



## PRÜFUNG DACHINTEGRIERTER PV-SYSTEME



### Fraunhofer IWES

Königstor 59  
34119 Kassel

[www.iwes.fraunhofer.de](http://www.iwes.fraunhofer.de)

### Kontakt:

Dr. Norbert Henze  
Telefon: +49 561 7294 219  
[norbert.henze@iwes.fraunhofer.de](mailto:norbert.henze@iwes.fraunhofer.de)

### Multiphysikalische Charakterisierung in Musterdächern

Auf drei Musterdächern mit unterschiedlichen Neigungswinkeln (15°, 30°, 45°) wird das reale Betriebsverhalten von dachintegrierten PV-Systemen untersucht. Dabei werden mehrere physikalische Größen messtechnisch erfasst. Durch systematische Analysen können die elektrischen sowie mechanischen und thermischen Eigenschaften unterschiedlicher Indach-Systeme charakterisiert werden, wobei auch stets die meteorologischen Umgebungsbedingungen mit einbezogen werden. Aus den gewonnenen Messdaten können Wechselwirkungen zwischen Umgebungsbedingungen, Modulleistung, Modultemperatur, mechanischer Modulverformung, Wärmefluss, Modulhinterlüftung etc. ermittelt und bewertet werden. Zusätzlich zur Dachintegration können identische Module frei aufgeständert sowie mit rückseitiger thermischer Isolierung betrieben werden (Best-case und Worst-case Szenario).

### Messtechnik und Messaufbau

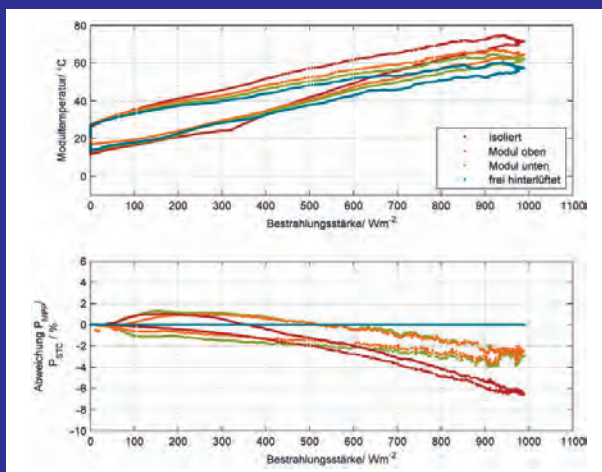
Folgende Größen werden messtechnisch am PV-System erfasst:

- Modulstrom und -spannung im MPP
- Modultemperatur auf der Rückseite
- Lufttemperatur hinter den Modulen
- Wärmefluss an den Modulrückseiten nach innen
- Luftströmung hinter dem Modul
- Abstandssensoren zur Bestimmung der mechanischen Verformung.

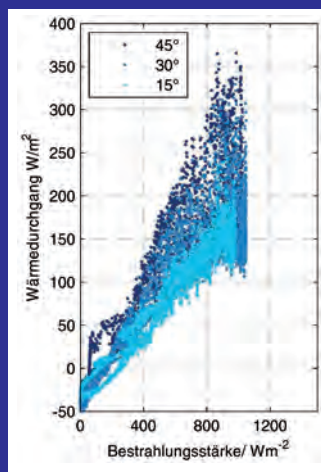
Zusätzlich erfolgen periodische Thermographie- und Elektrolumineszenzuntersuchungen der Module.

### Meteorologische Messdaten:

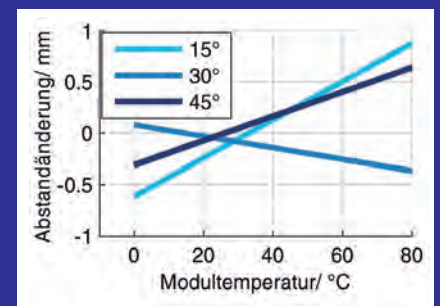
- Bestrahlungsstärke auf horizontaler und geneigter Ebene
- Solarspektrum von 300nm – 1700nm
- Umgebungstemperatur
- Windgeschwindigkeit und Richtung
- Luftdruck, Luftfeuchte, UV-Strahlung, Niederschlag.



2



3



4

### Worst-case Prüfszenario

Parallel zu den dachintegrierten Modulen können baugleiche Module für Vergleichsmessungen mit unterschiedlichen Prüfbedingungen im Freifeld getestet werden

- mit optimaler Hinterlüftung (thermisch günstigster Fall)
- mit thermisch isolierter Rückseite, Isolated Test Conditions ITC (thermisch ungünstigster Fall).

### Elektrische Eigenschaften

Die elektrischen Eigenschaften (Strom und Spannung im Maximum Power Point, MPP) werden an zwei Modulen in der unteren und oberen Modulreihe gemessen. Dadurch können elektrische Fehlanpassungen aufgrund unterschiedlicher Temperaturbedingungen aufgezeigt werden. Eine Gegenüberstellung mit dem best-case Szenario veranschaulicht potentielle Leistungsverluste.

### Mechanische Eigenschaften

Temperaturänderungen der Module können auch mechanische Verformungen der Glasflächen hervorrufen. Dadurch ergibt sich je nach Rahmenkonstruktion und Befestigungsart eine Durchbiegung, die für die eingebetteten Zellen eine Belastung darstellt. Die Abstandsänderung des Modulmittelpunkts zu einem Bezugspunkt wird an einem Modul in der oberen Reihe ermittelt.

### Thermische Eigenschaften

Die Temperatur der Module wird einerseits durch die Einstrahlung und Umgebungstemperatur, andererseits aber auch stark von der spezifischen Einbausituation im Dach bestimmt. Zur Charakterisierung der thermischen Eigenschaften werden die Temperaturen mehrerer Module sowie der Wärmefluss von der Rückseite eines Modules gemessen. Weiterhin kann die Hinterlüftung mit Hilfe von Strömungssonden beurteilt werden. Insbesondere hat die Dachneigung einen großen Einfluss auf die thermischen Eigenschaften. Im Allgemeinen steigt der Wärmefluss mit zunehmendem Neigungswinkel, was zu niedrigeren Modultemperaturen führt.

### Prüfungen und Auswertungen

- Einfluss der Einbausituation auf elektrische und thermische Eigenschaften (z. B. Ertrag, Temperaturkoeffizienten)
- Einfluss des Sonnenspektrums auf die Modulleistung
- Konstruktionsbedingte Wärmeabgabe nach innen
- Module-Mismatch durch Temperaturdifferenzen
- Mechanische Verformungen im realen Betrieb
- Prüfung unter Isolated Test Conditions (ITC).

### Nutzen

- Optimierung der Unterkonstruktion aufgrund von Temperatur- und Wärmeflussanalysen
- Genaue Kenntnis der Systemperformance
- Ermittlung von Stressfaktoren aufgrund temperaturbedingter Verformungen
- Beurteilung und Optimierung des Montageaufwands.

*Diese Arbeit zeigt Ergebnisse aus dem vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) geförderten Projekt MULTIELEMENT (FKZ 0325067). Die Verantwortung für den Inhalt liegt beim Autor.*

- 1 Musterdächer im IWES PVTestLab
- 2 Performancevergleich: ITC – Dachintegration – freie Hinterlüftung
- 3 Wärmefluss nach innen bei unterschiedlicher Dachneigung.
- 4 Temperaturbedingte Verformung. Abstandsänderung des Modulmittelpunkts zu darunter liegendem Referenzpunkt.