

PV-Indach-Systeme im Outdoor-Test

Elektrische, mechanische und thermische Vermessungen

Norbert Henze, Peter Funtan, Siwanand Misara, Maria Roos
Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES,
Königstor 59, D-34119 Kassel,
Tel.: (0561) 7294-257, Fax: (0561) 7294-200,
E-Mail: norbert.henze@iwes.fraunhofer.de

1 Einleitung

Im Rahmen des vom BMU geförderten Projektes MULTIELEMENT untersucht das Fraunhofer IWES das Betriebsverhalten von dachintegrierten PV-Systemen anhand von Outdoor-Messungen. Hierfür wurden auf dem Gelände des IWES-SysTec (Testzentrum für intelligente Netze und Elektromobilität) zunächst drei Musterdächer mit unterschiedlichen Neigungswinkeln (15° , 30° und 45°) installiert. Ziel ist, eine systematische Analyse nicht nur der elektrischen, sondern auch der mechanischen und thermischen Effekte unterschiedlicher Systeme unter Einbezug der Umgebungsbedingungen, wie der Bestrahlungsstärke, des Solarspektrums, der Temperatur und der Windverhältnisse vorzunehmen. Ergänzend dazu werden die gleichen Module im Freifeld sowohl frei hinterlüftet (best case) als auch mit Wärmedämmung (worst case) gemessen.

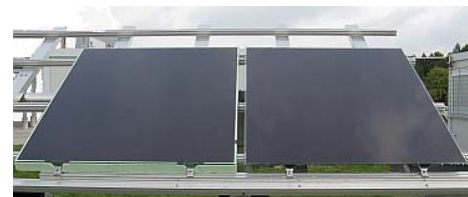


Abbildung 1: Musterdächer auf dem IWES-SysTec Gelände mit 15° , 30° und 45° Dachneigung (von links nach rechts) und Freifeldaufstellung mit und ohne Dämmung.

Auf jedem Musterdach sind zurzeit unterschiedliche PV-Indach-Systeme bestehend aus 3 bis 6 Modulen aufgebaut. Neben den elektrischen Betriebsparametern (Strom und Spannung im MPP) und der Modultemperatur wird auch der Wärmestrom an den Modulrückseiten ermittelt. Weiterhin wird mit Hilfe von Abstandssensoren die Durchbiegung gemessen.

2 Messtechnik und Messaufbau

Zur Bewertung der Betriebseigenschaften und des Ertrags der PV-Indachsysteme werden die folgenden meteorologischen Messdaten im IWES-SysTec aufgezeichnet:

- Bestrahlungsstärke auf horizontaler Ebene (global, direkt, diffus)
- Bestrahlungsstärke auf geneigter Ebene (jeweils ein Pyranometer (Typ CM21) auf jedem Musterdach)
- Umgebungstemperatur (Pt-100, DIN 43760, Klasse B)
- Windgeschwindigkeit und -richtung am mittleren 30°-Musterdach und an einem weiteren ca. 40m entfernten Messpunkt
- Außerdem: Luftdruck, Luftfeuchte, UV-Strahlung, Solarspektrum, Niederschlag
- Solarspektrum von 300 – 1700 nm auf 30° Neigungswinkel.

Auf den einzelnen Musterdächern sind PV-Indachsysteme unterschiedlicher Hersteller mit unterschiedlichen Konstruktionsprinzipien installiert. Es sind jeweils 2 bzw. 3 Modulreihen übereinander montiert. Die Abbildung 3 zeigt den schematischen Aufbau der Module. Die installierte Messtechnik ist in Abbildung 2 am Beispiel des 30°-Musterdachs dargestellt.

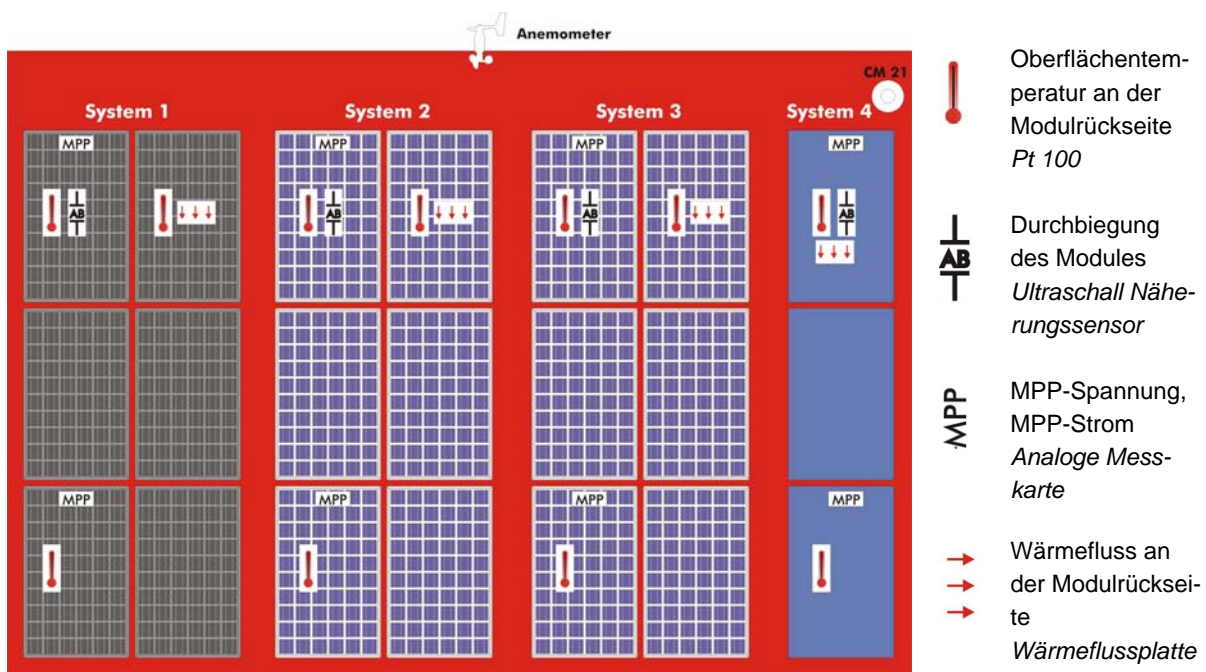


Abbildung 2: Schematische Darstellung der am 30°-Musterdach installierten Messtechnik.

Pro System wird jeweils ein Modul aus der oberen und unteren Modulreihe mit einer vom IWES entwickelten, analogen Messkarte im MPP betrieben. Es werden die MPP-Spannung und der MPP-Strom des PV-Moduls ermittelt. Von diesen Modulen

wird gleichzeitig die Oberflächentemperatur an der Modulrückseite gemessen (Modultemperatur). Die übrigen Module werden im Leerlauf betrieben. Des Weiteren ist an den oberen Modulen ein Abstandsensor installiert. Mit einem auf Ultraschall basierten Messverfahren kann die mechanische Belastung bzw. Durchbiegung der Module verursacht durch Windlasten oder thermische Einflüsse ermittelt werden. Für die Bestimmung von thermischen Kennwerten wird ein Modul aus der oberen Reihe verwendet und mit einer Wärmeflussplatte an der Modulrückseite der Wärmefluss gemessen. Des Weiteren wird die Raumtemperatur im Musterdach und in der Dachunterkonstruktion erfasst. Auf Basis der umfassenden Messungen ergeben sich vielfältige Auswertungsmöglichkeiten zur Beurteilung der elektrischen, thermischen und mechanischen Betriebseigenschaften wie zum Beispiel

- Einfluss des Sonnenspektrums auf die Modulleistung
- Bestimmung der realen Temperaturkoeffizienten
- Bestimmung des Anlagenertrags
- Erstellung von Modellen zur Nachbildung der elektrischen Eigenschaften,
- Einfluss der Einbausituation auf elektrische und thermische Eigenschaften

Parallel dazu können auch thermographische Untersuchungen und Elektrolumineszenzanalysen durchgeführt werden. Weiterhin kann die Handhabung und der Installationsaufwand des Dachsystems beurteilt werden. Drei der zurzeit getesteten Indach PV-System sind schematisch in Abbildung 3 dargestellt.

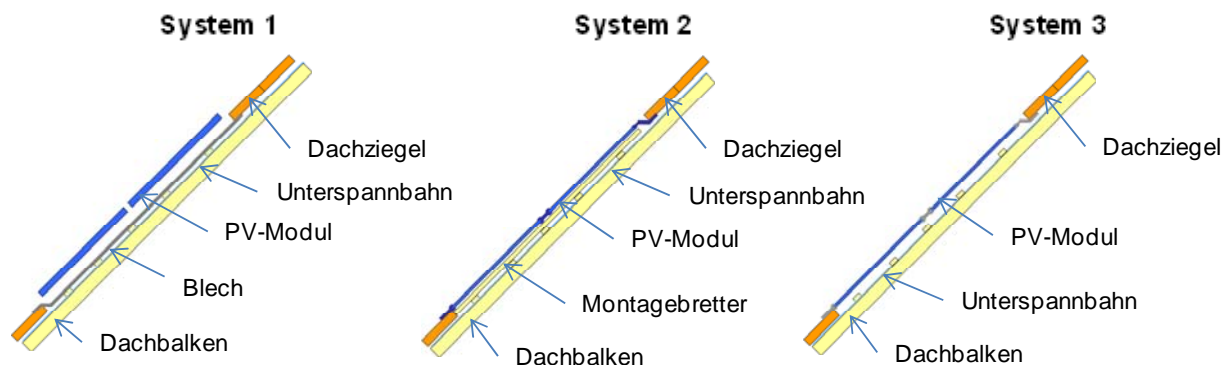


Abbildung 3: Schematische Darstellung der PV-Indachsysteme.

3 Auswertungen

Die ersten Ergebnisse zeigen, dass zwischen den unterschiedlichen PV-Indach-Systemen Unterschiede bzgl. des Betriebsverhaltens vorliegen und die Neigung des Daches einen Einfluss auf das Betriebsverhalten hat. Anhand von ausgewählten Tagen sollen hier für drei typische Wetterbedingungen (sonnig, wechselhaft, trüb) exemplarische Ergebnisse vorgestellt werden. Abbildung 4 zeigt den Verlauf der Mo-

dultemperaturen auf dem 30°-Musterdach. In Abbildung 5 sind die dazu gehörigen spezifischen MPP-Leistungen dargestellt. Am sonnigen und auch am wechselhaften Referenztag treten unterschiedliche Temperaturen bei den Systemen auf, die einen Einfluss auf die Leistung bzw. den Energieertrag haben.

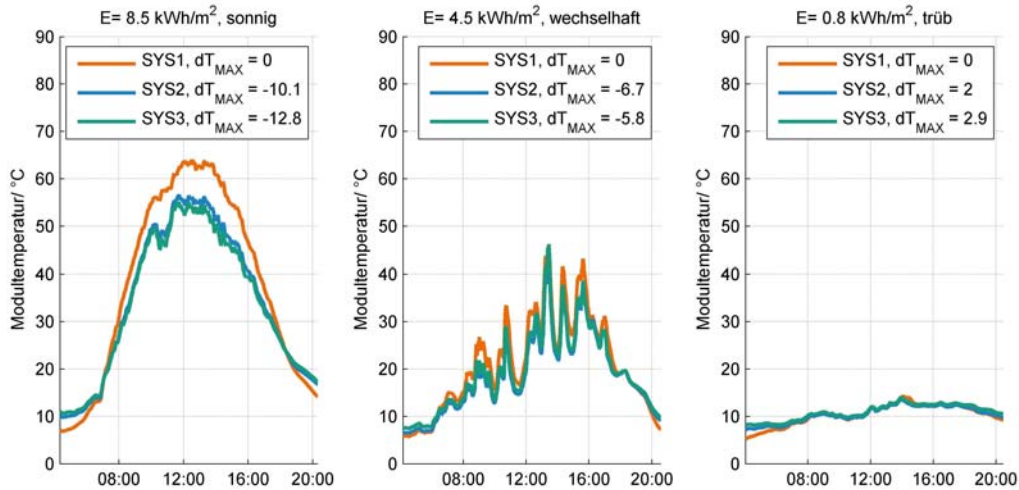


Abbildung 4: Modultemperaturen der unterschiedlichen PV-Indach-Systeme auf dem 30°-Musterdach an ausgewählten Referenztagen, maximale Temperaturdifferenzen zu System 1.

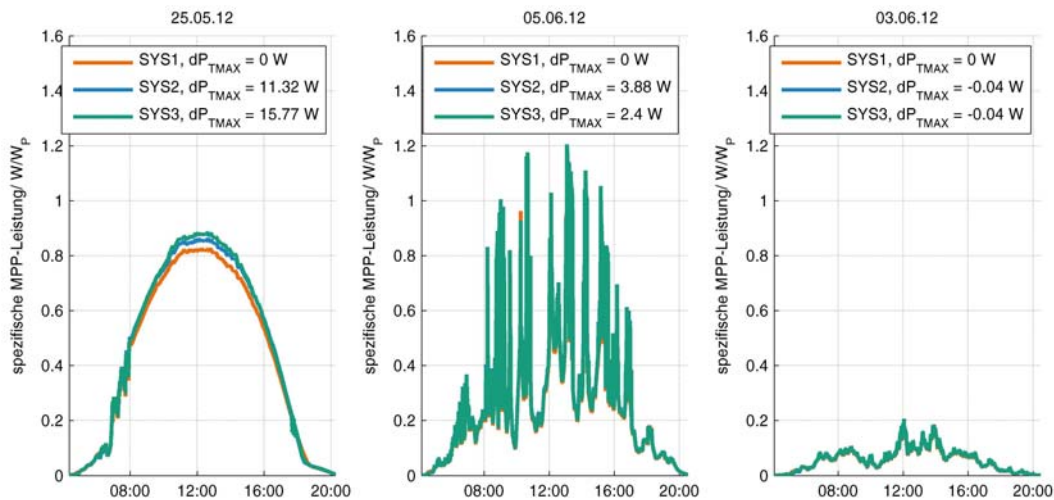


Abbildung 5: Spezifische MPP Leistungen aller Systeme, 30° Musterdach, sonniger Tag.

In Abbildung 6 sind die Messergebnisse der Wärmestromdichte über der Bestrahlungsstärke für den sonnigen Referenztag dargestellt. Tendenziell lässt sich feststellen, dass bei größeren Neigungswinkeln die Wärmeflussdichte steigt. Bei System 1 (Abbildung 6, linkes Diagramm) ist der Wärmefluss geringer als bei den anderen beiden Systemen (mittleres und rechtes Diagramm). Dieser Zusammenhang ergibt sich aus dem jeweiligen konstruktiven Aufbau der Systeme mit unterschiedlichen

Hinterlüftungsverhältnissen. Die Betrachtung des Wärmeflusses ist hilfreich bei der Entwicklung von Montagesystemen.

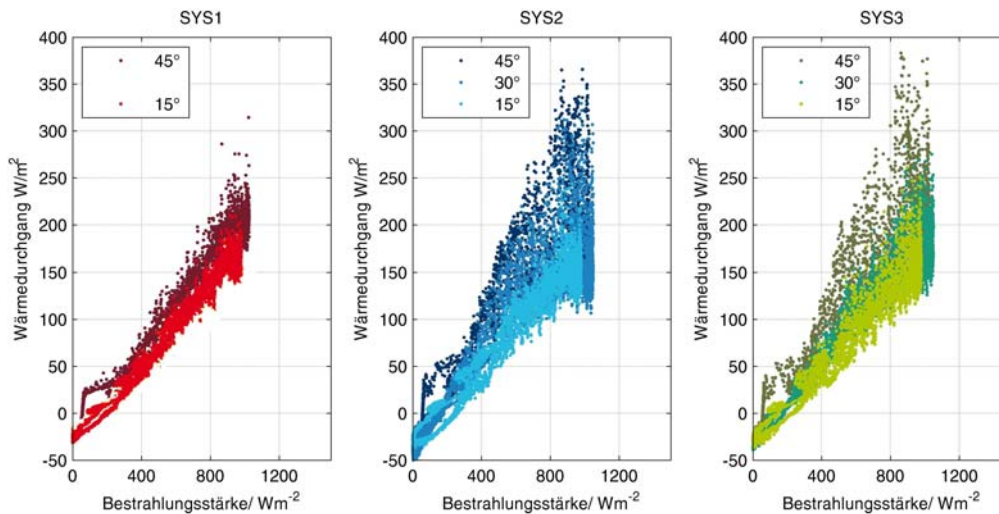


Abbildung 6: Wärmedurchgang nach innen über der Bestrahlungsstärke der einzelnen Systeme auf verschiedenen Neigungen.

Die Indach-Systeme sind sowohl thermischen als auch mechanischen Belastungen ausgesetzt. Die in Abhängigkeit von der Bestrahlungsstärke auftretenden thermischen Belastungen führen zu Materialausdehnung und Durchbiegung des Modules. Weitere mechanische Belastungen ergeben sich aus den Windverhältnissen (Richtung und Geschwindigkeit) sowie der Schneelast.

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 bei den Autoren.

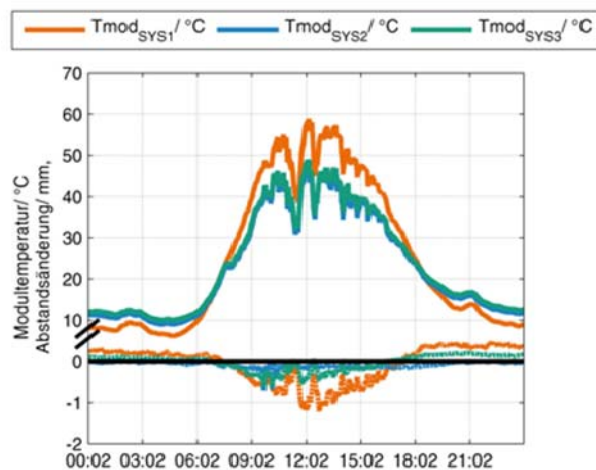


Abbildung 7: Modultemperatur und Durchbiegung der Module, 30° Musterdach.