

Sonnenenergie auf dem Prüfstand



Quelle: dataTec



AUF EINEN BLICK

MESSTECHNIK FÜR JEDEN ZWECK

Wartungsarbeiten und Kontrollen von PV-Anlagen erfordern nicht nur spezielle Kenntnisse, sondern auch die richtigen Messgeräte

SCHULUNGEN/FORTBILDUNG Die dataTec-Akademie empfiehlt die Teilnahme an Fortbildungsmaßnahmen

NORMEN UND VORSCHRIFTEN Welche Normen und Vorschriften sind zu beachten?

FEHLER- UND QUALITÄTSANALYSE Dieser Artikel zeigt, wie von Beginn an mit moderner Messtechnik schnell und einfach Fehler an einer PV-Anlage lokalisiert werden können. Hervorgehoben werden dabei Normen, welche dem Elektroinstallateur zur Seite stehen und ihn von der Installation bis zur wiederkehrenden Prüfung begleiten.

Seit einigen Jahren ist ein Boom in der Photovoltaikbranche zu beobachten. Photovoltaik-(PV)-Anlagen gewinnen immer mehr an Bedeutung. Aber was passiert mit neu installierten PV-Anlagen? Oder mit PV-Anlagen, welche schon seit Jahren in Betrieb sind? Manchmal kommt es vor, dass PV-Anlagen von Anfang an nicht fehlerfrei arbeiten. Oder sie zeigen nach mehreren Jahren Betrieb erste Alterungsanzeichen. Aber nur eine einwandfrei funktionierende PV-Anlage arbeitet wirtschaftlich profitabel und sicher.

Der reibungslose Betrieb von Photovoltaik-(PV)-Anlagen ist nicht nur betriebswirtschaftlich von großem Interesse, sondern auch von sicherheitstechnischer Seite von großer Bedeutung. Brandschutz sowie die elektrische Betriebssicherheit sollten elementar wichtige Punkte für den Betreiber von Photovoltaik-(PV)-Anlagen sein. Für einen störungsfreien Betrieb zeigen Normen die Richtung auf. Die Messgeräte verschiedener Hersteller vom Fachhändler dataTec, dem Spezialisten für Mess- und Prüfgeräte aus Reutlingen, helfen dem Betreiber eine wirtschaftliche

Photovoltaik-(PV)-Anlage zu führen, die Normen zu erfüllen und Ausfälle bzw. Schäden im Voraus zu erkennen.

Übersicht verschaffen und Auffälligkeiten erkennen

Ein z.B. nach DIN EN 62446 (VDE 0126-23) Anhang D zugelassenes Messgerät ist eine Infrarotkamera. Diese erkennt schnell, berührungslos und während des Betriebs der PV-Anlage Anomalien und Auffälligkeiten. Voraussetzungen für eine solche Messung sind eine hohe Detektorauflösung und eine hohe thermische Emp-

findlichkeit. Nur so lassen sich kleinste Temperaturunterschiede auf den PV-Modulen erkennen und somit Hot Spots (Bild 1) sowie Fehler deutlich lokalisieren. Die Infrarotkameras von Flir verfügen über eine Detektorauflösung von bis zu 640x480 Pixeln sowie über eine thermische Empfindlichkeit von bis zu <30mK; ideal für Messungen an einer PV-Anlage und deren Modulen.

Die Messung eines PV-Moduls sollte von der Modulvorderseite sowie, wenn möglich, auch von der Modulrückseite gemacht werden. Bei der Messung von der Vorderseite sollte der Schatten des Bedieners nicht auf die zu prüfende Fläche fallen. Auch reflektierte Wärmestrahlung kann Messfehler verursachen.

Das Infrarotbild macht nicht nur Fehler und Auffälligkeiten direkt auf den PV-Modulen sichtbar. Auch thermische Anomalien und Fehler an den Anschlussleitungen und dem Wechselrichter lassen sich mühelos erkennen. Mit der Flir Meter-Link-Funktion (kabellose Datenübertragung) können Stromwerte, die ein spezielles Zangenmultimeter erfasst, direkt im Infrarotbild gespeichert werden. Über den Strom sowie die Temperatur lassen sich überlastete Leitungen lokalisieren (Bild 2).

Durch Energieabgabe in Form von Wärme können auch Anomalien an den Sperrdioden, Anschlussdosen/-kästen sowie an den elektrischen Anschlüssen in Erscheinung treten. Absolutmesswerte sind nicht von großer Bedeutung, da die Temperatur von Tag zu Tag schwankt. Bes-

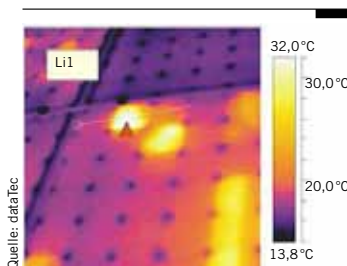


Bild 1: Hot Spot auf einem PV-Modul

ser kann man Anomalien bzw. Fehler über die Temperaturdifferenz zwischen Normalbetrieb und der thermisch auffälligen Stelle erkennen.

Beim Lokalisieren von Auffälligkeiten hilft die Thermal-Fusion-Funktion der Flir T- und P-Serien. Mit ihr lässt sich ein Infrarotbild über das identische Digitalbild des PV-Moduls legen (**Bild 3**).

Nicht nur die DIN EN 62446 (VDE 0126-23) empfiehlt diese Art von Messungen an PV-Modulen, sondern auch die DIN EN 54191 (zerstörungsfreie Prüfung – thermografische Prüfung elektrischer Anlagen). Diese Norm gibt u.a. an, welche Geräteanforderung und Personenqualifikation ein Dienstleister, aber auch ein Anwender im eigenen Betrieb erfüllen sollte.

Weitere mögliche Fehlerursachen

Weitere Ursachen für Fehlfunktionen von PV-Anlagen können sein:

- Komplette Modulausfälle bzw. Teilmodulausfälle
- Kurzschlüsse in den Modulen
- Glasbruch und Risse in Modulen
- Eindringene Feuchtigkeit
- Delamination
- Defekte Bypassdioden
- Lose Kontaktstellen in Verteilerdosen und am Wechselrichter
- Übergangswiderstände in Verbindungssteckern

Die Standardtestbedingungen (STC, engl. Standard Test Conditions) sind weltweit genormte (nach DIN EN 60904) Testbedingungen, um die PV-Module und Zellen miteinander vergleichen zu können. Diese geben vor,

- welche Bestrahlungsstärke bei senkrechtem Lichteinfall vorhanden sein muss,

Quelle: dataTec



Bild 2: Mit der Flir-MeterLink-Funktion (kabellose Datenübertragung) lassen sich Stromwerte, die ein spezielles Zangenmultimeter erfasst, speichern

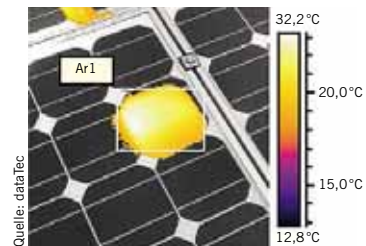


Bild 3: Hot-Spot-Erkennung mit Thermal-Fusion-Funktion

- wie hoch die Zellentemperatur sein muss,
- welchen Air-Mass-(AM)-Wert ein definiertes Lichtspektrum haben muss.

Da diese Bedingungen nicht exakt zu erfüllen sind, bleiben die Größen theoretisch. Um dennoch einen praxisorientierten Vergleich machen zu können, wurde die NOCT-Bedingung (Zellen-Nennbetriebstemperatur, engl. Normal Operating Cell Temperature) erstellt. Diese umfasst eine Strahlungsstärke von 800 W/m^2 , eine Umgebungstemperatur von 20°C sowie eine Windgeschwindigkeit von 1 ms^{-1} . Nach der »DIN EN 62446 (VDE 0126-23):2010-07 Anhang D« wird die Untersuchung an einer PV-Anlage mit einer vor-

WICHTIGE NORMEN AUF EINEN BLICK

- **DIN VDE 0100-600** Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 6: Prüfungen
- **DIN VDE 0100-712:2006-06** Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 7-712: Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art – Solar-Photovoltaik-(PV)-Stromversorgungssysteme (Entwurf liegt derzeit vor: DIN IEC 60364-7-712, VDE 0100-712)
- **DIN VDE 0185** Blitzschutzanlage – Allgemeines für das Errichten
- **DIN EN 62446** (VDE 0126-23) Netzgekoppelte Photovoltaik-Systeme – Min-

destanforderung an Systemdokumentation, Inbetriebnahmeprüfung und wiederkehrende Prüfung

- **DIN EN 61853-1** (VDE 0126-34-1) Prüfung des Leistungsverhaltens von photovoltaischen (PV-)Modulen und Energiebeurteilung – Teil 1: Leistungsmessung in Bezug auf Bestrahlungsstärke und Temperatur sowie Leistungsbemessung
- **DIN 54191** Zerstörungsfreie Prüfung – Thermografische Prüfung elektrischer Anlagen

handenen Bestrahlungsstärke von min. 400W/m^2 , idealerweise mehr als 600W/m^2 , vorgegeben, um zu gewährleisten, dass die PV-Anlage einen ausreichend hohen Strom liefert, der wiederum die Energie in Wärme umwandelt, die von der Infrarotkamera erkannt wird. Erst durch Energieabgabe (Wärme) können Anomalien an den Sperrdioden, Anschlussdosen/-kästen sowie an den elektrischen Anschlüssen erkannt werden. Absolutmesswerte sind nicht von großer Bedeutung, da die Temperatur von Tag zu Tag schwankt. Besser kann man Anomalien bzw. Fehler über die Temperaturdifferenz (ΔT) zwischen Normalbetrieb und der thermisch auffälligen Stelle erkennen.

Fehler lokalisiert. Was dann?

Was tun wenn eine thermische Auffälligkeit auf dem Modul erkannt wurde? Um sicherzustellen, dass das PV-Modul effizient arbeitet und die volle Leistung bringt, ist ein Peakleistungs- und ein I-/U-Kennlini-



Quelle: dataTec

Bild 4: Peakleistungs- und I-/U-Kennlinienanalysator von Gossen Metrawatt und HT-Instruments

enanalysator von HT-Instruments und Gossen Metrawatt das richtige Messwerkzeug (**Bild 4**). Diese Geräte überwachen je nach Ausstattung alle wichtigen Messgrößen des PV-Moduls, unter anderem die Peakleistung (nach STC), die aktuelle Leistung, den Kurzschlussstrom (I_{sc}) und die Leerlaufspannung (U_{oc}) sowie I_{mpp} und U_{mpp} , d.h. maximaler Strom und maximale Spannung bei einer bestimmten

Temperatur und Sonneneinstrahlung. Auch die Temperatur der Solarzelle und die aktuelle Einstrahlung in W/m^2 werden erfasst. Diese Messgrößen lassen sich nicht



LINKS

Datatec: www.datatec.de

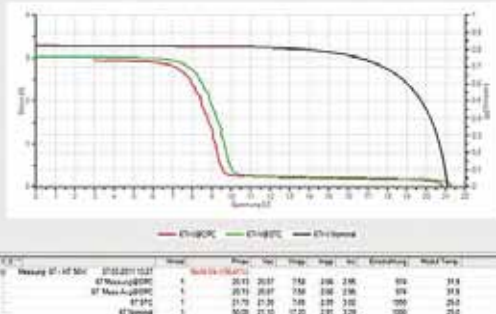


Bild 5: Eine deutliche Abweichung der I-U-Kennlinie von der Idealform deutet auf einen Defekt hin, z.B. Teilabschattungen

Quelle: dataTec

nur von einem PV-Modul darstellen, sondern auch vom kompletten String.

Die I-U-Kennlinienanalysatoren können die Messwerte anzeigen sowie auch die I-U-Kennlinie darstellen. Die I-U-Kennlinie stellt das Verhalten des PV-Moduls

bei verschiedenen Belastungszuständen dar. Sie ist abhängig von der Bestrahlungsstärke und der Modultemperatur. Grafisch kann man auf einen Blick erkennen, ob das Modul einwandfrei arbeitet. Eine andere Darstellung der Kennlinie

würde auf einen Defekt hindeuten, z.B. Teilabschattungen (**Bild 5**).

Was der Wirkungsgrad verrät

Bei jeder PV-Anlage sind die Module auf einen bestimmten Wirkungsgrad ausgelegt. Die Referenzwerte sind in den technischen Daten hinterlegt und dienen als Richtwert während der Messung. Stellt man eine Differenz zwischen Referenzwert und dem tatsächlichen Messwert fest, ist dies ein Anzeichen für einen Fehler am Modul, in der Installation oder am Wechselrichter.

Der Wirkungsgrad kann z.B. mit dem FTV100 Greentest von Chauvin Arnoux und dem HT-I Solar 300N nicht nur vom PV-Modul (DC), sondern auch vom Wechselrichter (AC) ermittelt werden (**Bild 6**). Auch bei parallel geschalteten PV-Modu-

IMPRESSUM

REDAKTION

Lazarettstraße 4, 80636 München, Tel. (089) 12607-240, Fax (089) 12607-111

Dipl.-Ing. Andreas Stöcklhuber, Chefredakteur (verantwortl.), Tel. (089) 12607-248, E-Mail: stoeklhuber@de-online.info (Gebäudetechnik, Aktuell)

Dipl.-Ing. (FH) Christiane Decker, Tel. (089) 12607-242, E-Mail: decker@de-online.info (GiG)

Dipl.-Komm.-Wirt Roland Lüders, Tel. (089) 12607-214, E-Mail: lueders@de-online.info (Erneuerbare Energien, Betriebsführung)

Dipl.-Ing. (FH) Michael Muschong, Tel. (089) 12607-261, E-Mail: muschong@de-online.info (Praxisprobleme, Elektroinstallation)

Dipl.-Ing. (FH) Sigurd Schobert, Tel. (089) 12607-244, E-Mail: schobert@de-online.info (Informationstechnik)

REDAKTIONSASSISTENZ
Martina Stichelbrucks, Tel. (089) 12607-240, E-Mail: stichelbrucks@de-online.info

HEMPEPAGE www.pv-praxis.de
INTERNETBETREUUNG
Brigitte Höfer-Heyne, Tel. (089) 12607-246, E-Mail: hoefer-heyne@de-online.info

ANZEIGEN

Lazarettstraße 4, 80636 München, Fax (089) 12607-310

ANZEIGENLEITUNG
Michael Dietl (verantwortl.)
Jutta Landes, Tel. (089) 12607-263, E-Mail: landes@de-online.info

ANZEIGENVERKAUF
Sylvia Luplow, Tel. (089) 12607-299, E-Mail: luplow@de-online.info

RAPPRESENTANZA IN ITALIA
CoMedia di Garofalo Vittorio,
Piazza Matteotti, 175,
I - 16043 Chiavari,
Tel. + Fax (0039-0185) 590143,
Mobil (0039-335) 346932,
Es gilt die Preisliste Nr. 3 vom 1.1.2012

VERTRIEB
Im Weiher 10, 69121 Heidelberg,
Fax (06221) 489-443

Karen Dittlich (Teamleitung),
Tel. (06221) 489-603,
E-Mail: dittlich@de-online.info
Franziska Walter,
Tel. (06221) 489-384,
E-Mail: walter@de-online.info

ABONNEMENT-SERVICE UND ADRESSÄNDERUNG
Rhenus Medien Logistik GmbH & Co. KG
Justus-von-Liebig-Straße 1,
86899 Landsberg,
Canan Biber, Tel. (08191) 97000-879,
Fax (08191) 97000-103,
E-Mail: aboservice@huethig.de

PRODUKTION

Layout/Druckvorstufe
JournalMedia GmbH,
Cynthia Heidinger,
Richard-Reitzner-Allee 4,
85540 Haar
Druck
westermann druck GmbH
Georg-Westermann-Allee 66
38104 Braunschweig

VERLAG
Hühig & Pflaum Verlag GmbH & Co.
Fachliteratur KG, Lazarettstraße 4,
80636 München, Tel. (089) 12607-0,
POSTANSCHRIFT
Postfach 190737, 80607 München
Im Weiher 10, 69121 Heidelberg,
Tel. (06221) 489-0
GESCHÄFTSFÜHRER
Rainer Simon, Heidelberg

VERÖFFENTLICHUNGEN

Eine Haftung für die Richtigkeit der Veröffentlichung kann trotz sorgfältiger Prüfung durch die Redaktion, vom Verleger und Herausgeber nicht übernommen werden. Die Zeitschriften, alle in ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen, sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung & Bearbeitung in elektronischen Systemen.

Mit der Annahme des Manuskripts und seiner Veröffentlichung in dieser Zeitschrift geht das umfassende, ausschließliche, räumlich, zeitlich und inhaltlich unbeschränkte Nutzungsrecht auf den Verlag über. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen und dergleichen in dieser Zeitschrift berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zur Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- & Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen. Für unverlangt eingesandte Manuskripte wird keine Haftung übernommen. Mit Namen oder Zeichen des Verfassers gekennzeichnete Beiträge stellen nicht unbedingt die Meinung der Redaktion dar. Es gelten die allgemeinen Geschäftsbedingungen für Autorenbeiträge.

DATENSCHUTZ

Ihre personenbezogenen Daten werden von uns und den Unternehmen der Süddeutschen Verlag-Mediengruppe, unseren Dienstleistern sowie anderen ausgewählten Unternehmen verarbeitet und genutzt, um Sie über interessante Produkte und Dienstleistungen zu informieren. Wenn Sie dies nicht mehr wünschen, schreiben Sie bitte an:
walter@de-online.info

IHRE KONTAKTE			
Redaktion Tel. (089) 12607-240, Fax -111, E-Mail: redaktion@de-online.info	Anzeigen Tel. (089) 12607-263, Fax -310, E-Mail: anzeigen@de-online.info Internet: www.pv-praxis.de	Abonnementbestellung/ Adressänderung Tel. (08191) 97000-879, Fax -103, E-Mail: aboservice@huethig.de	Buchbestellung Tel. (06221) 489-555, Fax -623, E-Mail: de-buchservice@de-online.info



Bild 6: Anschlussdiagramm zum Erfassen des Wirkungsgrads

len können die Messungen durchgeführt werden.

Elektrische Sicherheit

Wie auch bei anderen elektrischen Anlagen sind für PV-Anlagen Erst- und Wiederholungsprüfungen nötig. Sie dienen der Überwachung und Dokumentation der oft jahrzehntlang betriebenen Installationen. Im Einzelnen sind vorgesehen:

Prüfung des Wechselstromkreises nach DIN VDE 0100-600

- Besichtigen des Wechselstromkreises
- Durchgängigkeitsprüfung
- Isolationswiderstandsprüfung
- Schutz durch automatische Abschaltung
- Funktionsprüfung (Not-Aus, Schutz- und Sicherheitseinrichtungen, FI-Schutzschalter)

Prüfung des Gleichstromkreises nach DIN EN 62446 (VDE 0126-23)

- Besichtigen des Gleichstromkreises
- Schutzleiterprüfung
- Polaritätsprüfung
- Messung der Leerlaufspannung eines PV-Stranges
- Strommessung eines PV-Stranges
- Messung des Kurzschlussstroms eines PV-Stranges

- Funktionsprüfung
- Isolationswiderstandsprüfung eines PV-Moduls

Für die Prüfungen sind Geräte geeignet wie etwa das iT120B von Benning oder das Profitest M-Tech von Gossen Metrawatt (**Bild 7**).

Vor der Inbetriebnahme und bei Wiederholungsprüfungen muss eine Photovoltaikanlage gemäß VDE 0126-23 geprüft und dokumentiert werden. Ferner sind auch nach Reinigungs- und Wartungsarbeiten elektrische Messungen sinnvoll, um weiterhin eine optimale und möglichst verlustarme Funktion der Photovoltaikanlage zu garantieren.

Die Prüfung umfasst die Durchgängigkeitsprüfung der Schutz- und Potentialausgleichsleiter zwischen PV-Generator und Haupterdungsklemme, Messung der Leerlaufspannung und des Kurzschlussstromes im PV-Strang sowie des Isolationswiderstandes zwischen den aktiven DC-Leitern (+/-) des PV-Generators und Erde. Der Benning PV 1 verwendet berührungsgeschützte Messleitungen mit standardisierten Steckverbindern zum direkten Anschluss an PV-Module oder Stränge. Der automatische Prüfablauf warnt vor falscher DC-Polarität – was im Feldeinsatz nicht ausgeschlossen ist – und übernimmt

WICHTIGE BEGRIFFE

- I_{MPP} , U_{MPP} : Strom (I), Spannung (U), der/die maximal bei einer bestimmten Modultemperatur und einer bestimmten Einstrahlung erreicht wird: Maximum-Power-Point (MPP)
- **STC**: Standard-Testbedingungen (engl. Standard Test Conditions): Prüfbedingungen, die in IEC 60904-3 für PV-Zellen und -Module festgelegt sind
- I_{sc} : Strom bei einem kurzgeschlossenen PV-Modul
- $I_{sc\ STC}$: Kurzschlussstrom eines PV-Moduls, PV-Strangs bei Standardprüfbedingungen
- U_{oc} : Ausgangsspannung im Leerlauf. PV-Modul unbelastet
- **kWp**: Kilowatt-Peak (Spitzenleistung) ist die Nennleistung nach STC



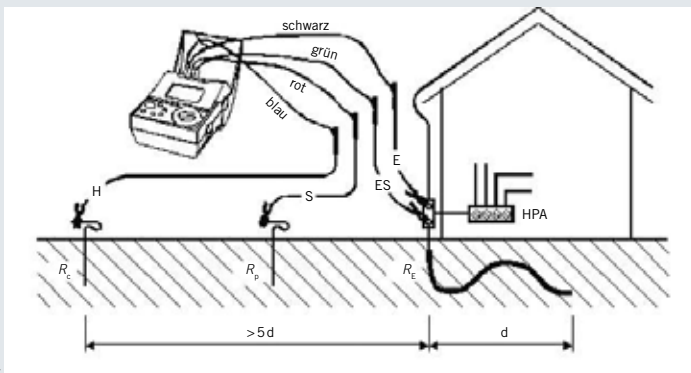
Bild 7: Zur Prüfung der allgemeinen elektrischen Sicherheit eignen sich Messgeräte wie z. B. iT120B von Benning oder Profitest M-Tech von Gossen Metrawatt

Quelle: dataTec



Bild 8: Spezialisten für den Blitzschutz: Geohm5 von Gossen Metrawatt und CA6471 von Chauvin Arnoux

Quelle: dataTec



Quelle: dataTec

Bild 9: Messaufbau mit Geohm5 – Messung des Erdwiderstandes

alle notwendigen Beschaltungen für die sichere Messung.

Diese Prüfungen können einfach und schnell sowie zuverlässig und sicher mit dem Photovoltaik-Installationstester Benning PV 1 (ein Handheld-Prüfgerät) durchgeführt werden. Dieses Gerät wird dem Solarteur, Photovoltaiksachverständigen so-

wie Service-, Reinigungs- und Wartungsteams empfohlen.

Blitzschutz an PV-Anlagen

Eine PV-Anlage erhöht nicht die Gefahr durch Blitzschlag. Dennoch ist es sinnvoll, das PV-System mit in das Erdungskon-

zept einzubinden, denn Blitzeinschläge können zu Störungen bis hin zum kompletten Ausfall des PV-Systems (besonders der Elektronik) führen. Die VDE 0185-305 (EN 62305-3) Blitzschutz behandelt den Schutz vor physikalischen Schäden und vor Verletzungen von Lebewesen durch Berührungs- und Schrittspannungen in unmittelbarer Nähe einer baulichen Anlage.

Um eine Blitzschutzanlage ordnungsgemäß überprüfen zu können, müssen Mess- und Prüfgeräte den Normen DIN EN 61557-4 und DIN EN 61557-5 entsprechen. Die wichtigste Anforderung an das Prüfgerät ist zur Messung des Erdungs-, Schutz- und Potentialausgleichs mit einem Mindestprüfstrom von 200mA und einer Leerlaufspannung von 4V bis 24V. Zur Messung des Erdungswiderstandes muss das Prüfgerät den Prüfer über die zulässigen Grenzwerte informieren. Die anliegende Ausgangsspannung zwischen dem Anschluss »Erder« und dem Anschluss »Hilfserder« muss eine Wechselspannung sein. Diese Norm erfüllen z. B. der Geohm5 von Gossen Metrawatt und der CA6471 von Chauvin Arnoux (**Bild 8**). Mit ihnen lassen sich u. a. Erdungswiderstand, selektiver Erdungswiderstand, spezifischer Erdwiderstand und der Strom (TRMS) über Messzangen erfassen. Die Anschaltung bzw. der Einsatz dieses Messgeräts erfolgt nach dem Anschalteplan, wie aus **Bild 9** ersichtlich ist.

Schlussbetrachtung

Ein Messgerät liefert nur Messwerte, daher sind spezielle Kenntnisse und das fachliche Wissen des Anwenders einer der wichtigsten Bestandteile, um eine Qualitäts- und Fehleranalyse an einer PV-Anlage durchführen zu können. Die dataTec-Akademie unterstützt ihre Kunden mit entsprechenden Messtechnik- und VDE-Seminaren und empfiehlt die Teilnahme an Fortbildungsmaßnahmen. .

AUTOR

Martin Kulik,
(Technischer Außendienst NRW)
ist bei dataTec der Experte für Prüftechnik VDE-Normen, Thermografie und die Energie- und Netzanalyse