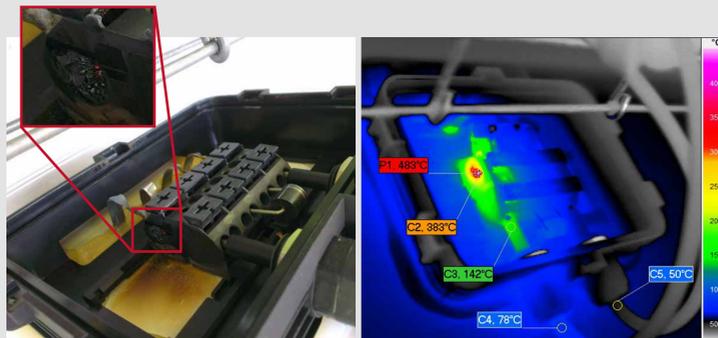


# RELEVANZ HOCHHOHMIGER PV-ANSCHLUSSDOSEN-KONTAKTE UND DEREN VERMESSUNG MITTELS THERMOGRAFIE

Lukas Baumann<sup>1,2</sup>, Bernhard Weinreich<sup>1</sup>, Björn Schauer<sup>1</sup>, Rudolf Haas<sup>1</sup>, Andreas Boschert<sup>2</sup>, Mike Zehner<sup>2</sup>, Fabian Flade<sup>3</sup>

## 1 MOTIVATION

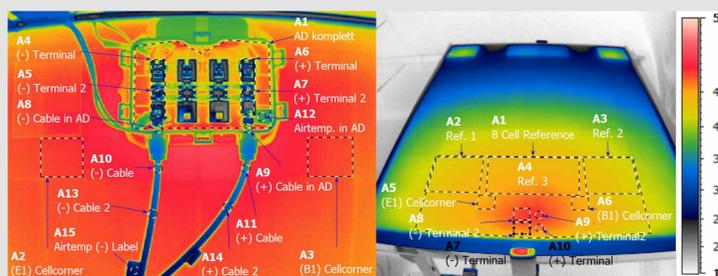
Viele technische Herausforderungen vergangener Modultechnologien, wie Zellbrüche und PID sind bereits praktisch überwunden, zum Teil sind aber auch technische Probleme geblieben, die immer noch in Altanlagen versteckt sind. Hochohmige, erwärmte Kontakte in PV-Anschlussdosen (AD) zählen dazu und sind bisher komplex in der Bewertung. In der Regel handelt es sich dabei um Serienfehler, die einen 1-2-stelligen Prozentsatz der Module innerhalb einer PV-Anlage betreffen. Ziel dieser Arbeit ist die Optimierung einer wirtschaftlichen und messtechnischen Beurteilung der Relevanz thermisch auffälliger Situationen im Feld.



**Abbildung 1 a/b:** Hochohmiger AD-Kontakt eines Moduls, aufgenommen im laufenden Betrieb. Das visuelle Bild (a) zeigt Rotglut und dementsprechend Temperaturen deutlich über 600 °C am defekten Kontakt. Der Temperaturfall im Thermogramm zeigt die Herausforderung (b). Die wahre Spitzentemperatur kann selbst im einsehbaren Fall nur näherungsweise bei P1 mit ca. 480 °C erfasst werden. Auf dem Kabelabgang liegt hingegen nur eine Übertemperatur von 28 Kelvin an. Die Glasseite zeigt im Verhältnis ähnlich niedrige Übertemperaturen. In der Spreizung zur Innentemperatur liegt die Herausforderung bei der Beurteilung von außen.

## 2 HERANGEHENSWEISE

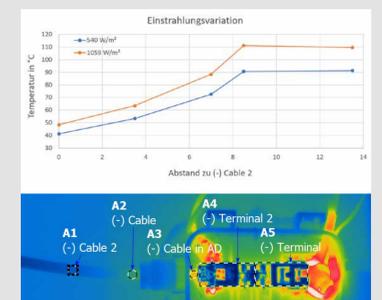
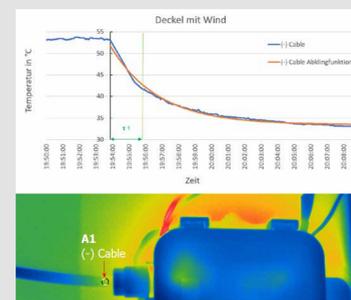
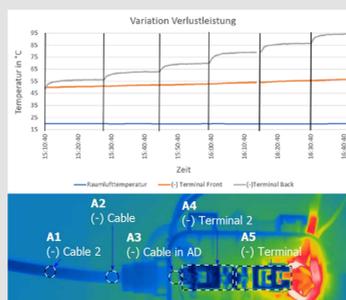
Die Untersuchung der thermischen Gradienten in und um eine AD fand in der kontrollierten Umgebung eines Sonnensimulators an der TH Rosenheim statt, um konstante äußere Einflüsse simulieren zu können. Hierzu wurde die AD eines Moduls mit Lastwiderständen an zwei kritischen Kontaktstellen (Bändchen zu Sockel und Sockel zu Kabel) ausgerüstet und bei 540 W/m<sup>2</sup> Einstrahlung betrieben. Der Versuchsablauf beinhaltete Parametervariationen der Einstrahlungs- und Verlustleistung, Windverhältnisse und Deckelpositionen.



**Abbildung 2 a/b:** Thermogramme der Messbereiche von Rück- (a) und Vorderseite (b) des Versuchsmoduls. Es wurde zeitgleich mit zwei Infrarotkameras von beiden Seiten aufgenommen, um Temperaturverläufe dokumentieren zu können, etwa zur Analyse von Zeitkonstanten. Die simulierten Verlustleistungen wurden innerhalb der Messbereiche „(-) Terminal“ und „(-) Terminal 2“ mit den Lastwiderständen (T1; T2) eingebracht. Sie wurden so verbaut, dass eine direkte Einsehbarkeit vermieden wurde, wie für reale Fehlersituationen typisch.

## 3 AUSWERTUNG

Zunächst wurde das Erreichen quasistationärer Zustände überprüft (s. Abb. 3 - 5). Anschließend wurden Verlustleistung, Einstrahlung und äußere Einflüsse variiert, um deren Auswirkungen auf die Temperaturen der AD zu untersuchen. Während die Auffälligkeiten im Versuch mittels eines anderen Versuchszeitpunkts referenziert wurden, erfolgt dies in der Praxis im Feld anhand eines benachbarten Moduls. Im Feld kann meist nicht von quasistationären Zuständen ausgegangen werden, da die Randbedingungen in kurzen Zeitfenstern variieren. Stark wechselnde Windverhältnisse sowie Wolkenzug über der Anlage zählen dazu. Des Weiteren verhalten sich die Fehler in Anschlussdosen wie Wackelkontakte.

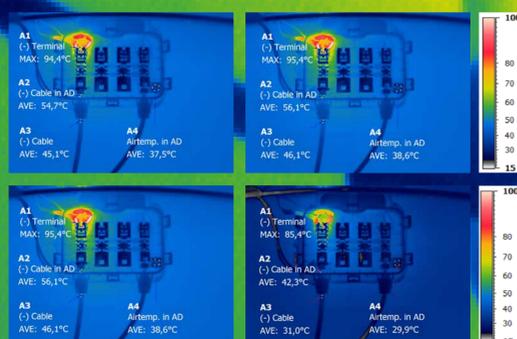


**Abbildung 3:** Temperaturen für Leistungsvariation an T1 mit offenem Deckel. Es wurden für simulierte Verlustleistungen von 3,8 W Maximaltemperaturen über 94°C gemessen an (-) Terminal Back. Aus berechneten Fitfunktionen resultieren Zeitkonstanten für den Messbereich von durchschnittlich 1:50 Minuten.

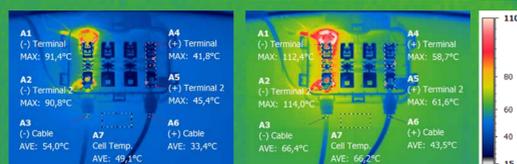
**Abbildung 4:** Abklingkurve der Temperatur am Messbereich (-) Cable bei Einsetzen der Windsimulation mit 7 km/h und geschlossenem Deckel bei T2 = 3,6 W. Ein Temperaturfall von 20 Kelvin wurde verzeichnet. Die Abklingfunktion ergab eine Zeitkonstante von 2:36 Minuten.

**Abbildung 5:** Temperaturen der Minus-Messbereiche nach Einschwingzeit mit offenem Deckel und T1+T2 = 6 W aktiv bei Einstrahlungen von 540 W/m<sup>2</sup> und 1059 W/m<sup>2</sup>. Es wurden Temperaturanstiege um 20 Kelvin und Zeitkonstanten von 3:52 Minuten an den Terminal-Bereichen ermittelt.

**Abbildung 6 a/b:** Thermogramme der Rückseite mit T1 aktiv (3,8 W) nach Einschwingen ohne Deckel (a) und mit Deckel (b). Zur Aufnahme wurde der Deckel kurzfristig geöffnet. Die Temperaturen der AD stiegen durch den Einfluss des Deckels um 1 bis 1,4 Kelvin.



**Abbildung 8 a/b:** Thermogramme der Rückseite mit beiden Lastwiderständen aktiv (6 Watt in Summe), bei Einstrahlungen von 540 W/m<sup>2</sup> (a) und 1059 W/m<sup>2</sup> (b). Die AD blieb über den gesamten Zeitraum offen. Durch die Einstrahlungssteigerung wurde die Maximaltemperatur um 20 Kelvin erhöht.



## 4 ZUSAMMENFASSUNG

Die Untersuchung auf quasistationäre Zustände ergab für sämtliche Einflüsse hinreichende Eingeschwingenheit für die Messbereiche auf der Rückseite. Je nach Zustandsänderung sind verschiedene thermische Trägheiten zu beachten. Für die Glasseite konnte hingegen zu keiner Versuchssequenz eine Aussage über quasistationäre Zustände getroffen werden, da die Einschwingzeiten zu gering für die Trägheit des gesamten Moduls angesetzt wurden. Die Variation der Verlustleistungen erreichten bereits bei 3 % der Modulleistung Spitzentemperaturen von mehr als 110 °C, was Grenztemperaturen für Kupfer, Gehäuseteile und einige Isolierstoffe überschreitet. Von den Windsimulationen waren die Temperaturen an den Strangkabeln besonders betroffen, das Innere der AD jedoch weniger. Durch die Einstrahlungserhöhung stiegen die Temperaturen der Anschlussdose wie zu erwarten, zu bemerken ist, dass der Einfluss von ca. 500 W/m<sup>2</sup> höherer Einstrahlung die Temperaturen in einer ähnlichen Größenordnung steigerte, wie sie durch die Windsimulation gemindert wurde. Die Auswirkungen der Deckelposition auf die Temperaturen in der AD waren mit maximal 1,4 Kelvin niedriger als erwartet.

### Autoren:

- 1 HaWe Engineering GmbH, Mühlthaler Weg 1, D-82131 Gauting  
Tel.: 089/740 433-13, baumann@hawe-eng.com, www.hawe-eng.com
- 2 Technische Hochschule Rosenheim, Rosenheimer Technologiezentrum Energie & Gebäude (roteg), Labor für Solare Energiesysteme, Arbeitsgruppe PV-Systeme, Elektrische Netze und Energiemeteorologie  
Hochschulstraße 1, D-83024 Rosenheim, lukas.baumann@stud.th-rosenheim.de
- 3 Solarenergieförderverein Bayern e.V., Friedrich-List-Straße 88, D-81377 München