



Manfred Pfadt

Wartung aus der Luft

Prädestiniert für die vorbeugende Wartung von Photovoltaik-Anlagen und deren Solarzellen ist die Thermografie. Per Multicopter ermöglicht sie sogar eine Überwachung der Anlagen aus der Luft.

Solarmodule bestehen aus silizium-basierten Zellen, die auf einen Aluminiumrahmen montiert sind und mit einer Glasplatte abgedeckt werden. Die Effizienz einer Solaranlage hängt von ihrer Fläche, aber auch von der Intensität und dem Einfallswinkel der Sonnen-

strahlung ab. Ergo korrespondiert der Wirkungsgrad einer Anlage mit der geografischen Lage, dem Wetter und der jeweiligen Tageszeit. Mit der wachsenden Verbreitung von Photovoltaik-Anlagen steigt die Notwendigkeit der effizienten Überprüfung ihrer Leistungsfähigkeit für eine sichere und kostengünstige Energieversorgung. Es gilt, Fragen nach dem Erfolg einer Neu-Installation, der Witterungsbeständigkeit der eingesetzten Module, entstandenen Schäden nach Unwettern bis zu Fragen nach Gewährleistungsansprüchen zuverlässig zu beantworten.

Bekanntlich rufen Zellbruch, kurzgeschlossene Zellen, überbrückte Teilstränge im Modul, lokale Kurzschlüsse sowie

fehlerhafte Lötungen erkennbare Temperatur-Unterschiede in der Solarzelle hervor. Typische Fehler in einem PV-Modul sind Produktionsfehler, Beschädigungen, temporäre Abschattungen, fehlerhafte Bypass-Dioden oder Anschlüsse. Sie können die Effizienz der gesamten Solaranlage deutlich senken. Kleine Zellbrüche, Mikrorisse und Unterbrechungen der Metallisierung dagegen haben laut Untersuchungen keinen Einfluss auf die Modul-Leistung. Um gravierende Fehler frühzeitig zu erkennen, eignen sich Thermografie-basierte Wärmebildkameras, die elektrische und mechanische Fehler lokalisieren sowie installations- und verarbeitungsbedingte Defekte erfassen können.

(Bilder: Micro-Epsilon)

Das Prinzip der Thermografie

Jeder Körper mit einer Temperatur über dem absoluten Nullpunkt (-273 °C) sendet elektromagnetische Strahlung proportional zu seiner Eigentemperatur aus. Infrarotstrahlung ist ein Teil dieser Strahlung und lässt sich zur Temperaturmessung verwenden. Allerdings erfasst die Wärmebildkamera die Wärmeleitung direkt auf der Glasoberfläche, so dass die Wärmeleitung einer Zelle nur indirekt erfasst wird. Die Strahlung wird mit einer Linse – der Eingangsoptik der Wärmebildkamera – aufgenommen und auf ein Detektorelement fokussiert, das wiederum ein der Strahlung proportionales elektrisches Signal erzeugt. Dieses Signal wird verstärkt, digital überarbeitet und in eine der Objekttemperatur proportionale Ausgabegröße umgesetzt. Der Messwert kann auf einem Display angezeigt oder als analoges Signal für die Prozesssteuerung ausgegeben werden.

Was bedeutet das nun konkret für die Wartung von PV-Anlagen?

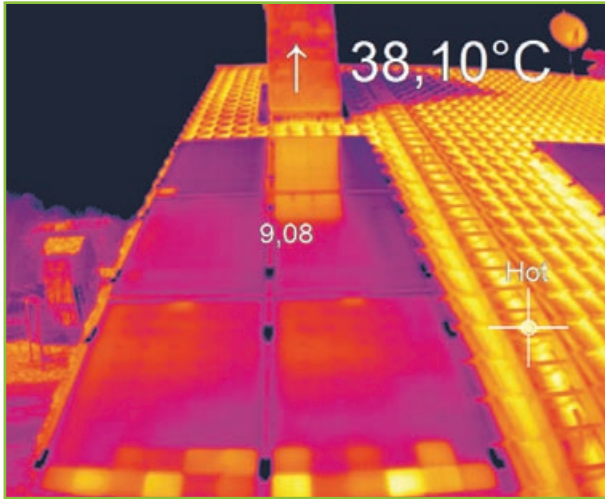
Erscheinung im Wärmebild	Fehlerart	Mögliche Ursache
Ein Bereich der Zelle erscheint wärmer	Zellbruch	Mechanische Einwirkung
Punktförmige Erwärmung	Artefakt	Abschattung (Verschmutzung)
	Zellriss	Produktionsfehler
Einzelne heiße Zellen	k.A.	Abschattung
		Defekte Zelle
Einige Zellen erscheinen heißer als die anderen	Defekt der Bypass-Diode, interner Kurzschluss	Kurzschluss im Zellenstrang
„Patchwork“-Muster	Modul im Kurzschluss	Defekt aller Bypass-Dioden; falsch angeschlossen

(Quelle: ZAE Bayern e. V.)

Typische Modulfehler, ihre Erscheinung auf dem Wärmebild und mögliche Fehlerursachen.

Ausgehend vom physikalischen Messprinzip ist die Intensität der emittierten Strahlung entscheidend für den Erfolg einer Messung. Da sie draußen stattfindet, müssen bestimmte Wetterbedingungen erfüllt sein: Die Strahlungsintensität der Sonne muss mit mindestens 500 W/m^2 groß genug sein. Wolken vermindern die Einstrahlung. Somit können bei Bewöl-

kung nur Kameras mit einer ausreichenden Empfindlichkeit – $\geq 80\text{ mK}$ – eingesetzt werden. Um Reflexionen im Glas zu vermeiden, ist die richtige Positionierung der Kamera entscheidend: Empfehlenswert ist ein Betrachtungswinkel der Wärmebildkamera von 5° bis 60° zur Senkrechten des Moduls. Eine gut geeignete IR-Kamera ist mit einem ungekühlten



Infrarot- Aufnahme einer Photovoltaik-Anlage

Mikrobolometer-Detektor ausgestattet, der im Wellenbereich von 8 bis 14 μm arbeitet. Bei geringer Außentemperatur ergibt sich ein maximaler thermischer Kontrast. Der stark reflektierende Aluminiumrahmen der Solarmodule wirft die Wärmestrahlung des Himmels zurück.

Dies muss mittels Software ausgeblendet werden können. Um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, ist darauf zu achten, dass der Abstand zwischen der IR-Kamera und dem PV-Modul jederzeit innerhalb einer gewissen Bandbreite ist.

Für die vorbeugende Wartung von großen Photovoltaikfeldern, von Anlagen an schwer zugänglichen Stellen wie etwa auf Dächern sowie für besonders schnelle Analysen eignet sich die Thermografie mit Hilfe eines Multicopters. Allerdings geht dies nicht mit jeder Wärmebildkamera: Für den Einsatz im Flugbetrieb ist zum einen ein niedriges Gewicht und zum anderen eine autarke Steuerung sowie ausreichende Auflösung der Kamera unerlässlich. Speziell für solche Fluganwendungen entwickelte Micro-Epsilon die IR-Kamera „ThermoImager TIM LightWeight“ mit einem Gesamtgewicht von nur 350 g. Die Aufnahme eines IR-Videos lässt sich unmittelbar über einen Knopf am Kameragehäuse oder per Fernsteuerung starten; dabei erfolgt die

Aufnahme auf einer MicroSD-Speicherkarte. Zusätzlich verfügt die Kamera über eine simultane 20-Hz-Videosignal-Generierung parallel zu einer 35-Hz-radiometrischen Remote-Aufnahme. So ist sowohl eine Live-Video-Übertragung (Inline-Analyse) als auch eine nachträgliche Offline-Analyse realisierbar. Die Datenübertragung erfolgt über eine Gigabit-Ethernet-Schnittstelle. Die Infrarotkamera weist eine optische Auflösung von 382×288 Pixel mit 80 kHz auf, die thermische Auflösung beträgt maximal 40 mK. Durch das geringe Gewicht der Kamera lässt sich die Flugzeit im Vergleich zu handelsüblichen Kameras um fünf bis sieben Minuten verlängern. *ik*



Manfred Pfadt

ist Produktmanager Sensorik bei Micro-Epsilon Messtechnik in Ortenburg.