

# MULTIELEMENT

## **Untersuchungen zur Entwicklung von Fertigungs-, Prüf- sowie Einbaumethoden von multifunktional nutzbaren Photovoltaik Bauelementen/Baugruppen in der Gebäudetechnik**

Christian Bendel\*\*, Peter Funtan\*, Thomas Glotzbach\*, Norbert Henze\*, Siwanand Misara\*,

\*Institut für Solare Energieversorgungstechnik (ISET) e.V., Königstor 59, D-34119 Kassel

Tel.: (0561) 7294-212, Fax: (0561) 7294-200, e-mail: smisara@iset.uni-kassel.de

\*\*PVS, Photovoltaik-Sachverständiger, öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger

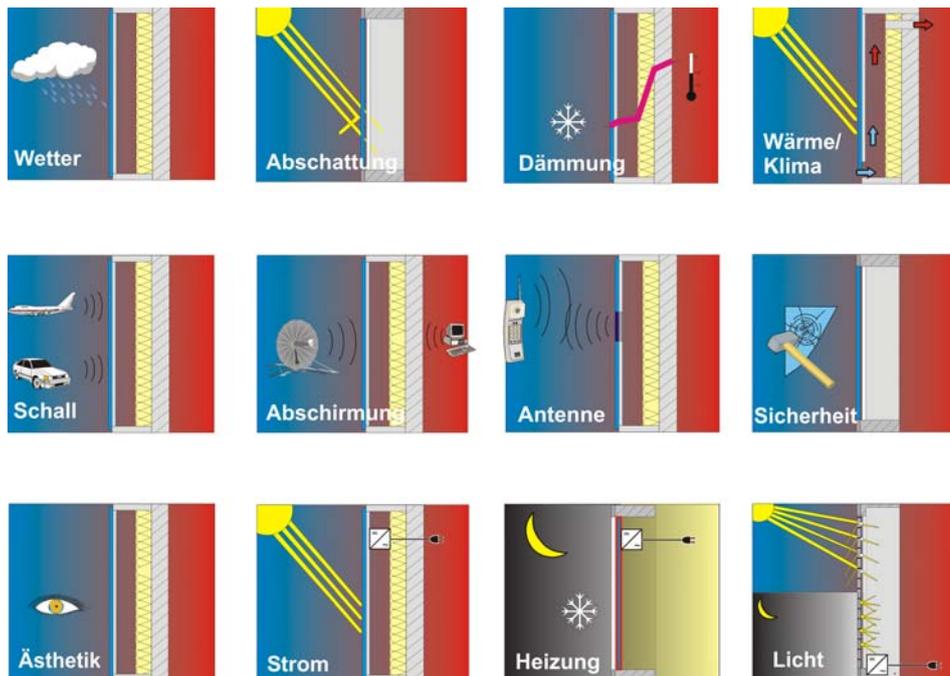
Großenhoferstr. 3, 34270 Schauenburg, Tel.: (05601) 9201-26, Fax: (05601) 9201-27

e-mail: cbendel@pvs-online.net

### **1. Einführung**

Das Photovoltaikmodul kann als multifunktionales Bauelement mehr als nur Sonnenlicht in elektrischen Strom wandeln. Als integriertes oder additives Bauelement können vielfältige Zusatzfunktionen erfüllt werden. Die Gebäudehülle als Schnittstelle zwischen Haus und Umwelt entscheidet maßgeblich über Ästhetik, Raumklima, Wetterschutz, Schallschutz, Wärmedämmung, Sicherheit, Abschattung, sowie Heizung, um nur einige Aspekte zu nennen. Aus heutiger Sicht fehlt für das Bauprodukt „PV-Bauelement“ eine systematische Erarbeitung der Nutzungspotentiale der physikalischen Eigenschaften im Rahmen entwicklungsbegleitender Untersuchungen, die Erarbeitung materialbeschreibender und qualitätssichernder Richtlinien bzw. Normen sowie die Entwicklung von Prüfequipment und -prozeduren.

**In Rahmen des neuen BMU-Forschungsprojektes „MULTIELEMENT“ wird sich das Institut für Solare Energieversorgungstechnik (ISET e.V.) zusammen mit 14 Industriepartnern an „Untersuchungen zur Entwicklung von Fertigungs-, Prüf- sowie Einbaumethoden von multifunktional nutzbaren Photovoltaik Bauelementen/ Baugruppen in der Gebäudetechnik“ befassen.** Bild 1 zeigt in einer schematischen Übersicht die funktionellen Eigenschaften von PV-Modulen/ -Anlagen.



**Bild 1: Multifunktionale Eigenschaften von PV-Modulen/- Anlagen**

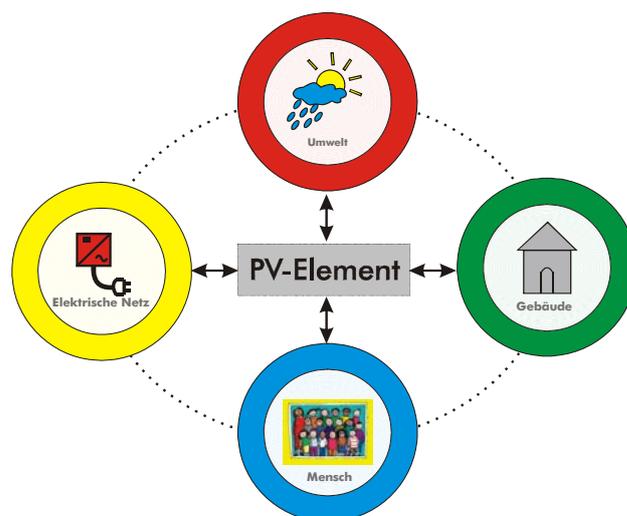
Die erfolgreiche Umsetzung des „Bund-Länder-1000-Dächer-Photovoltaik-Programms“ ab 1990 demonstrierte in Deutschland erstmalig und sehr marktwirksam die Photovoltaik als neue Technologie für die Anwendung in der Gebäudetechnik. Während in der Regel „Aufdachanlagen“ das Demonstrationsprogramm mehrheitlich bestimmten, entwickelten sich Ansätze zur ästhetisch anspruchsvollen Gebäudeintegration. Die Zeit war reif für die „Entwicklung eines photovoltaischen Fassadenelementes“ [1], welches im Jahre 1993 – 1996 am ISET in Kassel im Rahmen eines nationalen Forschungsprojektes, gemeinsam mit der Industrie (Schüco/ Bielefeld, ASE/ Alzenau) entwickelt wurde. Erstmals wurden dem Produkt „Fassadenelement“ die funktions- und sicherheitstechnische sowie die qualitätssichernde und wirtschaftliche Aufmerksamkeit geschenkt. PV-Module, insbesondere für den Fassadeneinsatz entwickelt, wurden unter vergleichbaren Testprozeduren der Fensterindustrie getestet. Die Testergebnisse führten zu einem Umdenken in der Nutzung von Photovoltaikmodulen, weil erkannt wurde, dass die physikalischen Eigenschaften mehr bieten als nur eine Stromerzeugung. Es entstand die Strategie der „Multifunktionalen Photovoltaik“ [2], d.h. die Mehrfachnutzung der physikalischen Eigenschaften von Solarzellen, PV-Modulen bzw. PV-Generatoren.

Im Begleitprojekt zum „Bund-Länder-1000-Dächer-Photovoltaik-Programm“, im nationalen Forschungsprojekt „Entwicklung und Erprobung von photovoltaische Kleinkraftwerken im Netzparallelbetrieb“ [3], welches vom TÜV Rheinland und dem ISET bearbeitet wurde, sind diese Ergebnisse teilweise praktisch umgesetzt worden.

Es wurde ein erstes, bundesweit gültiges Nachschlagewerk („Installation von Photovoltaik-Anlagen“) für photovoltaische Anlagentechnik erstellt.

Der Aspekt der Gebäudeintegration ist für die gesamte Photovoltaikbranche von großer Bedeutung, da der Anteil der neu installierten Freiflächenanlagen in Deutschland zukünftig im Vergleich zu Gebäudeanlagen, rückläufig sein wird. Diesbezüglich hat sich inzwischen eine Orientierung auf die Mittelmeer-Anrainerstaaten sowie auf die USA / Kalifornien eingestellt. Gerade in Deutschland hat die PV-Integration große Potenziale und die Investitionssicherheit ist besonders hoch, was jedoch im neuen überarbeiteten EEG so vorteilhaft nicht niederschlägt. Ein anderer Trend zeichnet sich u.a. in Frankreich ab, wo insbesondere der photovoltaischen Gebäudeintegration mehr Aufmerksamkeit geschenkt wird, was sich u.a. in der Einspeisevergütung ausdrückt. Photovoltaische Bauelemente, die in erster Linie nur als Stromproduzent gesehen werden, können durch nicht genutzte zusätzliche Funktionen ergänzt werden. Bislang ist vielen Herstellern von PV-Elementen nicht bewusst, dass diese zusätzlichen Möglichkeiten bestehen und verkaufs- bzw. umsatzfördernd genutzt werden können.

Die Integration von PV-Bauelementen muss weiterhin unter den Aspekten der Personen- und Anlagensicherheit, der technischen Zuverlässigkeit, der konstruktiven Integration und dem gültigen Baurecht gesehen werden. Das PV-Bauelement steht in Wechselwirkung mit der Umwelt, dem Gebäude, dem elektrischen Netz und dem Menschen selbst. Daraus kann eine Vielzahl technisch/physikalischer, elektrischer, bautechnischer sowie multifunktionaler Zusammenhänge abgeleitet werden, die im Einzelfall überprüft werden müssen.



**Bild 2: Bedeutung des PV- Bauelements**

Im Gremium der DKE/AK373.0.2 „Gebäudeintegrierte PV-Module“ wurde der Normentwurf VDE 0126-21 „Photovoltaik im Bauwesen“ erarbeitet. Unter den Begriffen Additive Photovoltaik (AdPV) und Gebäudeintegrierte Photovoltaik (GiPV) hinsichtlich Mehrfachglas PV Modul, Einzelglas Modul, PV Modul ohne Glas, Photovoltaisches (PV) Element, werden normative Bezüge hergestellt, um Anforderungen definieren zu können. Die bisherigen Anforderungen beziehen sich auf: Elektrische Sicherheit, Produktnachweise nach Bauproduktrichtlinie, anwendungsspezifische Anforderungen, Planung und Montage sowie Datenblattangaben, Kennzeichnung und strukturelle Ähnlichkeit. Die definierten Anforderungen an ein PV-Bauelement, konnten hier jedoch noch nicht physikalisch belastbar beschrieben werden. Hier setzt nun das Projekt MULTIELEMENT an.

Aus heutiger Sicht fehlt für das Bauprodukt „PV-Bauelement“ eine systematische Erarbeitung der Nutzungspotentiale der physikalischen Eigenschaften im Rahmen entwicklungsbegleitender Untersuchungen, die Erarbeitung materialbeschreibender und qualitätssichernder Richtlinien bzw. Normen sowie die Entwicklung von Prüfequipment und Prüfprozeduren. Diese Defizite sollen möglichst kurzfristig im Interesse der öffentlichen Hand und der Industrie einer gemeinsamen Lösung zugeführt werden.

## **2. Inhaltliche Untersuchungen und Defizite**

Auf Grund der relevanten Anforderungen, welche durch die multifunktionalen Eigenschaften von PV-Bauelementen bestehen, werden im Projekt zunächst Defizite zu vorhandenen Normen sowie Richtlinien ermittelt. Bekannte und neue Prüfungen werden anschließend mit Produkten der Partner durchgeführt und falls erforderlich verifiziert. Die Beschreibung der Mehrfacheigenschaften von PV-Modulen für den Einsatz in Gebäuden gibt einen Überblick über die Potenziale der multifunktionalen Eigenschaften von PV-Bauelementen.

**Witterungsschutz** bezieht sich auf Regen- und Winddichtigkeit, Windlastfestigkeit, Klimawechselresistenz sowie Alterungsbeständigkeit. In internationalen Normen sind die dafür vorgeschriebenen Testkriterien und -Prozeduren beschrieben. Nur wenn diese produktbezogen von der Zelle über Einbettung und Rahmung bis zur Kabelführung sowie Anschlusstechnik ganzheitlich abgeprüft werden können, kann von einem umfassenden Witterungsschutz gesprochen werden.

**Wärmedämmung** kann bei PV-Fassaden- und Dachelementen sowohl durch den mehrlagigen Aufbau des Moduls selbst, als auch durch die konstruktiven Bedingungen in der Fassade realisiert werden. In der Regel werden für die Bestimmung des Wärmedämmungskoeffizienten und des Energiedurchlassgrads die üblichen Mess-, Prüf-, und Berechnungsverfahren, wie für bekannte Fensterprodukte angewandt. Es ist beispielsweise zu überprüfen, welchen Einfluss Belegungsgrad oder Absorptionsgrad unterschiedlicher Technologien auf das PV-Bauelement sowie die Wärmedämmung haben!

**Abschattung** in einer PV-Fassade oder im PV-Dach kann gezielt durch das Design der photovoltaischen Fassadenelemente „eingestellt“ werden, wodurch sich eine Semitransparenz des Moduls ergibt. Wichtige Fragestellungen wie zum Beispiel nach dem Abminderungsfaktor ( $F_c$ ) des PV-Bauelements mit unterschiedlichen Belegungen im Vergleich zu normalen Sonnenschutzeinrichtungen sind zu klären. Bei der Gebäudeintegration ist das energetische und bauphysikalische Verhalten des PV-Bauelements im Beschattungsfall zu untersuchen. Möglichkeiten Beschattungsfälle mit deren Auswirkungen zu minimieren oder zu vermeiden, bzw. sind zu erörtern und gegebenenfalls zu überprüfen.

Für die Gestaltung von Innenraumbelichtungen über natürliches (**Daylighting**), sowie künstliches Licht gleichzeitig, bieten sich speziell gestaltete „lichtaktive“ semitransparente PV-Module an. In den „Lichtspalten“ zwischen den Einzelzellen sind LEDs angeordnet, die bei fehlendem Außenlicht dimmbar das Defizit nach innen ausgleichen. Um Spoteffekte von den punktförmigen Lichtquellen auszugleichen, kommen zusätzliche flächige Streuelemente bzw. Lichtleitelemente zum Einsatz

**Schalldämmung** durch die Gebäudehülle ist eine durch Mindestvorschriften reglementierte Selbstverständlichkeit in der Architektur. PV-Fassaden- bzw. Dachelemente in Mehrscheiben-Isolierglastechnik besitzen durch den Mehrschichtaufbau bereits schalldämmende Eigenschaften, die genutzt werden können. Kann zur Bestimmung des Schallschutzfaktors Bezug auf vorhandene Normen genommen werden? Exemplarisch sind Prüfungen durchzuführen.

**Elektromagnetische Schirmdämpfung** der PV- integrierten Gebäudehülle ergibt sich durch die meist elektrisch leitfähige Unterkonstruktion sowie die flächenhaften elektrischen Netzwerke der Photovoltaikmodule. Diese Wirkung kann zum Schutz besonders elektrosensibler Bereiche in Krankenhäusern, Computerzentralen von Banken, Polizei, Forschungseinrichtungen sowie Flughafengebäuden u.v.a. genutzt

werden. Entsprechend dem konstruktiven Aufbau von PV-Bauelementen werden! Messungen an Modulen, vorrangig der Partner, durchgeführt.

**Ästhetik bzw. Design** einer Gebäudehülle wird im Wesentlichen durch subjektive Einflussnahme des Investors, aber meistens durch den Architekten bestimmt. PV-Fassaden bzw. Dachelemente gehören zu den hochwertigsten Baumaterialien. Das visuelle Erscheinungsbild z.B. einer Fassade hinsichtlich Struktur, Farbe usw. bei unterschiedlichen Betriebsbedingungen z.B. im Hinblick auf Blendung soll bewertet werden. Besonders im Schadensfall hat eine visuelle Begutachtung große Bedeutung. Eine Klassifizierung nach Mängelgrad kann ein wichtiges Entscheidungskriterium sein und unter Umständen die rechtliche Sicherheit schaffen. Bei der Erarbeitung von Richtlinien können die bestehenden Prüfkriterien für Glas genutzt werden. Diese Thematik der visuellen Begutachtung ist in den Normentwurf der VDE 0126-21, mit dem Vermerk „in Vorbereitung“, aufgenommen worden.

**Elektromagnetische Energiewandlung** in der Gebäudehülle beschränkt sich auf ein speziell gestaltetes photovoltaisches Bauelement. Unter dem Fachbegriff „solare Planarantenne“ wurde eine neue Baugruppe SOLPLANT<sup>®</sup> entwickelt, welche die photovoltaische Stromerzeugung und das Senden bzw. Empfangen von hochfrequenten Signalen (z.B. Kommunikation über Handy) in einer Baueinheit gleichzeitig ermöglicht. Um die Antennenwirkung zu erreichen muss eine Strukturierung der Solarzellen vorgenommen werden. Dies erfolgt in Abhängigkeit des Übertragungsverfahrens und der gewünschten Bandbreite.

**Thermische Energiewandlung** in Verbindung mit Photovoltaik ist in einigen Demonstartionsprojekten in Fassaden und Dächern, bereits realisiert worden. Physikalisch gesehen wirken die kristallinen bzw. dünn-schichtigen Solarzellen auch als Wärmestrahlungsabsorber, was sich jedoch eher nachteilig auf die Effizienz der photovoltaischen Energiewandlung (Stromerzeugung) auswirkt. Diese „Verlustwärme“ kann zur Warmwassergewinnung oder als technische Prozesswärme genutzt werden. Fragen nach nutzbaren Wärmekapazitäten von PV-Elementen unterschiedlicher Bauart oder PV-Technologie und eventuell bestehenden Kühlmöglichkeiten sind weitestgehend nicht beantwortet. Die Wärmewirkung durch Sonnenbestrahlung auf Fassadenelemente ist aus der Fassadentechnik bekannt. Für PV-Fassadenelemente ergeben sich insbesondere durch den Einsatz von wenig reflektierenden Gläsern und durch den Belegungsgrad mit Zellen höhere Anforderungen, die bislang nicht berücksichtigt werden.

**Heizung** bzw. Temperierung mit PV-Modulen basiert auf einem neuen konstruktiven Aufbau der Module. Das PV-Modul wird temperiert, indem ein Rückstrom durch das Modul getrieben wird. Dadurch erwärmt sich das Modul, wodurch die Entstehung von Kältewalzen z.B. in Atrien, die Bildung von Kondensat an der Innenscheibe vermieden werden kann. Beides wirkt sich positiv auf das Raumklima aus. Die Möglichkeit der Betauung von PV-Modulen soll untersucht werden. Die Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen muss überprüft werden und die Wirtschaftlichkeit, insbesondere unter Sicherheitsaspekten (Schneebelastung von Dächern!) neu bewertet werden.

**Photovoltaische Energiewandlung** hängt neben physikalischen Parametern (Zellenmaterial und -technologie) insbesondere von Rahmenbedingungen wie Wetter, Alterung, Verschmutzung sowie vom Standort der Anlage ab. PV-Wirkungsgrad hinsichtlich niedriger Bestrahlungsstärke, schlechter Wärmeabfuhr und spektraler Empfindlichkeit sowie Hot-Spot, Temperaturwechsel im Vergleich mit EN 61215 und EN 61646 werden im Projekt mittels Outdoormessungen untersucht bzw. begleitet. Für Begleiterscheinungen wie kapazitive Ableitströme sollen neue Möglichkeiten der Prüfung entwickelt und erprobt werden.

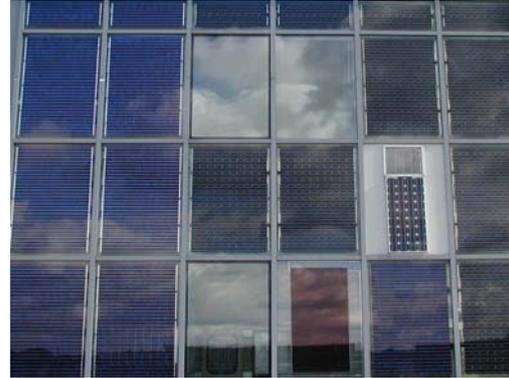
### **3. Zielsetzung**

Ziel des Projektes ist es, die technischen und wirtschaftlichen Potentiale für PV-Bauelemente zu erschließen und damit die Kosten unter systematischer Einbeziehung der Multifunktionalität zu senken. Dazu werden die physikalischen Eigenschaften im Rahmen entwicklungsbegleitender Untersuchungen beschrieben, materialbeschreibende und qualitätssichernde Richtlinien bzw. Normen erarbeitet, sowie Prüfequipment und Prüfprozeduren entwickelt. Eine zentrale Aufgabe des Projektes besteht in der gemeinsamen Vorbereitung von Richtlinien, die möglichst vorhandene technisch naheliegende normative Verweise nutzt, aber das Bauprodukt „PV-Bauelement“ ausreichend für eine Typprüfung beschreibt.

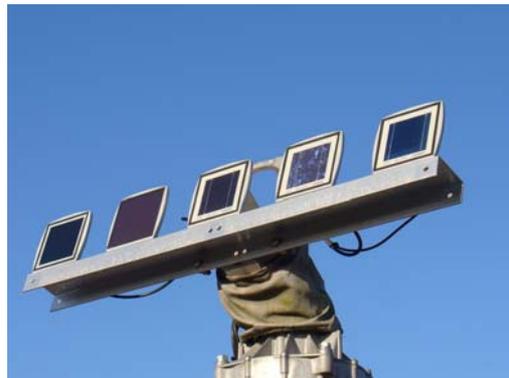
Um die beschriebenen Ziele zu erreichen, wird es erforderlich sein, neue technische Lösungsansätze zu entwickeln und umzusetzen. Dazu zählen im Wesentlichen:

- die Entwicklung von Hardwarelösungen speziell für die Prüfeinrichtungen
- die Entwicklung von Softwarelösungen bzw. Simulationsmodellen
- der Einsatz von Simulationsprogrammen zur Validierung von Prüfprozeduren oder Laboruntersuchungen.

Im Rahmen der vorgesehenen Untersuchungen wird die bestehende Infrastruktur des PV-Test Labors (PV-Testlab) erweitert. Dazu gehören neben den meteorologischen Messvorrichtungen auch die Möglichkeit Outdoor-Messungen im Freifeld und an einer Experimentierfassade durchzuführen. Ein Outdoor Testfeld (SYSTEC) für PV-Kompletsysteme in unmittelbare Nähe von Kassel befindet sich im Aufbau.



**Bild 3: Freifeld Messungen von PV-Modulen in PV-Testlab [www.pvtestlab.de](http://www.pvtestlab.de) (links), Experimentierfassade zur Prüfung von Fassadenelement (rechts)**



**Bild 4: Meteorologische Messeinrichtung (links),technologiebezogene Bestrahlungs-stärkemessung mit ISET-Sensor (rechts)**



**Bild 5: SYSTEC Outdoor Testfeld (im Aufbau)**



**Bild 6: ISET *MPP-Meter* (Kennlinienmessung von Solarmodulen (links), PV-Simulator zur Wechselrichterprüfung (rechts))**

#### 4. Zusammenfassung

Das Projekt MULTIELEMENT verfolgt als übergeordnetes Ziel, das PV-Element bezüglich der Nutzung von zusätzlichen Eigenschaften, als Bauelement normativ zu beschreiben. Dazu werden alle Zusatzfunktionen, die erfüllt werden können, systematisch untersucht, um die technischen und wirtschaftlichen Potenziale zu erschließen. Aktuelle Erkenntnisse, Fragestellungen bzw. weitere Prüfbedingungen und Verfahren sollen im Projekt nach Möglichkeit soweit behandelt werden, dass eine zügige Umsetzung in den normativen Gremien erfolgen kann.



## 5. Literatur

- [1] Forschungsbericht des ISET, HMU, BMBF und Industrie, „Entwicklung eines photovoltaischen Fassadenelementes“, Kassel 1993 – 1996
- [2] C. Bendel et al., „Multifunktionale Photovoltaik“, „Ökopolis`92“, Messe Frankfurt, 1992
- [3] Forschungsbericht des ISET, TÜV-Rheinland, BMBF und Handwerk, „Entwicklung und Erprobung von photovoltaischen Kleinkraftwerken im Netzparallelbetrieb“, Kassel/ Köln 1990 – 1993/ 1995
- [4] M. Weißner, O. Menges, „Multifunktionale Photovoltaik-Fassade im Vergleich – funktional und wirtschaftlich“, Berufspraktische Studienarbeit, Kassel 1998
- [5] H. Hullmann et al., „Multifunktionale Photovoltaik – Photovoltaik in der Gebäudehülle“, Leitfaden für Architekten und Fachplaner, ISET Kassel/ hwp Hamburg, 2006
- [6] C. Bendel, „Multifunktionale PV-Produkte“, 23. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Staffelstein, 2008