

## Die Verwendung von Wärmebildkameras bei der Instandhaltung von Photovoltaikanlagen

### Anwendungsbericht



**Der wachsende Energiebedarf des vergangenen Jahrzehnts führte zur Verwendung anderer Energiequellen als Alternative zu Öl und anderen fossilen Energien. Verschiedene Technologien, die auf die Verwendung erneuerbarer Energien wie Wind- und Gezeitenenergie oder Solarstrahlung setzen, wurden entwickelt.**

Im Laufe der letzten fünf Jahre ist der Einsatz von Photovoltaikanlagen zur Stromerzeugung sprunghaft angestiegen. Dieser Anstieg wurde durch unterschiedliche Faktoren wie den Fortschritt der Technologie selbst und die finanziellen und steuerlichen Anreize von Seiten mancher Regierungen ermöglicht. Dieser Aufwärtstrend führte auch zur Gründung vieler Unternehmen, die sich mit der Entwicklung, Installation und Verwaltung von Solarparks beschäftigen. Spanien ist ein Beispiel für diese Entwicklung auf dem Gebiet der Photovoltaik. Das Land ist mit einer geschätzten installierten Leistung von ca. 3200 MW gegenwärtig einer der größten Stromerzeuger aus Solarenergie. Allein im Jahr 2008 betrug dieser Wert ungefähr 2500 MW.

Natürlich müssen solche Installationen eine hinreichende Rendite aufweisen, damit sie profitabel sind. Dies hängt unter anderem von einem reibungslosen Betrieb, d. h. der optimalen Leistung der gesamten Anlage ab, vor allem wenn die Preise für Energie aus Photovoltaikanlagen höher sind als für Energie, die mit konventionellen Mitteln erzeugt wurde.

#### Photovoltaikanlagen

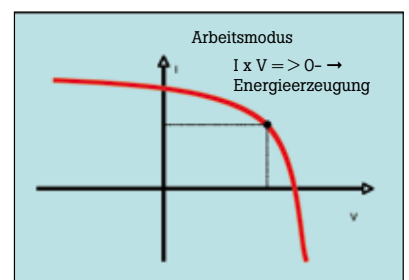
Eine Photovoltaikanlage besteht aus zu Feldern zusammengeschalteten Solarmodulen, die auf geeigneten Strukturen befestigt werden, Wechselrichtern, die den von den Solarmodulen erzeugten Gleichstrom in Wechselstrom umwandeln, Solarmodulnachführungen (je nach Anlagentyp) sowie Mittelspannungswechselrichtern, wenn die Anlage an ein öffentliches Netz angeschlossen

ist. All diese Komponenten zusammen führen bei korrekter Funktionsweise innerhalb der ermittelten Frist zur Amortisation und Rendite.

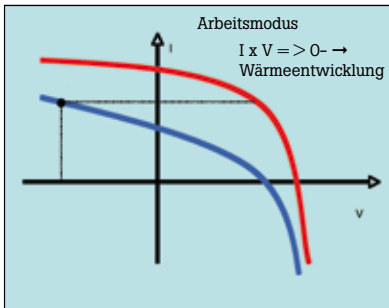
#### Solarmodule

Die zu Feldern zusammengeschalteten Solarmodule bestehen aus lichtempfindlichen Halbleiterzellen. Diese Zellen erzeugen den Gleichstrom. Bei ihrer Herstellung kommen verschiedene Technologien und Materialien zum Einsatz, z. B. polykristallines Silizium, Dünnschichtmaterial, Cadmiumtellurid (CdTe) und Galliumarsenid (GaAs), von denen jedes seinen spezifischen Wirkungsgrad besitzt.

Diese Zellen werden im Modul in einer oder mehreren parallelen Reihen zusammengeschaltet, um die gewünschte Spannung und die gewünschte Leistung zu erzeugen. Unter normalen Betriebsbedingungen entsteht bei Sonneneinstrahlung in jeder Solarzelle eine Spannung, die sich bei Zusammenführung mit der Spannung der restlichen Zellen zur Ausgangsspannung des Moduls summiert. Diese wird wiederum im Wechselrichter in die gewünschte Wechselspannung umgewandelt. Das Verhältnis von Spannung und erzeugtem Strom wird in der I-V-



Eine Zelle mit Sonneneinstrahlung



Eine defekte Zelle bzw. eine Zelle ohne Sonneneinstrahlung

Kurve dargestellt, die für jede Zelle charakteristisch ist. Bei Sonneneinstrahlung ist das Produkt aus Stromstärke und Spannung größer als Null, d. h. es wird Energie erzeugt.

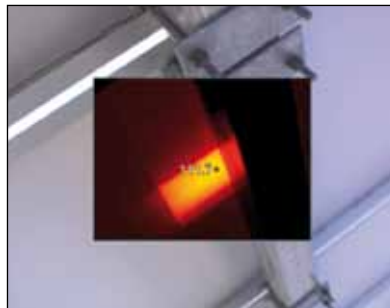
Wenn eine Solarzelle nicht arbeitet oder keine Energie erzeugt, weil keine Sonneneinstrahlung erfolgt, kann sie u. U. eine umgekehrte Polarität aufweisen. Die Zelle verhält sich dann wie eine Senke statt wie ein Generator, so dass es zu einer erhöhten Umwandlung von Energie in Wärme kommen kann.

Ein solcher Sachverhalt lässt sich mit einer Fluke Wärmebildkamera mit IR-Fusion®-Technologie leicht erkennen.



Ein Solarmodul mit einer defekten Zelle

Die Fluke Wärmebildkamera nimmt gleichzeitig ein vollständig radiometrisches Wärmebild und ein Sichtbild auf. Diese Bilder werden Pixel für Pixel überlagert. Dabei ist der Grad der Überblendung einstellbar. Das entstandene Bild zeigt mit einer Palette benutzerdefinierbarer Farben, die jeweils für eine andere Temperatur stehen, die Oberflächen-temperaturen der abgebildeten Objekte (in diesem Fall der Solarmodule) an. Außerdem



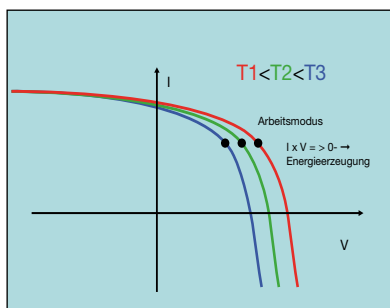
Eine Zelle bei 111 °C

zeigt es ein Sichtbild, mit dem die Zonen der Elemente identifiziert werden können. Dank des Wärmebilds ist erkennbar, wie die defekten Zellen überhitzen (siehe Abbildung).

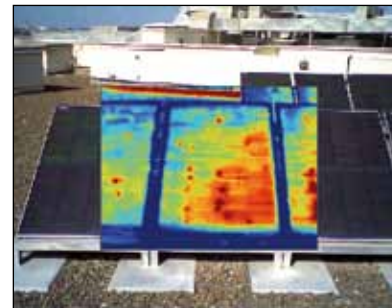
Die günstigsten Voraussetzungen zum Aufspüren solcher Probleme herrschen, wenn das Modul den meisten Strom abgibt, was normalerweise zur Mittagszeit eines wolkenlosen Tages der Fall ist. Unter solchen Bedingungen können Zellen schnell Temperaturen von bis zu 111 °C annehmen (siehe Abbildung rechts).

Je nachdem wie das Solarmodul aufgebaut ist und ob die Zellen in Reihe geschaltet sind, um die vom Wechselrichter benötigte Spannung zu erreichen, kann ein Fehler in einer der Zellen zu einem vollständigen oder teilweisen Leistungsausfall eines Solarmoduls führen.

Durch ein solches Problem kommt es zu einer geringeren Leistungsabgabe des Moduls, wodurch es länger dauert, bis die gewünschte Rentabilität erreicht wird. Außerdem können die mit der Überhitzung in Zusammenhang stehenden Probleme die Ursache dafür sein, dass benachbarte Zellen weniger effizient



Die Auswirkung von Temperatur auf die Leistungskurven



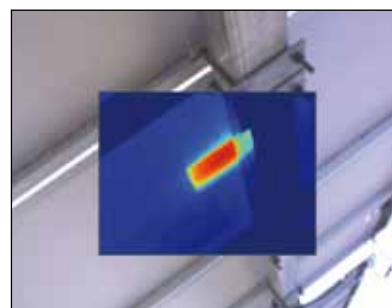
Solarmodul mit mehreren heißen Stellen und Bereichen

ent arbeiten oder ganz ausfallen und sich das Problem über das gesamte Modul ausbreitet.

Mithilfe einer Wärmebildkamera können Solarmodule sowohl von ihrer Vorder- als auch von ihrer Rückseite untersucht werden. Letzteres hat den Vorteil, dass Probleme im Zusammenhang mit Sonnenreflexionen oder Reflexionen aufgrund des niedrigen Emissionsgrads, der mit der kristallinen Oberfläche des Moduls einhergeht, vermieden werden.

Mittels Thermografie können Module mit heißen Stellen schnell und aus der Entfernung identifiziert werden. Die Anlage wird einfach mit der Wärmebildkamera gescannt.

Um die Probleme zu vermeiden, die durch die umgekehrten Polarität von Zellen entstehen, können Solarmodule Dioden zum Schutz (Sperrdioden, Einweg-Gleichrichter oder Bypassdioden) enthalten, die umso mehr Leistung abführen, je größer die Anzahl der defekten Zellen ist. Diese Erwärmung kann ebenfalls mit der Wärmebildkamera erkannt werden, indem das Modul auf der Seite der Anschlüsse untersucht wird.



Auf der Rückseite aufgenommenes Wärmebild



Simultane Inspektion mehrerer Solarmodule



Kasten mit Anschlüssen- und Dioden



Wärmeprobleme in der Zelle und im Anschlusskasten

Bei der Aufnahme der Wärmebilder muss besonders auf Schatten von Bäumen, Mittelspannungsmasten, anderen Modulen usw. geachtet werden, die Bereiche mit unregelmäßiger Wärmeentwicklung verursachen. Andernfalls könnten diese, vor allem wenn die Wärmebilder zu früh am Morgen oder zu spät am Nachmittag aufgenommen werden, zu einer Fehlinterpretation führen.

Außerdem muss der Wind mit in Betracht gezogen werden, da er die Temperatur überhitzter Zonen durch Konvektion senkt und diese dann unter Umständen nicht als Fehler interpretiert werden.

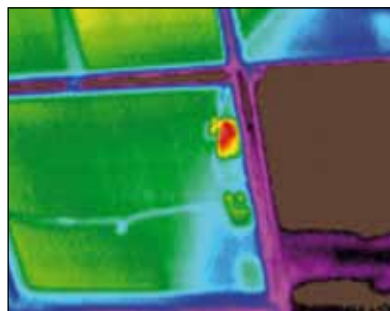
### Weitere zu inspizierende Elemente

Ein weiteres Einsatzgebiet von Wärmebildkameras sind die Motoren

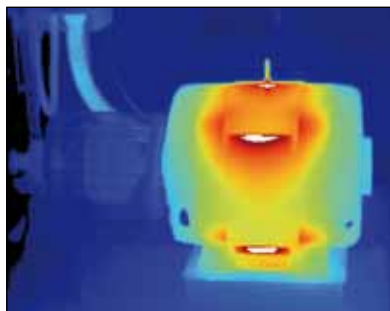
der Nachführung. Aufgrund verschiedener Ursachen, z. B. der atmosphärischen Bedingungen um die Motoren herum, falscher Dimensionierung oder Fehlern im Betrieb, können diese Motoren sich so stark aufheizen, dass ihre Nutzungsdauer stark verkürzt wird. Diese Erwärmung kann u. a. durch mechanische Probleme in den Lagern und der Ausrichtung, aber auch durch Belüftungsprobleme und Wicklungsverluste entstehen.

Zur Überprüfung der korrekten Funktionsweise des Motors empfiehlt sich die Verwendung anderer Messinstrumente, wie etwa von Strommesszangen zur Messung von Leckströmen oder die Verwendung von Isolationsmessgeräten.

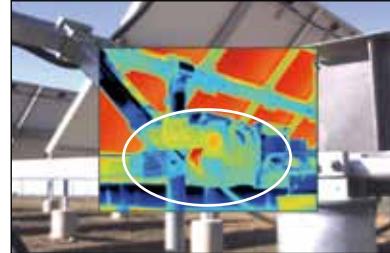
Die Wärmebildkamera kann bei Wechselrichtern und Mittelspannungstransformatoren zum Aufspüren von Problemen aufgrund hoher Wärmeentwicklung eingesetzt werden. Bei Mittelspannungstransformatoren können so Probleme bei den Nieder- und Mittelspannungsverbindungen sowie interne Wicklungsprobleme erkannt werden.



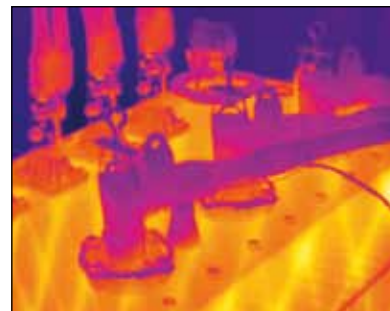
Ein Modul mit unterschiedlich gefärbten Wärmebereichen aufgrund von Schatten



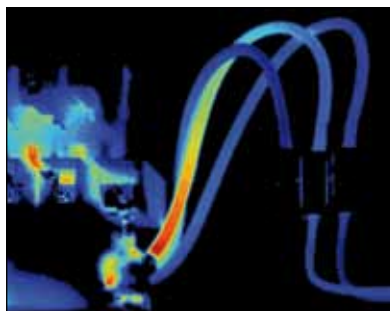
Ein Motor mit übermäßiger Wärmeentwicklung infolge eines Fehlers in der Isolation



Thermische Überprüfung der Nachführungsmotoren



Wärmebild der Anschlüsse eines Mittelspannungstransformators



Wärmebilder, die fehlerhafte Anschlussstellen zeigen

Ein weiterer Bereich, für den sich die Thermografie sowohl für die vorbeugende Wartung als auch für die vorausschauende Instandhaltung als sehr hilfreich erwiesen hat, ist die Überprüfung aller Anschlusspunkte, die sich im Lauf der Zeit lockern und somit zu Problemen im Betriebsablauf sowie zu unnötigen Unterbrechungen führen können. Dies ist vor allem angesichts der Tatsache wichtig, dass eine Photovoltaikanlage über viele Gleich- und Wechselstromanschlüsse sowie elektrische Verteilungen verfügt. Insofern sollte beachtet werden, dass ein defekter Anschluss zu einem höheren Widerstand führt, d. h. an dieser Stelle kommt es aufgrund des Joule-Thomson-Effekts zu einer größeren Wärmeabführung.

## Fazit

Angesichts des Amortisationszeitraums von Photovoltaikanlagen (zwischen sechs und zehn Jahren) ist es wichtig, dass die Leistungsabgabe der Anlage sich innerhalb der bei ihrer Entwicklung festgelegten Grenzwerte bewegt, so dass ihre Rentabilität über die gesamte Betriebsdauer hinweg gesichert ist. Insofern ist die Thermografie ein wichtiges Werkzeug zum schnellen Erkennen von Fehlfunktionen, die den Betrieb gefährden und die Effizienz der verschiedenen Bauelemente der Anlage verschlechtern: Solarmodule, Anschlüsse, Motoren, Transformatoren, Wechselrichter usw. Eine Verringerung der Effizienz der Solarmodule kann zu einer deutlichen Verlängerung des Amortisationszeitraums der Anlage führen.

Wie bei vielen anderen Anlagen und Prozessen ist die Temperatur ein wichtiger Faktor, an dem man die korrekte Funktionsweise der Betriebsmittel schnell erkennen kann. So gibt es eine chemische Grundregel, die besagt, dass bei vielen Werkstoffen ein Temperaturanstieg um 10 °C über die vom Hersteller empfohlene Betriebstemperatur zu einer 50%igen Verkürzung seiner Lebensdauer führen kann, da sich je 10 °C die Reaktionsgeschwindigkeit verdoppelt. Diese einfache Regel verdeutlicht, wie übermäßige Temperaturen erhebliche Betriebsmittel- sowie Wartungs- und Instandhaltungskosten verursachen können. Wenn außerdem berücksich-

tigt wird, dass Solarmodule aus einer Vielzahl von Halbleiterzellen bestehen, kann die in einer defekten Zelle entstehende Wärme zu einer Beschädigung der benachbarten Zellen führen, wodurch sich das Problem im Laufe der Zeit weiter verschärft.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist der Erfolg der Anlage während ihrer Inbetriebnahme. Hier ist eine Wärmebildkamera ein wichtiges Werkzeug, da sie dem Anlagenverwalter ermöglicht, Solarmodule mit Herstellungsfehlern zu erkennen und Garantieansprüche geltend zu machen.

All diese Aspekte verdeutlichen, dass die Thermografie wichtig für die Wartung und Instandhaltung von Anlagen ist. Weil man Fehler sofort sieht, sind Wärmebildkameras besonders benutzerfreundliche und effektive Werkzeuge. Daher werden sie zunehmend in den vom Wartungs- und Instandhaltungspersonal verwendeten Werkzeugsatz (Multimeter, Strom- und Leckstrommesszangen, Isolierungsmessgeräte sowie Netz- und Stromversorgungsanalysatoren) integriert.

**Fluke.** *Damit Ihre Welt intakt bleibt.*

### Fluke Deutschland GmbH

In den Engematten 14  
79286 Glottertal  
Telefon: (069) 2 22 22 02 00  
Telefax: (069) 2 22 22 02 01  
E-Mail: [info@de.fluke.nl](mailto:info@de.fluke.nl)  
Web: [www.fluke.de](http://www.fluke.de)

### Beratung zu Produkteigenschaften und Spezifikationen:

Tel.: (07684) 8 00 95 45

### Beratung zu Anwendungen,

### Software und Normen:

Tel.: 0900 1 35 85 33  
(€ 0,99 pro Minute aus dem deutschen Festnetz, zzgl. MwSt., Mobilfunkgebühren können abweichen)  
E-Mail: [hotline@fluke.com](mailto:hotline@fluke.com)

### Fluke Vertriebsgesellschaft m.b.H.

Liebermannstraße F01  
A-2345 Brunn am Gebirge  
Telefon: (01) 928 95 00  
Telefax: (01) 928 95 01  
E-Mail: [info@as.fluke.nl](mailto:info@as.fluke.nl)  
Web: [www.fluke.at](http://www.fluke.at)

### Fluke (Switzerland) GmbH

Industrial Division  
Hardstrasse 20  
CH-8303 Bassersdorf  
Telefon: 044 580 75 00  
Telefax: 044 580 75 01  
E-Mail: [info@ch.fluke.nl](mailto:info@ch.fluke.nl)  
Web: [www.fluke.ch](http://www.fluke.ch)