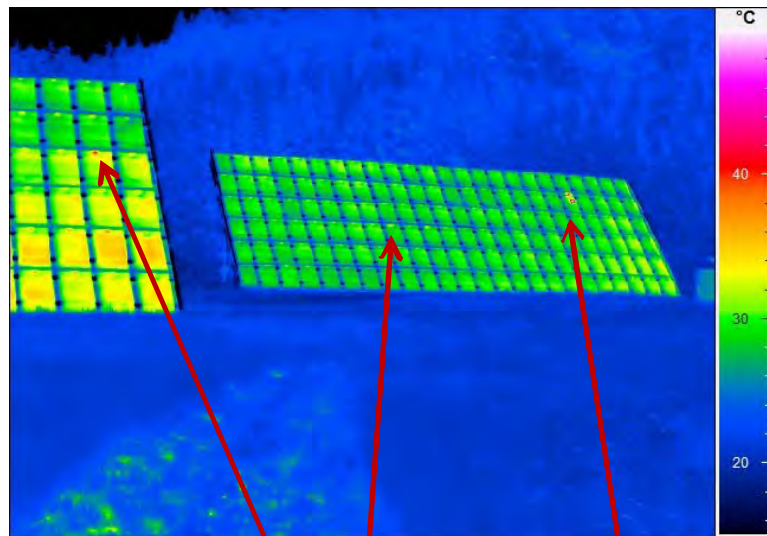




Auffällige Module und der Grund dafür – in diesem Fall: Verschattung durch Rosenbusch



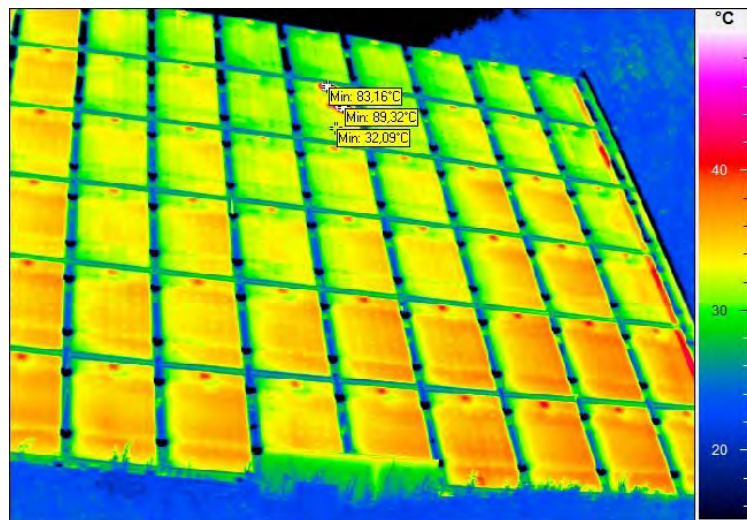
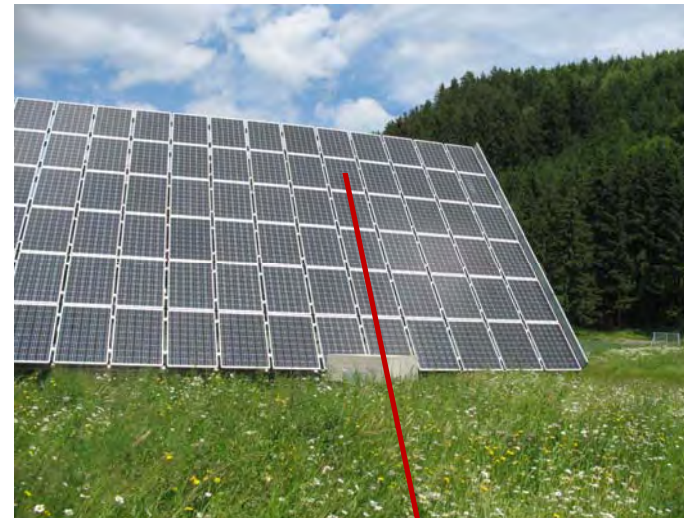
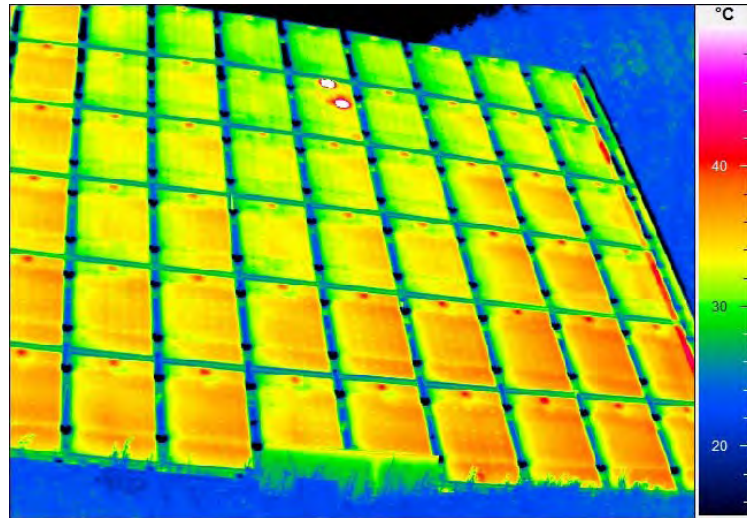
Auffällige Module sind schon auf große Entfernungen zu sehen



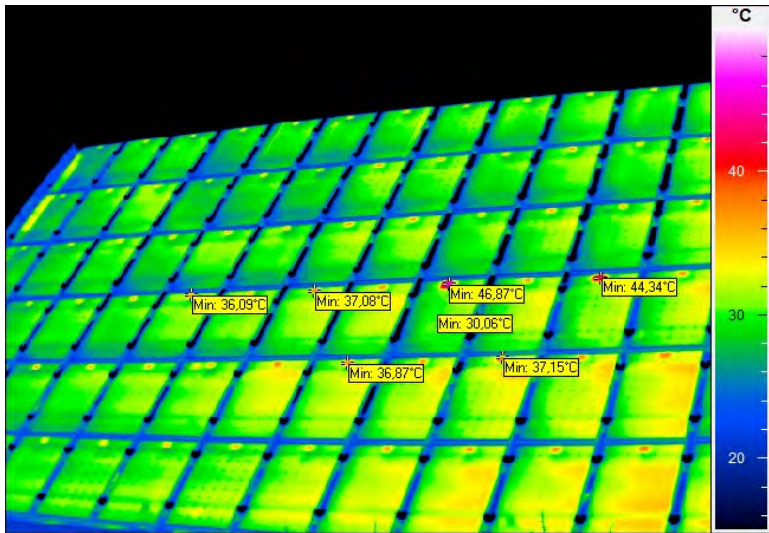
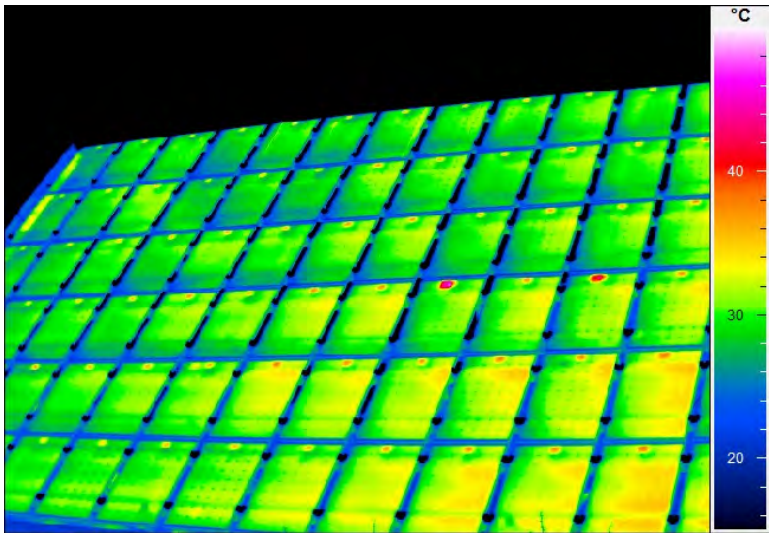
Relativ wärmere Anschlussdosen und relativ wärmere Zellen sind in diesem Beispiel zu sehen.



## Auffällige Module und der Grund dafür – in diesem Fall: Glasbruch



Auffällige Module und der Grund dafür – in diesem Fall: Problem in Anschlussdose

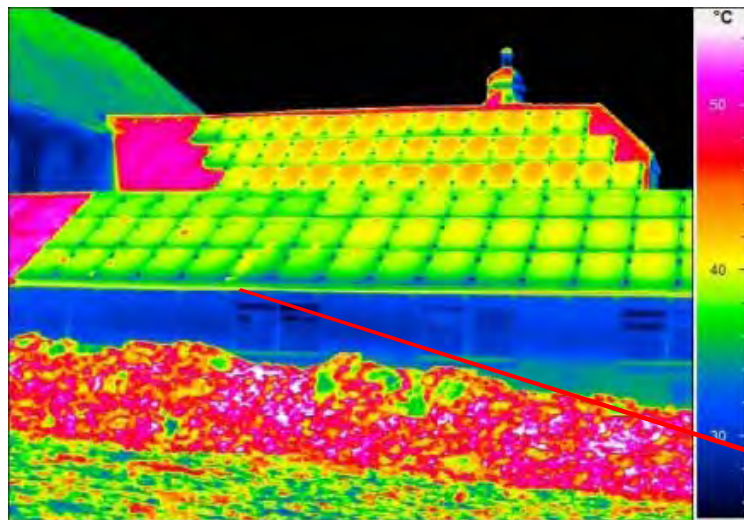


Relativ wärmere Anschlussdosen sind weiterhin zu beobachten und dem Anlagenbetreiber zur eventuellen Ursachenfindung in einem Bericht aufzuzeigen oder direkt zu melden.



### Beobachtung:

Durch die Thermografie wurden heiße Zellen aufgedeckt, die teils kritisch aber auch unkritisch sind und über die nächsten Jahre beobachtet werden sollten. Ein Modul zeigt über einer defekten Zelle eine braune Verfärbung, die durch viel geflossene Leistung entstanden sein muss. Hier wird ein Tausch empfohlen.

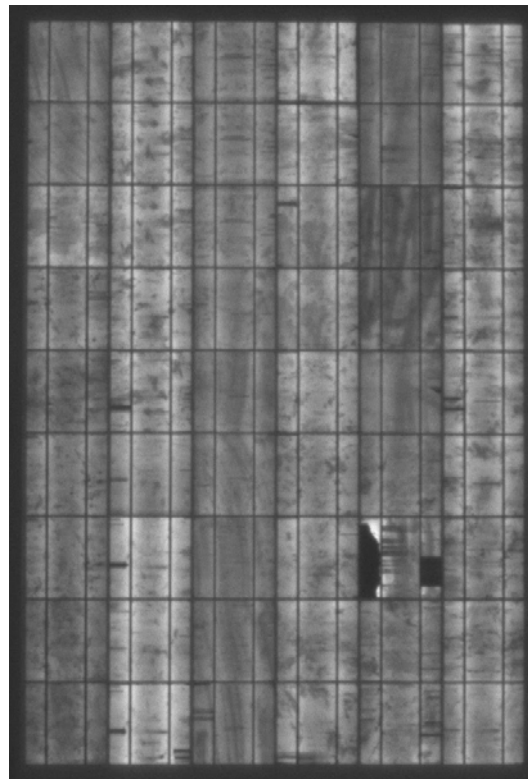




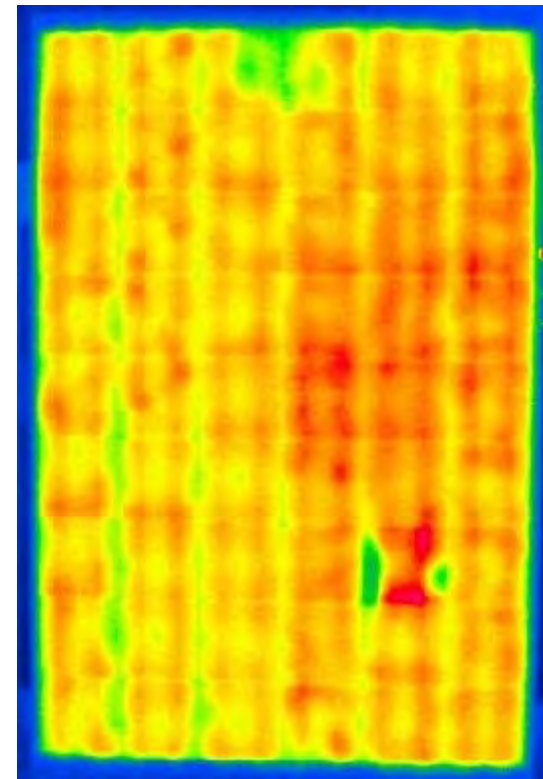
Auffällige Module und der Grund dafür – in diesem Fall: Überhitzung durch Zellrisse  
PV Modul mit „Brandfleck“ mit unterschiedlichen Methoden untersucht.



Foto Modul



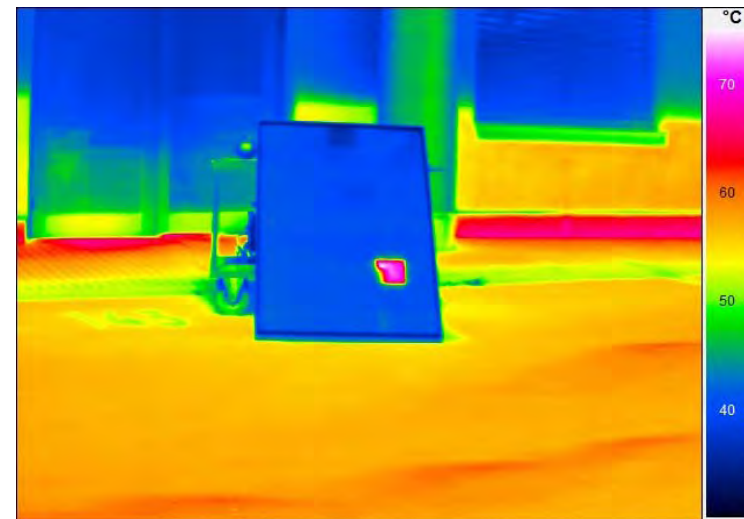
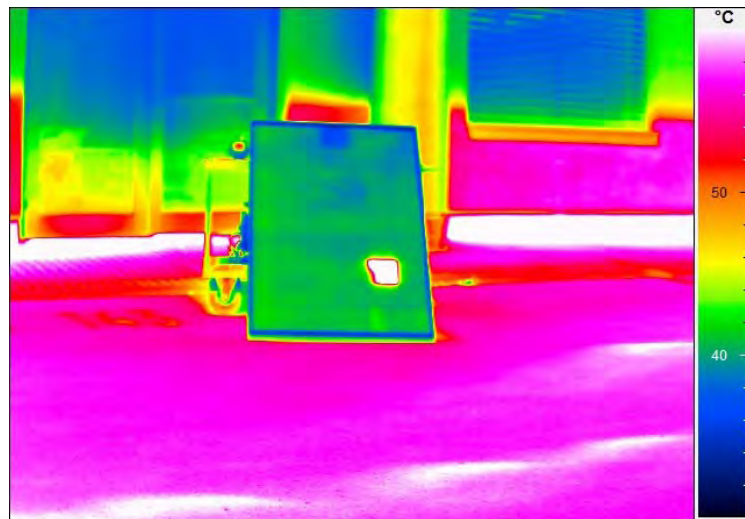
EL bei I<sub>sc</sub>



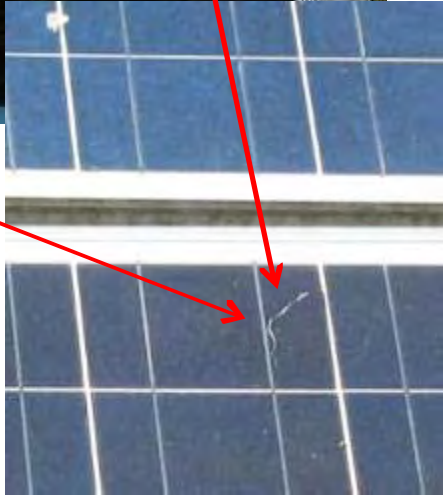
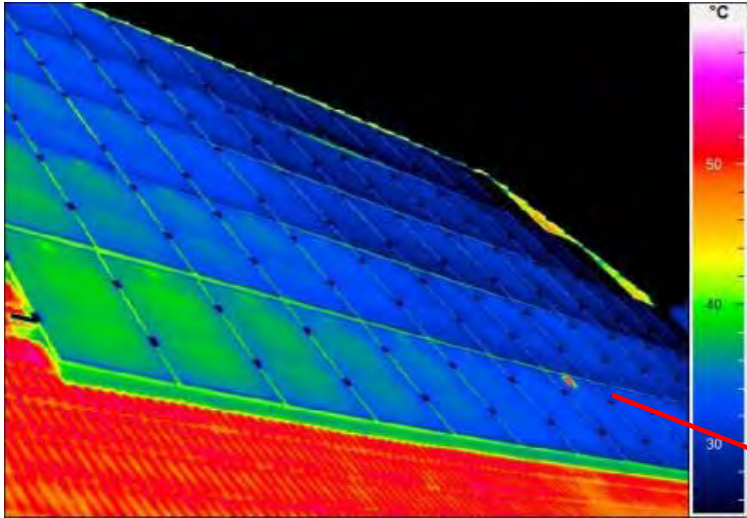
TG bei I<sub>sc</sub>

Beobachtung:

Durch die Thermografie wurde die heiße Zelle aufgedeckt, die eine kritische Temperatur erreicht hat, so dass sich der Bereich um die Zelle schon verfärbt hat. Diese Braunfärbung zeigt den Bereich der Überhitzung. Hier wird ein Tausch empfohlen.



Beobachtung:  
Durch die Thermografie wurde eine heiße Zelle aufgedeckt, die über die nächsten Jahre zu beobachten ist. Der Zellbruch war schon während der Herstellung vorhanden, da dieser sehr breit ist.

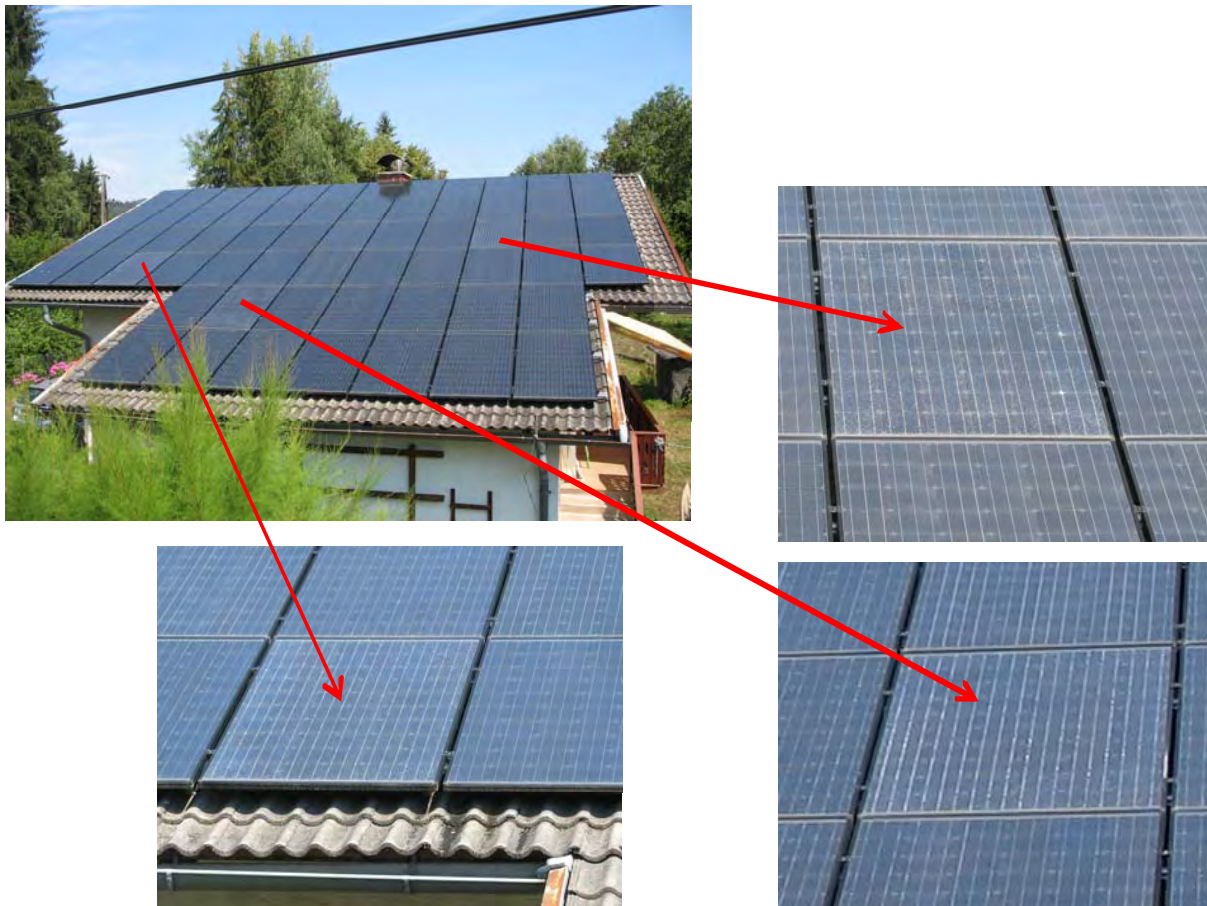


Ein Austausch des Moduls innerhalb der Hersteller-Produktgarantie bzw. auf Kulanz wird empfohlen.



Beobachtung:

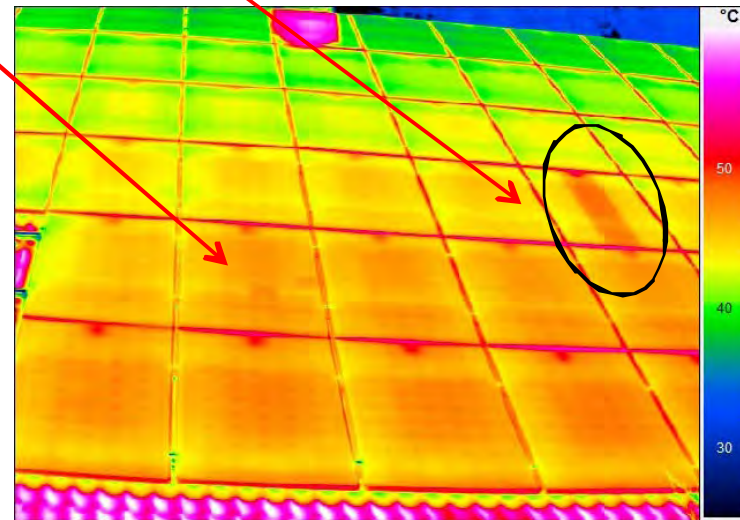
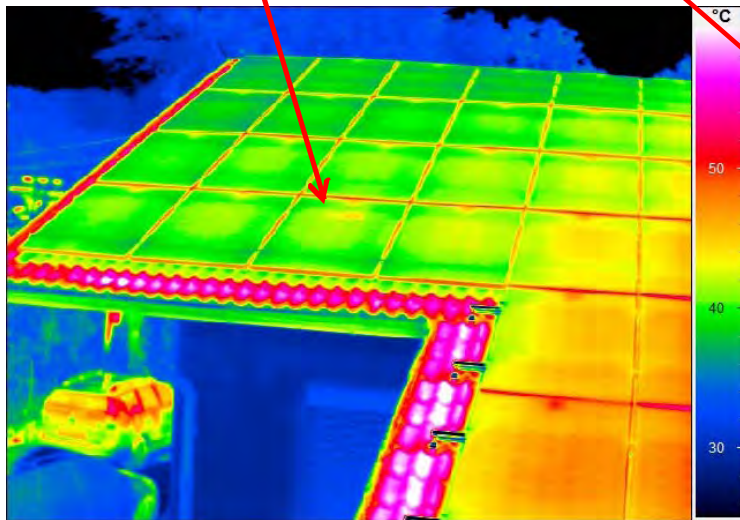
Durch die Sichtung der Anlage wurden 3 Module identifiziert, die Glasbruchschäden zeigten.





Beobachtung:  
Keine direkt erkennbaren Auffälligkeiten bei TG  
Aufnahmen zeitnah nach aufgetretenen Glas-  
brüchen, da noch wenig Feuchtigkeit vorhanden.

Dafür wurde ein anderes Modul erkannt, dass  
einen Mangel aufweist.





Beispiel für ein Thermografie Drohnensystem zur Inspektion von PV Parks aus der Luft.  
 Das Profiequipment war an einem Messestand der Intersolar 2013 in München ausgestellt.

Auflösung: 640 x 480 Pixel  
 Geometrische Auflösung (IFOV): 0,68 mrad





### Gründe für heiße Zellen:

- Verschattung bzw. zerbrochene Zellen: Schatten von angrenzenden Modulen, Antennen, Schornsteine, Dachvorsprünge, Bäume, Vogelkot; sehr kritisch sind kleine Verschattungen und Teilverschattungen, bei denen die Bypassdiode nicht reagiert.
- Fehler im Herstellungsprozess: Risse in den Solarzellen, Verbindungsfehler durch Löten etc. ;Fehler in der Zellherstellung
- Fehler im Moduldesign: Überlappung der Zellen bzw. defekte Bypassdioden
- Fehler bei Installation: Gehen über Module führt evtl. zu Zellbruch, Einbau in Verschattungsbereiche
- Fehler während Betrieb: Spontaner Glasbruch, Hagelschlag oder Vandalismus

Fazit: Die Thermografie ist eine ausgezeichnete Möglichkeit schnell und kostengünstig eine PV Anlage zu inspizieren. Mittels zusätzlichen anderen Messmethoden ist eine gute Diagnose zum Fehlerfall noch sicherer zu bewerkstelligen.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

