



Cartoon: Michael Hüter

# Fit fürs Mannschaftspiel

Besitzer einer PV-Anlage gehen davon aus, dass ihre Solarzellen fleißig Sonnenstrahlen ernten, und in gut 99 % der Fälle entspricht das auch der Realität. Aber nicht immer ziehen alle Zellen an einem Strang. Die Thermografie identifiziert Fehler in Modulen und Strings.

**W**ie in jeder Arbeitsgemeinschaft verstecken sich auch unter den Solarzellen im Modulverbund vereinzelte Faulpelze oder gar regelrechte Querulanten. Weitere Zellen, die gerne arbeiten würden, kommen nicht dazu, weil sie nicht ordentlich in die Generator-Gemeinschaft integriert oder im Kurzschluss zu einem Kreistanz gezwungen sind. Möchte man einen Einblick in all dieses wilde Treiben erhalten, bleibt einem nur, sich mit einer Kamera auf die Lauer zu legen und so das Verhalten jedes einzelnen Individuums im Bild zu beobachten.

## Grenzen üblicher Messtechnik

Trotz des hektischen PV-Marktes kommen Maßnahmen zur Qualitätssicherung bereits an vielen Stellen

des Lebenszyklus einer Zelle zum Einsatz. Die Zelle wird schon von der Geburt an, also dem Schnitt aus dem Ingot, auf Risse und später auf ihr elektrisches Verhalten untersucht. Schwachpunkt jeder Inline-Messtechnik beim Hersteller ist jedoch, dass Zellen und Module nur im Labor unter künstlichen Bedingungen beleuchtet werden. Für ein genaues Studium des realen Verhaltens unter thermisch eingefahrenen Betriebsbedingungen, also in freier Wildbahn, bleibt beim Hersteller keine Zeit.

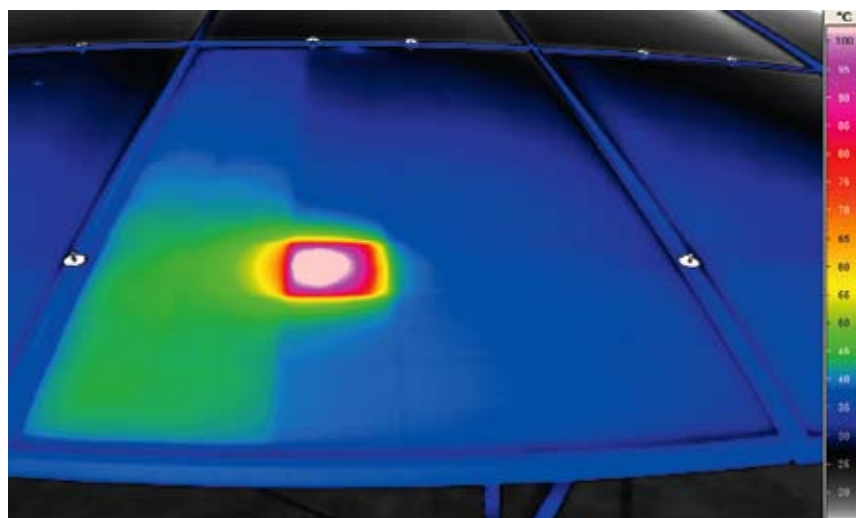
Betriebsüberwachungssysteme erkennen nur das große Ganze. Die Details bleiben Ihnen verborgen. Beispielsweise finden nur die besten Betriebsüberwacher offene Substrings in den Modulen. Auch wenn diese zu einer Reduktion der Modulleistung auf 2/3 und damit einer klaren Verletzung der Leistungsgarantie führen,

zeigen sie sich in der Strangüberwachung nur mit einer Abweichung von meist unter 2 %. Mit diesem Wert liegen sie bereits in derselben Größenordnung der normalen Varianz einer Modulleistungsklasse oder einem Temperaturunterschied von etwa 4 K zwischen zwei Strängen. Und selbst wenn der Betriebsüberwacher unter all diesen überlagernden Effekten den Durchblick hat, muss er immer noch das schadhafte Modul lokalisieren, was an einem fertig gestellten Generator auf dem Dach ein Ding der Unmöglichkeit ist.

## In freier Wildbahn

Die einzige Messtechnik, die heute in der Lage ist, jede einzelne Solarzelle in ihrem natürlichen Lebensraum auf dem Dach und unter der Sonne gezielt zu beobachten, ist die Thermografie. Die Temperaturen zeigen praktisch den individuellen Wirkungsgrad jeder einzelnen Zelle an. Eine einzelne um wenige Grad erwärmte Zelle ist dabei meist noch kein Grund zur Besorgnis. Solche Zellen sind so zu sagen die Müßiggänger im Solarpanel, welche der Generator-„Gemeinschaft“ zwar ihre Arbeitskraft verwehren, aber diese auch nicht weiter behindern. Die Ursachen hierfür können vielfältig sein, beispielsweise eine falsch versträngte leicht schwächere Zellklasse, also Überforderung mit dem zugewiesenen Arbeitsplatz oder ein zellinterner Kurzschluss. Problematischer sind die meist um mehrere 10 K überhitzten Wafer. Diese tragen nicht nur nichts zur gemeinsamen Arbeitsleistung bei, sondern schwächen den Ertrag anderer Zellen. Obwohl dem im Modul durch die verbauten Bypassdioden Grenzen gesetzt sind, kann eine einzige solche Zelle bei einem

Standardmodul mit drei Bypassdioden 1/3 an Leistung kosten. Ursache sind in der Regel größere Flächen abgebrochener und elektrisch getrennter Zellteile. Die größten Arbeitsausfälle haben aber nicht die Zellen selbst, sondern die Kontakte zu verantworten. Der überwiegende Teil geht hier auf die trivialste Verbindung im Modul zurück. In den Anschlussdosen werden bei einem Standardmodul die Leiterbändchen der drei Zell-Mäander oder auch Substrings oft über Federzugklemmen per Hand kontaktiert. Obwohl man nicht damit rechnen würde, findet man genau an diesem letzten und einfachsten aller Arbeitsschritte, die für den Ertrag am relevantesten und häufigsten lokalen Modulfehler. Dieses Fehlerbild unzureichend kontaktierter Substrings findet sich dabei durch die Bank bei nahezu allen Modulherstellern. Diese seien aber zumindest in so weit entschuldigt, dass sich derartige Kontaktfehler am Anfang oft als Wackelkontakte darstellen und daher in einer schnellen Ausgangskontrolle leicht übersehen werden können. Die Konsequenz bleibt aber, dass die 20 Zellen eines Substrings lebenslang zur Arbeitslosigkeit im elektrischen Leerlauf verdammt sind. Aber auch andere Probleme in der Anschlussdose können einen Substring lahmlegen. Wird dieser von einer defekten Bypassdiode oder einem vergessenen Bändchen-Schnipsel ungewollt überbrückt und somit kurzgeschlossen, hat das für den Gesamtgenerator dieselben Konsequenzen. Die Unterscheidung beider Anschlussdosenfehler im Thermogramm ist einfach. Während sich die nicht kontaktierten Zellen im Thermogramm als homogene unbewegte erwärmte Bereiche zeigen, sieht man in den kurzgeschlossenen Teilen (zumindest auf lange



Thermogramm eines Moduls mit einem nicht kontaktierten Substring links und einer heißen Zelle in der Mitte. Am rechten Rand der Zelle deutet der Temperatur-Gradient einen Zellteilabbruch parallel zum rechten Busbar an. Das Modul besitzt nur noch etwa 2/3 seiner ursprünglichen Leistung.

Foto und Thermogramme (3): Björn Schauer, Solarschmiede GmbH



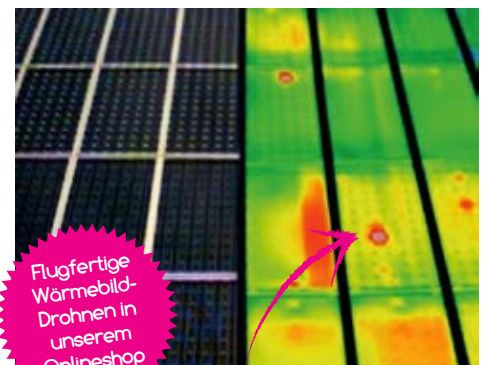
service-drone.com

your leading skycam network



## Fliegt, filmt & fotografiert!

Effiziente Anlagenwartung aus der Luft



Wärmebild von defekter Solarzelle

### Mit den Augen einer Schlange

Mieten oder kaufen Sie skalierbare Technologie zur effizienten Wartung Ihrer Solaranlagen. Unsere ferngesteuerten Flugdrohnen sind für den professionellen Einsatz konstruiert. Mit acht statt der sonst üblichen vier Rotoren sind sie besonders vibrationsarm, stabil und bis zu 20 Minuten mit einem Akku in der Luft.

Nur mit einer fliegenden Wärmebildkamera machen Sie Zellenfehler sofort und für einen Bruchteil der sonst üblichen Wartungszeiten und Kosten sichtbar.

Jetzt neu mit automatischem GPS-Flug und Videodokumentation des gesamten Wartungsfluges. Selbstverständlich liefern unsere Videodrohnen auch hochauflösende Fotos und HD-Videos für Ihre Projektplanung, Detailsichtprüfung, Werbung und Imagebildung. Fordern Sie unverbindlich Ihr Angebot an!

Perfektes Handling durch automatischen GPS-Flug und Videoaufzeichnung!



Luftbild-Service-System Deutschland  
service-drone.de GmbH

Waldenserstraße 2-4 | 10551 Berlin

fon: +49 (0)30 261 016 97 | fax: +49 (0)30 261 016 98  
email: info@service-drone.com | www.service-drone.com

BERLIN HAMBURG PARIS BERN

Sicht) bewegte Aktivität. Hier führen die Zellen eine Art bunten Kreistanz („Patchwork“) auf, bei dem sie elektrisch und thermisch interagieren. Während andere Messverfahren an solchen Stellen bestenfalls die Konsequenzen verringerter Modulspannung erkennen, kann der Thermograf bereits Position und Ursache eingrenzen oder gegebenenfalls sogar schon im Vorfeld einen nahenden Kontaktfehler prophezeien.

### Infrarot-Kameras als Wunderwaffe?

Bei allem Enthusiasmus, der inzwischen auch zu den Herstellern von IR-Kameras und altgedienten Thermografen vorgedrungen ist, sollte man sich aber auch wieder nüchtern die reale Fähigkeiten des Verfahrens vergegenwärtigen: Erfahrungen mit über 100 MW detailliert thermografierter Anlagenleistung zeigen, dass Modulfehler, auf deren Detektion die Thermografie quasi ein Monopol hat, im Schnitt nur eine Anzahl von Modulen betreffen, die im oberen Promille- und selten im unteren Prozentbereich liegt. Die dadurch hervorgerufenen Leistungsverluste bewegen sich entsprechend im Mittel im unteren Promille-Bereich. Man sollte also als Thermograf keinem Kunden einer Kleinanlage suggerieren, in jedem Fall Fehler zu finden, oder sogar für eine nennenswerte Ertragssteigerung sorgen zu können. In Einzelfällen kann dies natürlich zutreffen, speziell wenn man Stringfehler findet, um die sich aber eigentlich die Betriebsüberwachung kümmern sollte.

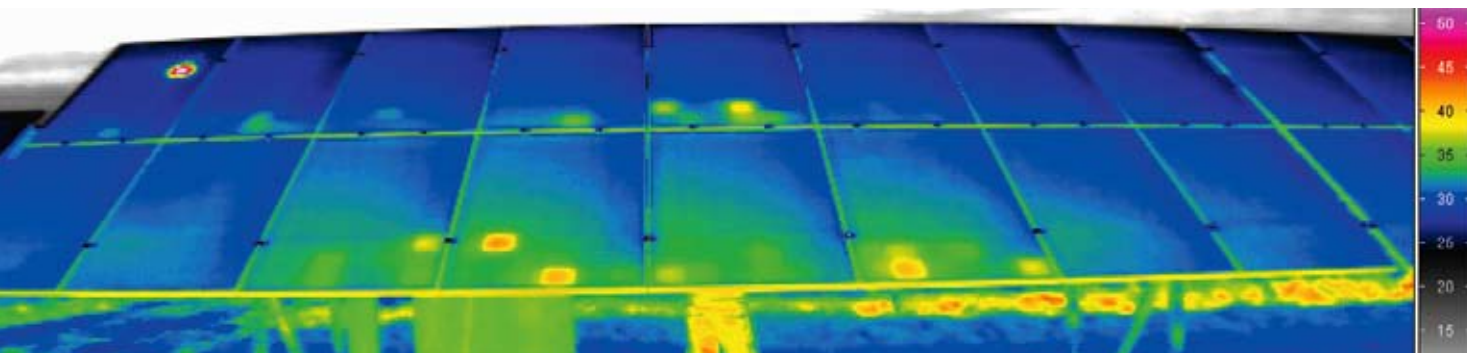
Weiter ist die PV-Thermografie ein Messverfahren unter vielen und kann nicht für sich allein stehen. Sie ist aber eine sinnvolle Erweiterung zu etablierten Messtechniken im Feld, wie allen voran der Kennlinienmessung, mit der sie sich gut ergänzt. Denn auch die PV-Thermografie sieht nicht alles. Während ein Kennlinienmessgerät ohne weiteres zwischen einem Modul mit einer realen Leistungsklasse von 200 W und einem mit 220 W unterscheiden kann, bleibt eine IR-Kamera hier blind. Gleiches gilt für irrtümlich zu viel oder zu wenig verstringte Module. Auch eine IR-Kamera für 50.000 € kann zwischen einem String mit 20 und einem mit 22 Modulen nicht unterscheiden, was für ein Kennlinienmessgerät oder bereits ein Multimeter für 50 € keine Herausforderung darstellt. Das Wissen um die benannten Möglichkeiten, aber eben auch Grenzen des Verfahrens sollte man sich in jedem Fall über Schulungen aneignen, die seit einem Jahr zahlreich angeboten werden.

**Nicht das Bild, sondern die Beurteilung zählt. Nicht jeder Generator der im Thermogramm „bunt“ erscheint muss auch schadhaft sein. Im abgebildeten Fall läuft die Zelle links oben aufgrund einer abschattenden Verschmutzung heiß. Die anderen Zellen sind nach einem Einstrahlungswechsel nur kurzzeitig auffällig im Mismatch.**

### Aktueller Stand

Gut über ein Jahr ist seit dem letzten Artikel zum Thema in der SW&W 14/2010 vergangen. In der noch jungen PV-Thermografie ist das fast ein Zeitalter. Die letzte Einschätzung zum Marktvolumen des Anwendungsbereichs und Zahlen zum Neukauf von Handheld-IR-Kameras für die PV belief sich noch auf den Promillebereich. Heute gehen mehrere Quellen davon aus, dass die PV immerhin im unteren einstelligen Prozentbereich angekommen ist. Manche Hersteller sind daher auch schon so enthusiastisch auf den neuen Zug aufgesprungen, dass sie ihren Geräten eine PV-Funktion angedeihen ließen. Auch wenn diese wohl mehr Nutzen für die Werbung als für die Praxis bringt, fühlt man sich als Photovoltaiker durch die wachsende Aufmerksamkeit der Thermografiebranche geschmeichelt.

Die Psychologie sagt, dass Bilder Emotionen wecken, und dies gilt in vielerlei Hinsicht für Thermogramme. Wer ein Thermogramm erstellt, hat es in der Hand, eine um 10 K erwärmte Zelle im Thermogramm als markig weiß glühendes Etwas – oder als kaum auffällige Schattierung darzustellen. Aus diesem Grund sind Empfänger von PV-Thermografie-Gutachten gut beraten, sich auf den Text zwischen den Bildern zu konzentrieren. Allein hieraus muss begründet hervorgehen, welcher Schaden bei einer thermischen Auffälligkeit vorliegt und welche Konsequenzen daraus für den Besitzer der Anlage oder den Modulhersteller zu ziehen sind. Auch ist die Qualität eines Berichts speziell für den Thermografie-Laien am Text immer noch am ehesten ablesbar. Bunten Bildern allein stehen Kunden in der Regel hilflos gegenüber, weshalb sie wertlos sind. Aber Bilder transportieren eben auch viele Informationen und dabei oft mehr, als dem Ersteller selbst bewusst ist. So finden sich im Internet als Werbebilder für Dienstleister und selbst in Fachartikeln immer noch zahllose PV-Thermogramme, die im zugehörigen Text falsch interpretiert sind, bei falschen Bedingungen erstellt oder gleich handwerklich falsch aufgenommen wurden. Auch wenn diese Zustände beim Autor regelmäßige und unvermeidliche Emotionen auslösen, sind sie eine natürliche Stufe auf dem Weg zum Erwachsenwerden dieses Messverfahrens. Trotzdem muss man an dieser Stelle auch Händler und Modulhersteller verstehen, die der PV-Thermografie an sich mit Skepsis gegenüber stehen. Das Ende der





**Die Luftbildthermografie in der PV befindet sich noch im Experimentierstadium, erste Angebote erscheinen auf dem Markt. Die Herausforderungen sind dabei groß.**

gesunden Skepsis ist natürlich erreicht, wenn nicht einmal die leicht zu interpretierenden Substringfehler im Thermogramm als reklamierbare Schadensbilder anerkannt werden.

Beschreibungen derartiger Auffälligkeiten finden sich immerhin schon seit dem IR-Handbuch des ZAE Bayern von 2007 in etlichen Studien zum Thema. Auch existiert seit gut einem Jahr zumindest ein zweiseitiges Beiblatt zur PV-Thermografie in der Norm DIN EN 62446 bzw. VDE 0126-23. Viele Hersteller erkennen aber auch schon heute den Wert, den thermografische Analysen im Feld für sie bedeuten können und deren Potentiale für die Zukunft. Denn kein Verfahren sonst kann ihnen derart zeitnah Rückmeldungen aus der Praxis geben und auf Probleme in der Fertigung hinweisen.

## Entwicklungen und Trends

Zum Glück geht die PV-Thermografie in der Qualität der Aussagekraft voran und so gab es auch im vergangenen Jahr wieder zahlreiche kleinere und größere wissenschaftliche Veröffentlichungen zum Thema, die in die Zukunft weisen sollen. Letzter Kreuzungspunkt war hier die EU PVSEC 2011 in Hamburg, bei der mehrere Posterbeiträge zu sehen und ein Vortrag zu hören war. Für das ZAE Bayern stellte Claudia Buerhop-Lutz im Vortrag eine IR-Studie vor, die drei PV-Anlagen mit insgesamt knapp 100 kW analysierte. Die Untersuchung aller Module fand dabei neben der Thermografie auch mittels Elektrolumineszenz- und Kennlinienmessungen als Referenzverfahren statt. Der Vortrag bestätigte dabei eine sehr gute Trefferquote der Thermografie bei der Detektion, speziell der Module, die in der Leistung nennenswert zurückgefallen waren. In weiteren Postern wurden neue Erkenntnisse bezüglich des Einsatzes der Thermografie im Labor beschrieben. In einer bereits

fortgesetzten Veröffentlichungsreihe des AIT (Austrian Institute of Technology) unterstrich Rita Ebner unter anderem die sinnvolle Kombination von EL- mit IR-Aufnahmen zur Beurteilung auffälliger Zellen. Das Max-Planck-Institut aus Halle zeigte, dass die Lock-in-Thermografie auch an den Zellen detaillierte Untersuchungen zulässt, die bereits in das für die IR undurchsichtige Glas eingebettet sind. Weitere Informationen zum Thema waren aber auch auf der Ausstellungsfläche der EU PVSEC zu finden. Hier präsentierten Anbieter von IR-Messtechnik ihre Handheld-Kameras und wie im Fall der InfraTec GmbH zusätzlich ihre Labormesstechnik zur Lock-In-Thermografie. Im Outdoor Bereich wurde von der Soleg GmbH sogar eine Drohne mit einer IR-Kamera vorgeführt. Das Thema der Luftbild-Thermografie wurde auch im Vortrag der ZAE kurz angesprochen und von dieser bereits 2009 auf der Intersolar in München erstmals vorgestellt. Sicher ist hier nur, dass die PV-Thermografie am Thema der Luftbild-Thermografie langfristig nicht vorbeikommen wird, auch wenn den bisher vorgestellten Systemen meist noch die Marktreife für eine ordentliche PV-thermografische Dienstleistung fehlt. Am Ende werden die Hindernisse aber überwunden werden, denn die mehreren Millionen Solarzellen heutiger großer PV-Parks lassen sich nicht mehr sinnvoll von einem Standort am Boden aus aufnehmen. Hier wird es sich lohnen, Bernhard Grzimek wieder zum Vorbild zu nehmen. Auch er hat bereits früh das Flugzeug für seine Beobachtungen von Tieren auf ausgedehnten Flächen entdeckt. **Bernhard Weinreich**

*Der Autor ist zertifizierter Thermograf Stufe 2 nach DIN EN 473 und Leiter der PV-Thermografie Abteilung der Solarschmiede GmbH in München.*

**Weitere Informationen:**  
Solarschmiede GmbH: [www.solarschmiede.de](http://www.solarschmiede.de)

# HN SOLAR

GMBH

info@hnsolar.de [www.hnsolar.de](http://www.hnsolar.de)  
+49 (0) 87 05 / 938 608 - 0

## Montagesysteme

Einfachste Klemmverbinder



**NEU:**  
Massiver  
Trapezblechanschluss

**NEU:**  
Kurzprofile  
für Trapez-  
blech,  
h = 80 mm

Auch als  
durchlaufendes  
Profil mit 6 m Länge lieferbar  
**NEU:** Einschieber, diese Längs-  
verbinder erhalten Sie bis Ende  
dieses Jahres kostenlos  
mitgeliefert.



**NEU:**  
Weitspannprofil  
bis 3 m.  
Höhe 100 mm  
Längen nach  
Bedarf lieferbar  
Angebot:  
6 m Profile;  
lfm € 3,90



**Statik:** unsere UK ist  
statisch nachgewiesen  
und an der TU München  
geprüft



## Unsere Module

Wir beziehen direkt beim Hersteller  
und können sehr günstig liefern

Unser meistverkauftes

**S-ENERGY**

**EGING PV**

**YINGLI SOLAR**

**Q.CELLS**  
Q.PRO direkt von Q.cells

**Wir empfehlen uns auch als  
Komplettanbieter für Dach-  
anlagen bis 2 MW!**