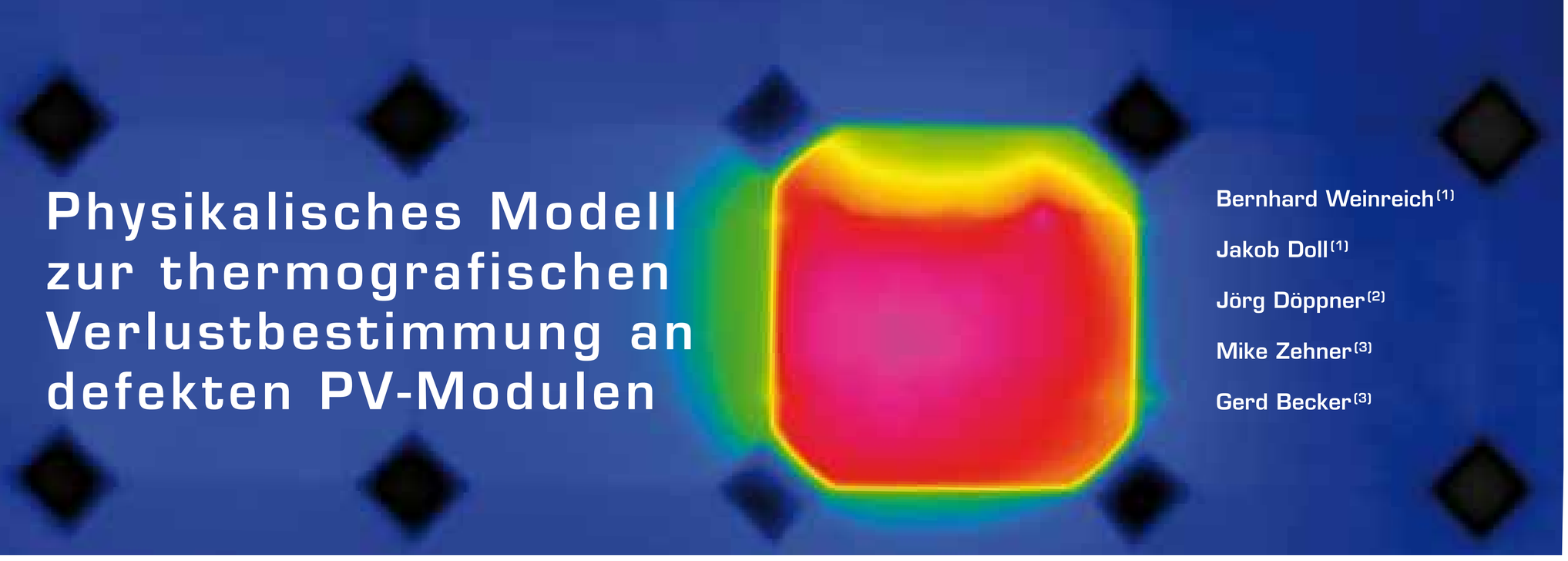
# Physikalisches Modell zur thermografischen Verlustbestimmung an defekten PV-Modulen




Bernhard Weinreich[1]

Jakob Doll[1]

Jörg Döppner[2]

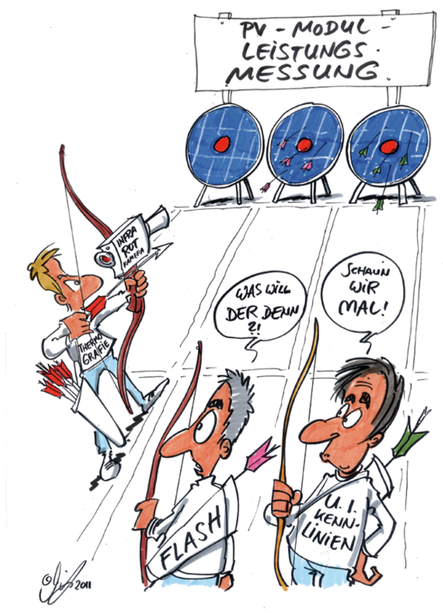
Mike Zehner[3]

Gerd Becker[3]


SOLARSCHMIEDE

InfraTec Infrarotsensorik und Messtechnik

HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN · FH MÜNCHEN




## Beschreibung und Zielsetzung

Für die praktische Bewertung von Moduldefekten über Thermogramme ist es von primärem Interesse, mit welchem Leistungsdefizit beim betroffenen Modul beispielsweise aufgrund einer heißen Zelle gerechnet werden muss. Diese Arbeit soll zeigen, dass die Leistungsbestimmung nicht länger das Privileg von Flashern und Kennlinienmessgeräten sein muss. Speziell bei Modulen, die wegen lokaler Defekte die Leistungsgarantie verletzen, könnten auch Thermogramme den wahren Leistungsverlust gut treffen, während Flasher das Ziel unter Umständen verfehlen. Die prinzipielle Vorgehensweise zur Leistungsbestimmung soll mit dieser Arbeit vorgestellt werden.

## Vorgehensweise zur Leistungsbestimmung

### Bestimmung des Wärmeflusses

Zur Bestimmung der Verlustleistung muss zunächst die Temperaturerhöhung der betroffenen Zelle vermessen werden. Im vereinfachten Ansatz wird hierzu nur die mittlere Glasoberflächentemperatur über der betroffenen Zelle oder Teilzelle ermittelt, die dann der Zell- und der Rückseitentemperatur gleichgesetzt wird. Gleiches geschieht mit einer benachbarten normal arbeitenden Referenzzelle, über die sich der Temperaturhub ergibt, der aufgrund des Defekts entsteht. Über diesen und die erwärmte Gesamtfläche kann daraufhin der Wärmestrom berechnet werden, wenn die Wärmeübergangskoeffizienten (WÜK) der Vorder- und Rückseite des Moduls bekannt sind, die zu etwa 95 % den Wärmedurchgangskoeffizienten ausmachen.

### Wärmeübergangskoeffizienten

Der WÜK fügt sich aus einem Übergang durch Strahlung und einem durch Konvektion zusammen, die beide in der gleichen Größenordnung liegen. Während **ersterer** über leicht messbare Größen gut berechenbar ist, sollte **zweiter** am besten über eine Vergleichsmessung ermittelt werden. Hierfür wird erneut die Temperatur der Referenzzelle verwendet. Diese sollte eine ähnliche Anordnung in Bezug auf das Modul und das Gestell haben wie die defekte Zelle. Nur so wird gewährleistet, dass **beide** einen ähnlichen WÜK der Strahlung auf der Rückseite besitzen, die durch das Gestell beeinflusst werden kann (s. Abb. 1). Für die Bestimmung des WÜK wird zusätzlich noch der Wärmestrom benötigt, der von der intakten Referenzzelle abfließt.

### Wärmefluss ausgehend von der Referenzzelle

Der Wärmefluss lässt sich über einzelne Modulparameter, insbesondere den Zellwirkungsgrad und die von der Sonne eingestrahlte Leistung berechnen, wenn man davon ausgeht, dass die gesunde Referenzzelle im MPP arbeitet. Der Wärmefluss der von der Zelle ausgeht, ergibt sich aus dem Anteil der eingestrahlten Sonnenenergie, der nicht als Elektrizität abfließt oder reflektiert wird, sondern als Wärme in der Zelle dissipiert wird. Über das physikalische Modell der Zelle im thermischen Gleichgewicht und die gemessene Glas-Oberflächentemperatur der Referenzzelle kann man schließlich den gesuchten Wärmeübergangskoeffizienten der Konvektion finden. Damit sind alle Unbekannten für die Berechnung der Verlustleistung bestimmt.

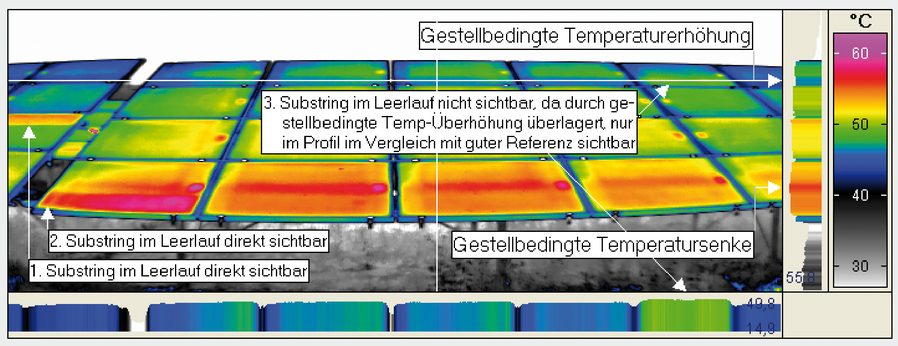



Abb. 1: Thermogramm mit 3 Modulen, die jeweils einen Substring im Leerlauf aufweisen. Hier ist keine weitere Leistungsberechnung erforderlich, da klar ist, dass die offenen Strings mit einem Temperaturhub von ca. 5 K nicht arbeiten und so die Modulleistungen auf 2/3 abgesunken sind. Das Bild veranschaulicht, wie sich gestellbedingte unterschiedliche WÜK der Strahlung auswirken können. Folglich muss Wert auf die Wahl einer geeigneten Referenzfläche gelegt werden.

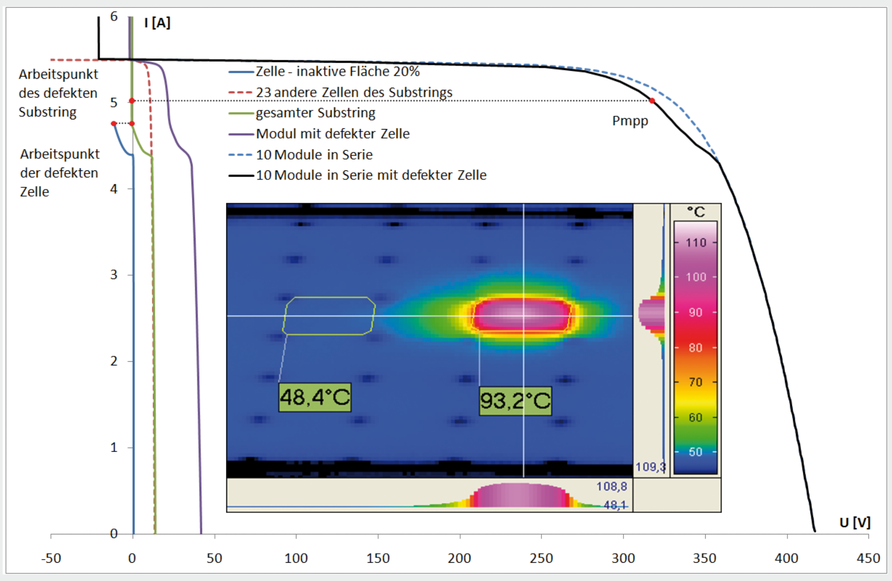



Abb. 2: Ausgangssituation für die Berechnung ist eine defekte Zelle im Thermogramm. Zusätzlich wurde deren elektrischer Betriebspunkt im Gesamtstring mit PV-SYST nachgestellt. Das PV-SYST-Modell dient dabei nur der Veranschaulichung, wie die defekte Zelle von der Quelle zum Verbraucher wird. Das Modell hat keine weitere Relevanz für die Bestimmung der Verlustleistung über das Thermogramm. Für die Berechnung des Leistungsverlustes über das Flussdiagramm in Abb. 3 werden im Thermogramm die Temperaturen der defekten Zelle und einer Referenzzelle bestimmt.

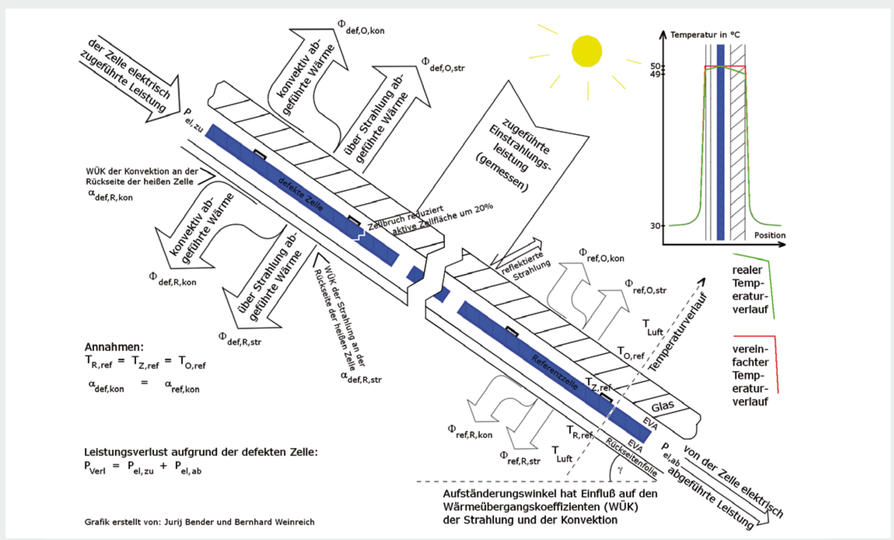



Abb. 3: Das Flussdiagramm zeigt die für die Berechnung der Verlustleistung wichtigsten Parameter. Der überschlägige Temperaturverlauf auf der rechten Seite zeigt, dass die Wärmewiderstände von Glas und EVA keinen wesentlichen Einfluss auf die Temperaturen ausüben. Damit kann mit der Vereinfachung gerechnet werden, dass die Oberflächentemperaturen und die darunter liegenden Zelltemperaturen gleich sind. Eine weitere Vereinfachung ist die Annahme, dass die überhitzte und die Referenzzelle den gleichen Wärmeübergangskoeffizienten der Konvektion besitzen.

## Abgleich mit anderen Verfahren

Erste Versuche zu Vergleichsmessungen zeigten, dass Flasherdaten zur Bewertung des hier vorgestellten Verfahrens nicht herangezogen werden können. Speziell lokale Defekte entziehen sich einer für den Ertrag relevanten Vermessung, da diese oft ein stark irreguläres Leistungsverhalten zeigen, das unter anderem von Temperaturen beeinflusst werden kann. Bei Flashern besteht das prinzipielle Problem, dass sie ein Modul nicht in einem eingefahrenen Betriebspunkt bei relevanten Temperaturen betrachten. Auch die Überhitzung einzelner defekter Zellen kann aufgrund der kurzen Messzeiten im Flasher nicht stattfinden und in die Messung einfließen. Die letzte Messung des Movers in Abb. 4.4 fand bei näherungsweise STC-Bedingungen statt, womit ein Flasher das unterste Modul voraussichtlich als schadlos bewertet hätte, obwohl es in den Sommermonaten einen Zellabbruch zeigte, der es unter die Leistungsgarantie abfallen ließ. Für einen Abgleich der Leistungsbestimmung über Thermogramme bleiben damit nur Kennlinienmessungen, die direkt aus einem realen Betriebszustand heraus stattfinden können. Eine genauere Evaluierung des Verfahrens hierüber und unter den stationären Bedingungen eines Sonnensimulators ist angesetzt. Sie wird die reale Leistungsfähigkeit der neuen Methode aufzeigen.

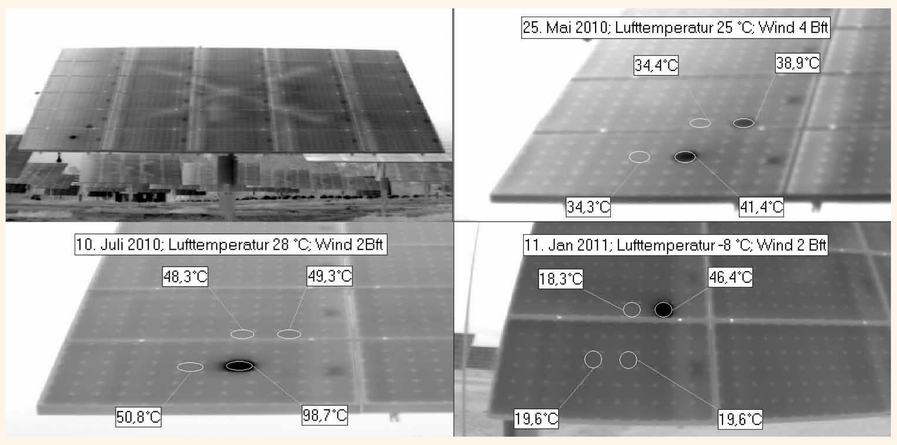



Abb. 4: Alle 4 Bilder zeigen den gleichen Mover zu drei verschiedenen Jahreszeiten, bei etwa 950 W/m² Einstrahlung aufgenommen. Die beiden Zellen zur Linken dienen als Referenzzellen, die beiden rechten zeigen übers Jahr und die Referenztemperaturen ein stark variierendes Leistungsverhalten.

## Ausblick

Die Leistungsvermessung defekter Module über Thermogramme muss ihre Genauigkeit noch über ausreichende Messreihen im Labor und in der Praxis beweisen. Die angesprochenen Schwierigkeiten der etablierten Verfahren bei lokalen Schäden, bieten hier aber die Perspektive zu diesen in gewissen Bereichen aufzuschließen. Hierdurch kann die Thermografie als Fehleranalyseinstrument in der PV weiter aufgewertet werden. Das beschriebene Bewertungsverfahren ist prinzipiell auch mittels Software automatisierbar. In Kombination mit den angestrebten Anpassungen und Preissenkungen für thermografische Vermessungen (s. Poster B17) kann die Thermografie so zu einem mächtigen Werkzeug gegen die aktuell sinkende Modulqualität werden.


1) Solarschmiede GmbH
Thermografie im Engineering
Schwanthalerstr. 75a
D-80336 München
Tel.: +49 (0) 89 / 9 90 13 84 - 26
Fax: +49 (0) 89 / 9 90 13 84 - 9
weinreich@solarschmiede.de
www.solarschmiede.de

2) InfraTec GmbH
Infrarotsensorik und Messtechnik
Gostritzer Str. 61-63
D-01217 Dresden

3) Hochschule München
Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik
Labor für Solartechnik und Energietechnische Anlagen
Lothstr. 64
D-80335 München